



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA**  
**ESCOLA POLITÉCNICA**



**RENAN MENICUCCI PESSOA**

**TRATAMENTO DE ÁGUAS CINZA E PRODUÇÃO DE ÁGUA  
DE REÚSO POR PROCESSO FÍSICO-QUÍMICO: AVALIAÇÃO  
TÉCNICA E FINANCEIRA**

**SALVADOR  
2023**

**RENAN MENICUCCI PESSOA**

**TRATAMENTO DE ÁGUAS CINZA E PRODUÇÃO DE ÁGUA  
DE REÚSO POR PROCESSO FÍSICO-QUÍMICO: AVALIAÇÃO  
TÉCNICA E FINANCEIRA**

Dissertação apresentada ao Mestrado em Meio Ambiente, Águas e Saneamento como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Meio Ambiente, Águas e Saneamento.

Orientador: Prof. Dr. Luciano Matos Queiroz

**SALVADOR  
2023**

---

P475 Pessoa, Renan Menicucci.

Tratamento de águas cinzas e produção de água de reúso por processo físico-químico: avaliação técnica e financeira / Renan Menicucci Pessoa. – Salvador, 2023.

96 f.: il. color.

Orientador: Prof. Dr. Luciano Matos Queiroz

Dissertação (mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente, Água e Saneamento - Universidade Federal da Bahia - Escola Politécnica, 2023.

1. Água cinza. 2. Reúso não-potável. 3. Tratamento físico-químico. 4. Economia circular. I. Queiroz, Luciano Matos. II. Universidade Federal da Bahia. III. Título.

CDD: 628.16

---



Mestrado em Meio Ambiente, Águas e Saneamento



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA  
ESCOLA POLITECNICA



Renan Menicucci Pessoa

## Tratamento de águas cinza e produção de água de reúso por processo físico-químico: avaliação técnica e financeira.

Banca Examinadora:



Documento assinado digitalmente

**GEMIMA SANTOS ARCANJO**  
Data: 21/12/2023 20:40:50-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dra. Gemima Santos Arcanjo \_\_\_\_\_  
Universidade Federal da Bahia



Documento assinado digitalmente

**LUCIANO MATOS QUEIROZ**  
Data: 21/12/2023 08:32:00-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Luciano Matos Queiroz \_\_\_\_\_  
Universidade Federal da Bahia



Documento assinado digitalmente

**NEYSON MARTINS MENDONÇA**  
Data: 23/12/2023 07:59:46-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Neyson Martins Mendonça \_\_\_\_\_  
Universidade Federal do Pará

Salvador  
20 de dezembro de 2023

# AUTORIZAÇÃO

Autorizo a reprodução e/ou divulgação total ou parcial da presente obra, por qualquer meio convencional ou eletrônico, desde que citada a fonte.

Nome do autor: Renan Menicucci Pessoa

Documento assinado digitalmente

Assinatura do autor:  **RENAN MENICUCCI PESSOA**  
Data: 25/03/2024 11:21:14-0300  
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Instituição: Universidade Federal da Bahia

Local: Salvador, BA

Endereço: Rua Aristides Novis, nº 02 – 4º Andar, Federação. Salvador/BA

CEP: 40.210-630

E-mail: [renanpessoa93@hotmail.com](mailto:renanpessoa93@hotmail.com)

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente à minha família, em especial meus pais, Roberto e Denise, minha esposa, Taís, e meus irmãos, Rafael e Kito, por estarem sempre ao meu lado me incentivando e dando apoio em minha caminhada. Sem vocês, nada seria possível.

Ao meu orientador Prof. Dr. Luciano Matos Queiroz, por inicialmente abrir as portas da sala de aula repassando seus ensinamentos, pela compreensão e paciência durante todo o processo do trabalho, por ter me confiado a elaboração desse projeto, mesmo ciente que para mim seria um desafio. Ao meu professor, serei sempre grato.

A todos os colegas da Maqfiltros, empresa a qual faço parte e detentora da unidade de estudo desse projeto. Em especial à Elys e Henrique, por todo apoio na reestruturação do laboratório, nas coletas e análises de rotina. Também à Icaro, operador da unidade de tratamento em estudo, por todo esforço durante essa etapa.

Ao MAASA e todo seu corpo docente, por dedicar recursos na formação de novos profissionais e acadêmicos e ter uma grande parcela na minha formação como profissional da área de saneamento.

À UFBA, minha imensa gratidão, por ser a instituição que me orgulho de fazer parte e ter me dado novas perspectivas, muito crescimento e amadurecimento contribuindo para minha formação pessoal, profissional e acadêmica.

Agradeço também, a todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para a minha formação e conclusão desse trabalho.

## RESUMO

Este estudo buscou avaliar o desempenho operacional e a viabilidade econômica de estação de tratamento de água cinza (ETAC) de 5,0 m<sup>3</sup>/h para produção de água de reúso em descargas de bacias sanitárias em empreendimento habitacional ocupado por famílias alta renda. O consumo médio aferido de água não potável para descargas nas bacias sanitárias foi de 507 ± 123 m<sup>3</sup>/mês representando 12,9% do consumo total. Para avaliação do desempenho operacional, os padrões regulatórios da NBR 16.783/19 foram considerados como limites aceitáveis. Avaliaram-se na água cinza bruta e na água de reúso os seguintes parâmetros: alcalinidade, cloro residual livre, cor, demanda química de oxigênio (DQO), presença de *Escherichia coli*, nitrogênio amoniacal, fósforo solúvel, pH, sólidos em suspensão fixos (SSF), voláteis (SSV) e totais (SST), sólidos sedimentáveis (SS), Sólidos dissolvidos totais (SDT) e turbidez. A ETAC apresentou desempenho de, aproximadamente, 93% para cor, 72% para DQO, 80% para nitrogênio amoniacal, 93% para sólidos em suspensão totais e 98% para turbidez. O resultado da confiabilidade do sistema foi de 99% para turbidez, 94% para cor, 100% para sólidos em suspensão totais e 64% para DQO. Sobre o aspecto da viabilidade econômica, construiu-se o fluxo de caixa considerando as receitas e despesas que compõem o objeto de estudo. Para o custo de equipamentos instalados foi considerado o valor de R\$ 258.257,33. Para estimativa do custo de implantação e obra civil, foram considerados quatro cenários com diferentes custos de implantação (respectivamente R\$ 100.000,00, R\$ 200.000,00, R\$ 300.000,00 e R\$ 500.000,00). Para depreciação foi considerado 10 anos para equipamentos e 25 anos para as edificações e obras civis. A água de reúso apresentou custo unitário médio de R\$ 7,18/m<sup>3</sup>, dos quais 70% referem-se aos custos de mão de obra terceirizada na operação. A análise de viabilidade foi realizada por meio do cálculo do Valor Presente Líquido (VPL), considerando uma taxa de atratividade de 12% ao ano, e da Taxa Interna de Retorno (TIR) que para os cenários 01, 02, 03 e 04 foram de 30%, 21%, 15% e 6%, respectivamente. Para o período de avaliação de 10 anos, os cenários 01, 02 e 03 apresentam retorno financeiro atrativo. Concluiu-se que o reúso de água não potável para descargas sanitárias se mostra alternativa segura, com requisitos dentro dos limites aceitáveis e com boa perspectiva de retorno financeiro.

**Palavra-chave:** água cinza; reúso não-potável; tratamento físico-químico; economia circular.

## ABSTRACT

This study aimed to evaluate the operational performance and economic viability of a Greywater Treatment Plant (GWTP) with a design flow rate of 5,0 m<sup>3</sup>/h for producing reusable water in flushing toilets within a high-income family-occupied housing development. The measured average consumption of non-potable water for toilet flushing was 507 ± 123 m<sup>3</sup>/month, constituting 12,9% of the total consumption. To assess operational performance, regulatory standards outlined in NBR 16.783/19 were used as acceptable limits. Parameters such as alkalinity, free residual chlorine, color, COD, presence of *Escherichia coli*, ammonia nitrogen, soluble phosphorus, pH, fixed, volatile and total suspended solids, sedimentable solids, total dissolved solids, and turbidity were evaluated in both raw greywater and treated reuse water. The GWTP demonstrated performance of approximately 93% for color, 72% for COD, 80% for ammonia nitrogen, 93% for total suspended solids, and 98% for turbidity. System reliability results were 99% for turbidity, 94% for color, 100% for total suspended solids, and 64% for COD. Regarding economic viability, a cash flow was constructed, factoring in the revenues and expenses associated with the study. The installed equipment cost was set at R\$ 258.257,33. Estimates for implementation and civil work costs considered four scenarios with varying implementation costs (R\$ 100.000,00, R\$ 200.000,00, R\$ 300.000,00, and R\$ 500.000,00). Depreciation was considered over 10 years for equipment and 25 years for buildings and civil works. The unit cost for reuse water was R\$ 7,18/m<sup>3</sup>, with 70% attributed to outsourced labor costs in operation. Feasibility analysis involved calculating the Net Present Value (NPV) and Internal Rate of Return (IRR). NPV was computed at an annual attractiveness rate of 12%. IRR values for scenarios 01, 02, 03, and 04 were 30%, 21%, 15%, and 6%, respectively. Over the 10-year evaluation period, results indicated that scenarios 01, 02, and 03 offered attractive financial returns. In conclusion, non-potable water reuse for toilet flushing emerges as a secure alternative, with requirements within acceptable limits and promising financial returns.

**Keyword:** graywater; non-potable reuse; physical-chemical treatment; circular economy.



# LISTA DE FIGURAS

FIGURA 3.1 - CONFIGURAÇÃO DE ETAC POR ARRANJO DE COAGULAÇÃO + FLOCULAÇÃO + DECANTAÇÃO + FILTRAÇÃO EM AREIA + DESINFECÇÃO COM CLORO.....	29
FIGURA 4.1 - OPÇÃO DE PLANTA BAIXA DO PAVIMENTO TIPO (35º AO 40º PAVIMENTO).....	32
FIGURA 4.2 - FLUXOGRAMA DO SISTEMA DE APROVEITAMENTO E DESCARTE DAS ÁGUAS RESIDUÁRIAS.....	33
FIGURA 4.3 – ETA REÚSO 5,0 M <sup>3</sup> /H DA MARCA ALFAMEC INSTALADA NO EMPREENDIMENTO.....	34
FIGURA 4.4 – DESENHO ESQUEMÁTICO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA DE CINZA (ETAC).....	34
FIGURA 4.5 – FOTOGRAFIA SUPERIOR DO DECANTADOR DE ALTA TAXA MOSTRANDO OS ELEMENTOS DE DECANTAÇÃO E O TUBO DE COLETA DE ÁGUA DECANTADA.....	36
FIGURA 4.6 - IDENTIFICAÇÃO DOS PONTOS DE COLETA PARA ANÁLISE.....	38
FIGURA 5.1 - FLUXOGRAMA DA ESTRUTURA DE ABASTECIMENTO, CONSUMO E DESCARTE DE ÁGUA DO EMPREENDIMENTO EM ESTUDO.....	45
FIGURA 5.2 - GRÁFICO DOS RESULTADOS DAS ANÁLISES DE ALCALINIDADE.....	49
FIGURA 5.3 - GRÁFICO DOS RESULTADOS DAS ANÁLISES DE CLORO RESIDUAL LIVRE.....	51
FIGURA 5.4 - GRÁFICO DOS RESULTADOS DAS ANÁLISES DE COR APARENTE.....	52
FIGURA 5.5 - GRÁFICO DOS RESULTADOS DAS ANÁLISES DA DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO (DQO).....	53
FIGURA 5.6 - GRÁFICO DOS RESULTADOS DAS ANÁLISES DE NITROGÊNIO AMONÍACAL.....	56
FIGURA 5.7 - GRÁFICO DOS RESULTADOS DAS ANÁLISES DE FOSFORO SOLÚVEL.....	58
FIGURA 5.8 - GRÁFICO DOS RESULTADOS DAS ANÁLISES DE PH.....	60
FIGURA 5.9 - GRÁFICO DOS RESULTADOS DE SÓLIDOS EM SUSPENSÃO TOTAIS, FIXOS E VOLÁTEIS.....	61
FIGURA 5.10 - GRÁFICO DOS RESULTADOS DAS ANÁLISES DE SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS.....	62
FIGURA 5.11 - GRÁFICO DOS RESULTADOS DAS ANÁLISES DE SÓLIDOS DISSOLVIDOS TOTAIS (SDT).....	64
FIGURA 5.12 – GRÁFICO DOS RESULTADOS DAS ANÁLISES DE TURBIDEZ.....	65
FIGURA 5.13 – FOTOGRAFIA DAS AMOSTRAS DAS ENTRADAS E SAÍDAS DO DECANTADOR COLETADA EM 10 DE MAIO DE 2023.....	68
FIGURA 5.14 – GRÁFICO DO PERCENTUAL DA MÉDIA DOS CUSTOS OPERACIONAL DO SISTEMA DE REÚSO.....	79
FIGURA 5.15 – GRÁFICO DA EVOLUÇÃO DO VPL AO LONGO DOS ANOS EM DIFERENTES CENÁRIOS.....	84

# LISTA DE TABELAS

TABELA 3.1 - PADRÕES DE QUALIDADE RECOMENDADOS PELA NBR 13.969/97 .....	20
TABELA 3.2 – COMPARATIVOS DOS PADRÕES DE QUALIDADE PARA USO ALTERNATIVO DE FONTES NÃO POTÁVEIS EM DIFERENTES PAÍSES .....	21
TABELA 3.3 – COMPARAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS E MICROBIOLÓGICAS DE ÁGUA CINZA CLARA E ÁGUA CINZA COMPLETA COM VARIAÇÕES INTERNACIONAIS .....	23
TABELA 3.4 - PRODUÇÃO PER CAPITA DE CORRENTES SEGREGADAS GERADAS EM UMA RESIDÊNCIA NA CIDADE DE CAMPO GRANDE - MS.....	24
TABELA 3.5 - DESEMPENHO DE PROCESSOS FÍSICO-QUÍMICOS COM UTILIZAÇÃO DA ETAPA DE COAGULAÇÃO PARA TRATAMENTO DAS ÁGUAS CINZA .....	27
TABELA 3.6 - COMPARAÇÃO DOS VALORES REMANESCENTES A PARTIR INCLUSÃO DA ETAPA DE COAGULAÇÃO QUÍMICA NO TRATAMENTO DE ÁGUAS CINZA.....	28
TABELA 5.1 - CONSUMO DE ÁGUA DA UNIDADE EM ESTUDO (M <sup>3</sup> /MÊS);.....	44
TABELA 5.2 – CONSUMO DE ÁGUA NÃO POTÁVEL DA UNIDADE EM ESTUDO (M <sup>3</sup> /MÊS) .....	45
TABELA 5.3 – COMPARAÇÃO DAS CONDIÇÕES OPERACIONAIS DA ETAC (PROJETO E MEDIÇÕES DE CAMPO).....	46
TABELA 5.4 – CONCENTRAÇÃO DE DOSAGENS DA ETAC.....	47
TABELA 5.5 – CONCENTRAÇÃO DE DOSAGENS DO REÚSO PLUVIAL.....	48
TABELA 5.6 – TABELA DOS RESULTADOS DAS ANÁLISES DE ALCALINIDADE .....	48
TABELA 5.7 – TABELA DOS RESULTADOS DAS ANÁLISES DE CLORO RESIDUAL LIVRE .....	49
TABELA 5.8 – TABELA DOS RESULTADOS DAS ANÁLISES DE COR APARENTE .....	51
TABELA 5.9 – TABELA DOS RESULTADOS DAS ANÁLISES DA DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO (DQO) .....	52
TABELA 5.10 – TABELA DOS RESULTADOS DAS ANÁLISES DE ESCHERICHIA COLI .....	54
TABELA 5.11 – TABELA DOS RESULTADOS DAS ANÁLISES DE NITROGÊNIO AMONÍACAL .....	55
TABELA 5.12 – TABELA DOS RESULTADOS DAS ANÁLISES DE FÓSFORO SOLÚVEL .....	57
TABELA 5.13 – TABELA DOS RESULTADOS DAS ANÁLISES DE PH.....	59
TABELA 5.14 – TABELA DOS RESULTADOS DAS ANÁLISES DE SÓLIDOS EM SUSPENSÃO TOTAIS, FIXOS E VOLÁTEIS.....	60
TABELA 5.15 – TABELA DOS RESULTADOS DAS ANÁLISES DE SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS.....	62
TABELA 5.16 – TABELA DOS RESULTADOS DAS ANÁLISES DE SÓLIDOS DISSOLVIDOS TOTAIS .....	63
TABELA 5.17 – TABELA DOS RESULTADOS DAS ANÁLISES DE TURBIDEZ .....	64
TABELA 5.18 – DADOS CONSIDERADOS PARA LANÇAMENTO NO <i>SOFTWARE</i> GRAPHPAD PRISM 5® .....	65
TABELA 5.19 – RESULTADO DA ANÁLISE ESTATÍSTICA DO <i>SOFTWARE</i> GRAPHPAD PRISM 5® .....	66
TABELA 5.20 – VALORES CONSIDERADOS COMO LIMITE PARA A ÁGUA DE REÚSO PARA EFEITO DO CÁLCULO DE CONFIABILIDADE .....	67
TABELA 5.21 – CÁLCULO DA CONFIABILIDADE DO SISTEMA CONSIDERANDO OS RESULTADOS DE CADA PARÂMETRO .....	67
TABELA 5.22 – RESULTADOS DAS ANÁLISES DE SÓLIDOS NAS ENTRADAS E SAÍDAS DECANTADOR.....	68
TABELA 5.23 – ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO DE LODO NO DECANTADOR DA ETAC .....	69
TABELA 5.24 – ESTIMATIVA DO VALOR DE IMPLANTAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS DO SISTEMA DE REÚSO.....	70
TABELA 5.25 – ESTIMATIVA DE CUSTO DE IMPLANTAÇÃO CONSIDERANDO DIFERENTES CENÁRIOS.....	70

TABELA 5.26 – DEPRECIAÇÃO ANUAL CONSIDERANDO DIFERENTES CENÁRIOS.....	71
TABELA 5.27 – TABELA VIGENTE DE JULHO A DEZEMBRO DE 2022 COM OS VALORES COBRADOS PELA CONCESSIONÁRIA LOCAL PARA LIGAÇÕES RESIDENCIAIS .....	71
TABELA 5.28 – DETALHAMENTO DA CONTA DA CONCESSIONÁRIA LOCAL .....	72
TABELA 5.29 – DETALHAMENTO DA CONTA DA PROJETADA PARA ABASTECIMENTO TOTAL.....	73
TABELA 5.30 – DETALHAMENTO DA REDUÇÃO MENSAL NA CONTA DA CONCESSIONÁRIA LOCAL .....	73
TABELA 5.31 – CUSTO UNITÁRIO COM PRODUTOS QUÍMICOS POR M <sup>3</sup> DE ÁGUA DE REÚSO TRATADA .....	74
TABELA 5.32 – CUSTOS UNITÁRIOS COM PRODUTOS QUÍMICOS DO VOLUME (M <sup>3</sup> ) GERADO PELO APROVEITAMENTO DA ÁGUA PLUVIAL .....	74
TABELA 5.33 – CUSTO MENSAL COM AQUISIÇÃO DE PRODUTOS QUÍMICOS DO SISTEMA DE REÚSO .....	75
TABELA 5.34 – CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA POR M <sup>3</sup> TRATADO DA ETAC.....	76
TABELA 5.35 – CUSTO MENSAL COM ENERGIA ELÉTRICA DA ETAC.....	76
TABELA 5.36 - CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA POR M <sup>3</sup> TRATADO DO REÚSO PLUVIAL.....	76
TABELA 5.37 – CUSTO MENSAL COM ENERGIA ELÉTRICA DO REÚSO PLUVIAL.....	77
TABELA 5.38 - CUSTO MENSAL COM ENERGIA ELÉTRICA TOTAL (ETAC + REÚSO PLUVIAL) .....	77
TABELA 5.39 – CUSTO MENSAL DA MÃO DE OBRA PARA OPERAÇÃO DO SISTEMA DE REÚSO (ETAC + REÚSO PLUVIAL) .....	78
TABELA 5.40 - CUSTO TOTAL MENSAL DAS VARIÁVEIS GERADORAS DE DESPESA DO SISTEMA DE REÚSO .....	79
TABELA 5.41 – CUSTO UNITÁRIO TOTAL DO M <sup>3</sup> TRATADO PELO SISTEMA DE REÚSO.....	80
TABELA 5.42 – ECONOMIA OPERACIONAL MENSAL .....	80
TABELA 5.43 – ECONOMIA OPERACIONAL ANUAL CORRIGIDA PELO IPCA .....	81
TABELA 5.44 – SALDO ANUAL DA VIABILIDADE ECONÔMICA DO CENÁRIO 01.....	82
TABELA 5.45 – SALDO ANUAL DA VIABILIDADE ECONÔMICA DO CENÁRIO 02.....	82
TABELA 5.46 – SALDO ANUAL DA VIABILIDADE ECONÔMICA DO CENÁRIO 03.....	83
TABELA 5.47 – SALDO ANUAL DA VIABILIDADE ECONÔMICA DO CENÁRIO 04.....	83
TABELA 5.48 – VALOR PRESENTE LÍQUIDO (VPL) CONSIDERANDO DIFERENTES CENÁRIOS.....	84
TABELA 5.49 – TAXA INTERNA DE RETORNO (TIR) CONSIDERANDO DIFERENTES CENÁRIOS .....	85

# LISTA DE QUADROS

QUADRO 3.1 - CLASSIFICAÇÃO DOS SISTEMAS DESCENTRALIZADOS.....	17
QUADRO 3.2 - ATRATIVIDADES E LIMITAÇÕES DAS ETE DESCENTRALIZADAS .....	18
QUADRO 3.3 - PROVÁVEIS CONSTITUINTES DE ÁGUA CINZA DE FONTES DOMÉSTICAS .....	22
QUADRO 4.1 - PARÂMETROS ANALISADOS E PROCEDIMENTOS UTILIZADOS NAS ANÁLISES LABORATORIAIS .....	39

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>15</b>
2.1	OBJETIVO GERAL .....	15
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	15
<b>3</b>	<b>MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>16</b>
3.1	SISTEMAS DESCENTRALIZADOS DE TRATAMENTO DE ESGOTOS .....	16
3.2	OPORTUNIDADES NA SEGREGAÇÃO DAS ÁGUAS RESIDUÁRIAS EM EDIFICAÇÕES E O TRATAMENTO DESCENTRALIZADO....	19
3.3	PADRÕES PARA REÚSO DE ÁGUA NÃO POTÁVEL .....	20
3.4	ÁGUAS CINZA COMO FONTE DE ÁGUA DE REÚSO NÃO POTÁVEL .....	21
3.5	TRATAMENTO FÍSICO-QUÍMICO DE ÁGUAS CINZA .....	25
3.6	ANÁLISE ECONÔMICO-FINANCEIRA APLICADO A SISTEMAS DE REÚSO DE ÁGUAS CINZA .....	30
<b>4</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>32</b>
4.1	DESCRIÇÃO DO EMPREENDIMENTO HABITACIONAL .....	32
4.2	DESCRIÇÃO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUAS CINZA .....	33
4.2.1	<i>Caixa de entrada .....</i>	<i>35</i>
4.2.2	<i>Sistema de dosagem de químicos .....</i>	<i>35</i>
4.2.3	<i>Floculador .....</i>	<i>35</i>
4.2.4	<i>Decantador de alta taxa .....</i>	<i>35</i>
4.2.5	<i>Filtro de areia .....</i>	<i>36</i>
4.2.6	<i>Desinfecção .....</i>	<i>36</i>
4.2.7	<i>Tanque do sistema de recalque .....</i>	<i>36</i>
4.2.8	<i>Reservatório inferior de água de reúso .....</i>	<i>37</i>
4.2.9	<i>Reservatório superior de água de reúso.....</i>	<i>37</i>
4.3	AValiação DO DESEMPENHO DA ETAC – PLANO DE MONITORAMENTO .....	37
4.3.1	<i>Coleta e armazenamento das amostras.....</i>	<i>37</i>
4.3.2	<i>Quantidade de amostras e pontos de coleta.....</i>	<i>38</i>
4.3.3	<i>Parâmetros analisados.....</i>	<i>39</i>
4.3.4	<i>Tratamento estatístico dos dados.....</i>	<i>39</i>
4.3.5	<i>Outliers.....</i>	<i>39</i>
4.3.6	<i>Análise de confiabilidade do sistema .....</i>	<i>40</i>
4.4	CARACTERIZAÇÃO EXPLORATÓRIA DO LODO DO DECANTADOR .....	40
4.5	VIABILIDADE ECONÔMICA .....	41
4.5.1	<i>Cenário referência – tarifação de água e esgoto.....</i>	<i>41</i>

4.5.2	<i>Fluxo de caixa</i> .....	41
4.5.3	<i>Indicadores econômicos</i> .....	43
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>44</b>
5.1	BALANÇO HÍDRICO .....	44
5.2	DESEMPENHO OPERACIONAL .....	46
5.2.1	<i>Condições operacionais;</i> .....	46
5.2.2	<i>Dosagens de produtos químicos</i> .....	47
5.2.3	<i>Aspecto qualitativo das águas cinza e da água de reúso</i> .....	48
5.2.4	<i>Análise de confiabilidade</i> .....	65
5.3	CARACTERIZAÇÃO PRELIMINAR DO LODO DO DECANTADOR .....	68
5.4	VIABILIDADE ECONÔMICA .....	69
5.4.1	<i>Investimento inicial (custo de implantação)</i> .....	69
5.4.2	<i>Depreciação</i> .....	70
5.4.3	<i>Variáveis geradoras de economia</i> .....	71
5.4.4	<i>Variáveis geradoras de despesa (custos operacionais)</i> .....	73
5.4.5	<i>Economia operacional anual</i> .....	80
5.4.6	<i>Fluxo de Caixa</i> .....	81
5.4.7	<i>Valor presente líquido (VPL)</i> .....	83
5.4.8	<i>Taxa interna de Retorno (TIR)</i> .....	85
5.4.9	<i>Análise crítica da viabilidade econômico-financeira</i> .....	85
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>87</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>88</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Segundo estudos da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), estima-se que no ano de 2030, no Brasil, o aumento do consumo de água chegará ao patamar de 24%, para um crescimento populacional de 8%, em proporções três vezes superiores (ANA, 2018).

No ano de 2014, o estado de São Paulo vivenciou uma das piores crises hídricas de sua história. Em meados de abril de 2014, o Sistema Cantareira, que abastece em torno de 9,4 milhões de pessoas, chegou a 12,5% de sua reserva total, nível mais baixo de sua história (PORTO, 2014). Esse fato histórico foi agravado em virtude da forte estiagem no ano evidenciando que a adoção de medidas mais rigorosas de gestão da demanda por parte das instituições responsáveis é necessária para garantir a oferta de água nos próximos anos. (PORTO, 2014). No estado do Espírito Santo registrou-se a estiagem mais severa dos últimos 80 anos no ano de 2016. Os impactos dessa crise hídrica afetaram inclusive a economia local gerando perdas no setor agrícola na ordem de R\$ 3,6 bilhões. Portanto, um dos grandes desafios da primeira metade do século XXI, é garantir o direito humano fundamental de acesso à água com qualidade sem prejudicar as atividades econômicas e o desenvolvimento local (AGERH, 2018).

Nesse cenário, se faz necessário aprimorar as ações de planejamento para que haja um crescimento urbano ordenado; estabelecer políticas públicas que visem à redução do consumo de água potável; buscar fontes alternativas capazes de complementar o abastecimento sem aumentar a retirada de recursos naturais do meio ambiente. O modelo linear de consumo deve, gradativamente, ser substituído, pois gera um expressivo desperdício tanto no âmbito de insumos, como no âmbito energético (considerando todo o sistema indireto envolvido no transporte, tratamento de resíduos e destinação final).

Daí, a necessidade premente de promover ações baseadas nos princípios de ecologia industrial e da circularidade, que potencializam a eficiência dos processos e minimizam os impactos ambientais. O reúso da água é um exemplo prático dessas ações que reduzem a demanda por recursos naturais e energia sem afetar, necessariamente, a oferta e a qualidade da prestação dos serviços.

A transição de sistemas centralizados de tratamento de esgotos sanitários para os sistemas descentralizados voltados para a produção de água de reúso e recuperação de recursos como energia e nutrientes pode se constituir em oportunidade de melhoria ambiental e social, uma vez que se propicia a recuperação de grandes volumes de água, energia e nutrientes. Essa oportunidade é potencializada com o crescente número de bairros planejados, conjuntos habitacionais horizontais e verticais com elevada densidade habitacional, favorecendo a implantação de sistemas descentralizados (SANTOS, 2018).

Prevendo o enfretamento desses desafios, já no ano de 1973, a Organização Mundial de Saúde (OMS) lançou a classificação dos tipos de reúso de água de acordo com seus usos e finalidades (WHO, 1973). Considerando o cenário nacional, o reúso não potável direto é a principal ferramenta do planejamento sustentável para alcance de um consumo consciente. Entre os tipos de reúso não potável direto, destacam-se a reutilização da água para irrigação, sistemas de águas industriais, lavagem de pisos, carros e descargas em bacias sanitárias.

O processo físico-químico de tratamento de efluentes tem sido também bastante difundido entre as tecnologias para a produção de água de reúso, principalmente, por meio da associação dos processos de coagulação, floculação, sedimentação, filtração e oxidação química. Geralmente, estações de tratamento de águas cinza (ETAC) que aplicam processos físico-químicos tendem a ser mais compactas; são sujeitas à automação, porém exigem um estreito acompanhamento operacional; consomem produtos químicos e produzem lodo do processo (GONÇALVES *et al.*, 2019). Como grande vantagem, pesquisadores apontam que o processo físico-químico é capaz de alcançar um desempenho mais estável em situações de variações de vazão em períodos curtos de tempo (MERGULHÃO *et al.*, 2011).

Apesar de todos os benefícios, a abrangência e disseminação da prática do reúso da água no Brasil ainda passa por algumas barreiras de aceitação social. Dentre os potenciais obstáculos ao reúso, podem ser citados: custos, ausência de regulação, escassez de pessoal qualificado para desenvolvimento de projetos e operação e aceitação da água de reúso pela população (KUBLER *et al.*, 2015).



Portanto, buscando contribuir para suplantar esses desafios, este estudo buscou avaliar o desempenho operacional de uma ETAC descentralizada e constituída pela associação de processos físico-químicos. A ETAC está instalada em um condomínio residencial vertical na cidade de Salvador, Bahia, visando à produção de água de reúso não potável para abastecimento de descargas sanitárias.

Desta forma, espera-se que a tecnologia de tratamento de água cinza por processos físico-químicos atenda aos requisitos normativos da NBR 16.783/2019 para produção de água de reúso em edificações (ABNT, 2019), apresentando ainda ganho ambiental e atratividade econômica.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Avaliar o desempenho operacional de uma ETAC composta de processos físico-químicos visando produzir água de reúso para abastecimento de bacias sanitárias.

### **2.2 Objetivos específicos**

Avaliar a confiabilidade operacional da ETAC visando à produção de água de reúso em conformidade com a NBR 16.783/2019.

Caracterizar de forma preliminar o lodo gerado no processo de tratamento.

Avaliar a viabilidade econômico-financeira da iniciativa.

### 3 MARCO TEÓRICO

#### 3.1 Sistemas descentralizados de tratamento de esgotos

No contexto atual de saneamento, há uma priorização do modelo centralizado nas estações de tratamento de água e efluente pelas concessionárias de tratamento de esgoto e órgãos de saneamento. Segundo Santos (2018), o modelo centralizado teve considerável importância histórica na mitigação dos problemas relacionados à saúde pública, enfrentados no século XX.

O sistema centralizado de tratamento de esgotos sanitários é concebido a partir da captação dos efluentes por meio de uma rede extensa de coleta, recalque em elevatórias e tratamento em uma estação que, posteriormente, destinará todo o efluente tratado para um corpo hídrico. Trata-se, portanto, de um modelo linear e assim, pode-se apontar as desvantagens do sistema centralizado que consistem em um alto nível de intervenção na infraestrutura urbana, alto custo de implantação e operação, alto consumo energético e baixo potencial de reciclagem de nutrientes e energia (GONÇALVES, 2009).

No Brasil, a implantação dos sistemas descentralizados de tratamento de esgotos sanitários está associada às localidades em que não há cobertura da rede pública de coleta dos esgotos, representado por regiões mais isoladas dos centros urbanos. São sistemas que habitualmente possuem custos de implantação e operação reduzidos, dispendo de técnicas mais simples de tratamento. Nesse arranjo, o tratamento é realizado no próprio local da comunidade servida, com a direta disposição do efluente tratado (KATO *et al.*, 2019). Segundo Bajpai *et al.* (2019), geralmente, os sistemas descentralizados optam pelo escoamento gravitacional do efluente ao invés do uso de elevatórias, o que acarreta uma menor demanda energética e redução do custo.

No passado, a implantação dos sistemas descentralizados de tratamento de esgotos sanitários implantados com arranjo tecnológico como lagoas de estabilização, tanques sépticos e filtros anaeróbios foi, erroneamente, associada a um desempenho insatisfatório, porém, o que observa-se era a inadequação operacional e falta de manutenção do sistema (KATO *et al.*, 2019). No Brasil, uma outra barreira a ser

vencida é a necessidade de formação de pessoas qualificadas para trabalhar na área, em virtude do aumento da quantidade de estações de tratamento.

Entretanto, os sistemas de tratamento descentralizados têm recebido cada vez mais atenção por parte de pesquisadores mundiais. Houve um avanço considerável nas técnicas e tecnologias de tratamento aplicadas, de modo que estações compactas que associam processos anaeróbios e aeróbios apresentam boa relação entre compactidade e eficiência (OLIVEIRA, 2013).

O tratamento descentralizado dos esgotos sanitários pode permitir o reúso da água em um nível microrregional, reduzindo consideravelmente toda estrutura necessária para o transporte até as unidades de tratamento e, dessas, até pontos de disposição final. Ademais, o sistema descentralizado estende as possibilidades de aproveitamento dos recursos presentes nos esgotos sanitários pelo fato de estar alocado em menores agrupamentos populacionais com hábitos e interesses comuns. Assim, o reúso não potável da água se torna uma possibilidade atrativa. Com adaptações tecnológicas relativamente simples nas estações de tratamento, pode-se produzir um efluente adequado para determinados fins não potáveis, mais próximo das fontes geradoras, a um custo energético consideravelmente menor (GONÇALVES, 2009).

Os sistemas descentralizados podem ser classificados de acordo com os critérios mostrados no Quadro 3.1.

Quadro 3.1 - Classificação dos sistemas descentralizados

<b>Classificação</b>	<b>Descrição</b>
Individual	Os sistemas podem variar dentre os convencionais, desde um sistema composto por uma fossa séptica e sumidouro, a um sistema composto por uma fossa séptica, uma unidade de tratamento e um sumidouro.
Grupo	Grupo de 4 a 12 casas que se unem na melhoria da gestão das águas residuárias e implantação de uma ETE.
ETE em unidades habitacionais isoladas	Destinadas a tratar os esgotos gerados por conjuntos habitacionais isolados.
Comerciais, residenciais, institucionais e recreativas	Destinadas a realizar o tratamento dos esgotos gerados por unidades comerciais, apartamentos, unidades de ensino, parques etc.
Satélites	ETE descentralizadas integradas a sistemas centralizados. O reúso do esgoto tratado é feito localmente e os sólidos produzidos são encaminhados para a ETE centralizada.

Fonte: adaptado de Tchobanoglous (2002).

No Quadro 3.2 apresentam-se atrativos e limitações de ETE descentralizadas, conforme levantamento realizado por Santos (2018).

Quadro 3.2 - Atratividades e limitações das ETE descentralizadas

Atratividades	Limitações
<ul style="list-style-type: none"> <li>• São pequenas, robustas, fáceis de operar, não necessitam de mão-de-obra especializada e apresentam tamanho total da rede de coleta muito menor que os sistemas centralizados;</li> <li>• Quando bem gerenciadas, possibilitam obter uma qualidade de tratamento do esgoto similar à das plantas centralizadas, com menor custo;</li> <li>• Favorecem o reúso da água tratada e, conseqüentemente, o seu retorno para a bacia de origem, a depender do tipo da comunidade, das alternativas técnicas e das características locais;</li> <li>• Não requerem um alto investimento para serem instaladas, principalmente em locais mais isolados, pois não há a necessidade de construir uma rede de coleta de esgoto;</li> <li>• Em eventos de falha, com conseqüente extravasamento de esgoto bruto para o meio ambiente, as conseqüências são menores do que nas ETE centralizadas;</li> <li>• Permitem a implementação de inovações tecnológicas, já que o custo de investimento geralmente é menor do que nas ETE centralizadas;</li> <li>• Apresentam menor vulnerabilidade a eventos acidentais extremos, a exemplo de desastres naturais, quedas de energia, além de atividades terroristas;</li> <li>• Facilitam o emprego da segregação da urina na fonte, o que leva a reduzir a dispersão de micropoluentes no ambiente, além de permitir a recuperação de nutrientes;</li> <li>• Podem ser implantadas em módulos, o que possibilita a sua expansão futura, em caso de necessidade de aumento da capacidade de tratamento;</li> <li>• Frente ao atual desenvolvimento de tecnologias confiáveis de monitoramento remoto e automação, é possível operar as ETE descentralizadas à distância.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Com frequência, são observadas inadequações no projeto e construção das ETE descentralizadas, em função da ausência de normas específicas. Por esse motivo, é comum observar falhas na operação dessas estruturas;</li> <li>• Não recebem a devida atenção técnica durante a operação;</li> <li>• O custo operacional de várias estações descentralizadas pode ser mais elevado do que o custo operacional de uma grande ETE centralizada;</li> <li>• Fatores subjetivos, a exemplo da estética e da produção de odor, podem implicar a rejeição da instalação dessas estruturas, pela população;</li> <li>• A efetividade das ETE descentralizadas envolve a aplicação de um programa de gerenciamento adequado, com inspeção e manutenção regulares.</li> </ul>

Fonte: Adaptado de Santos (2018).

### **3.2 Oportunidades na segregação das águas residuárias em edificações e o tratamento descentralizado**

Ao se construir uma edificação no Brasil, a única recomendação normativa, segundo as regulamentações vigentes sobre a segregação das águas residuárias, é a obrigatoriedade da separação das águas pluviais e do esgoto doméstico (ABNT, 1999). Por outro lado, algumas iniciativas visam estimular a adoção de práticas mais sustentáveis em edificações, a exemplo da certificação Leed concedida pela organização não governamental *United States Green Building Council* (USGBC) e do programa IPTU VERDE da Prefeitura da Cidade de Salvador, Bahia. Ambas as iniciativas apontam a segregação de correntes de esgotos sanitários e produção de água de reúso como uma ação promotora de sustentabilidade (DANTAS, 2014).

Segundo Gonçalves (2006), os métodos de gerenciamento e conservação das águas nas edificações encontram-se em constante revisão, tendo como principal meta a redução do consumo de água potável e da produção de águas residuárias. A segregação das águas residuárias na escala residencial viabiliza o melhor manejo de água e resíduos urbanos. Adicionalmente, potencializa a eficiência da reciclagem da água e dos nutrientes, proporcionando, concomitantemente, a redução do consumo de energia em atividades de saneamento básico (OTTERPOHL, 2001).

As correntes que compõem os esgotos sanitários são as águas cinza, águas negras e águas amarelas. As águas cinza são provenientes dos lavatórios, chuveiros, máquina de lavar, banheiras e pia de cozinhas (JEFFERSON, 2000). Uma classificação complementar cria uma subdivisão das águas cinza como efluente cinza claro, é a que não incluem em sua composição as águas residuárias provenientes de pias de cozinha, por isso a coloração mais clara e efluente cinza escuro que inclui a água proveniente de pias da cozinha e máquinas de lavar louça. São denominadas águas amarelas, as águas residuárias geradas em mictórios ou em vasos sanitários com compartimentos separadores para coleta de urina. As águas marrons correspondem ao efluente gerado em vaso sanitário equipado com dispositivo para segregação de urina e fezes e são aquelas oriundas da condução das fezes humanas. A junção das águas marrons e amarelas origina as águas negras (SANTOS *et al.*, 2018).

### 3.3 Padrões para reúso de água não potável

A primeira norma brasileira a classificar e regulamentar padrões de qualidade para as águas de reúso foi a NBR 13.969/97 (ABNT, 1997). Nesse documento são classificadas quatro categorias de reúso, iniciando na classe 1 (com maior grau restritivo perante a qualidade do esgoto tratado) até a classe 4 (com menor grau restritivo, reúso menos exigente). A Tabela 3.1 mostra os valores dos parâmetros recomendados pela NBR 13.969/97 conforme classificação.

Tabela 3.1 - Padrões de qualidade recomendados pela NBR 13.969/97

PARÂMETRO	CLASSE 1	CLASSE 2	CLASSE 3	CLASSE 4
Turbidez	< 5 NTU	< 5 NTU	< 10 NTU	N.A.
Coliformes fecais	< 200 NMP/100mL	< 500 NMP/100mL	< 500 NMP/100mL	<5000 NMP/100mL
Sólidos suspensos totais (SST)	< 200 mg/L	N.A.	N.A.	N.A.
pH	6,0 – 8,0	N.A.	N.A.	N.A.
Cloro residual livre	0,5 - 1,5 mg/L	> 0,5 mg/L	N.A.	N.A.
Oxigênio dissolvido	N.A.	N.A.	N.A.	> 2,0 mg/L

NOTA: N.A. – não aplicável.

Fonte: o autor, adaptado de ABNT (1997).

A redação da NBR 13.969/97 recomenda uma qualidade da água de reúso no padrão Classe 3 para utilização nas descargas dos vasos sanitários. A mesma norma técnica sugere que a água proveniente do enxague da máquina de lavar normalmente já satisfaz o padrão exigido, bastando apenas uma aplicação de cloro. Para outras fontes alternativas, segundo a NBR 13.969/97, o tratamento aeróbio seguido de filtração e desinfecção atenderia aos padrões de qualidade final do esgoto tratado (ABNT, 1997).

Por meio da publicação da norma NBR 16.783/19 (ABNT, 2019), a ABNT propõe que não haja diferentes classificações para águas de reúso. A norma propôs a unificação do conceito alinhado com a literatura técnica e científica, definindo, então, um padrão geral de classificação para água de reúso não potável. Dentre as possibilidades de fontes alternativas de água de reúso não potável, a norma destaca as águas cinza e negra. Por fim, como um potencial uso das fontes alternativas não potáveis em edificações, a norma prevê a aplicação em descargas de bacias sanitárias (ABNT, 2019). A Tabela 3.2 compara os padrões exigidos pela NBR 16.783/19 com as recomendações internacionais dos padrões de uso das fontes alternativas de água não potável.

Tabela 3.2 – Comparativos dos padrões de qualidade para uso alternativo de fontes não potáveis em diferentes países

PARÂMETROS	BRASIL (NBR 16.783/19)	ESTADOS UNIDOS DA AMERICA (EUA) <i>toilet flushing</i> (USEPA, 2012)	CHINA <i>toilet flushing</i> (LYU <i>et al.</i> , 2016)
pH	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0
Escherichia coli	≤ 200 NMP/100mL	≤ 100 NMP/100mL	-
Coliformes fecais	-	Ausente	≤ 200 NMP/100mL
Turbidez	≤ 5 NTU	≤ 5 NTU	≤ 5 NTU
DBO <sub>5,20</sub>	≤ 20 mgO <sub>2</sub> /L	≤ 10 mgO <sub>2</sub> /L	≤ 10 mgO <sub>2</sub> /L
CRL (cloro residual livre)	0,5 a 5,0 mg/L	≥ 1,0 mg/L	≥ 1,0 mg/L
Sólidos dissolvidos totais (SDT)	≤ 2.000 mg/L	-	≤ 1.500 mg/L
Condutividade elétrica	≤ 3.200 μS/cm	-	-
Carbono orgânico total (COT)	< 4 mg/L	-	-
<i>*somente para água de rebaixamento de lençol</i>			

Fonte: adaptado de ABNT (2019), USEPA (2012) e LYU *et al.* (2016).

### 3.4 Águas cinza como fonte de água de reúso não potável

Segundo Eriksson (2002), as águas cinza, geradas a partir das tubulações de esgoto de lavatórios, chuveiros, máquina de lavar e pia de cozinha, representam cerca de 50% a 80% do consumo total de água numa unidade residencial, sendo uma fonte alternativa de água para consumo predial, se destacando por sua disponibilidade e baixa concentração de poluentes.

Segundo Fracasso (2017), o consumo de água em uma residência para descarga em bacias sanitárias pode chegar a 41% do consumo total. Desta forma, utilizar água de reúso para carregamento hídrico das excretas é uma medida que reduz a necessidade de oferta d'água e não expõe de forma significativa os usuários ao risco.

Dentre as tecnologias para o tratamento das águas cinza para produção de água de reúso não potável direto, o processo biológico é o mais empregado incluindo as tecnologias de filtro anaeróbio, reator anaeróbio, reator sequencial em batelada (SBR), reator de manta de lodo anaeróbio de fluxo ascendente (UASB), biorreator com membrana (MBR), filtro biológico aerado de leito submerso (FBAS) e “wetlands” construídos (SARGNALIA, 2014). Segundo Jefferson *et al.* (2000), são sistemas que, geralmente, requerem pouca demanda operacional, entretanto, a elevada relação de



DQO/DBO<sub>5</sub> e a baixa concentração de nutrientes podem limitar a aplicação do processo biológico.

A NBR 16.783/19 propôs que a expressão “águas cinza” seja aplicada considerando a subdivisão em duas subcategorias: as águas cinza claras – águas servidas proveniente de chuveiros, banheiras, lavatórios, tanques e máquinas de lavar roupa; e as águas cinza escuras – águas servidas proveniente de pia de cozinha e máquina de lavar louça considerada isoladamente ou somada à água cinza clara (ABNT, 2019).

Qualitativamente, as águas cinza claras apresentam concentrações inferiores de poluentes físico-químicos e microbiológicos menores que as águas cinza escuras. Ressalta-se que as características qualitativas das águas cinza variam conforme padrões e hábitos das populações, fontes primárias de água potável e produtos químicos utilizados em procedimentos de limpeza (ERIKSSON, 2002). O

Quadro 3.3 apresenta os prováveis constituintes das águas cinza de fontes domésticas.

Quadro 3.3 - Prováveis constituintes de água cinza de fontes domésticas

<b>FONTE DE ÁGUAS CINZA</b>	<b>POSSÍVEIS CONTAMINATES</b>
Máquina de lavar	Sólidos suspensos (sujeira, fiapos), material orgânico, óleo e graxa, sódio, nitratos e fosfatos (de sabão e detergente), aumento da salinidade e pH, alvejante químico
Máquina de lavar louça	material orgânico e sólidos suspensos (proveniente de alimentos), bactérias, aumento da salinidade e pH, gordura, óleos e graxas, surfactantes
Banheira e chuveiro	Bactérias, cabelos, materiais orgânicos e sólidos suspensos (pele, partículas, fiapos), material de higiene pessoal
Lavatórios e pias (incluindo da cozinha)	Bactérias, matéria orgânica e sólidos suspensos (partículas de alimentos), óleos e graxas, surfactantes

Fonte: adaptado de WHO (2006).

O projeto de pesquisa financiado pela Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) concluído no ano de 2018, denominado: “Rede Nacional de Tratamento Descentralizados de Esgotos (RENTED) avaliou valores típicos dos parâmetros de qualidade das águas cinza claras e escuras. Os resultados estão expressos na Tabela 3.3.

Tabela 3.3 – Comparação das características físico-químicas e microbiológicas de água cinza clara e água cinza completa com variações internacionais

PARÂMETRO	UNIDADE	ÁGUA CINZA	ÁGUA CINZA	HGW - heavy	LGW - light
		COMPLETA (valor típico)	CLARA (valor típico)	grey water (variação)	grey water (variação)
Cor	uH	100	100	-	-
Turbidez	NTU	200	70	19 – 444	12 – 375
Sólidos em suspensão (SST)	mg/L	150	100	12 – 315	29 – 505
DBO	mg O <sub>2</sub> /L	350	150	48 – 477	23 – 300
DQO	mg O <sub>2</sub> /L	600	300	245 – 1004	148 – 399
NT	mg/L	10	10	2,75 – 57,5	5 – 16,4
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> - N	mg/L	5	5	0,1 – 75	0,1 – 15
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> - N	mg/L	< 1	< 1	-	-
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> - N	mg/L	< 1	< 1	0,1 – 25,8	0,05 – 28,7
Fósforo total	mg/L	10	10	0,062 – 42	0,11 – 1,8
Sulfato	mg/L	150	100	-	-
Sulfeto	mg/L	1	5	-	-
pH	-	7,0	7,5	6,35 – 10	6,4 – 8,1
Alcalinidade	mgCaCO <sub>3</sub> /L	130	120	-	-
Dureza	mgCaCO <sub>3</sub> /L	30	20	-	-
Cloreto	mg/L	40	30	-	-
Coliforme total	NMP/100mL	10 <sup>5</sup>	10 <sup>4</sup>	2,3x10 <sup>3</sup> - 1x10 <sup>7</sup>	10 – 2,4x10 <sup>7</sup>
Coliformes termotolerantes	NMP/100mL	10 <sup>4</sup>	10 <sup>3</sup>	-	-
<i>E. Coli</i>	NMP/100mL	10 <sup>4</sup>	10 <sup>4</sup>	4x10 <sup>3</sup> - 5,4x10 <sup>6</sup>	5,1x10 <sup>3</sup> - 4,76x10 <sup>5</sup>

Fonte: adaptado de Souza *et al.* (2019).

Souza *et al.* (2019) concluíram que devido às altas concentrações de sulfato nas águas cinza proveniente do uso de sabões e detergentes, favorecido pelo ambiente redutor das condições gerais de armazenamento, há um aumento gradual dos teores de sulfeto conforme ocorre a redução do sulfato por ação de bactérias anaeróbias. Esse aspecto deve ser cuidadosamente observado, pois o sulfeto de hidrogênio é responsável pela liberação de maus odores, fato que pode dificultar a implantação de sistemas de tratamento de águas cinza em edificações prediais.

Na Tabela 3.4 se pode observar os valores das médias diárias per capita da produção das correntes segregadas em uma residência localizada na cidade de Campo Grande, Mato Grosso do Sul, Brasil.

Tabela 3.4 - Produção per capita de correntes segregadas geradas em uma residência na cidade de Campo Grande - MS

<b>APARELHOS SANITÁRIOS</b>	<b>PRODUÇÃO PER CAPITA (L/hab.dia)</b>	<b>COMPOSIÇÃO DO EFLUENTE (%)</b>
<b>Águas Cinza Escura</b>	<b>151,9</b>	<b>72,98</b>
- Pia da cozinha	66,7	32,03
- Águas Cinza Clara	85,2	40,95
- Chuveiro	23,1	11,09
- Lavatório	24,6	11,79
- Máquina de lavar	7,6	3,65
- Tanque	30,0	14,41
<b>Águas Negras</b>	<b>56,3</b>	<b>27,02</b>
- Bacia Sanitária	56,3	27,02
<b>Total de Efluentes</b>	<b>208,2</b>	<b>100,0</b>

Fonte: QUEIROZ *et al.* (2019).

Os resultados mostram que as águas cinza claras representam 40,95% da produção total de efluentes, e que as bacias sanitárias consomem 27,02% do volume total. Portanto, apenas com o reaproveitamento das águas cinza que possuem menor teor de poluentes e baixa complexidade de tratamento possibilitaria o atendimento na totalidade à demanda de água pelas bacias sanitárias (QUEIROZ *et al.* 2019).

Um guia publicado pela USEPA (2012) define e apresenta as diretrizes sobre as oportunidades de reúso nos estados americanos, salientando que cada estado segue suas próprias diretrizes. Entre as oportunidades de reúso, destacam-se:

- Reutilização urbana – irrestrita: irrigação paisagística; sistemas de combate a incêndio; utilização em descargas sanitárias; lavagens de carro; geralmente, são iniciativas de reutilização feitas por iniciativa privada, sem intervenção do poder público, em atividades de zona urbana;
- Reutilização urbana – restrita: reutilização gerida a partir do setor público geralmente aplicada em irrigação;
- Reutilização agrícola - culturas alimentares;
- Reutilização agrícola - alimentos processados e culturas não alimentares;

- Represas - recreativas e paisagísticas;
- Reutilização ambiental: suplementação de riachos e rios, apoio em zonas úmidas (wetlands);
- Reutilização industrial: torres de resfriamento; abastecimento para água de caldeira; recuperação de água a partir da produção de petróleo e gás natural.
- Recarga de água subterrânea – reúso não potável
- Reutilização potável: indireta (descarte em corpo hídrico para posterior utilização); direta (utilização direta após da saída do tratamento de efluente, sem descarte em corpo hídrico). Ressalta-se que esta é uma oportunidade, mas que precisam ser desenvolvidas regulamentações e técnicas avançadas de tratamento.

No Brasil, a NBR 16.783/19 prevê a utilização da água de reúso produzida a partir do tratamento de águas cinza para fins não potáveis para as seguintes finalidades:

- Descarga de bacias sanitárias e mictórios, independentemente do sistema de acionamento;
- Lavagem de logradouros, pátios, garagens e áreas externas;
- Lavagem de veículos;
- Irrigação para fins paisagísticos;
- Uso ornamental (fontes, chafarizes e lagos);
- Sistemas de resfriamento de água;
- Arrefecimento de telhados;
- Outros fins não potáveis, desde que sejam estudados pelo profissional responsável pelo sistema os parâmetros de qualidade específicos necessários.

### **3.5 Tratamento físico-químico de águas cinza**

O tratamento físico-químico para reúso das águas cinza é uma prática já aplicada no cenário nacional. Há um número expressivo de empresas que comercializam sistemas pré-fabricados e prontos para uso com a associação de processos físico-químicos como coagulação, floculação, decantação, filtração e oxidação química. Entretanto, poucos são os registros em trabalhos acadêmicos que avaliam a eficiência e o desempenho operacional no atendimento às recomendações normativas desses sistemas quando aplicados exclusivamente, ou seja, sem associação com processos biológicos de tratamento.

Quanto aos arranjos tecnológicos aplicados ao tratamento de águas cinza, Gonçalves *et al.* (2019) afirmam que, ao se tratar exclusivamente dos processos físicos de tratamento, os resultados, em geral, são insatisfatórios no enquadramento aos padrões de qualidade, com ressalva apenas aos tratamentos com a filtração pressurizada com membranas como microfiltração, ultrafiltração e osmose inversa (MF, NF e OR).

A Tabela 3.5 foi elaborada associando o desempenho de processos físico-químicos aplicados a diferentes metodologias de tratamento de águas cinza com foco principal na etapa de coagulação.

Tabela 3.5 - Desempenho de processos físico-químicos com utilização da etapa de coagulação para tratamento das águas cinza

PROCESSOS	DESCRIÇÃO	TURBIDEZ	SÓLIDOS SSUSPENSOS	DBO	DQO	ESCHERICHIA COLI	COLIFORME	CUSTO	REFERÊNCIA	PAÍS
Coagulação	Sulfato de alumínio	91%	83%	-	73%	-	-	-	VINITHA <i>et al.</i> , 2017	Índia
	Cloreto de polialumínio (PAC)	93%	89%	-	74%	-	-	-		
Filtro de areia	Filtração em 02 estágios	95%	84%	74%	-	-	>99%	532 US\$ /MLD	GHAITIDAK, 2016	Índia
Coagulação	Sulfato de alumínio	99%	94%	88%	-	-	>99%	9.249 US\$ /MLD		
	PAC	99%	96%	93%	-	-	>99%	9.897 US\$ /MLD		
	Cloreto férrico	97%	92%	86%	-	-	>99%	3.703 US\$ /MLD		
Coagulação	Sulfato de alumínio	96%	-	50%	32%	-	-	1,02 US\$ /m3	ALHARBI <i>et al.</i> , 2019	Arábia Saudita
Coagulação + Carvão Ativado	Coagulação + adsorção por carvão ativado	-	-	57%	71%	-	-			
Eletrocoagulação + ozônio		92%	-	89%	85%	> 99%	>99%	1,9 US\$ /m3	BARZEGAR <i>et al.</i> , 2019	Iran
Eletrocoagulação + ozônio + UV		91%	-	89%	95%	> 99%	>99%	4,03 US\$ /m3		
Coagulação + polímero catiônico	Cloreto férrico	92%	88%	-	66%	-	-	-	HASHIM, JAEEL, 2019	Iraque
	Cloreto férrico + polieletrólito catiônico	98%	91%	65%	65%	-	-	-		
Coagulação + filtro de areia	PAC	86%	74%	-	66%	-	>95%	-	SINGH <i>et al.</i> , 2021	Índia
	PAC + filtro de areia (0,4 mm a 0,8 mm)	95%	-	81%	83%	-	>99%	-		
	PAC + filtro de areia (0,8 mm a 1,18 mm)	94%	-	76%	80%	-	>99%	-		

Fonte: o autor (2023).

Noutsopoulos *et al.* (2015) compararam os resultados do tratamento de água cinza com a inclusão da etapa de coagulação em um arranjo contemplando a sedimentação, a filtração sequencial em leito de areia e carvão ativado. O sistema com a etapa precedente de coagulação demonstrou ter maior eficiência na remoção de turbidez, sólidos suspensos, demanda química de oxigênio (DQO) total, DQO solúvel e surfactantes aniônicos (LAS). Os resultados estão expressos na Tabela 3.6.

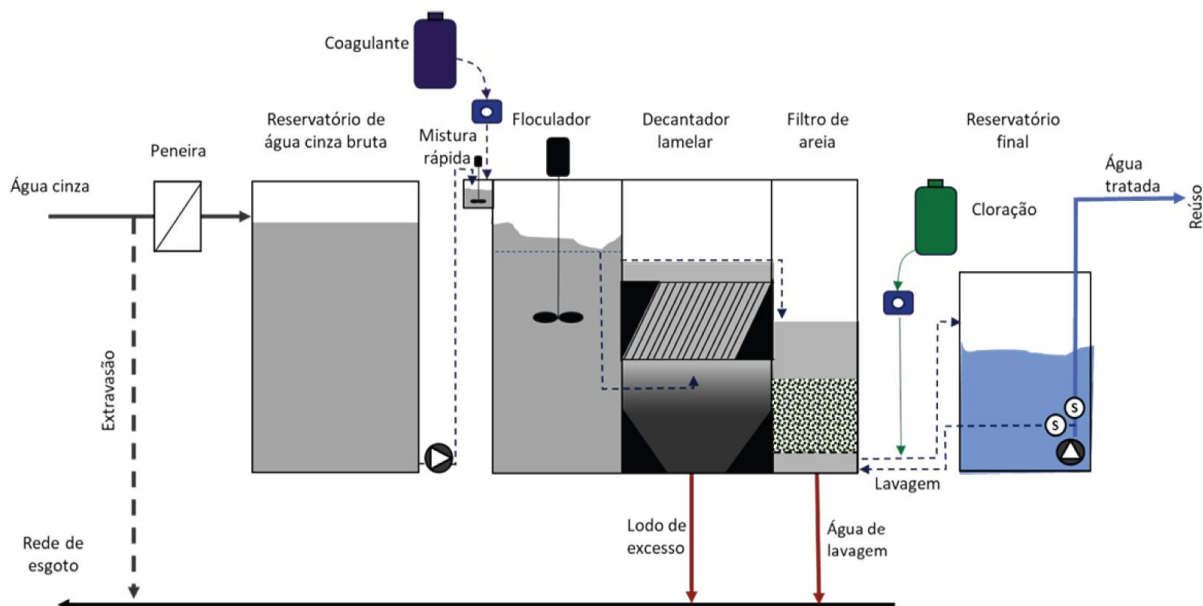
Tabela 3.6 - Comparação dos valores remanescentes a partir inclusão da etapa de coagulação química no tratamento de águas cinza

PARÂMETRO AVALIADO	SISTEMA 01	SISTEMA 02
	<i>Sem coagulação</i>	<i>Com coagulação</i>
Turbidez (NTU)	10,4	1,4
Sólidos suspensos (mg/L)	12,4	2,4
DQO total (mg O <sub>2</sub> /L)	29,7	8,1
DQO solúvel (mg O <sub>2</sub> /L)	12,5	7,5
LAS - <i>surfactante aniônico</i> (mg/L)	1,9	1,0

Fonte: adaptado de Noutsopoulos *et al.* (2015).

Gonçalves *et al.* (2019), apontam que a opção talvez mais utilizada para a produção de água de reúso a partir de águas cinza por procedimento físico-químico é o arranjo clássico usado no tratamento de águas de abastecimento: coagulação + floculação + decantação + filtração em leito de areia + desinfecção com aplicação de cloro. Os autores citam como principais vantagens do processo: a compactidade, a divisão modular e a redução do consumo de energia. Em contrapartida, o sistema não remove eficientemente matéria orgânica solúvel, consome produtos químicos e produz quantidades expressivas de lodo químico, além de requerer eficiente controle automatizado. A Figura 3.1 ilustra um arranjo típico de estações físico-químicas para produção de água de reúso a partir do tratamento de águas cinza.

Figura 3.1 - Configuração de ETAC por arranjo de coagulação + floculação + decantação + filtração em areia + desinfecção com cloro



Fonte: GONÇALVES (2019).

Cintra (2019) empregou a tecnologia de flotação por ar difuso (FAD) em escala laboratorial para produção de água reúso para descargas em bacias sanitárias a partir do tratamento de águas cinza claras. A aplicação da técnica de tratamento por FAD demonstrou o atendimento aos padrões de reúso para os parâmetros sólidos suspensos (turbidez e SST) e matéria orgânica (DBO e DQO). Com relação a micro-organismos patogênicos, o efluente tratado por FAD não atendeu às legislações mais restritivas (a exemplo da legislação dos EUA e da Austrália), necessitando de uma etapa posterior para redução dos patógenos.

O estudo de Costa (2020) apontou que o volume de armazenamento dos reservatórios era um ponto crítico de projeto. Segundo o autor, essas unidades deveriam ter sua capacidade reduzida em 10 vezes para atendimento à condição ótima, uma vez que, quando armazenada por longos períodos, as condições visuais e organolépticas como o odor prejudicam o aproveitamento de águas cinza. O ambiente anaeróbico e redutor dos reservatórios favorecem a presença de sulfeto de hidrogênio exalando um odor desagradável na água de reúso mesmo para o consumo não potável.



### 3.6 Análise econômico-financeira aplicado a sistemas de reúso de águas cinza

Um ponto decisivo na tomada de decisão de projetos de investimento no longo prazo é a viabilidade econômico-financeira. Os métodos utilizados para essa avaliação, geralmente, obtêm o retorno financeiro considerando o investimento inicial e os custos operacionais ao longo do projeto. Por outro lado, espera-se que o projeto gere uma economia superior aos custos operacionais de modo a remunerar, no longo prazo, os custos de implantação (PAULO *et al.*, 2019).

Um dos métodos aplicados para avaliação da viabilidade econômico-financeira é o valor presente líquido (VPL). O princípio do método consiste no cálculo da soma algébrica dos valores corrigidos do fluxo de caixa do investimento (entradas e saídas) a partir da taxa de atratividade (GITMAN, 2002). Caso o resultado seja maior que zero, o investimento é viável. Caso seja inferior a zero, o investimento não é economicamente atrativo. Caso seja igual a zero, indica que os retornos são similares aos investimentos comparados sendo indiferentes do ponto de vista financeiro.

Outro método frequentemente aplicado é o cálculo da taxa interna de retorno que considera que todos os fluxos intermediários de caixa são reinvestidos ao próprio capital inicial. Como critério de decisão, deve ser comparado a TIR com a taxa mínima de atratividade, caso a TIR seja superior, o investimento é viável, caso seja inferior, o investimento não é economicamente interessante. (GITMAN, 2002)

Existem uma variedade de métodos que possam avaliar a viabilidade em sistemas voltados para captação de recursos financeiros associados à sustentabilidade ambiental, inclusive métodos mais complexos que consideram o custo com impactos ambientais (PAULO *et al.*, 2019).

Sostar-Turk *et al.* (2005) aplicaram a coagulação na água de lavanderia seguida por filtração em camada de areia com pós adsorção em carvão ativado. O coagulante utilizado foi o sulfato de alumínio. A capacidade do sistema analisado foi de 200 m<sup>3</sup>/dia e apresentou custos totais de € 0,51 /m<sup>3</sup>.

Ciabattia *et al.* (2009) estudaram o arranjo tecnológico composto por coagulação, flotação por ar difuso, filtro de areia, adsorção em carvão ativado granular em uma

escala pré-industrial com alimentação de água residuárias de uma lavanderia a qual opera com vazão de 15 m<sup>3</sup>/h. Os custos operacionais do projeto foram de € 0.65 /m<sup>3</sup>.

Atanasova *et al.* (2017) analisaram a viabilidade técnica e econômica de um sistema de tratamento por MBR em escala piloto aplicado ao tratamento de águas cinza em um hotel com redes de coleta segregadas. Foram considerados para avaliação o custo de implantação (CAPEX), o custo de operação (OPEX) e o período de retorno do investimento. Considerando a previsão de reutilização de 30 m<sup>3</sup>/dia o projeto apresentou retorno do capital investido em até 3 anos com perspectiva de duração do projeto de 20 anos.

Couto *et al.* (2015) avaliaram um sistema de tratamento de água cinza usando filtro anaeróbio seguido de desinfecção UV implantado em um aeroporto no estado de Minas Gerais, Brasil. Devido à sua simplicidade operacional, Couto *et al.* (2015) consideraram que o sistema estudado é mais adequado para aeroportos de pequeno e médio porte. Para a vazão estudada (2,8 m<sup>3</sup>/dia) o sistema apresentou retorno do capital investido em até cinco anos.

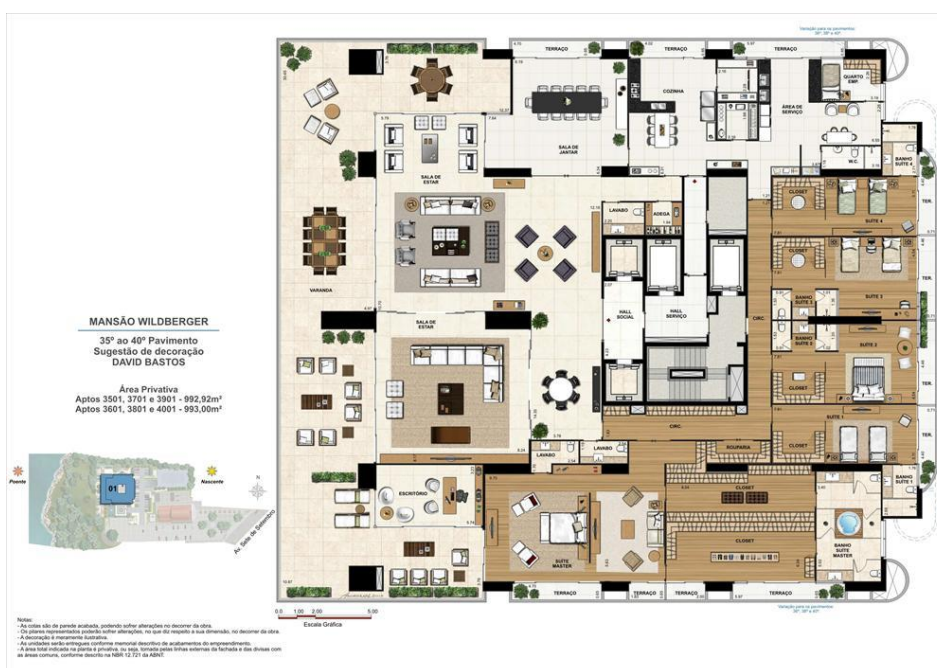
Alharbi *et al.* (2019) estudaram a aplicação de sulfato de alumínio com posterior adsorção em carvão ativado para produção de água de reúso a partir do tratamento das águas cinza oriundas da ação de ablução. O efluente final foi considerado apropriado para irrigação, descarga de vasos sanitários e utilização em sistemas de combate a incêndio. O custo estimado para o processo em grande escala foi de 1,02 US\$/m<sup>3</sup>.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Descrição do empreendimento habitacional

O empreendimento habitacional, no qual a ETAC está instalada e em operação desde o ano de 2019, é um condomínio de apartamentos de elevado padrão construtivo (coordenadas geográficas 12°59'46.1"S 38°31'42.3"W) localizado em uma zona valorizada da cidade de Salvador, Bahia, Brasil. A edificação conta com 74 apartamentos com 4 ou 5 suítes e área útil do imóvel varia desde 450 m<sup>2</sup> a 992 m<sup>2</sup>. A estrutura comum é equipada com área de lazer, incluindo quadra esportiva, SPA, academia, salão de jogos, piscina aquecida e irá dispor de uma estrutura de píer marítimo (fase de construção). A Figura 4.1 ilustra uma das opções de planta baixa sugeridas pela construtora do empreendimento.

Figura 4.1 - Opção de Planta Baixa do pavimento tipo (35º ao 40º pavimento)

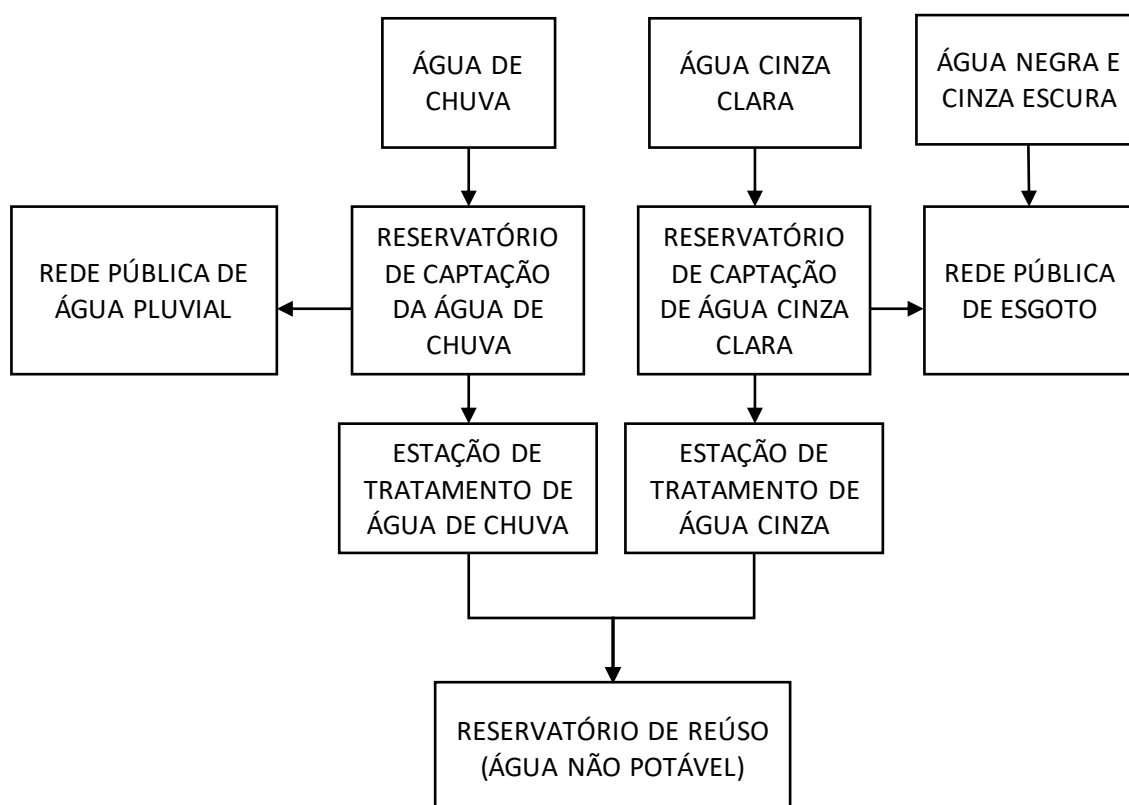


Fonte: sítio eletrônico da João Fortes Engenharia (2023).

O empreendimento foi concebido com alguns projetos de aproveitamento de recursos naturais como, por exemplo, a adoção de equipamentos para tratamento de águas cinza clara e produção de água de reúso e captação e aproveitamento de parte das águas pluviais.

A edificação possui coleta de algumas correntes de águas residuárias em redes segregadas. As águas cinza clara provenientes dos chuveiros, das máquinas de lavar roupas e dos lavatórios são captadas por uma tubulação independente e direcionadas para reservatório de captação com capacidade igual a 10 m<sup>3</sup>. Esse reservatório possui tubulação que visa extravasar o volume acima de 10 m<sup>3</sup> para a rede pública de coleta dos esgotos sanitários não segregados. A coleta das águas pluviais segue o mesmo princípio das águas cinza, entretanto, o volume excedente é descartado na rede pública de coleta de águas pluviais. A Figura 4.2 mostra o fluxograma do sistema de aproveitamento e descarte das águas residuárias do empreendimento.

Figura 4.2 - Fluxograma do sistema de aproveitamento e descarte das águas residuárias



Fonte: o autor (2023).

#### 4.2 Descrição da estação de tratamento de águas cinza

A estação de tratamento de águas cinza tem capacidade para tratar até 5,0 m<sup>3</sup>/h. O dimensionamento e fabricação foram elaborados pela empresa ALFAMEC® Ltda com sede na cidade de Ribeirão Pires, estado de São Paulo, Brasil. As etapas de tratamento podem ser correlacionadas com a metodologia convencional de tratamento

de água de ciclo completo, contendo sistema de dosagem de produtos químicos, coagulação, floculação, decantação, filtração em leito de areia e desinfecção com aplicação de oxidante químico ( $\text{NaClO}$ ). A Figura 4.3 mostra os equipamentos instalados no empreendimento objeto desse estudo.

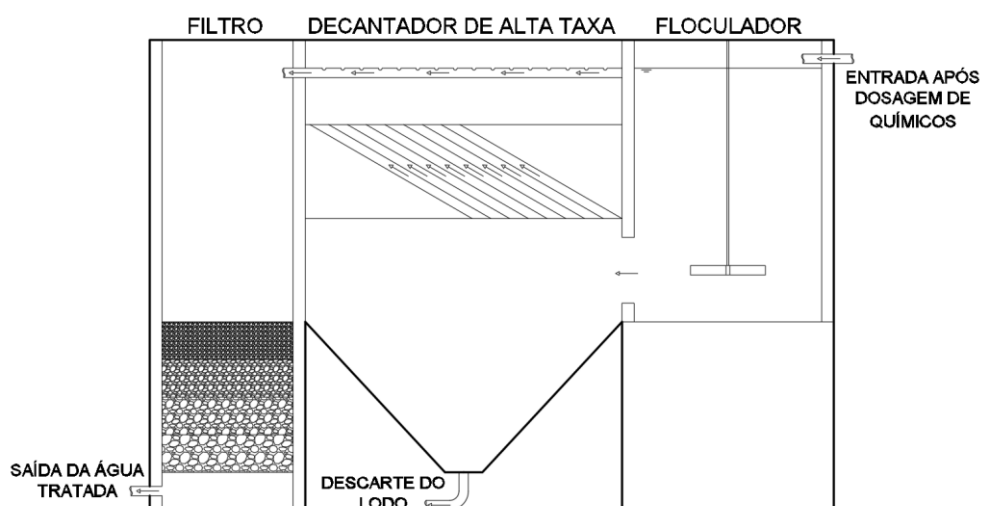
Figura 4.3 – ETA REÚSO 5,0 m<sup>3</sup>/h da marca ALFAMEC instalada no empreendimento.



Fonte: o autor (2023).

Já a Figura 4.4 mostra um esquema dos compartimentos internos do sistema de tratamento de águas cinza.

Figura 4.4 – Desenho esquemático da Estação de Tratamento de Água de Cinza (ETAC)



Fonte: o autor (2023).

#### **4.2.1 Caixa de entrada**

A caixa de entrada das águas cinza é um reservatório com volume igual a 10 m<sup>3</sup> dotado de extravasor. Na ETAC, trata-se somente o volume necessário para atendimento à demanda de água não potável para descarga nas bacias sanitárias.

#### **4.2.2 Sistema de dosagem de químicos**

Após a caixa de entrada, há o bombeamento do afluente para a ETAC. O sistema de dosagem de químicos do pré-tratamento é composto por três bombas dosadoras da Marca EMEC®, com capacidade de injeção máxima de 5 L/h, potência de 15 W. A primeira injeta alcalinizante (carbonato de sódio), a segunda; um coagulante (cloreto de polialumínio 18% – PAC) e a terceira; um auxiliar de floculação (polímero aniônico FX AE 33 da Fabricante FAXON®).

#### **4.2.3 Floculador**

Após a etapa de coagulação, o efluente é direcionado para uma câmara de floculação, equipada com um agitador mecânico de fluxo axial, com quatro paletas. A câmara de floculação tem 1,0 m de largura, 1,0 m de comprimento e 1,5 m de profundidade que resulta em um volume total de 1,5 m<sup>3</sup>. O motor é da marca WEG® com potência de 1/3 CV (0,25 kW), e opera submetido a 90 rpm. O gradiente de mistura é igual a 120 s<sup>-1</sup>.

#### **4.2.4 Decantador de alta taxa**

Em seguida, a água residuária floculada é direcionada para uma câmara de decantação de alta taxa com tubos retangulares inclinados. Após a passagem da água pelos elementos do decantador, é coletada por meio de um tubo perfurado (Figura 4.5) sendo direcionada à etapa seguinte de tratamento. Desconsiderando o volume destinado ao acúmulo e remoção de lodo, o decantador tem 1,0 m de largura, 1,5 m de comprimento e 1,5 m de profundidade, o que resulta em um volume total de 2,25 m<sup>3</sup>. O tempo de detenção de projeto é de 27 minutos e a taxa de aplicação superficial é de 80 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.d.

Figura 4.5 – Fotografia superior do decantador de alta taxa mostrando os elementos de decantação e o tubo de coleta de água decantada



Fonte: o autor (2023).

#### **4.2.5 Filtro de areia**

A água decantada é captada por meio de uma tubulação localizada na parte superior do decantador, sendo direcionada ao filtro de areia. No filtro, há um sensor de nível que aciona automaticamente o processo de retrolavagem quando a perda de carga limite é alcançada. A câmara do filtro possui as seguintes dimensões: 1,0 m de largura, 0,7 m de comprimento e 2,5 m de profundidade, com uma camada de 0,8 m de areia selecionada.

Para a retrolavagem do filtro é utilizada a água de reúso tratada impulsionada por uma bomba centrífuga instalada na parte inferior do filtro. Na parte superior há um tubo coletor que direciona a água de descarte da retrolavagem para a rede de esgotos sanitários. A frequência de retrolavagem é de uma ou duas vezes por semana.

#### **4.2.6 Desinfecção**

Após saída do filtro, uma quarta bomba dosadora atua injetando um oxidante químico que atuará como desinfetante da água de reúso (Hipoclorito de Sódio 12%).

#### **4.2.7 Tanque do sistema de recalque**

Após a desinfecção, a água de reúso é direcionada para um reservatório de 0,5 m<sup>3</sup>, onde respeita-se o tempo de contato igual a 30 minutos. A água de reúso é transferida para o reservatório inferior de água de reúso por meio de bombeamento.

#### **4.2.8 Reservatório inferior de água de reúso**

O reservatório de água de reúso possui capacidade de 10 m<sup>3</sup>, construído em plástico reforçado com fibra de vidro (PRFV), sua função é armazenar e abastecer por meio de bombeamento o reservatório de distribuição de água de reúso que está localizado na parte superior da edificação.

#### **4.2.9 Reservatório superior de água de reúso**

O reservatório superior de água de reúso é subdividido em duas câmaras com medidas de 3,0 m de profundidade, 3,8 m de comprimento e 2,0 m de largura, com volume total de 45,6 m<sup>3</sup> (22,8 m<sup>3</sup> cada câmara), construído em concreto estrutural. A função dessa unidade é armazenar e distribuir a água de reúso para os pontos de consumo.

### **4.3 Avaliação do desempenho da ETAC – plano de monitoramento**

A avaliação do desempenho da ETAC foi realizada a partir de um plano de amostragem de coleta de amostras simples. A partir dos resultados, foi efetuado o tratamento dos dados e calculada as devidas eficiências da estação.

O plano de amostragem seguiu as recomendações nacionais e internacionais, como: Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras (ANA, 2011), *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (APHA, AWWA, WEF, 2012) e as normas técnicas NBR 9.897/87 (ABNT, 1987a) e NBR 9.898/87 (ABNT, 1987b).

#### **4.3.1 Coleta e armazenamento das amostras**

Seguindo as recomendações da NBR 9.898/87, as amostras foram coletadas em recipientes inertes e com perfeita vedação. As amostras foram devidamente identificadas com a procedência, data e hora da coleta e tipo de amostra (simples). Obedeceram-se às regras de segurança, como a assepsia das mãos e dos locais de coleta, utilização de equipamentos que minimizaram o contato direto com o recipiente e o efluente, como luvas e aventais. Uma vez coletada, as amostras foram encaminhadas ao laboratório respeitando o prazo máximo de até oito horas que é o tempo recomendado como prazo de validade de preservação da amostra em análises



microbiológicas e armazenadas em ambiente refrigerado, atendendo também seus respectivos prazos de armazenamento.

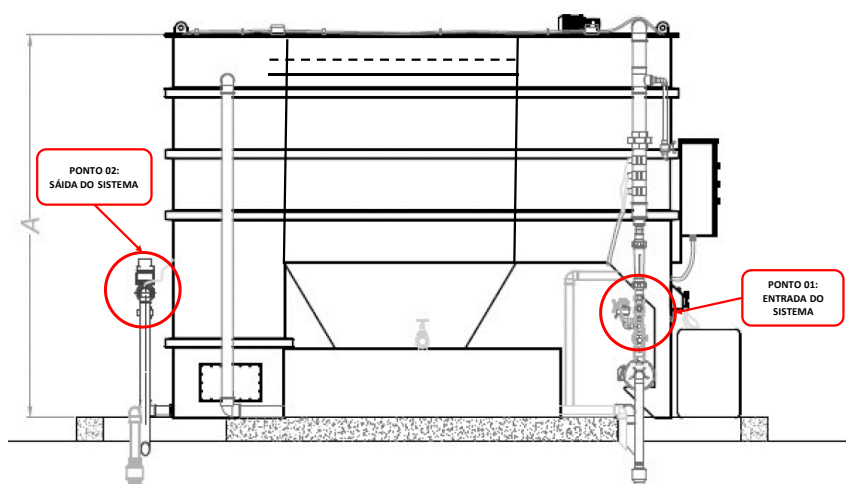
#### 4.3.2 Quantidade de amostras e pontos de coleta

Considerando-se três pontos de coleta de amostra simples, foram coletadas 12 amostras de cada ponto entre os meses de julho e dezembro do ano de 2022. Os pontos de coleta foram:

- Ponto 1: afluyente da ETAC, coletado a partir de uma torneira após a bomba centrífuga.
- Ponto 2: efluente tratado após filtração e desinfecção, coletado a partir da torneira na saída do sistema.
- Ponto 3: ponto de consumo, coletado em uma caixa acoplada da bacia sanitária da estrutura do cliente.

A Figura 4.6 ilustra os pontos da ETAC em que foram realizadas as coletas para monitoramento do sistema de reúso de água. O ponto 3 não é representado na figura por ser um ponto externo à ETAC.7

Figura 4.6 - Identificação dos pontos de coleta para análise



Fonte: adaptado de ALFAMEC (2020).

### 4.3.3 Parâmetros analisados

Realizaram-se as análises dos parâmetros listados no Quadro 4.1, o qual correlaciona aos métodos aplicados nas análises.

Quadro 4.1 - Parâmetros analisados e procedimentos utilizados nas análises laboratoriais

Parâmetro	Método	Referência
Alcalinidade	Método Titulométrico	STANDARD METHODS 2320 B, 2017
Cloro Residual Livre	Método Colorimétrico	STANDARD METHODS 4500 Cl G, 2017
Cor	Método Espectrofotométrico	STANDARD METHODS 2120 C, 2017
DQO	Método Colorimétrico	STANDARD METHODS 5220 D, 2017
Escherichia Coli	Método com Substrato Fluorogênico	STANDARD METHODS 9221 F, 2017
Nitrogênio Amoniacal	Método Titrimétrico	STANDARD METHODS 4500-NH <sub>3</sub> C, 2017
P-solúvel (ortofosfato)	Método do Ácido Ascórbico	STANDARD METHODS 4500-P E, 2017
pH	Método Eletrométrico	STANDARD METHODS 4500 H+ B, 2017
Sólidos Sedimentáveis	Método Volumétrico	STANDARD METHODS 2540 F, 2017
Sólidos Suspensos Fixos e Voláteis	Método Gravimétrico	STANDARD METHODS 2540 E, 2017
Sólidos Suspensos Totais	Método Gravimétrico	STANDARD METHODS 2540 D, 2017
Sólidos Dissolvidos Totais	Método do Eletrométrico	AKSO, 2023
Turbidez	Método Nefelométrico	STANDARD METHODS 2130 B, 2017

Fonte: o autor (2023).

### 4.3.4 Tratamento estatístico dos dados

O tratamento estatístico dos dados foi elaborado por meio do uso do software Microsoft Excel®. Calcularam-se parâmetros da estatística descritiva como média, mediana, desvio padrão, máximo, mínimo e quartis.

### 4.3.5 Outliers

Para tratamento estatístico foram desconsiderados os *outliers* (valores que fogem da normalidade). Para definição dos limites referentes à faixa aceitável, foram consideradas as equações  $L_i = Q_1 - 1,5 \times (Q_3 - Q_1)$  e  $L_s = Q_3 + 1,5 \times (Q_3 - Q_1)$ , propostas por Hoaglin (1986), onde  $L_s$  e  $L_i$  são os limites inferior e superior respectivamente, e  $Q_1$  e  $Q_3$  são os valores do primeiro e terceiro quartil, respectivamente. Dessa forma, valores além dos limites dessa faixa, foram

desprezados para efeito estatístico. Nos resultados, os *outliers* estão identificados na cor vermelha seguida de um asterisco.

#### 4.3.6 Análise de confiabilidade do sistema

Para a análise da confiabilidade do sistema, primeiramente, testou-se a adequação dos dados à distribuição normal e, respeitada essa condição, aplicou-se o cálculo para confiabilidade do sistema (SOUZA *et al.*, 2019).

Para a avaliação da adequação dos dados à distribuição normal, utilizou-se o *software* GRAPHPAD PRISM 5®, considerando o método de Kolmogorov-Smirnov. Para a análise da confiabilidade, calculou-se a variável normal padronizada, considerando a Equação 1 (SOUZA *et al.*, 2019).

$$Z_{(1-\alpha)} = \frac{\ln(x_s) - [\ln(\bar{x}) - 0,5 \cdot \ln(CV^2 + 1)]}{\sqrt{\ln(CV^2 + 1)}} \quad (1)$$

Onde:

$Z_{(1-\alpha)}$ : variável normal padronizada

$X_s$ : meta de qualidade ou padrão fixado por alguma legislação ou norma

$\bar{x}$ : média aritmética dos dados amostrais

CV: coeficiente de variação dos dados amostrais

Por fim, por meio da variável normal padronizada, utilizou-se a função DISTNORMP do *software* MICROSOFT EXCEL® para obtenção do percentual de confiabilidade do sistema (SOUZA *et al.*, 2019).

#### 4.4 Caracterização exploratória do lodo do decantador

Realizou-se uma caracterização exploratória do lodo do decantador da ETAC mediante a coleta de amostra simples na entrada, na saída do decantador e no ponto de descarte de lodo. As amostras foram analisadas em laboratório considerando os parâmetros de sólidos voláteis, sólidos fixos e sólidos totais. Calculou-se o teor de sólidos do lodo e o volume de lodo produzido utilizando os princípios de balanço de massa.

## **4.5 Viabilidade econômica**

A análise de viabilidade econômica é fator determinante na tomada de decisão em projetos de longo prazo. Primeiramente, foi elaborado o Fluxo de Caixa, considerando todas as entradas e saídas do sistema (balanço monetário). Em seguida, foram aplicados métodos de avaliação de investimento para determinar a viabilidade financeira do sistema de tratamento proposto.

### **4.5.1 Cenário referência – tarifação de água e esgoto**

No cenário referência, foram consideradas as taxas de cobrança aplicadas pela empresa prestadora de serviços de saneamento do estado da Bahia, a Empresa Baiana de Águas e Saneamento (EMBASA). Por se tratar de reúso de água a partir do tratamento de águas cinza, além da economia dos valores referentes ao uso de água potável, considerou-se o acréscimo de 80% (percentual preconizado pela EMBASA em sistemas convencionais) referente ao valor que é cobrado pelo descarte do esgoto, aplicado sobre o volume efetivamente recuperado.

### **4.5.2 Fluxo de caixa**

O fluxo de caixa foi elaborado com base nos balanços de entradas e saídas dos sistemas. Entendeu-se como entrada, ou receita, a redução na conta de água abastecida pela EMBASA. Como saída, foram considerados os investimentos iniciais, custos fixos, taxa de depreciação e reajustes monetários.

#### **4.5.2.1 Investimento inicial**

O investimento inicial foi dividido em duas estruturas: custo de aquisição dos equipamentos e custo da obra civil de implantação da ETAC. Para estimativa do custo de equipamentos foram consideradas propostas e cotação atualizadas de equipamentos iguais ou similares aos instalados.

Já para a estimativa do custo de obra civil, por não se ter acesso às informações da construtora sobre os custos reais do empreendimento, foram consideradas simulações a partir da construção de quatro diferentes cenários. Cada cenário possuiu

um valor de obra civil distinto com o intuito de se obter a viabilidade econômica do projeto conforme a variação do custo de implantação.

#### *4.5.2.2 Depreciação*

Considerou-se para efeito do cálculo de depreciação, as taxas recomendadas pela instrumentação normativa RFB nº 1700 de 14 de março de 2017 publicada pela Receita Federal do Brasil que dispõe sobre as diretrizes das análises contábeis e tributárias. Dessa forma, foi considerada a vida útil de 10 anos para os equipamentos instalados, com taxa de 10% ao ano, e vida útil de 25 anos para as estruturas das edificações e obra civil, com taxa de 4% ao ano (BRASIL, 2017).

#### *4.5.2.3 Custos operacionais*

Os custos operacionais foram divididos em subgrupos, conforme classificação da despesa. Os custos operacionais considerados foram:

- Custo com energia elétrica;
- Custo com manutenção preventiva;
- Custo com mão de obra para operação;
- Análises laboratoriais;
- Retirada de lodo;
- Manutenção corretiva;
- Insumos químicos;
- Outras despesas;

#### *4.5.2.4 Receitas*

Considerou-se como receita a economia direta na conta de água emitida pela EMBASA, caso o volume produzido pelo sistema de reúso fosse fornecido como água potável pela prestadora de serviços de saneamento local. Assim, a receita (economia) foi a diferença entre a conta da concessionária, caso não existisse o sistema de reúso, e a conta da concessionária considerando a existência do sistema de reúso.

#### 4.5.2.5 Reajustes

O fluxo de caixa foi reajustado com base no índice de inflação IGP-M, divulgado pelo Banco Central do Brasil, através do Sistema de Expectativas de Mercado.

#### 4.5.3 Indicadores econômicos

Considerou-se indicadores econômicos que avaliam a viabilidade econômica da iniciativa como o indicador Valor Presente Líquido (VPL) e a Taxa Interna de Retorno (TIR). Para efeito comparativo foi considerada a taxa mínima de atratividade para o projeto igual a 12%.

##### 4.5.3.1 Valor presente líquido (VPL)

O cálculo do VPL foi efetuado por meio do uso do software Microsoft Excel®. Entretanto, a equação que define o cálculo do valor presente líquido é expressa através da Equação 2.

$$VPL = \sum_{j=1}^n \frac{FC_j}{(1+i)^j} - FC_0 \quad (2)$$

Sendo:

VPL: Valor Presente Líquido  
FC<sub>j</sub>: fluxo de caixa no período j  
i: custo de capital  
j: prazo

##### 4.5.3.2 Taxa interna de retorno (TIR)

Para o cálculo da taxa interna de retorno utilizada a função TIR do software Microsoft Excel®.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Balanço hídrico

Inicialmente, para melhor compreensão da estrutura de consumo do empreendimento estudado, foi preciso detalhar o balanço hídrico considerando as três fontes de abastecimento: EMBASA, ETAC e a estação de tratamento de águas pluviais. Assim, a Tabela 5.1 mostra esses consumos aferidos mensalmente por hidrômetros (sendo o da ETAC e da água pluvial do tipo Multijato Magnético Classe B de vazão máxima 5,0 m<sup>3</sup>/h da marca LAO®) instalados nas respectivas redes de abastecimento:

Tabela 5.1 - Consumo de água da unidade em estudo (m<sup>3</sup>/mês);

Mês	Consumo EMBASA	Produção da ETAC	Produção de água de reúso pelo sistema Pluvial	Abastecimento Total
julho, 2022	3.478	381	19	3.878
agosto, 2022	3.478	386	30	3.894
setembro, 2022	3.404	388	26	3.818
outubro, 2022	3.626	377	31	4.034
novembro, 2022	3.552	649	2	4.203
dezembro, 2022	3.330	519	0	3.849
<b>Média</b>	<b>3.478 ± 104,65</b>	<b>450 ± 111,71</b>	<b>18 ± 13,84</b>	<b>3.946 ± 146,23</b>

Fonte: o autor (2023).

O abastecimento divide-se em duas finalidades: potável (unicamente água da EMBASA), e não potável (abastecida pela ETAC, pela água pluvial e suplementada pela água da EMBASA, caso ocorra falta de abastecimento pelas duas primeiras fontes). Dessa forma, mediu-se também o volume de água da EMBASA utilizada para fins não potáveis, sendo possível definir o percentual do consumo não potável em relação ao consumo total (potável + não potável) no estudo em questão. Os resultados estão expressos na Tabela 5.2.

Tabela 5.2 – Consumo de água não potável da unidade em estudo (m<sup>3</sup>/mês)

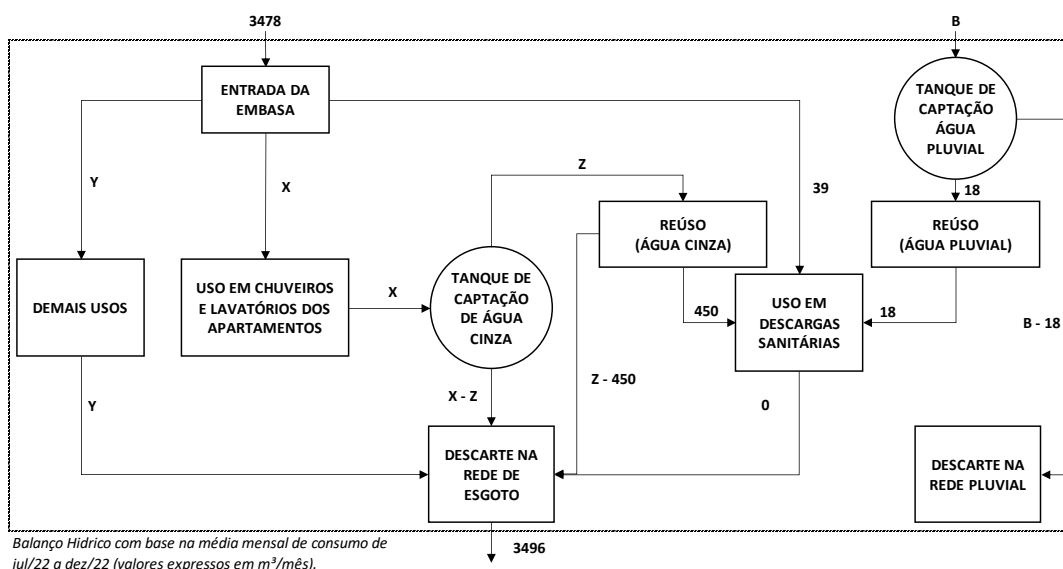
Mês	Consumo da água da EMBASA para fins não potáveis	Produção da ETAC	Produção de água de reúso pelo sistema Pluvial	Consumo total	Percentual do consumo total (%)
julho, 2022	33	381	19	433	11,2%
agosto, 2022	9	386	30	425	10,9%
setembro, 2022	24	388	26	438	11,5%
outubro, 2022	41	377	31	449	11,1%
novembro, 2022	84	649	2	735	17,5%
dezembro, 2022	44	519	0	563	14,6%
<b>Média</b>	<b>39 ± 25,36</b>	<b>450±111,71</b>	<b>18 ± 13,84</b>	<b>507±122,84</b>	<b>12,9%</b>

Fonte: o autor (2023).

De acordo com os dados descritos na Tabela 5.2, é possível correlacionar a demanda de consumo da água da EMBASA aplicada para fins não potáveis com a produção do da água de reúso pelo sistema pluvial. Em agosto, por exemplo, houve um certo aumento da produção do sistema pluvial o que acarretou uma redução do volume suplementado pela EMBASA. De forma análoga, em novembro, houve um aumento expressivo do volume suplementado pela água da EMBASA em virtude de um abastecimento de apenas 2 m<sup>3</sup> de água de reúso pelo sistema pluvial.

Para melhor entendimento do fluxo interno de consumo do empreendimento, considerou-se o valor da média aritmética do consumo dos meses descritos na Tabela 5.1 e na Tabela 5.2 para elaboração de um fluxograma que está representado na Figura 5.1.

Figura 5.1 - Fluxograma da estrutura de abastecimento, consumo e descarte de água do empreendimento em estudo



Fonte: o autor (2023).



A partir das informações descritas na Tabela 5.1, na Tabela 5.2 e da Figura 5.1, é possível constatar que o consumo de água não potável destinada às descargas sanitárias no período em estudo representou 12,9% do consumo total do empreendimento. Queiroz *et al.* (2019) compararam o percentual de consumo da água de reúso em relação ao consumo total de dois empreendimentos residenciais de alto padrão. O percentual de consumo do empreendimento que direcionava a água de reúso para as atendimentos das demandas de descarga de bacias sanitárias, lavagem de pisos e irrigação de jardim foi de 24,9%, enquanto o empreendimento que destinava apenas para utilização em descarga de bacias sanitárias foi de 10,9%. Dessa forma, considerando que a água de reúso do empreendimento em estudo é destinado apenas para descargas de bacias sanitárias, pode-se concluir que o percentual de 12,9% se aproxima dos valores encontrados por Queiroz *et al.* (2019).

## 5.2 Desempenho operacional

### 5.2.1 Condições operacionais;

A ETAC foi projetada para tratar uma vazão igual a 5,0 m<sup>3</sup>/h, entretanto, a medição do rotâmetro apontou uma vazão média de bombeamento e entrada na ETAC igual a 3,2 m<sup>3</sup>/h ao longo do período monitorado. Portanto, devem-se verificar as condições de funcionamento da ETAC com base na vazão aferida. A Tabela 5.3 mostra a comparação entre os valores dos parâmetros calculados com a vazão de projeto e aquela aferida por meio da leitura do rotâmetro.

Tabela 5.3 – Comparação das condições operacionais da ETAC (projeto e medições de campo)

Condições operacionais	Vazão (m <sup>3</sup> /h)	TDH no floculador (min)	Gradiente de mistura (s <sup>-1</sup> )	TDH no decantador (min)	Taxa de escoamento superficial (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .d)	Taxa de filtração (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .d)
De projeto	5,0	18,0	120	27,0	80	171,4
Aferidas em campo	3,2	28,1	120	42,2	51,2	109,7

Nota: TDH – tempo de detenção hidráulico

Fonte: o autor (2023).

Usando como referência a NBR 12.216/1992 (ABNT, 1992) que apresenta as recomendações para dimensionamento e projetos de estações de tratamento de água para abastecimento público, o tempo de detenção recomendado para os floculadores

mecanizados deve estar compreendido entre 30 e 40 minutos. Portanto, a condição aferida em campo se aproxima do valor recomendado.

Utilizando como referência a NBR 12.209/2011 que apresenta as recomendações de dimensionamento e projeto de estações de tratamento de esgoto para efeito comparativo, o limite estabelecido da taxa de escoamento superficial é de 80 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia. Considerando as condições de vazão aferidas em campo, a taxa de escoamento se encontra em 51,2 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia, estando dentro das recomendações normativas.

Sobre a taxa de filtração máxima recomendada para filtros rápidos de camada simples, o valor limite referência é de 180 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia. Portanto, a taxa de filtração nas condições aferidas em campo se encontra dentro do valor recomendado, já que seu valor calculado foi de 109,7 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia.

### 5.2.2 Dosagens de produtos químicos

As dosagens dos produtos químicos consideradas neste estudo foram informadas pela empresa responsável pela operação do sistema de reúso que concedeu o histórico das informações operacionais do período analisado. Os valores estão expressos na Tabela 5.4.

Tabela 5.4 – Concentração de dosagens da ETAC

<b>Produto</b>	<b>Hipoclorito de sódio 12% (mg/L)</b>	<b>Polímero aniônico (mg/L)</b>	<b>Carbonato de sódio (mg/L)</b>	<b>Cloreto de polialumínio 18% (mg/L)</b>
julho, 2022	70	0,21	60	30
agosto, 2022	70	0,21	60	30
setembro, 2022	70	0,21	60	30
outubro, 2022	70	0,21	60	30
novembro, 2022	70	0,00	60	30
dezembro, 2022	70	0,00	60	30

Fonte: o autor (2023).

Observando que o sistema de reúso do empreendimento é dotado das fontes de abastecimento de águas cinza e pluvial, se faz necessário, também, computar as dosagens aplicadas para o tratamento de água pluvial (Tabela 5.5).

Tabela 5.5 – Concentração de dosagens do reuso pluvial

Produto	Hipoclorito de sódio 12% (mg/L)
julho, 2022	50
agosto, 2022	50
setembro, 2022	50
outubro, 2022	50
novembro, 2022	50
dezembro, 2022	50

Fonte: o autor (2023).

### 5.2.3 Aspecto qualitativo das águas cinza e da água de reuso

#### 5.2.3.1 Alcalinidade

Foram efetuadas análises de alcalinidade nas amostras coletadas da água cinza, tratada e do ponto de consumo e os resultados estão apresentados na Tabela 5.6.

Tabela 5.6 – Tabela dos resultados das análises de Alcalinidade

Alcalinidade (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	29/08/2022	14/09/2022	31/10/2022	07/11/2022	16/11/2022	21/11/2022	29/11/2022	06/12/2022	12/12/2022	20/12/2022	21/03/2023	28/03/2023	MÉDIA	VALOR REFERÊNCIA
ÁGUA CINZA	-	-	49*	64	65	68	59	59	76	119*	64	66	65	120
ÁGUA TRATADA	-	-	37	27	35	36	35	35	33	30	28	47*	33	-
PONTO DE CONSUMO	-	-	-	29	37	37	33	33	30	27	28	-	32	-
Parâmetros Estatísticos	Mediana		Desvio Padrão		Máximo		Mínimo		1ºQ		3ºQ			
ÁGUA CINZA	65		± 5,35		76		59		62		66			
ÁGUA TRATADA	35		± 3,61		37		27		30		35			
PONTO DE CONSUMO	32		± 3,97		37		27		29		34			

Fonte: o autor (2023).

O valor da média de alcalinidade total das águas cinza brutas foi igual a 65 mg CaCO<sub>3</sub>/L, inferior à concentração típica (120 mg CaCO<sub>3</sub>/L) citado por Souza *et al.* (2019).

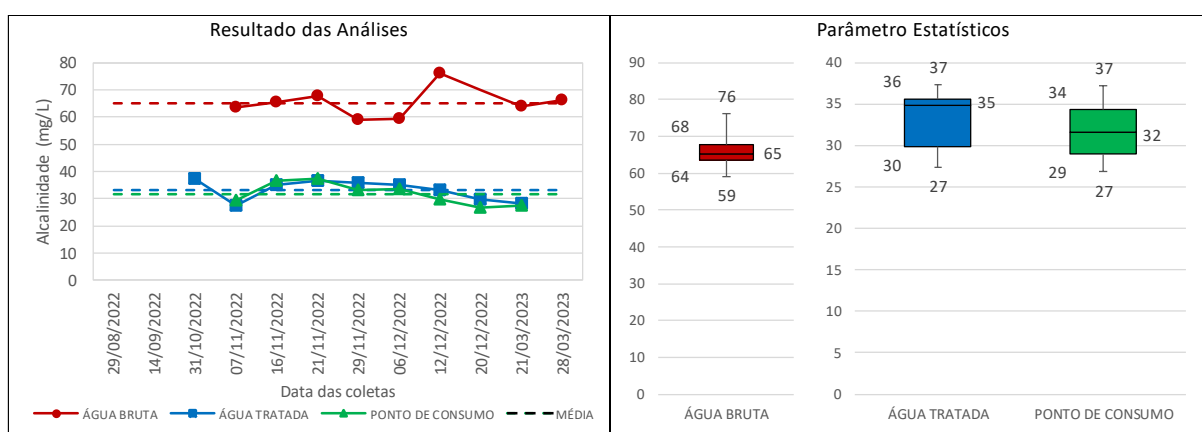
Souza *et al.* (2019) reuniram os resultados de pesquisas no âmbito da caracterização qualitativa das águas cinza dentro e fora do Brasil e consolidaram valores típicos para os componentes presentes na água cinza. Embora classificado como típico o valor de 120 mg CaCO<sub>3</sub>/L, foram encontrados por Souza *et al.* (2019) valores de 5 a 415 mg CaCO<sub>3</sub>/L para a alcalinidade. Essas variações se dão principalmente em virtude da

alcalinidade da água de abastecimento e do perfil de consumo dentre as fontes contribuidoras da água cinza (chuveiro, lavatório, máquina de lavar etc.).

A redução da alcalinidade na água de reúso tratada e na água de consumo pode ser explicada devido à aplicação de cloreto de polialumínio na etapa de coagulação do tratamento, que reagem com bicarbonatos presentes na água “consumindo” parte da sua alcalinidade, gerando  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NaCl}$  e hidróxidos de alumínio.

A Figura 5.2 apresenta a evolução gráfica dos resultados das amostras coletadas.

Figura 5.2 - Gráfico dos resultados das análises de alcalinidade



Fonte: o autor (2023).

### 5.2.3.2 Cloro residual livre

Foram feitas análises de cloro residual livre nas amostras coletadas da água cinza, tratada e do ponto de consumo e os resultados estão apresentados na Tabela 5.7.

Tabela 5.7 – Tabela dos resultados das análises de cloro residual livre

Cloro Residual (mg/L)	29/08/2022	14/09/2022	31/10/2022	07/11/2022	16/11/2022	21/11/2022	29/11/2022	06/12/2022	12/12/2022	20/12/2022	21/03/2023	28/03/2023	MÉDIA	VALOR REFERÊNCIA
	ÁGUA CINZA	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ÁGUA TRATADA	0,3	0,5	0,5	1,5	1,8	1,4	-	3,5	1,3	2,3	-	-	1,5	0,5-5,0
PONTO DE CONSUMO	-	-	-	0,5	0,5	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	-	0,2	0,5-5,0
Parâmetros Estatísticos	Mediana			Desvio Padrão			Máximo			Mínimo			1ºQ	3ºQ
ÁGUA CINZA	0,0			± 0,00			0,0			0,0			0,0	0,0
ÁGUA TRATADA	1,4			± 1,00			3,5			0,3			0,5	1,8
PONTO DE CONSUMO	0,2			± 0,18			0,5			0,1			0,1	0,3

Fonte: o autor (2023).

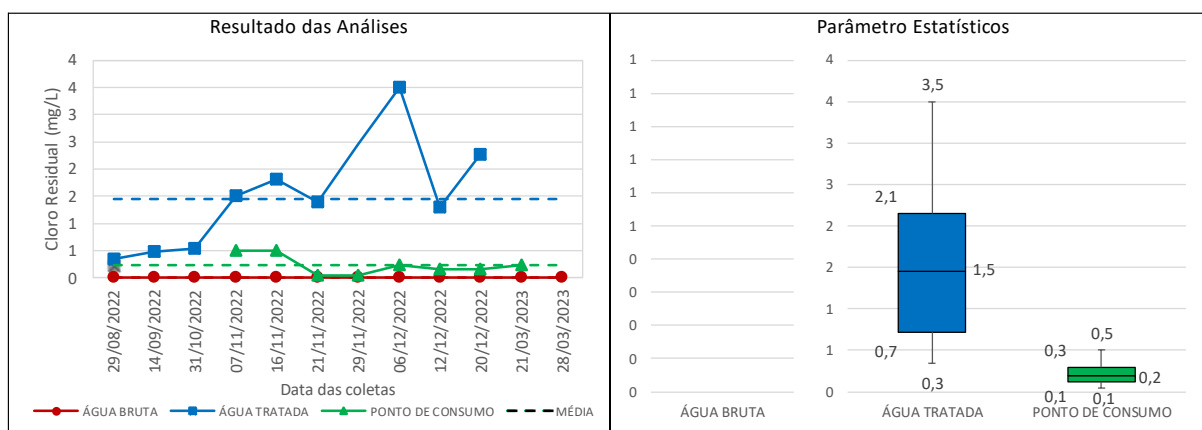
Como era de se esperar, não foi identificada a presença de cloro residual livre nas amostras das águas cinza sem tratamento. Na água de reúso tratada, os valores encontrados ocorreram dentro das faixas recomendadas pela NBR 16.783 (ABNT, 2019). Entretanto, na água coletada no ponto de consumo, a concentração do cloro apresentou resultado abaixo do valor mínimo recomendado.

Alguns fatores podem ser atribuídos à redução da concentração de cloro na água do ponto de consumo, sendo eles: fotoreatividade do cloro, o armazenamento da água por longos períodos; consumo do cloro residual livre no reservatório e na rede predial de distribuição, pois podem existir pontos de contaminação microbiológica com presença de biofilme nos quais o cloro residual atuaria como agente oxidante e, portanto, teria sua concentração reduzida e o consumo do cloro residual em reações paralelas com compostos químicos reduzidos presentes na água, a exemplo de sulfetos e amônia.

Um fator relevante a ser considerado é a proporção da formação de ácido hipocloroso e o íon hipoclorito, a qual depende do pH. Em pH abaixo de 7,6 prevalece o ácido hipocloroso que é um desinfetante muito superior quando comparado com o íon associado. Observando o valor da média do valor do pH da água de reúso pós-tratamento durante o período de monitoramento, obteve-se um valor igual a 7,8, o que indica a prevalência da formação do íon hipoclorito e reduz a eficiência do processo de desinfecção (PIVELI, 2005).

Portanto, as soluções apontadas são a correção do pH favorecendo a formação do ácido hipocloroso, a aplicação de uma dose maior de oxidante na saída da estação de tratamento de reúso e/ou adotar uma etapa de reaplicação do cloro no reservatório superior de água de reúso tratada. A Figura 5.3 apresenta a evolução gráfica dos resultados das amostras coletadas.

Figura 5.3 - Gráfico dos resultados das análises de cloro residual livre



Fonte: o autor (2023).

### 5.2.3.3 Cor Aparente

Foram efetuadas análises de cor aparente nas amostras coletadas da água cinza bruta, tratada e do ponto de consumo e os resultados estão apresentados na Tabela 5.8.

Tabela 5.8 – Tabela dos resultados das análises de cor aparente

Cor (mg Pt-Co/L)	2022	2022	2022	2022	2022	2022	2022	2022	2022	2023	2023	MÉDIA	VALOR REFERÊNCIA	
	29/08/2022	14/09/2022	31/10/2022	07/11/2022	16/11/2022	21/11/2022	29/11/2022	06/12/2022	12/12/2022	20/12/2022	21/03/2023			28/03/2023
ÁGUA CINZA	>500*	155	91	62	222	67	150	60	>500*	>500*	25	35	96	100
ÁGUA TRATADA	10	2	6	2	3	3	4	5	18	10	9	10	7	-
PONTO DE CONSUMO	-	-	-	-	3	8	10	5	3	35*	10	-	7	-
<b>Parâmetros Estatísticos</b>	<b>Mediana</b>		<b>Desvio Padrão</b>		<b>Máximo</b>		<b>Mínimo</b>		<b>1ºQ</b>	<b>3ºQ</b>				
ÁGUA CINZA	67		± 65,53		222		25		60	150				
ÁGUA TRATADA	6		± 4,75		18		2		3	10				
PONTO DE CONSUMO	7		± 3,27		10		3		4	10				

Fonte: o autor (2023).

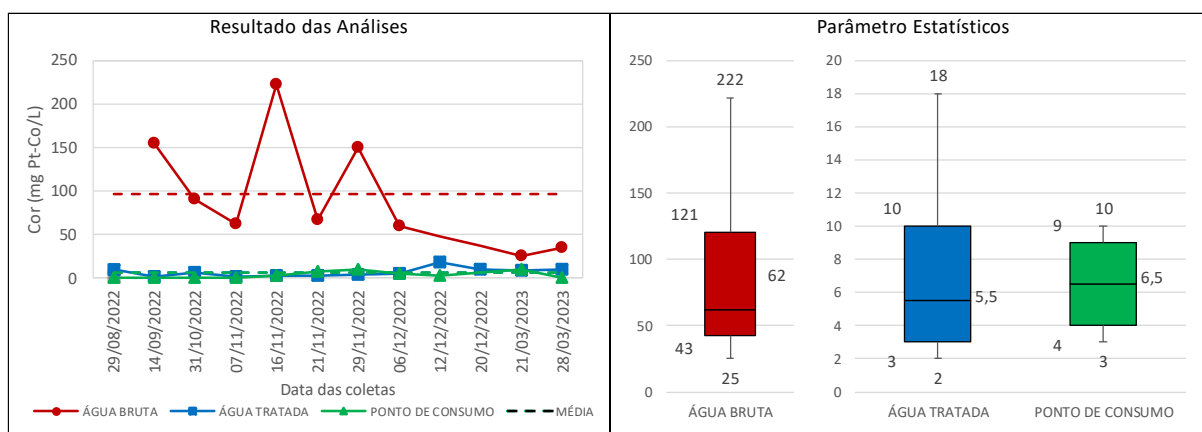
O valor da média do parâmetro cor aparente da água cinza bruta foi próximo ao valor apontado como referência por Souza *et al.* (2019), tendo variação apenas de 4%. Embora, o valor da média coincida com o valor referência, podem ser observadas oscilações dos resultados ao longo do período de análise.

Já os resultados das amostras de água de reúso tratada e no ponto de consumo, os valores foram estáveis apresentando médias aritmética iguais a 7 e 11 mg Pt-Co/L,

respectivamente. Cabe ressaltar que o valor de cor aparente do ponto de consumo se apresentou pouco superior ao da água tratada, um dos fatores que pode explicar esse aumento é a redução de sulfato à sulfeto na etapa de armazenamento levando a formação de compostos de enxofre que podem precipitar-se e incorporar cor aparente à água tratada.

A Figura 5.4 apresenta a evolução gráfica dos resultados das amostras coletadas.

Figura 5.4 - Gráfico dos resultados das análises de cor aparente



Fonte: o autor (2023).

#### 5.2.3.4 Demanda Química de Oxigênio (DQO)

Foram efetuadas análises de DQO nas amostras coletadas da água cinza bruta, tratada e no ponto de consumo e os resultados estão apresentados na Tabela 5.9.

Tabela 5.9 – Tabela dos resultados das análises da Demanda Química de Oxigênio (DQO)

DQO (mg O <sub>2</sub> /L)	29/08/2022	14/09/2022	31/10/2022	07/11/2022	16/11/2022	21/11/2022	29/11/2022	06/12/2022	12/12/2022	20/12/2022	21/03/2023	28/03/2023	MÉDIA	VALOR REFERÊNCIA
ÁGUA CINZA	-	-	97	95	198	123	182	125	310*	1733*	123	135	135	300
ÁGUA TRATADA	-	-	47	38	35	35	47	42	45	75*	25	28	38	-
PONTO DE CONSUMO	-	-	57	53	47	50	45	80	72	63	42	-	56	-
<b>Parâmetros Estatísticos</b>	<b>Mediana</b>		<b>Desvio Padrão</b>		<b>Máximo</b>		<b>Mínimo</b>		<b>1ºQ</b>	<b>3ºQ</b>				
ÁGUA CINZA	124		± 37,09		198		95		117	147				
ÁGUA TRATADA	38		± 7,85		47		25		35	45				
PONTO DE CONSUMO	53		± 12,89		80		42		47	63				

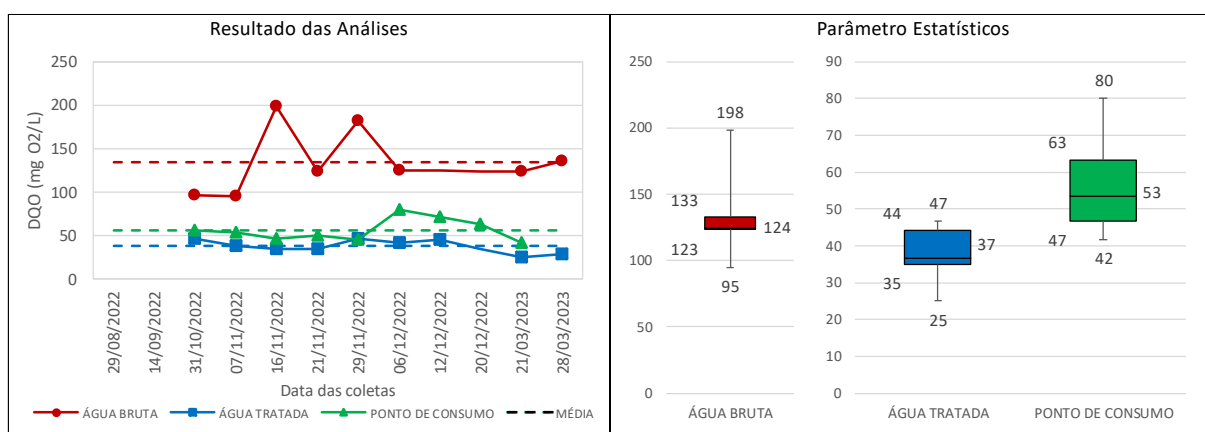
Fonte: o autor (2023).

O valor da média aritmética do parâmetro DQO da água cinza bruta foi inferior ao valor típico apresentado por Souza *et al.* (2019). Os resultados da DQO da água tratada foram satisfatórios, demonstrando valor da média de eficiência igual a 72% na redução do parâmetro.

Embora o valor típico indicado por Souza *et al.* (2019) seja de 300 mg O<sub>2</sub>/L, no estudo de caracterização qualitativa da água cinza foram encontradas variações da DQO que vão desde 23 a 526 mg O<sub>2</sub>/L. Assim, o valor da média igual a 135 mg O<sub>2</sub>/L encontrado neste trabalho se encontra dentro das faixas já evidenciadas em outros estudos.

O reservatório de armazenamento de água cinza bruta, anterior ao ponto de monitoramento, pode ter ocasionado a redução da DQO por conta de, pelo menos, dois motivos, a saber: funcionando como etapa de pré-tratamento e/ou como reator anaeróbio. Considerando o tempo de armazenamento, principalmente, no período que o sistema de aproveitamento de águas pluviais atende à demanda, o reservatório pode operar como um decantador primário possibilitando a remoção de matéria orgânica particulada reduzindo o valor da DQO total. Outrossim, estima-se que o tempo de detenção nesse reservatório seja de 16h (se considerarmos o abastecimento médio de 450 m<sup>3</sup>/mês e a capacidade do reservatório de 10 m<sup>3</sup>), portanto, esse tempo de detenção pode, também, propiciar a ocorrência de anaerobiose, principalmente, considerando as temperaturas médias da cidade de Salvador, Bahia, essa condição pode causar a redução não só a DQO total, como, também, a solúvel rapidamente biodegradável. A Figura 5.5 apresenta a evolução gráfica dos resultados das amostras coletadas.

Figura 5.5 - Gráfico dos resultados das análises da Demanda Química de Oxigênio (DQO)



Fonte: o autor (2023).



### 5.2.3.5 *Escherichia coli*

Foram efetuadas análises de *Escherichia coli* nas amostras coletadas da água cinza, tratada e no ponto de consumo e os resultados estão apresentados na Tabela 5.10.

Tabela 5.10 – Tabela dos resultados das análises de *Escherichia Coli*

<b>Escherichia coli (NMP/100mL)</b>	<b>29/08/2022</b>	<b>14/09/2022</b>	<b>31/10/2022</b>	<b>07/11/2022</b>	<b>16/11/2022</b>	<b>21/11/2022</b>	<b>29/11/2022</b>	<b>06/12/2022</b>	<b>12/12/2022</b>	<b>20/12/2022</b>	<b>21/03/2023</b>	<b>28/03/2023</b>	<b>VALOR REFERÊNCIA</b>
1 - BRUTA	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	10 <sup>4</sup>
2 - TRATADA	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	<200
3 - PONTO DE CONSUMO	-	-	-	P	P	P	P	P	P	P	P	-	<200

Nota: P – Presença; A – Ausência;

Fonte: o autor (2023).

Como era de se esperar, as análises de amostras da água cinza bruta acusaram a presença de *Escherichia coli*. Já na saída da estação de tratamento de águas cinza, foi registrada ausência em todas as amostras coletadas.

Porém, é interessante salientar sobre a ressurgência de *Escherichia coli* na água de reúso coletada no ponto de consumo. Li *et al.* (2013) estudaram a reativação e o crescimento de bactérias após processo de cloração no tratamento de águas residuárias. O estudo apontou a contribuição do processo de cloração para a seleção de bactérias resistentes ao cloro, ocasionando o ressurgimento de bactérias patogênicas após um longo período de retenção, podendo pôr em risco a segurança da reutilização de águas residuárias.

Uma circunstância que pode ter influenciado para o resultado positivo para presença de *Escherichia coli* no ponto de consumo é o fato do cloro residual se apresentar baixo ao longo do período monitorado, ocasionando baixa proteção à água de consumo.

Vale salientar que Gonçalves *et al.* (2021) avaliaram os riscos microbiológicos do reúso não potável em uma unidade de tratamento de água cinza utilizando o método da avaliação quantitativa de risco microbiológico (QMRA) por meio da ingestão de aerossóis. A probabilidade de infecção anual por pessoa para bactérias, protozoários e rotavírus nos sistemas que contenham as etapas de pós-tratamento equipadas com filtragem e desinfecção (similares ao estudado nesse projeto) são inferiores a 10<sup>-4</sup>,

valor tido como limite aceitável pelas diretrizes da USEPA (Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos).

Gonçalves *et al.* (2021) apontaram, também, que o volume de ingestão de aerossóis pelo reúso em descargas sanitárias se demonstra baixo, sendo 10 vezes inferior ao volume de ingestão em irrigação. Dessa forma, conclui-se que a aplicação do método físico-químico descrita nesse estudo para reúso não potável em descargas sanitárias se apresenta como uma alternativa segura para o usuário.

### 5.2.3.6 Nitrogênio amoniacal ( $N-NH_3$ )

Foram efetuadas análises de nitrogênio amoniacal nas amostras coletadas da água cinza bruta, tratada e no ponto de consumo e os resultados estão apresentados na Tabela 5.11.

Tabela 5.11 – Tabela dos resultados das análises de nitrogênio amoniacal

N-NH <sub>3</sub> (mg/L)	29/08/2022	14/09/2022	31/10/2022	07/11/2022	16/11/2022	21/11/2022	29/11/2022	06/12/2022	12/12/2022	20/12/2022	21/03/2023	28/03/2023	MÉDIA	VALOR REFERÊNCIA
	ÁGUA CINZA	-	10,0	3*	7,5	9,6	6,6	8,7	9,0	9,7	16*	9,4	9,8	8,9
ÁGUA TRATADA	-	0,9	1,3	1,1	1,7	2,5	2,8	3,0	1,6	1,2	2,1	2,2	1,8	-
PONTO DE CONSUMO	-	-	-	1,4	1,7	2,5	2,5	3,7	1,6	1,4	2,1	-	2,1	-
<b>Parâmetros Estatísticos</b>	<b>Mediana</b>		<b>Desvio Padrão</b>		<b>Máximo</b>		<b>Mínimo</b>		<b>1ºQ</b>	<b>3ºQ</b>				
ÁGUA CINZA	9,4		± 1,14		10,0		6,6		8,7	9,7				
ÁGUA TRATADA	1,7		± 0,71		3,0		0,9		1,2	2,3				
PONTO DE CONSUMO	1,9		± 0,78		3,7		1,4		1,6	2,5				

Fonte: o autor (2023).

O valor da média aritmética obtida nos ensaios com a água cinza se apresentou próximo ao valor referência mencionado por Souza et al. (2019). O resultado da média foi igual a 8,9 mg N-NH<sub>3</sub>/L na água cinza bruta e pode ser considerado reduzido em comparação ao esgoto sanitário. A presença desse nutriente na água cinza pode ser atribuída à resíduos de alimentos dos lavatórios, contribuição de urina em chuveiros e de produtos de limpeza e higiene pessoal.

Já na água de reúso, pode-se dizer que a estação operou com uma eficiência média de 80% na redução do nitrogênio amoniacal, demonstrando efetividade no processo de tratamento.

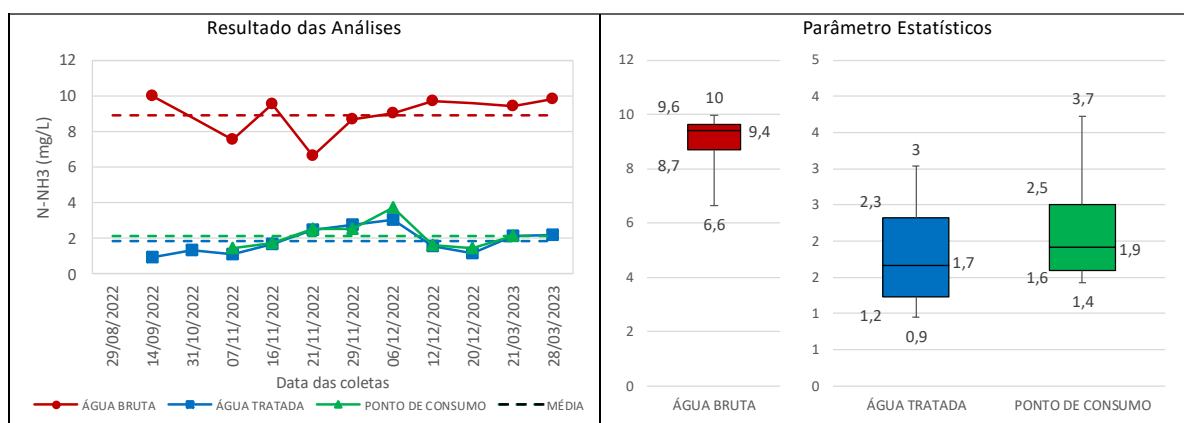
A redução das concentrações de nitrogênio amoniacal na água de reúso deve-se à ação do cloro como agente oxidante. Dependendo de fatores como pH do meio, temperatura, tempo de reação e dosagem de cloro, a reação de oxidação transforma o nitrogênio amoniacal ( $\text{N-NH}_3$ ) em cloraminas e, posteriormente, a nitrogênio gasoso ( $\text{N}_2$ ), por meio de um processo denominado cloração ao “break point” (FERREIRA FILHO, 2021).

Os índices residuais de nitrogênio amoniacal na água tratada indicam que não houve a oxidação total do  $\text{N-NH}_3$  pelo processo de cloração. O fato das concentrações de  $\text{N-NH}_3$  do ponto de consumo estarem em média 16,6% mais alta em comparação à saída da ETAC podem se associadas com a redução do cloro residual livre nos pontos de consumo, o que atesta a existência de um ambiente predominantemente redutor.

Mergulhão e Emery (2011) estudaram um sistema de tratamento de água cinza e produção de água de reúso por processo biológico com etapa de cloração final e os resultados obtidos para o nitrogênio amoniacal na água de reúso foi de  $2,34 \pm 0,94$  mg/L, valores relativamente próximos aos encontrados nesta pesquisa.

A Figura 5.6 apresenta a evolução gráfica dos resultados das amostras coletadas.

Figura 5.6 - Gráfico dos resultados das análises de nitrogênio amoniacal



Fonte: o autor (2023).

### 5.2.3.7 Fósforo solúvel ( $PO_4^{3-}$ )

Foram efetuadas análises de fósforo solúvel nas amostras coletadas da água cinza, tratada e do ponto de consumo e os resultados estão apresentados na Tabela 5.12.

Tabela 5.12 – Tabela dos resultados das análises de fósforo solúvel

P- $PO_4^{3-}$ (mg/L)	29/08/202	14/09/202	31/10/202	07/11/202	16/11/202	21/11/202	29/11/202	06/12/202	12/12/202	20/12/202	21/03/202	28/03/202	MÉDIA	VALOR REFERÊNCI
ÁGUA CINZA	-	1*	0,0	0,1	0,0	0,2	0,0	0,1	0,0	2*	0,1	0,1	0,1	10,0
ÁGUA TRATADA	-	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-
PONTO DE CONSUMO	-	-	-	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	0,0	-
<b>Parâmetros Estatísticos</b>	<b>Mediana</b>		<b>Desvio Padrão</b>		<b>Máximo</b>		<b>Mínimo</b>		<b>1ºQ</b>	<b>3ºQ</b>				
ÁGUA CINZA	0,1		± 0,05		0,2		0,0		0,0	0,1				
ÁGUA TRATADA	0,0		± 0,00		0,0		0,0		0,0	0,0				
PONTO DE CONSUMO	0,0		± 0,00		0,0		0,0		0,0	0,0				

NOTA: o valor apontado por Souza et al. (2019) de 10 mg/L refere-se ao fosforo total, enquanto os dados obtidos são de fosforo solúvel.

Fonte: o autor (2023).

Os resultados obtidos nas análises do fósforo solúvel foram consideravelmente menores do que o valor esperado para a água cinza bruta. Souza et al. (2019). O valor obtido foi de 0,1 mg/L (média aritmética dos valores).

A presença de fósforo solúvel nas águas cinza é, predominantemente, proveniente da adição sabões e detergentes utilizados pelo usuário que possuem compostos fosfatados. Apesar dos valores de fosforo na água cinza tenham sido baixos, o tratamento demonstrou reduzir ou praticamente eliminar a quantidade de fosforo presente na água cinza.

Considerando a dinâmica das concentrações de fósforo solúvel, nitrogênio amoniacal e DQO, pode-se inferir que as águas cinza em seu estado bruto estão sofrendo algum grau de tratamento biológico no reservatório de armazenamento instalado à montante da ETAC. A redução das concentrações dos nutrientes está associada à síntese celular nesse ambiente que permite o surgimento de micro-organismos que, por sua vez, consomem parte da matéria orgânica presente nas águas cinza nessa etapa do sistema.

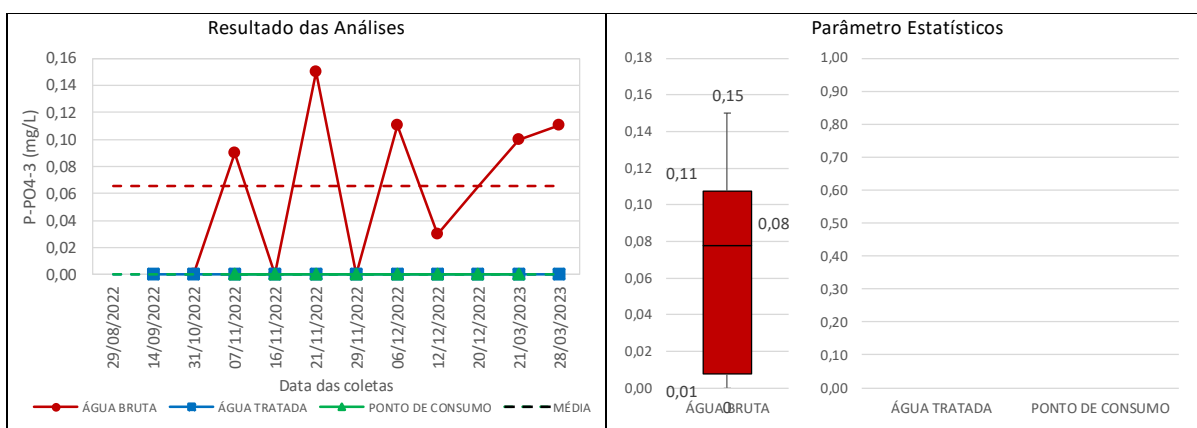
Boyjoo *et al.*, (2013) encontraram valores típicos para fósforo na água de reúso entre 0,11 e 1,8 mg/L. Dessa forma, os valores encontrados na água cinza estariam próximos das faixas referenciadas internacionalmente.

A presença de fósforo e nitrogênio nas águas residuárias é geralmente associada aos impactos nas eutrofizações dos corpos hídricos. Além disso, as águas cinza não possuem altas concentrações de nitrogênio e fósforo quando comparada aos efluentes de esgotamento sanitário (Souza *et al.*, 2019).

Dessa forma, não há um fator claro que possa gerar preocupações expressivas sobre os riscos da presença destes componentes na água de reúso destinadas às descargas sanitárias. A prova disso é que a NBR 16.783/2019 não os considera como um parâmetro de controle para fins de uso não potável em edificações (ABNT, 2019).

A Figura 5.7 apresenta a evolução gráfica dos resultados das amostras coletadas.

Figura 5.7 - Gráfico dos resultados das análises de fosforo solúvel



Fonte: o autor (2023).

### 5.2.3.8 Valor do pH

Foram efetuadas análises de pH nas amostras coletadas da água cinza bruta, tratada e do ponto de consumo e os resultados estão apresentados na Tabela 5.13.

O valor da média do pH na água cinza bruta foi de 7,8 se apresentando próximo ao valor referência mencionado por Souza *et al.* (2019). O pH da água cinza se demonstrou levemente alcalino, provavelmente sendo influenciado pelo pH da água de abastecimento da concessionária e pela presença de sabões e amaciantes, podendo ter contribuído para o ligeiro aumento do pH.

Tabela 5.13 – Tabela dos resultados das análises de pH

pH	29/08/2022	14/09/2022	31/10/2022	07/11/2022	16/11/2022	21/11/2022	29/11/2022	06/12/2022	12/12/2022	20/12/2022	21/03/2023	28/03/2023	MÉDIA	VALOR REFERÊNCIA
	ÁGUA CINZA	8,2	7,4	7,7	8,4	8,3	7,7	7,8	7,0	7,4	7,3	8,1	7,7	7,8
ÁGUA TRATADA	7,3	8,4	8,4	8,2	7,0	7,9	8,3	7,4	6,8	9,0	7,3	-	7,8	6,0-9,0
PONTO DE CONSUMO	-	-	-	8,2	6,7	7,8	8,8	7,2	6,9	8,5	7,5	-	7,7	6,0-9,0
<b>Parâmetros Estatísticos</b>	<b>Mediana</b>			<b>Desvio Padrão</b>			<b>Máximo</b>			<b>Mínimo</b>			<b>1ºQ</b>	<b>3ºQ</b>
ÁGUA CINZA	7,7			± 0,43			8,4			7,0			7,4	8,1
ÁGUA TRATADA	7,9			± 0,70			9,0			6,8			7,3	8,4
PONTO DE CONSUMO	7,7			± 0,76			8,8			6,7			7,1	8,3

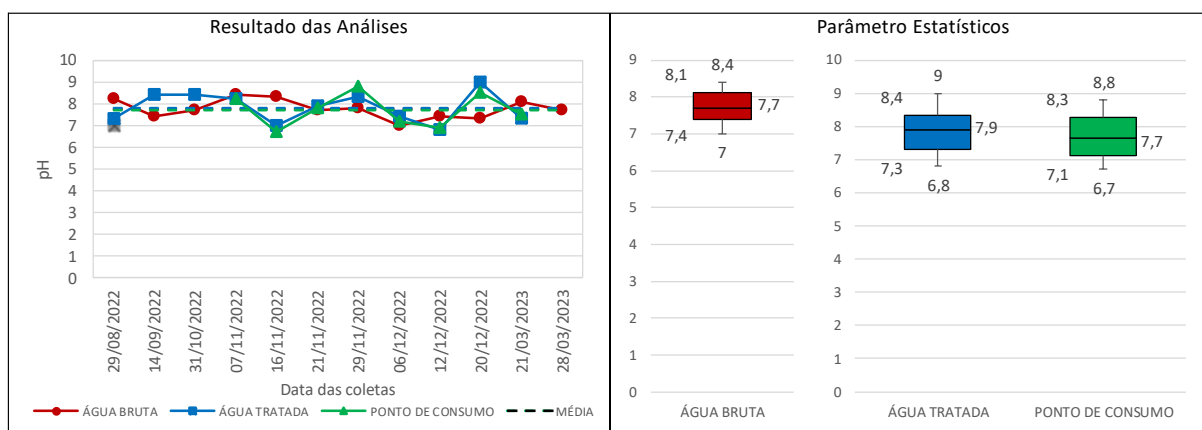
Fonte: o autor (2023).

Podem ser observadas usuais oscilações nos valores aferidos do pH. Os valores da água cinza variaram de 7,0 a 8,4, enquanto a variação da água de reúso ocorreu entre valores iguais a 6,8 e 9,0. Já no ponto de consumo, o valor da média do pH foi similar ao valor encontrado na saída da ETAC, não demonstrando a ocorrência de interferências significativas nas etapas de armazenamento e distribuição.

O pH possui interferência direta em dois importantes pontos na operação da ETAC: eficiência da desinfecção e inibição de odor. Na etapa de desinfecção, o valor do pH entre 5,0 e 6,5 é atrativo, pois favorece a formação do ácido hipocloroso que é um desinfetante com maior eficiência em relação ao íon hipoclorito. Por outro lado, na inibição de odor, o pH levemente alcalino inibe a formação do gás sulfídrico ( $H_2S$ ) por manter o enxofre na forma do radical  $HS^-$ , prevenindo a incidência de odor na água de reúso (CERVANTES *et al.*, 2006).

Portanto, pode-se afirmar que o valor da média do pH obtido no período de monitoramento, pode reduzir a eficiência do processo de desinfecção pela ação do cloro, entretanto, minimiza o desconforto e favorece a aceitação da água de reúso, por favorecer a inibição de sulfeto de hidrogênio e reduzir a incidência de odores nos pontos de consumo. A questão da segurança microbiológica pode ser compensada com uma elevação da dosagem de cloro. A Figura 5.8 apresenta a evolução gráfica dos resultados das amostras coletadas.

Figura 5.8 - Gráfico dos resultados das análises de pH



Fonte: o autor (2023).

### 5.2.3.9 Sólidos em suspensão totais, fixos, voláteis e totais

Os resultados das análises de sólidos em suspensão totais, fixos e voláteis nas amostras coletadas da água cinza bruta, tratada e no ponto de consumo estão apresentados na Tabela 5.14.

Tabela 5.14 – Tabela dos resultados das análises de sólidos em suspensão totais, fixos e voláteis

Série de Sólidos (mg/L)	29/08/2022	14/09/2022	31/10/2022	07/11/2022	16/11/2022	21/11/2022	29/11/2022	06/12/2022	12/12/2022	20/12/2022	21/03/2023	28/03/2023	MÉDIA	VALOR REFERÊNCIA
SST - ÁGUA CINZA	405	25	15	15	90	21	47	29	414	1051*	55	-	112	100
SST - ÁGUA TRATADA	17	6	4	6	7	4	6	10	25*	214*	9	-	8	-
SST - PONTO DE CONSUMO	-	-	-	8	14	19	16	7	20	81*	6	-	13	-
SSF - ÁGUA CINZA	143	6	4	3	22	8	19	15	243*	267*	43	-	29	-
SSF - ÁGUA TRATADA	11*	2	3	4	3	1	2	7	3	92*	3	-	3	-
SSF - PONTO DE CONSUMO	-	-	-	2	1	3	3	3	6	30*	3	-	3	-
SSV - ÁGUA CINZA	262	19	11	12	68	13	28	13	171	783*	12	-	61	-
SSV - ÁGUA TRATADA	6	4	1	2	4	3	4	3	23*	122*	6	-	4	-
SSV - PONTO DE CONSUMO	-	-	-	6	13	16	13	5	13	50*	3	-	10	-
<b>Parâmetros Estatísticos</b>	<b>Mediana</b>	<b>Desvio Padrão</b>		<b>Máximo</b>		<b>Mínimo</b>		<b>1ºQ</b>	<b>3ºQ</b>					
SST - ÁGUA CINZA	38	± 158,65		414		15		22	81					
SST - ÁGUA TRATADA	6	± 4,06		17		4		6	9					
SST - PONTO DE CONSUMO	14	± 5,85		20		6		7	18					
SSF - ÁGUA CINZA	15	± 44,51		143		3		6	22					
SSF - ÁGUA TRATADA	3	± 1,71		7		1		2	3					
SSF - PONTO DE CONSUMO	3	± 1,73		6		1		2	3					
SSV - ÁGUA CINZA	16	± 86,36		262		11		12	58					
SSV - ÁGUA TRATADA	4	± 1,73		6		1		3	4					
SSV - PONTO DE CONSUMO	13	± 5,27		16		3		5	13					

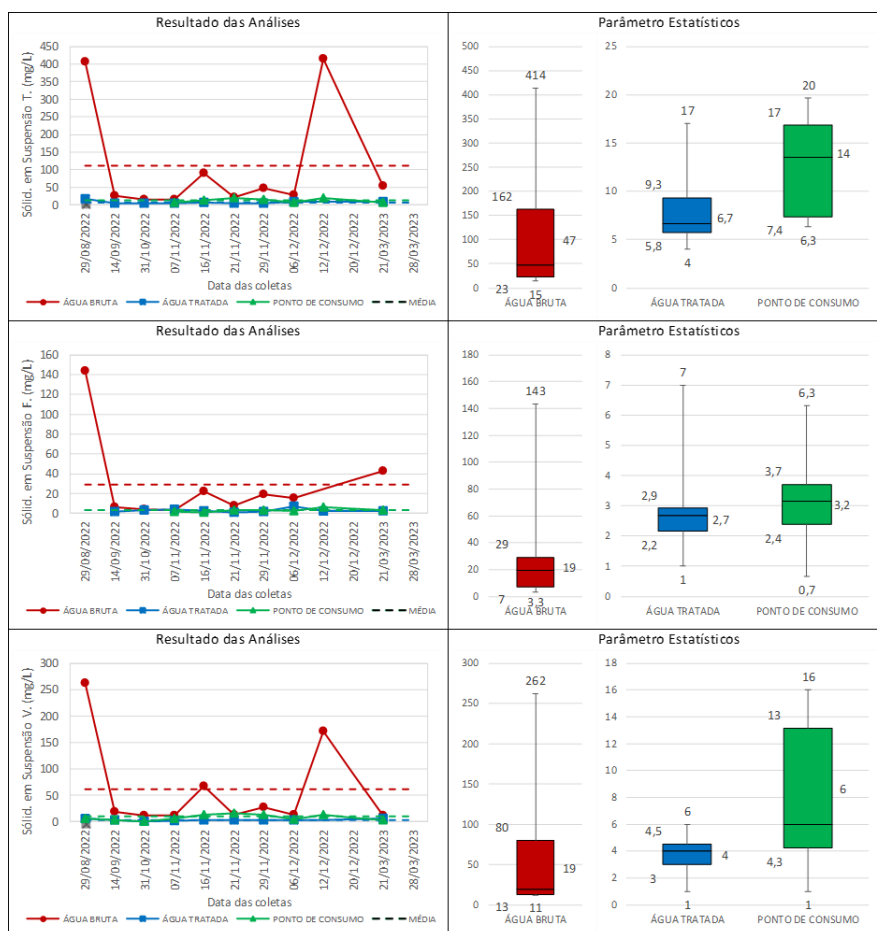
Legenda: SST – Sólidos em suspensão totais; SSF – Sólidos em suspensão fixos; SSV – Sólidos em suspensão voláteis.

Fonte: o autor (2023).

Vale ressaltar que ocorreram oscilações significativas nos resultados das amostras, as quais podem ser justificadas pela existência de um reservatório de armazenamento da água cinza antes da etapa de tratamento e a possibilidade de ocorrência de sedimentação pode resultar em significativas oscilações de qualidade de efluente na entrada na ETAC.

O valor da média dos resultados de sólidos em suspensão totais da água cinza se apresentou próximo do valor referência apontado pelo estudo de Souza et al. (2019). Considerando o valor da média dos resultados (112 mg SST/L), 25,9% eram sólidos fixos e 74,1% sólidos voláteis. A ETAC demonstrou uma eficiência de redução dos sólidos totais de 92,9% e considerando a média dos resultados (8 mg/L) de sólidos totais, 37,5% eram sólidos fixos e 62,5% sólidos voláteis. No ponto de consumo, a média dos resultados foi igual a 13 mg/L de sólidos totais, dos quais 23,1% eram sólidos fixos e 76,9% sólidos voláteis. A Figura 5.9 apresenta a evolução gráfica dos resultados das amostras coletadas.

Figura 5.9 - Gráfico dos resultados de sólidos em suspensão totais, fixos e voláteis



Fonte: o autor (2023).



### 5.2.3.10 Sólidos sedimentáveis

Foram efetuadas análises de sólidos sedimentáveis nas amostras coletadas da água cinza bruta, tratada e no ponto de consumo e os resultados estão apresentados na Tabela 5.15.

Tabela 5.15 – Tabela dos resultados das análises de sólidos sedimentáveis

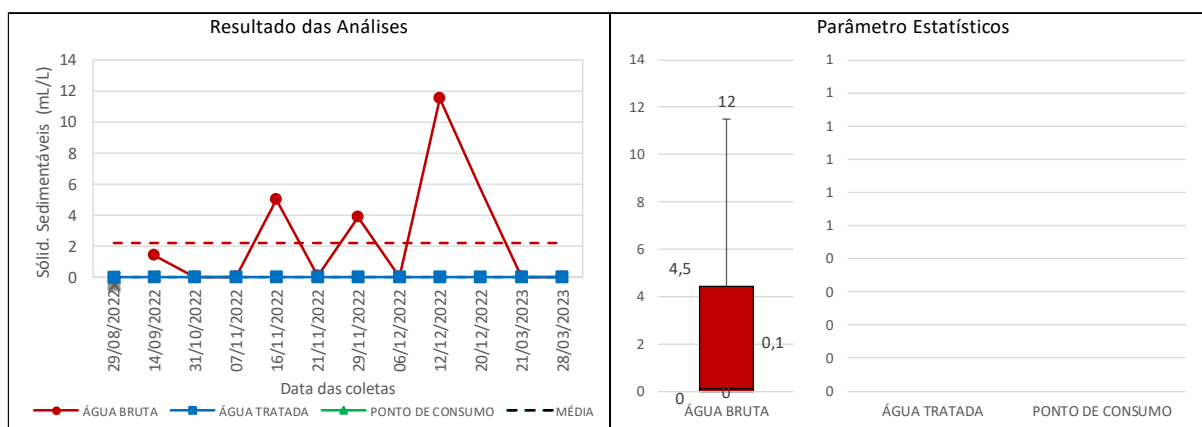
Sólidos Sedimentáveis (mL/L)	29/08/2022	14/09/2022	31/10/2022	07/11/2022	16/11/2022	21/11/2022	29/11/2022	06/12/2022	12/12/2022	20/12/2022	21/03/2023	28/03/2023	MÉDIA	VALOR REFERÊNCIA
ÁGUA CINZA	85*	1,4	0,0	0,0	5,0	0,1	3,9	0,0	11,5	70*	0,0	0,0	2,2	-
ÁGUA TRATADA	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-
PONTO DE CONSUMO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Parâmetros Estatísticos	Mediana	Desvio Padrão	Máximo	Mínimo	1ºQ	3ºQ								
ÁGUA CINZA	0,1	± 3,75	11,5	0,0	0,0	3,3								
ÁGUA TRATADA	0,0	± 0,00	0,0	0,0	0,0	0,0								
PONTO DE CONSUMO	-	-	-	-	-	-								

Fonte: o autor (2023).

O valor da média dos resultados de sólidos sedimentáveis na água cinza bruta foi igual a 2,2 mL/L, enquanto na água tratada, o valor estava abaixo do limite de detecção. O processo de tratamento se demonstrou eficiente na remoção dos sólidos sedimentáveis, com percentual de eficiência de, praticamente, 100%.

A Figura 5.10 apresenta a evolução gráfica dos resultados das amostras coletadas.

Figura 5.10 - Gráfico dos resultados das análises de sólidos sedimentáveis



Fonte: o autor (2023).

### 5.2.3.11 Sólidos dissolvidos totais (SDT)

Efetuar-se análises de sólidos sedimentáveis nas amostras coletadas da água cinza bruta, tratada e do ponto de consumo e os resultados estão apresentados na Tabela 5.16.

Tabela 5.16 – Tabela dos resultados das análises de Sólidos dissolvidos totais

STD (mg/L)	29/08/2022	14/09/2022	31/10/2022	07/11/2022	16/11/2022	21/11/2022	29/11/2022	06/12/2022	12/12/2022	20/12/2022	21/03/2023	28/03/2023	MÉDIA	VALOR REFERÊNCIA
ÁGUA CINZA	-	-	164	178	194	219	180	164	187	211	210	230	194	-
ÁGUA TRATADA	-	-	152	136	162	155	163	175	140	146	140	201*	152	<2000
PONTO DE CONSUMO	-	-	-	144	171	165	159	157	146	123	143	-	151	<2000
<b>Parâmetros Estatísticos</b>	<b>Mediana</b>		<b>Desvio Padrão</b>		<b>Máximo</b>		<b>Mínimo</b>		<b>1ºQ</b>	<b>3ºQ</b>				
ÁGUA CINZA	190		± 23,06		230		164		178	211				
ÁGUA TRATADA	152		± 12,96		175		136		140	162				
PONTO DE CONSUMO	152		± 15,08		171		123		143	160				

NOTA: a leitura do TDS foi efetuada por equipamento que mede a condutividade e faz a transposição do resultado para o TDS mediante uma equação interna. Dessa forma, a alteração da condutividade da água pode interferir nos resultados expressos em TDS.

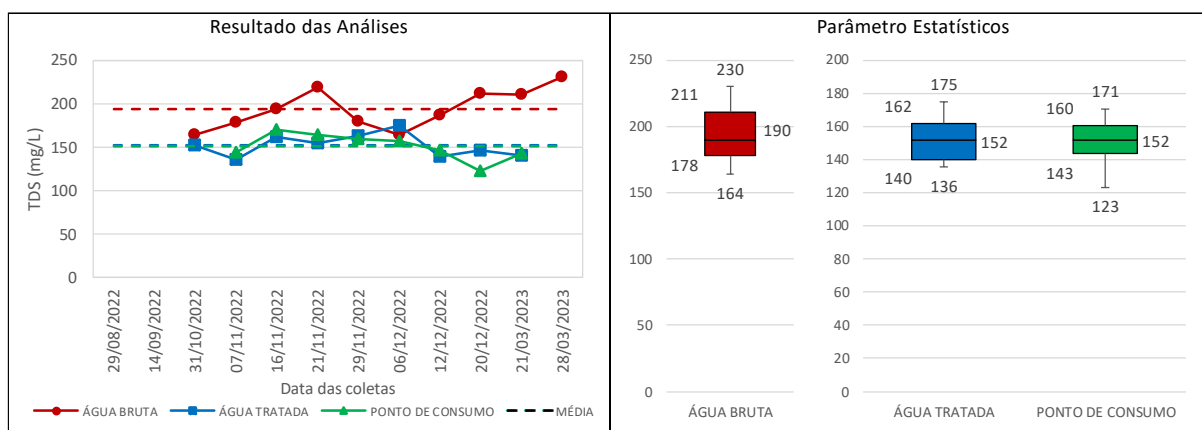
Fonte: o autor (2023).

O valor da média aritmética dos dados de STD na água cinza bruta foi igual a 194 mg/L, esse resultado é influenciado pelo tipo e pela quantidade dos produtos utilizados (sabões e detergentes) nos processos que geradores de água cinza. (ZAVALA, ESTRADA, 2016)

Observou-se uma redução do valor dos STD na água tratada, tendo como valor da média; 152 mg/L. Vale ressaltar que a redução dos STD não era um resultado esperado nesse estudo, visto que as etapas de tratamento presentes na ETAC não possuem aplicabilidade quando se deseja reduzir as concentrações desse parâmetro.

Essa redução também foi evidenciada no estudo de Zavala e Estrada (2016) que avaliaram a eficiência do tratamento de águas cinza de acordo com o tipo de detergente utilizado. Zavala e Estrada (2016) não esperavam reduções significativas do STD, entretanto, obtiveram reduções na ordem de 33% por meio de coagulação química e floculação. A Figura 5.11 apresenta a evolução gráfica dos resultados das amostras coletadas.

Figura 5.11 - Gráfico dos resultados das análises de Sólidos dissolvidos totais (SDT)



Fonte: o autor (2023).

### 5.2.3.12 Turbidez

Efetuaram-se análises de turbidez nas amostras coletadas das águas cinza bruta, tratada e do ponto de consumo e os resultados estão apresentados na Tabela 5.17.

Tabela 5.17 – Tabela dos resultados das análises de turbidez

Turbidez (NTU)	29/08/2022	14/09/2022	31/10/2022	07/11/2022	16/11/2022	21/11/2022	29/11/2022	06/12/2022	12/12/2022	20/12/2022	21/03/2023	28/03/2023	MÉDIA	VALOR REFERÊNCIA
	ÁGUA CINZA	476*	66	18	31	103	22	59	24	214	198	18	31	71
ÁGUA TRATADA	0,6	0,6	2,8	1,1	1,4	1,7	0,8	3,5	0,7	6*	1,0	1,3	1,4	<5
PONTO DE CONSUMO	-	-	-	1,2	1,3	1,8	1,0	2,2	0,6	2,1	1,1	-	1,4	<5

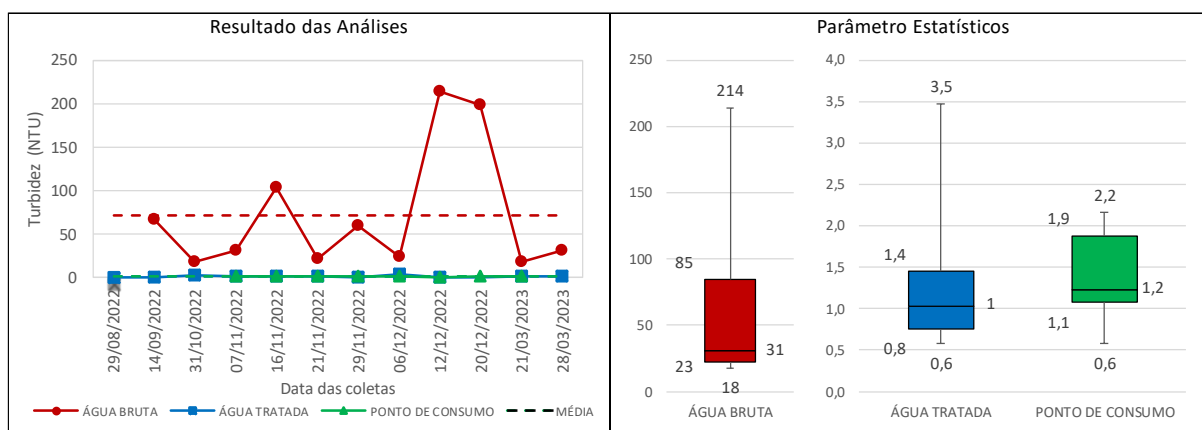
  

Parâmetros Estatísticos	Mediana	Desvio Padrão	Máximo	Mínimo	1ºQ	3ºQ
ÁGUA CINZA	31	± 71,60	214	18	23	85
ÁGUA TRATADA	1,1	± 0,94	3,5	0,6	0,7	1,5
PONTO DE CONSUMO	1,2	± 0,56	2,2	0,6	1,1	1,9

Fonte: o autor (2023).

A média dos valores do parâmetro turbidez da água cinza, praticamente, se igualou ao valor apontado como referência por Souza et al. (2019). Por outro lado, considerando os resultados obtidos para a água tratada e ponto de consumo, os valores encontrados mostraram pouca variação, demonstrando robustez no processo de tratamento. O valor da média aritmética da turbidez da água de reúso foi de 1,4 NTU sendo consideravelmente inferior ao limite recomendado para fins não potáveis, 5 NTU. Os resultados apontam a média de eficiência na remoção de turbidez de 98%. A Figura 5.12 apresenta a evolução gráfica dos resultados das amostras coletadas.

Figura 5.12 – Gráfico dos resultados das análises de turbidez



Fonte: o autor (2023).

## 5.2.4 Análise de confiabilidade

### 5.2.4.1 Teste de normalidade dos dados

Para realização dos testes de normalidade, utilizou-se o software GRAPHPAD PRISM 5®. Os dados de qualidade da água de reúso foram utilizados desconsiderando os *outliers* referente aos parâmetros: turbidez, cor, SST e DQO. Os dados considerados na análise de confiabilidade estão apresentados na Tabela 5.18.

Tabela 5.18 – Dados considerados para lançamento no *software* GRAPHPAD PRISM 5®

DADOS BRUTOS				DADOS TRATADOS (Após remoção dos outliers)			
Turbidez (NTU)	Cor (mg Pt-Co/L)	Sólidos em Suspensão Totais (mg/L)	DQO (mg O <sub>2</sub> /L)	Turbidez (NTU)	Cor (mg Pt-Co/L)	Sólidos em Suspensão Totais (mg/L)	DQO (mg O <sub>2</sub> /L)
0,63	10,0	17,0	-	0,63	10,0	17,0	46,7
0,58	2,0	6,0	-	0,58	2,0	6,0	38,3
2,83	6,0	4,0	46,7	2,83	6,0	4,0	35,0
1,06	2,0	5,5	38,3	1,06	2,0	5,5	35,0
1,36	3,0	6,7	35,0	1,36	3,0	6,7	46,7
1,71	3,0	4,0	35,0	1,71	3,0	4,0	41,7
0,79	4,0	6,0	46,7	0,79	4,0	6,0	45,0
3,47	5,0	10,0	41,7	3,47	5,0	10,0	25,0
0,65	18,0	25,3*	45,0	0,65	18,0	8,7	28,3
6,27*	10,0	214,0*	75,0*	1,00	10,0	-	-
1,00	9,0	8,7	25,0	1,34	9,0	-	-
1,34	10,0	-	28,3	-	10,0	-	-

Fonte: o autor (2023).

Considerou-se o método de Kolmogorov-Smirnov (KS) para avaliação da normalidade dos dados. Todos quatro parâmetros avaliados passaram no teste sendo classificados como distribuição normal. Os resultados estão expressos na Tabela 5.19.

Tabela 5.19 – Resultado da análise estatística do *software* GRAPHPAD PRISM 5®

	<b>Turbidez (NTU)</b>	<b>Cor (mg Pt-Co/L)</b>	<b>Sólidos em Suspensão Totais (mg/L)</b>	<b>DQO (mg O<sub>2</sub>/L)</b>
Number of values	11	12	9	9
Minimum	0,580	2,000	4,000	25,000
25% Percentile	0,650	3,000	4,750	31,670
Median	1,060	5,500	6,000	38,330
75% Percentile	1,710	10,000	9,335	45,840
Maximum	3,470	18,000	17,000	46,670
Mean	1,402	6,833	7,538	37,960
Std. Deviation	0,944	4,745	4,055	7,853
Std. Error	0,285	1,370	1,352	2,618
Lower 95% CI of mean	0,768	3,819	4,421	31,930
Upper 95% CI of mean	2,036	9,848	10,650	44,000
<b>KS normality test</b>				
KS distance	0,245	0,169	0,251	0,148
P value	0,064	> 0,10	> 0,10	> 0,10
Passed normality test (alpha=0.05)?	Yes	Yes	Yes	Yes
P value summary	ns	ns	ns	ns

Fonte: o autor (2023).

#### 5.2.4.2 Valores limites considerados na Análise de Confiabilidade

Para o limite do parâmetro turbidez, considerou-se a NBR 16.783/19 que estabelece os padrões de água não potável em edificações. Para avaliação do parâmetro cor, foi considerada a Portaria de nº 888 de 4 de maio de 2021 do Ministério da Saúde. Para os sólidos em suspensão totais, foi considerada a norma NBR 13.969/97 considerando para o padrão de reúso para a Classe 1.

A DQO não é um parâmetro regulamentado nas diretivas vigentes para avaliação da qualidade da água potável ou não potável. Por outro lado, embora não se tenha analisado a concentração da DBO, optou-se pela inclusão da DQO nessa análise. Souza et al. (2019) obtiveram o valor referência na água cinza bruta de 300 mg O<sub>2</sub>/L de DQO e 150 mg O<sub>2</sub>/L de DBO, perfazendo uma relação de 2:1. Dessa forma, foi considerado como valor limite para a qualidade da água de reúso tratada, o valor máximo permissível igual a 40 mgO<sub>2</sub>/L de DQO, tendo em vista que a NBR 16.783/19

recomenda o valor máximo de 20 mg O<sub>2</sub>/L de DBO. Os resultados dos valores considerados estão apresentados na Tabela 5.20.

Tabela 5.20 – Valores considerados como limite para a água de reúso para efeito do cálculo de confiabilidade

	<b>Turbidez (NTU)</b>	<b>Cor (mg Pt-Co/L)</b>	<b>Sólidos em Suspensão Totais (mg/L)</b>	<b>DBO (mg O<sub>2</sub>/L)</b>	<b>DQO (mg O<sub>2</sub>/L)</b>
Referência	NBR 16.783/19	Portaria nº 888	NBR 13.969/97	NBR 16.783/19	Adaptado de SOUZA et al. (2019)
Valor limite considerado	5	15	200	20	40

Fonte: o autor (2023).

#### 5.2.4.3 Cálculo da confiabilidade

A partir das variáveis normalizadas padronizadas, obteve-se o percentual de confiabilidade do sistema. Os resultados estão expressos na Tabela 5.21.

Tabela 5.21 – Cálculo da confiabilidade do sistema considerando os resultados de cada parâmetro

	<b>Turbidez (NTU)</b>	<b>Cor (mg Pt-Co/L)</b>	<b>Sólidos em Suspensão Totais (mg/L)</b>	<b>DQO (mg O<sub>2</sub>/L)</b>
Média	1,4	6,8	7,5	37,96
Valor limite considerado	5	15	200	40
Coefficiente de variação	0,67	0,69	0,54	0,21
Variável normal padronizada	2,39	1,57	6,76	0,36
Confiabilidade do sistema	99%	94%	100%	64%

Fonte: o autor (2023).

Os resultados de confiabilidade do sistema foram de 99% para turbidez, 94% para cor, 100% para sólidos em suspensão totais e 64% para DQO.

Vale ressaltar que proporção considerada de DQO:DBO para estimativa do valor limite foi da água cinza bruta (antes do tratamento), a relação da água de reúso (após tratamento) pode sofrer alterações, visto que a eficiência de remoção de DBO e DQO não são necessariamente similares.

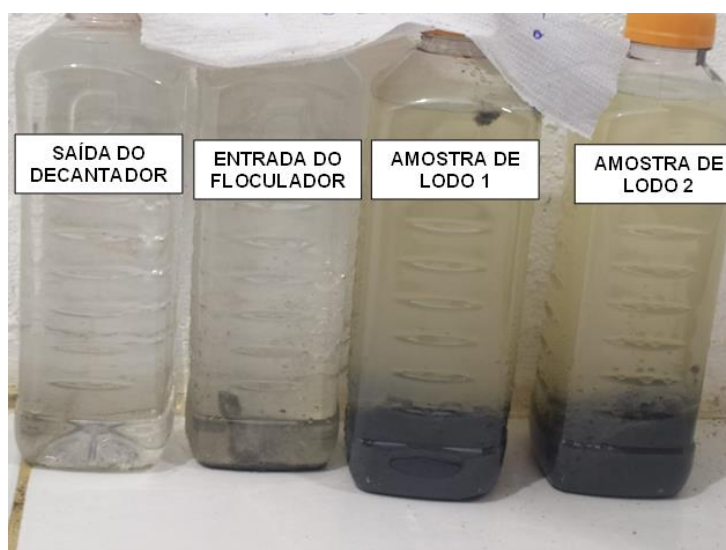
O processo físico-químico de tratamento da água cinza para produção de água de reúso, incluindo as etapas de coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção se demonstrou eficaz garantindo uma água dentro dos padrões

estabelecidos para o uso não potável, podendo ser aplicada em irrigação, lavagem de pisos e utilização em descargas sanitárias.

### 5.3 Caracterização preliminar do lodo do decantador

Para caracterização do lodo do decantador foram coletadas amostras em 03 pontos (entrada do decantador, saída do decantador e descarte do decantador). A Figura 5.13 apresenta a identificação das amostras e o aspecto visual das amostras coletadas.

Figura 5.13 – Fotografia das amostras das entradas e saídas do decantador coletada em 10 de maio de 2023



Fonte: o autor (2023).

As amostras foram encaminhadas ao laboratório para análises da série de sólidos e os resultados estão expressos na Tabela 5.22.

Tabela 5.22 – Resultados das análises de sólidos nas entradas e saídas decantador

<b>Ponto de Coleta</b>	<b>Sólidos Totais (mg/L)</b>	<b>Sólidos Fixos (mg/L)</b>	<b>Sólidos Voláteis (mg/L)</b>
Entrada do floculador	922,5	328,5	594,0
Saída do decantador	412,0	103,0	309,0
Lodo do decantador	36.820	5.907	30.914

Fonte: o autor (2023).

De acordo com os resultados obtidos, realizou-se um cálculo do balanço de massa para se estimar o volume produzido de lodo por metro cúbico de água de reúso tratada. Os resultados estão apresentados na Tabela 5.23.

Tabela 5.23 – Estimativa da produção de lodo no decantador da ETAC

<b>Parâmetro</b>	<b>Resultado</b>
Concentração de Sólidos na entrada do flocculador (mg/L)	922,5
Concentração de Sólidos na saída do decantador (mg/L)	412,0
Remoção de sólidos no processo de decantação (mg/L)	510,5
Remoção de sólidos no processo de decantação (mg/m <sup>3</sup> )	510.500
Concentração de sólidos do lodo do decantador (mg/L)	36.820
<b>Quantidade de lodo gerada (L/m<sup>3</sup> de água tratada)</b>	<b>13,86</b>

Fonte: o autor (2023).

Dessa forma, pode-se concluir que a cada metro cúbico tratado são produzidos de forma estimada 14L de lodo representando 1,4% do volume tratado. O teor de sólidos no lodo coletado foi de 3,7%. Considerando o valor da média de produção mensal de 450 m<sup>3</sup> de água de reúso pela ETAC, pode-se afirmar que a estimativa da massa de lodo gerada é igual a 229,7 kg por mês ou de 2.756,7 kg por ano. Vale ressaltar que a análise efetuada tem caráter preliminar, de forma a fornecer um embasamento inicial para futuros estudos com caracterização do lodo em sistemas de reúso.

#### **5.4 Viabilidade econômica**

Para o estudo da viabilidade econômica foram considerados as despesas e receitas que compuseram o projeto do objeto de estudo. Algumas dessas despesas não puderam ser precisamente levantadas por falta de acesso às informações sob responsabilidade da construtora do empreendimento, a exemplo do custo de implantação da ETAC. Dessa forma, foram considerados cenários com diferentes custos de implantação que permitem a comparação entre a viabilidade econômica de acordo com o valor aportado no projeto e seu retorno financeiro.

##### **5.4.1 Investimento inicial (custo de implantação)**

O investimento inicial foi dividido em duas subcategorias: custo das máquinas e equipamentos que compõem o sistema de produção de água de reúso e o custo da obra civil que considera as despesas com a captação das águas cinza e da água de chuva, recalque da água de reúso, armazenamento e distribuição para as descargas sanitárias.



#### 5.4.1.1 Custo dos equipamentos do sistema de reúso

Foram estimados os custos de implantação do sistema considerando os preços praticados pelo mercado corrigidos para o mês referência de dezembro de 2022. Os resultados estão expressos na Tabela 5.24.

Tabela 5.24 – Estimativa do valor de implantação dos equipamentos do sistema de reúso

<b>Equipamentos</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Estimativa do valor unitário</b>	<b>Estimativa do valor total</b>
ETAC – ALFAMEC® 5,0 m³/h	1	R\$ 172.175,26	R\$ 172.175,26
Sistema de reúso pluvial	1	R\$ 31.082,07	R\$ 31.082,07
Reservatório de 10 m³ em Fibra de Vidro	4	R\$ 5.000,00	R\$ 20.000,00
Bomba de Recalque 10 CV	3	R\$ 10.000,00	R\$ 30.000,00
Quadro elétrico para bombas de recalque	1	R\$ 5.000,00	R\$ 5.000,00
<b>Valor total</b>			<b>R\$ 258.257,33</b>

Fonte: o autor (2023).

#### 5.4.1.2 Cenários do investimento inicial

Pela ausência de informações dos custos da construtora do empreendimento, foram criados cenários com diferentes custos de obra civil somados aos valores estimados dos equipamentos. Os custos de implantação estão detalhados na Tabela 5.25.

Tabela 5.25 – Estimativa de custo de implantação considerando diferentes cenários

<b>Estimativa de custo</b>	<b>Cenário 01</b>	<b>Cenário 02</b>	<b>Cenário 03</b>	<b>Cenário 04</b>
Equipamentos	R\$ 258.257,33	R\$ 258.257,33	R\$ 258.257,33	R\$ 258.257,33
Obra civil	R\$ 100.000,00	R\$ 200.000,00	R\$ 300.000,00	R\$ 500.000,00
<b>Total</b>	<b>R\$ 358.257,33</b>	<b>R\$ 458.257,33</b>	<b>R\$ 558.257,33</b>	<b>R\$ 758.257,33</b>

Fonte: o autor (2023).

#### 5.4.2 Depreciação

Considerou-se para efeito de depreciação o prazo de 10 anos para instalações (máquinas e equipamentos), representando 10% ao ano, e de 25 anos para as edificações (obra civil), representando 4% ao ano. A desvalorização segue a tabela de depreciação de bens estabelecida pela Receita Federal no artigo 305 do RIR/99. Os resultados anuais estão detalhados na Tabela 5.26.

Tabela 5.26 – Depreciação anual considerando diferentes cenários

<b>Depreciação anual</b>	<b>Cenário 01</b>	<b>Cenário 02</b>	<b>Cenário 03</b>	<b>Cenário 04</b>
Equipamentos (10% a.a)	R\$ 25.825,73	R\$ 25.825,73	R\$ 25.825,73	R\$ 25.825,73
Obra civil (4% a.a)	R\$ 4.000,00	R\$ 8.000,00	R\$ 12.000,00	R\$ 20.000,00
<b>Total</b>	<b>R\$ 29.825,73</b>	<b>R\$ 33.825,73</b>	<b>R\$ 37.825,73</b>	<b>R\$ 45.825,73</b>

Fonte: o autor (2023).

### 5.4.3 Variáveis geradoras de economia

Para elaboração do fluxo de caixa da viabilidade econômica, foi considerada como receita a soma das variáveis geradoras de economia no projeto em questão. Dentre as variáveis, pode-se destacar a redução do custo com aquisição de água potável e a redução do custo com a disposição dos esgotos, ambos, praticados pela prestadora de serviços de saneamento.

#### 5.4.3.1 Tabela da concessionária local

A prestadora de serviços de saneamento local (EMBASA) possui uma tabela de cobrança pela água específica para as ligações residenciais. Para empreendimentos que possuem o descarte dos esgotos sanitários na rede coletora, cobra-se pela remuneração desse serviço o valor adicional de 80% sobre o custo da água efetivamente consumida. Esses valores são apresentados na Tabela 5.27.

Tabela 5.27 – Tabela vigente de julho a dezembro de 2022 com os valores cobrados pela concessionária local para ligações residenciais

<b>Faixas de consumos</b>	<b>Valor referência (água)</b>	<b>Valor referência (água + esgoto)</b>
Até 6 m <sup>3</sup>	R\$ 32,64 p/ mês	R\$ 58,75 p/ mês
7 - 10 m <sup>3</sup>	R\$ 1,29 p/ m <sup>3</sup>	R\$ 2,32 p/ m <sup>3</sup>
11 - 15 m <sup>3</sup>	R\$ 9,14 p/ m <sup>3</sup>	R\$ 16,45 p/ m <sup>3</sup>
16 - 20 m <sup>3</sup>	R\$ 9,78 p/ m <sup>3</sup>	R\$ 17,60 p/ m <sup>3</sup>
21 - 25 m <sup>3</sup>	R\$ 10,99 p/ m <sup>3</sup>	R\$ 19,78 p/ m <sup>3</sup>
26 - 30 m <sup>3</sup>	R\$ 12,26 p/ m <sup>3</sup>	R\$ 22,07 p/ m <sup>3</sup>
31 - 40 m <sup>3</sup>	R\$ 13,48 p/ m <sup>3</sup>	R\$ 24,26 p/ m <sup>3</sup>
41 - 50 m <sup>3</sup>	R\$ 14,79 p/ m <sup>3</sup>	R\$ 26,62 p/ m <sup>3</sup>
> 50 m <sup>3</sup>	R\$ 17,78 p/ m <sup>3</sup>	R\$ 32,00 p/ m <sup>3</sup>

Fonte: adaptado de EMBASA (2023).

#### 5.4.3.2 *Custo com fornecimento de água e coleta de esgotos praticados pela prestadora de serviços de saneamento*

Calcula-se o custo total da conta de água pelo escalonamento do consumo médio por unidade consumidora (número de ligações cadastradas na EMBASA) na tabela dos valores unitários, e, ao final, multiplica-se o custo obtido da unidade consumidora pelo número de unidades consumidoras cadastradas. Dessa forma, os valores calculados para o empreendimento em estudo considerando o período compreendido entre os meses de julho e dezembro do ano de 2022 estão apresentados na Tabela 5.28.

Tabela 5.28 – Detalhamento da conta da concessionária local

<b>Mês</b>	<b>Consumo EMBASA (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Unidades de consumo (UC)</b>	<b>Consumo por unidade (m<sup>3</sup>/UC)</b>	<b>Valor da conta de água e esgoto</b>
Julho, 2022	3.478	74	47	R\$ 64.865,74
Agosto, 2022	3.478	74	47	R\$ 64.865,74
Setembro, 2022	3.404	74	46	R\$ 62.895,71
Outubro, 2022	3.626	74	49	R\$ 68.805,79
Novembro, 2022	3.552	74	48	R\$ 66.835,76
Dezembro, 2022	3.330	74	45	R\$ 60.925,68

Fonte: o autor (2023).

#### 5.4.3.3 *Custo com abastecimento de água e coleta de esgotos, caso não houvesse sistema de reúso*

Por fim, para ser concebido um cenário referência, simulando os valores que seriam pagos pelos usuários sem a prática do reúso das águas cinza, calculou-se a projeção considerando o consumo total de água de abastecimento (prestadora de serviços de saneamento + ETAC + uso de água pluvial). A Tabela 5.29 apresenta os valores projetados.

Tabela 5.29 – Detalhamento da conta da projetada para abastecimento total

Mês	Consumo EMBASA (m <sup>3</sup> )	Consumo do sistema de reúso (m <sup>3</sup> )	Consumo total (m <sup>3</sup> )	Unidades de consumo (UC)	Consumo total por unidade (m <sup>3</sup> /UC)	Valor projetado da conta de água e esgoto
julho, 2022	3.478	400	3878	74	52,41	R\$ 76.472,53
agosto, 2022	3.478	416	3894	74	52,62	R\$ 76.984,60
setembro, 2022	3.404	414	3818	74	51,59	R\$ 74.552,29
outubro, 2022	3.626	408	4034	74	54,51	R\$ 81.465,16
novembro, 2022	3.552	651	4203	74	56,80	R\$ 86.873,83
dezembro, 2022	3.330	519	3849	74	52,01	R\$ 75.544,42

Fonte: o autor (2023).

#### 5.4.3.4 Redução no valor da conta de água e esgoto em virtude do reúso

Calculou-se a redução no valor da conta paga pela prestação de serviços de abastecimento de água e coleta dos esgotos por meio da diferença entre o valor projetado para o abastecimento total e o valor efetivamente cobrado pela prestadora de serviços de saneamento local. Os resultados estão expressos na Tabela 5.30.

Tabela 5.30 – Detalhamento da redução mensal na conta da concessionária local

Mês	Valor projetado da conta de água e esgoto	Valor da conta de água e esgoto	Redução na conta de água e esgoto
julho, 2022	R\$ 76.472,53	R\$ 64.865,74	R\$ 11.606,80
agosto, 2022	R\$ 76.984,60	R\$ 64.865,74	R\$ 12.118,86
setembro, 2022	R\$ 74.552,29	R\$ 62.895,71	R\$ 11.656,58
outubro, 2022	R\$ 81.465,16	R\$ 68.805,79	R\$ 12.659,36
novembro, 2022	R\$ 86.873,83	R\$ 66.835,76	R\$ 20.038,07
dezembro, 2022	R\$ 75.544,42	R\$ 60.925,68	R\$ 14.618,74

Fonte: o autor (2023).

#### 5.4.4 Variáveis geradoras de despesa (custos operacionais)

Para elaboração do fluxo de caixa da viabilidade econômica, considerou-se como despesa a soma das variáveis geradoras de despesa do projeto em questão, que também pode ser descrita como custos operacionais. Dentre as variáveis, pode-se destacar os custos: com consumo de energia elétrica; com aquisição de produtos químicos; com a mão de obra para operação da ETAC; com tratamento de lodo e com as análises laboratoriais de monitoramento.

#### 5.4.4.1 Estimativa dos custos operacionais com produtos químicos

Fundamentado nas concentrações e dosagens de cada um dos produtos químicos usados na ETAC e considerando os valores praticados pela empresa que fornece os produtos para operação da ETAC, calculou-se o custo unitário por m<sup>3</sup> de água de reúso tratada. Os valores estão expressos na Tabela 5.31.

Tabela 5.31 – Custo unitário com produtos químicos por m<sup>3</sup> de água de reúso tratada

Mês	Dose HP <sup>1</sup> (mg/L)	Dose PA <sup>2</sup> (mg/L)	Dose CS <sup>3</sup> (mg/L)	Dose PAC <sup>4</sup> (mg/L)	Preço HP <sup>1</sup> (R\$/kg)	Preço PA <sup>2</sup> (R\$/kg)	Preço CS <sup>3</sup> (R\$/kg)	Preço PAC <sup>4</sup> (R\$/kg)	Custo Unitário do m <sup>3</sup> (R\$/m <sup>3</sup> )
julho, 2022	70	0,21	60	30	R\$ 5,50	R\$ 89,00	R\$ 21,60	R\$ 8,15	R\$ 1,94
agosto, 2022	70	0,21	60	30	R\$ 5,75	R\$ 89,00	R\$ 21,60	R\$ 8,15	R\$ 1,96
setembro, 2022	70	0,21	60	30	R\$ 5,75	R\$ 89,00	R\$ 15,20	R\$ 8,15	R\$ 1,58
outubro, 2022	70	0,21	60	30	R\$ 5,75	R\$ 89,00	R\$ 15,20	R\$ 8,15	R\$ 1,58
novembro, 2022	70	0,00	60	30	R\$ 5,75	R\$ 89,00	R\$ 16,40	R\$ 8,15	R\$ 1,63
dezembro, 2022	70	0,00	60	30	R\$ 5,75	R\$ 89,00	R\$ 16,40	R\$ 8,15	R\$ 1,63

Nota: 1 – HP (Hipoclorito de sódio 12%); 2 – PA (Polímero aniônico); 3 – CS (Carbonato de sódio); 4 – PAC (Cloreto de polialumínio 18%).

Fonte: o autor (2023).

Vale salientar que os valores unitários dos produtos químicos apresentados na Tabela 5.31, seguem a tabela de preços da empresa que opera o sistema de reúso e, dessa forma, o custo unitário do volume (m<sup>3</sup>) tratado pode apresentar variações, caso considerem-se diferentes condições comerciais dos produtos químicos.

De forma análoga, é possível analisar os custos com o aproveitamento de água pluvial considerando as dosagens e os valor unitário dos produtos químicos. Dessa forma, a Tabela 5.32 apresenta os custos unitários.

Tabela 5.32 – Custos unitários com produtos químicos do volume (m<sup>3</sup>) gerado pelo aproveitamento da água pluvial

Mês	Dose de Hipoclorito de Sódio 12% (mg/L)	Preço do Hipoclorito de Sódio (R\$/kg)	Custo Unitário (R\$/m <sup>3</sup> )
julho, 2022	50	R\$ 5,50	R\$ 0,28
agosto, 2022	50	R\$ 5,75	R\$ 0,29
setembro, 2022	50	R\$ 5,75	R\$ 0,29
outubro, 2022	50	R\$ 5,75	R\$ 0,29
novembro, 2022	50	R\$ 5,75	R\$ 0,29
dezembro, 2022	50	R\$ 5,75	R\$ 0,29

Fonte: o autor (2023).

Com base nos custos unitários e produção mensal de cada unidade de operação, calculou-se o custo mensal com aquisição de produtos químicos. Os resultados são apresentados na Tabela 5.33.

Tabela 5.33 – Custo mensal com aquisição de produtos químicos do sistema de reúso

Mês	Produção mensal ETAC	Produção mensal do reúso pluvial	Custo unitário com produto químicos da ETAC (R\$/m <sup>3</sup> )	Custo unitário com produto químicos do reúso pluvial (R\$/m <sup>3</sup> )	Custo mensal com produtos químicos (R\$/m <sup>3</sup> )
julho, 2022	381	19	R\$ 1,94	R\$ 0,28	R\$ 746,01
agosto, 2022	386	30	R\$ 1,96	R\$ 0,29	R\$ 765,88
setembro, 2022	388	26	R\$ 1,58	R\$ 0,29	R\$ 619,66
outubro, 2022	377	31	R\$ 1,58	R\$ 0,29	R\$ 603,75
novembro, 2022	649	2	R\$ 1,63	R\$ 0,29	R\$ 1.059,17
dezembro, 2022	519	0	R\$ 1,63	R\$ 0,29	R\$ 846,55

Fonte: o autor (2023).

Constata-se que a produção de água de reúso por meio do aproveitamento e tratamento da água pluvial contribui com 16,6% do custo do sistema de produção de água de reúso a partir do tratamento da água cinza. Esse fato decorre, principalmente, da dispensabilidade da etapa de coagulação no tratamento das águas pluviais em virtude do baixo grau de cor e turbidez, quando comparado com as águas cinza.

Embora o sistema de reúso pluvial opere com um custo operacional de produtos químicos consideravelmente menor comparado ao da ETAC, há uma restrição quanto à disponibilidade do recurso pluvial dependendo diretamente do período de chuvas. Esse fato pode ser confirmado ao se comparar os volumes produzidos mensais entre ETAC e reúso pluvial.

#### 5.4.4.2 Estimativa dos custos operacionais com energia elétrica

Primeiramente, foram levantados os equipamentos e suas respectivas potências considerando as horas necessárias de funcionamento para cada equipamento visando ao atendimento para produção de 1,0 m<sup>3</sup> de água de reúso. O consumo estimado da energia elétrica por m<sup>3</sup> de água tratada da ETAC é apresentado na Tabela 5.34.

Tabela 5.34 – Consumo de energia elétrica por m<sup>3</sup> tratado da ETAC

Equipamento	Potência (W)	Horas dedicadas por m <sup>3</sup> tratado (h/m <sup>3</sup> )	Consumo de energia por m <sup>3</sup> tratado (kWh/m <sup>3</sup> )	Consumo total de energia por m <sup>3</sup> tratado (kWh/m <sup>3</sup> )
Bomba da água cinza 1,0 CV (3.200 L/h)	735	0,3	0,23	
Bombas dosadoras (04 de 15,4 W)	61,6	0,3	0,02	
Agitador mecânico de eixo axial 1/3 CV	245	0,3	0,08	0,40
Bomba de transferência 1/2 CV	367,5	0,2	0,07	

Fonte: o autor (2023).

Para estimativa do custo operacional com energia elétrica, foram considerados: o custo unitário do kWh fornecido pela prestadora do serviço de fornecimento de energia elétrica do estado da Bahia em cada mês multiplicado pelo consumo para produção de 1,0 m<sup>3</sup> de água de reúso e pela produção mensal da ETAC. Os resultados estão na Tabela 5.35.

Tabela 5.35 – Custo mensal com energia elétrica da ETAC

Mês	Consumo de energia elétrica por m <sup>3</sup> tratado (kWh/m <sup>3</sup> )	Custo unitário do kWh (R\$/kWh)	Custo de energia elétrica por m <sup>3</sup> tratado (R\$/m <sup>3</sup> )	Produção mensal da ETAC (m <sup>3</sup> )	Custo mensal com energia elétrica
julho, 2022	0,40	R\$ 1,17	R\$ 0,47	381	R\$ 177,62
agosto, 2022	0,40	R\$ 1,19	R\$ 0,48	386	R\$ 183,53
setembro, 2022	0,40	R\$ 1,16	R\$ 0,46	388	R\$ 179,82
outubro, 2022	0,40	R\$ 1,15	R\$ 0,46	377	R\$ 173,64
novembro, 2022	0,40	R\$ 1,18	R\$ 0,47	649	R\$ 305,48
dezembro, 2022	0,40	R\$ 1,23	R\$ 0,49	519	R\$ 254,63

Fonte: o autor (2023).

Já para o sistema de aproveitamento de água pluvial, de forma análoga à ETAC, o consumo está apresentado na Tabela 5.36.

Tabela 5.36 - Consumo de energia elétrica por m<sup>3</sup> tratado do reúso pluvial

Equipamento	Potência (W)	Horas dedicadas por m <sup>3</sup> tratado (h/m <sup>3</sup> )	Consumo de energia por m <sup>3</sup> tratado (kWh/m <sup>3</sup> )	Consumo total de energia por m <sup>3</sup> tratado (kWh/m <sup>3</sup> )
Bomba da água pluvial 1/2 CV (1.200 L/h)	367,5	0,83	0,31	
Bomba dosadora	15,4	0,83	0,01	0,32

Fonte: o autor (2023).

Da mesma maneira, o custo estimado com energia para tratamento da água pluvial está expresso na Tabela 5.37.

Tabela 5.37 – Custo mensal com energia elétrica do reúso pluvial

<b>Mês</b>	<b>Consumo de energia elétrica por m<sup>3</sup> tratado (kWh/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Custo unitário do kWh (R\$/kWh)</b>	<b>Custo de energia elétrica por m<sup>3</sup> tratado (R\$/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Produção mensal do reúso pluvial (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Custo mensal com energia elétrica</b>
julho, 2022	0,32	R\$ 1,17	R\$ 0,37	19	R\$ 7,09
agosto, 2022	0,32	R\$ 1,19	R\$ 0,38	30	R\$ 11,41
setembro, 2022	0,32	R\$ 1,16	R\$ 0,37	26	R\$ 9,64
outubro, 2022	0,32	R\$ 1,15	R\$ 0,37	31	R\$ 11,42
novembro, 2022	0,32	R\$ 1,18	R\$ 0,38	2	R\$ 0,75
dezembro, 2022	0,32	R\$ 1,23	R\$ 0,39	0	R\$ 0,00

Fonte: o autor (2023).

Por fim, foi calculou-se o custo total mensal com energia elétrica do sistema de reúso somando o custo mensal da ETAC com o custo oriundo do aproveitamento da água pluvial. Os valores estão expressos na Tabela 5.38.

Tabela 5.38 - Custo mensal com energia elétrica total (ETAC + reúso pluvial)

<b>Mês</b>	<b>Custo mensal com energia elétrica da ETAC</b>	<b>Custo mensal com energia elétrica do reúso pluvial</b>	<b>Custo mensal com energia elétrica total</b>
julho, 2022	R\$ 177,62	R\$ 7,09	R\$ 184,71
agosto, 2022	R\$ 183,53	R\$ 11,41	R\$ 194,94
setembro, 2022	R\$ 179,82	R\$ 9,64	R\$ 189,46
outubro, 2022	R\$ 173,64	R\$ 11,42	R\$ 185,06
novembro, 2022	R\$ 305,48	R\$ 0,75	R\$ 306,24
dezembro, 2022	R\$ 254,63	R\$ 0,00	R\$ 254,63

Fonte: o autor (2023).

Sobre a análise do impacto dos custos oriundos do uso da energia elétrica, as alternativas de produção de água de reúso a partir do tratamento das águas cinza na ETAC e aproveitamento da água pluvial possuem valores unitários mais próximos em comparação ao custo com aquisição de produtos químicos. Esse resultado pode ser justificado em virtude das bombas da ETAC possuírem melhor rendimento energético ao ser analisado sua proporção entre potência e vazão. O custo energético do tratamento de água pluvial é de aproximadamente 20% menor do que o tratamento das águas cinza.



#### 5.4.4.3 Mão de obra para operação da ETAC e aproveitamento da água pluvial

Para levantamento dos custos referentes à mão de obra de operação do sistema, consultou-se a empresa que detém o contrato de operação, obtendo-se os custos apontados na Tabela 5.39.

Tabela 5.39 – Custo mensal da mão de obra para operação do sistema de reúso (ETAC + reúso pluvial)

<b>Mês</b>	<b>Custo mensal da mão de obra</b>
julho, 2022	R\$ 2.185,47
agosto, 2022	R\$ 2.405,55
setembro, 2022	R\$ 2.405,55
outubro, 2022	R\$ 2.405,55
novembro, 2022	R\$ 2.405,55
dezembro, 2022	R\$ 2.405,55

Fonte: o autor (2023).

Vale ressaltar que o custo no mês de julho de 2022 difere dos demais meses em virtude do reajuste contratual aplicado entre julho e agosto do ano de 2022.

#### 5.4.4.4 Estimativa de custos com tratamento do lodo

O custo com tratamento do lodo foi considerado desprezível uma vez que o lodo gerado pelo sistema é direcionado para a rede coletora de esgoto da concessionária local, juntamente com o esgoto sanitário originado no empreendimento. Dessa forma, não há a incidência de custos com tratamento e descarte de lodo.

#### 5.4.4.5 Estimativa de custos com análises laboratoriais

Não foram considerados os custos com análise laboratoriais uma vez que a empresa que opera o sistema de reúso faz o monitoramento da qualidade da água por meio de análises de campo. As análises laboratoriais são facultativas e não foram executadas durante o período de estudo. Dessa forma, não há a incidência de custos com análise laboratorial.

#### 5.4.4.6 Estimativa dos custos totais das variáveis geradoras de despesa

Para obtenção do custo total das variáveis geradoras de despesa foram somados os custos de mão de obra, produto químico, energia, custo com lodo e custo com análise laboratorial. O custo total do sistema está apresentado na Tabela 5.40.

Tabela 5.40 - Custo total mensal das variáveis geradoras de despesa do sistema de reúso

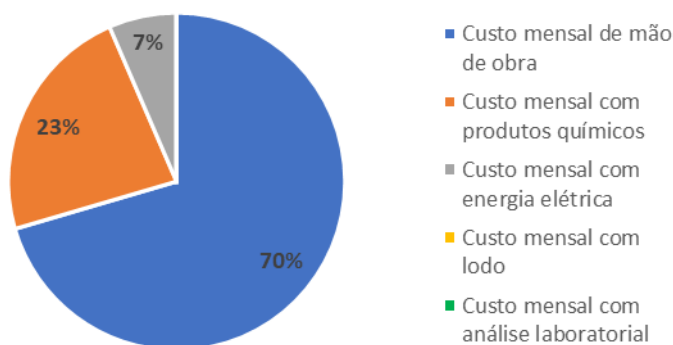
Mês	Custo mensal de mão de obra	Custo mensal com produtos químicos	Custo mensal com energia elétrica	Custo mensal com lodo	Custo mensal com análise laboratorial	Custo total
julho, 2022	R\$ 2.185,47	R\$ 746,01	R\$ 184,71	N.A.	N.A.	R\$ 3.116,18
agosto, 2022	R\$ 2.405,55	R\$ 765,88	R\$ 194,94	N.A.	N.A.	R\$ 3.366,37
setembro, 2022	R\$ 2.405,55	R\$ 619,66	R\$ 189,46	N.A.	N.A.	R\$ 3.214,67
outubro, 2022	R\$ 2.405,55	R\$ 603,75	R\$ 185,06	N.A.	N.A.	R\$ 3.194,35
novembro, 2022	R\$ 2.405,55	R\$ 1.059,17	R\$ 306,24	N.A.	N.A.	R\$ 3.770,95
dezembro, 2022	R\$ 2.405,55	R\$ 846,55	R\$ 254,63	N.A.	N.A.	R\$ 3.506,73

NOTA: N.A. – Não aplicado.

Fonte: o autor (2023).

De acordo com os dados da Tabela 5.40, o custo com mão de obra representa 70% dos custos (valor da média) das variáveis geradoras de despesas. A Figura 5.14 apresenta as proporções de composição do custo mensal para o período avaliado nesse estudo.

Figura 5.14 – Gráfico do percentual da média dos custos operacional do sistema de reúso



Fonte: o autor (2023).

Por fim, foi calculado o custo unitário da água de reúso considerando o custo mensal total dividido pelo volume produzido no determinado mês, obtendo-se assim um custo unitário por volume (m<sup>3</sup>) tratada que se encontra expresso na Tabela 5.41.

Tabela 5.41 – Custo unitário total do m<sup>3</sup> tratado pelo sistema de reúso

<b>Mês</b>	<b>Custo total</b>	<b>Consumo de água de reúso (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Custo unitário da água de reúso (R\$/m<sup>3</sup>)</b>
julho, 2022	R\$ 3.116,18	400	R\$ 7,79
agosto, 2022	R\$ 3.366,37	416	R\$ 8,09
setembro, 2022	R\$ 3.214,67	414	R\$ 7,76
outubro, 2022	R\$ 3.194,35	408	R\$ 7,83
novembro, 2022	R\$ 3.770,95	651	R\$ 5,79
dezembro, 2022	R\$ 3.506,73	519	R\$ 6,76
<b>Média</b>	<b>R\$ 3.361,54</b>	<b>468</b>	<b>R\$ 7,18</b>

Fonte: o autor (2023).

Cabe ressaltar que o valor referente à mão de obra é um custo fixo e invariável, representando em torno de 70% do custo total para o período em estudo. Portanto, é possível concluir que o aumento da produção da água de reúso ocasiona a redução do custo unitário, como pode ser observado no mês de novembro de 2022. Essa redução pode ser justificada pela divisão do custo de mão de obra (custo fixo) em um volume maior de m<sup>3</sup>, reduzindo a contribuição do custo unitário referente à mão de obra e consequentemente o custo unitário final.

#### **5.4.5 Economia operacional anual**

Para o cálculo da economia operacional foi considerada a subtração das variáveis geradoras de economia pelo custo total das variáveis geradoras de despesa. Dessa forma, a economia mensal se encontra expressa na Tabela 5.42.

Tabela 5.42 – Economia operacional mensal

<b>Mês</b>	<b>Soma das variáveis geradoras de economia</b>	<b>Soma das variáveis geradoras de despesa</b>	<b>Economia operacional</b>
julho, 2022	R\$ 11.606,80	<b>-R\$ 3.116,18</b>	R\$ 8.490,61
agosto, 2022	R\$ 12.118,86	<b>-R\$ 3.366,37</b>	R\$ 8.752,49
setembro, 2022	R\$ 11.656,58	<b>-R\$ 3.214,67</b>	R\$ 8.441,91
outubro, 2022	R\$ 12.659,36	<b>-R\$ 3.194,35</b>	R\$ 9.465,01
novembro, 2022	R\$ 20.038,07	<b>-R\$ 3.770,95</b>	R\$ 16.267,11
dezembro, 2022	R\$ 14.618,74	<b>-R\$ 3.506,73</b>	R\$ 11.112,00

Fonte: o autor (2023).

Para melhor representatividade, os valores das economias mensais foram corrigidos pelo Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA) como indicador de inflação tomando como referência o mês de dezembro de 2022. Dessa maneira, a economia semestral foi obtida pela soma das economias mensais corrigidas. Já a economia projetada anual foi obtida pela duplicação da economia semestral do período em estudo. Os resultados estão apresentados na Tabela 5.43.

Tabela 5.43 – Economia operacional anual corrigida pelo IPCA

<b>Mês</b>	<b>Economia operacional</b>	<b>Índice de Reajuste mensal (IPCA)</b>	<b>Valor corrigido (Dez/2022)</b>	<b>Economia semestral</b>	<b>Economia projetada anual</b>
julho, 2022	R\$ 8.490,61	-0,68%	R\$ 8.462,14		
agosto, 2022	R\$ 8.752,49	-0,36%	R\$ 8.782,86		
setembro, 2022	R\$ 8.441,91	-0,29%	R\$ 8.501,81		
outubro, 2022	R\$ 9.465,01	0,59%	R\$ 9.559,89	R\$ 62.752,50	R\$ 125.505,01
novembro, 2022	R\$ 16.267,11	0,41%	R\$ 16.333,81		
dezembro, 2022	R\$ 11.112,00	0,00%	R\$ 11.112,00		

Fonte: o autor (2023).

Cabe ressaltar que houve um cenário atípico de deflação entre os meses de julho de 2022 a setembro de 2022. Entretanto, essa deflação não gerou um impacto expressivo na avaliação da economia gerada.

#### **5.4.6 Fluxo de Caixa**

Com base nos custos de implantação definidos pela Tabela 5.25 e nos custos de depreciação determinados pela Tabela 5.26, foram geradas as simulações dos fluxos de caixa dos diferentes cenários considerando o saldo anual em cada período. Considerou-se um reajuste anual de 5% aplicado à depreciação e à economia anual para melhor representatividade dos resultados.

A Tabela 5.44 apresenta os resultados obtidos no cenário 01.

Tabela 5.44 – Saldo anual da viabilidade econômica do cenário 01

<b>Ano</b>	<b>Reajuste anual</b>	<b>Investimento inicial</b>	<b>Depreciação corrigida</b>	<b>Economia anual corrigida</b>	<b>Saldo do período</b>
0	0%	-R\$ 358.257,33	R\$ 0,00	R\$ 0,00	-R\$ 358.257,33
1	5%	R\$ 0,00	-R\$ 31.317,02	R\$ 131.780,26	R\$ 100.463,24
2	5%	R\$ 0,00	-R\$ 32.882,87	R\$ 138.369,27	R\$ 105.486,40
3	5%	R\$ 0,00	-R\$ 34.527,01	R\$ 145.287,73	R\$ 110.760,72
4	5%	R\$ 0,00	-R\$ 36.253,37	R\$ 152.552,12	R\$ 116.298,75
5	5%	R\$ 0,00	-R\$ 38.066,03	R\$ 160.179,73	R\$ 122.113,69
6	5%	R\$ 0,00	-R\$ 39.969,34	R\$ 168.188,71	R\$ 128.219,38
7	5%	R\$ 0,00	-R\$ 41.967,80	R\$ 176.598,15	R\$ 134.630,35
8	5%	R\$ 0,00	-R\$ 44.066,19	R\$ 185.428,05	R\$ 141.361,86
9	5%	R\$ 0,00	-R\$ 46.269,50	R\$ 194.699,46	R\$ 148.429,96
10	5%	R\$ 0,00	-R\$ 48.582,98	R\$ 204.434,43	R\$ 155.851,45

Fonte: o autor (2023).

A Tabela 5.45 apresenta os resultados obtidos no cenário 02.

Tabela 5.45 – Saldo anual da viabilidade econômica do cenário 02

<b>Ano</b>	<b>Reajuste anual</b>	<b>Investimento inicial</b>	<b>Depreciação corrigida</b>	<b>Economia anual corrigida</b>	<b>Saldo do período</b>
0	0%	-R\$ 458.257,33	R\$ 0,00	R\$ 0,00	-R\$ 458.257,33
1	5%	R\$ 0,00	-R\$ 35.517,02	R\$ 131.780,26	R\$ 96.263,24
2	5%	R\$ 0,00	-R\$ 37.292,87	R\$ 138.369,27	R\$ 101.076,40
3	5%	R\$ 0,00	-R\$ 39.157,51	R\$ 145.287,73	R\$ 106.130,22
4	5%	R\$ 0,00	-R\$ 41.115,39	R\$ 152.552,12	R\$ 111.436,73
5	5%	R\$ 0,00	-R\$ 43.171,16	R\$ 160.179,73	R\$ 117.008,57
6	5%	R\$ 0,00	-R\$ 45.329,72	R\$ 168.188,71	R\$ 122.858,99
7	5%	R\$ 0,00	-R\$ 47.596,20	R\$ 176.598,15	R\$ 129.001,94
8	5%	R\$ 0,00	-R\$ 49.976,01	R\$ 185.428,05	R\$ 135.452,04
9	5%	R\$ 0,00	-R\$ 52.474,81	R\$ 194.699,46	R\$ 142.224,64
10	5%	R\$ 0,00	-R\$ 55.098,56	R\$ 204.434,43	R\$ 149.335,87

Fonte: o autor (2023).

A Tabela 5.46 apresenta os resultados obtidos no cenário 03.

Tabela 5.46 – Saldo anual da viabilidade econômica do cenário 03

Ano	Reajuste anual	Investimento inicial	Depreciação corrigida	Economia anual corrigida	Saldo do período
0	0%	-R\$ 558.257,33	R\$ 0,00	R\$ 0,00	-R\$ 558.257,33
1	5%	R\$ 0,00	-R\$ 39.717,02	R\$ 131.780,26	R\$ 92.063,24
2	5%	R\$ 0,00	-R\$ 41.702,87	R\$ 138.369,27	R\$ 96.666,40
3	5%	R\$ 0,00	-R\$ 43.788,01	R\$ 145.287,73	R\$ 101.499,72
4	5%	R\$ 0,00	-R\$ 45.977,42	R\$ 152.552,12	R\$ 106.574,70
5	5%	R\$ 0,00	-R\$ 48.276,29	R\$ 160.179,73	R\$ 111.903,44
6	5%	R\$ 0,00	-R\$ 50.690,10	R\$ 168.188,71	R\$ 117.498,61
7	5%	R\$ 0,00	-R\$ 53.224,61	R\$ 176.598,15	R\$ 123.373,54
8	5%	R\$ 0,00	-R\$ 55.885,84	R\$ 185.428,05	R\$ 129.542,22
9	5%	R\$ 0,00	-R\$ 58.680,13	R\$ 194.699,46	R\$ 136.019,33
10	5%	R\$ 0,00	-R\$ 61.614,13	R\$ 204.434,43	R\$ 142.820,30

Fonte: o autor (2023).

A Tabela 5.47 apresenta os resultados obtidos no cenário 04.

Tabela 5.47 – Saldo anual da viabilidade econômica do cenário 04

Ano	Reajuste anual	Investimento inicial	Depreciação corrigida	Economia anual corrigida	Saldo do período
0	0%	-R\$ 758.257,33	R\$ 0,00	R\$ 0,00	-R\$ 758.257,33
1	5%	R\$ 0,00	-R\$ 48.117,02	R\$ 131.780,26	R\$ 83.663,24
2	5%	R\$ 0,00	-R\$ 50.522,87	R\$ 138.369,27	R\$ 87.846,40
3	5%	R\$ 0,00	-R\$ 53.049,01	R\$ 145.287,73	R\$ 92.238,72
4	5%	R\$ 0,00	-R\$ 55.701,47	R\$ 152.552,12	R\$ 96.850,65
5	5%	R\$ 0,00	-R\$ 58.486,54	R\$ 160.179,73	R\$ 101.693,19
6	5%	R\$ 0,00	-R\$ 61.410,87	R\$ 168.188,71	R\$ 106.777,85
7	5%	R\$ 0,00	-R\$ 64.481,41	R\$ 176.598,15	R\$ 112.116,74
8	5%	R\$ 0,00	-R\$ 67.705,48	R\$ 185.428,05	R\$ 117.722,58
9	5%	R\$ 0,00	-R\$ 71.090,75	R\$ 194.699,46	R\$ 123.608,70
10	5%	R\$ 0,00	-R\$ 74.645,29	R\$ 204.434,43	R\$ 129.789,14

Fonte: o autor (2023).

Vale ressaltar que o saldo operacional (a partir do ano 1) foi positivo em todos os cenários avaliados, concluindo-se que houve uma economia gerada. Cabe avaliar se o retorno dessa economia se apresenta de forma atrativa perante a outros investimentos disponíveis no mercado.

#### 5.4.7 Valor presente líquido (VPL)

Para avaliação da viabilidade econômica foi utilizado o método do VPL considerando uma taxa de atratividade de 12% ao ano como valor referência. Foram considerados os saldos do período em cada cenário, apresentados na Tabela 5.44, Tabela 5.45,

Tabela 5.46 e Tabela 5.47. Os resultados da análise do VPL se encontram expressos na Tabela 5.48.

Tabela 5.48 – Valor presente líquido (VPL) considerando diferentes cenários

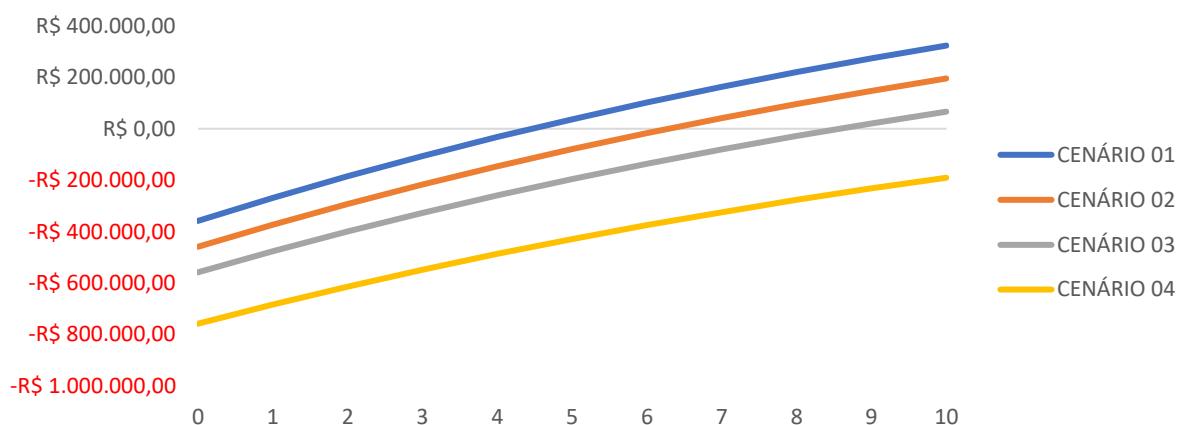
Ano	Cenário 01	Cenário 02	Cenário 03	Cenário 04
0	-R\$ 358.257,33	-R\$ 458.257,33	-R\$ 558.257,33	-R\$ 758.257,33
1	-R\$ 268.558,01	-R\$ 372.308,01	-R\$ 476.058,01	-R\$ 683.558,01
2	-R\$ 184.464,90	-R\$ 291.730,53	-R\$ 398.996,15	-R\$ 613.527,40
3	-R\$ 105.627,61	-R\$ 216.189,13	-R\$ 326.750,66	-R\$ 547.873,71
4	-R\$ 31.717,65	-R\$ 145.369,08	-R\$ 259.020,51	-R\$ 486.323,36
5	R\$ 37.572,94	-R\$ 78.975,28	-R\$ 195.523,49	-R\$ 428.619,92
6	R\$ 102.532,86	-R\$ 16.731,09	-R\$ 135.995,04	-R\$ 374.522,94
7	R\$ 163.432,80	R\$ 41.622,84	-R\$ 80.187,11	-R\$ 323.807,02
8	R\$ 220.526,48	R\$ 96.329,65	-R\$ 27.867,18	-R\$ 276.260,85
9	R\$ 274.051,81	R\$ 147.617,28	R\$ 21.182,75	-R\$ 231.686,31
10	<b>R\$ 324.231,81</b>	<b>R\$ 195.699,44</b>	<b>R\$ 67.167,06</b>	<b>-R\$ 189.897,68</b>

Fonte: o autor (2023).

Dessa forma, pode concluir que os cenários 01, 02 e 03 apresentaram um retorno financeiro atrativo considerando em período inferior a 10 anos. Entretanto, não houve atratividade no cenário 04 em uma análise temporal de 10 anos, mas a viabilidade pode ser reavaliada caso o período seja prolongado.

A Figura 5.15 demonstra a evolução da viabilidade econômica ao longo de 10 anos em diferentes cenários.

Figura 5.15 – Gráfico da evolução do VPL ao longo dos anos em diferentes cenários



Fonte: o autor (2023).

#### 5.4.8 Taxa interna de Retorno (TIR)

Para enriquecer a análise de viabilidade, foi calculada a taxa interna de retorno em cada ano da operação. Foram considerados os saldos do período em cada cenário, apresentados na Tabela 5.44, Tabela 5.45, Tabela 5.46 e Tabela 5.47. Os resultados da análise do VPL se encontram expressos na Tabela 5.48.

Tabela 5.49 – Taxa interna de retorno (TIR) considerando diferentes cenários

<b>Ano</b>	<b>Cenário 01</b>	<b>Cenário 02</b>	<b>Cenário 03</b>	<b>Cenário 04</b>
0	0%	0%	0%	0%
1	-72%	-79%	-84%	-89%
2	-30%	-41%	-49%	-60%
3	-6%	-18%	-26%	-38%
4	8%	-4%	-12%	-24%
5	16%	5%	-3%	-14%
6	21%	11%	3%	-7%
7	25%	15%	8%	-2%
8	27%	17%	11%	1%
9	28%	19%	13%	4%
<b>10</b>	<b>30%</b>	<b>21%</b>	<b>15%</b>	<b>6%</b>

Fonte: o autor (2023).

A TIR aponta a rentabilidade anual obtida entre o momento de aplicação do capital e o período em análise. Dessa forma, os cenários 01 e 02 apresentam ao final do décimo ano retornos bem superiores ao valor referência de 12%, demonstrando como excelentes investimentos. O cenário 03 tem o valor de rentabilidade próximo ao valor referência, mas demonstrando viabilidade. O cenário 04 tem rentabilidade inferior ao valor referência, não demonstrando viabilidade para o período em questão.

#### 5.4.9 Análise crítica da viabilidade econômico-financeira

Além dos ganhos ambientais, o sistema de reúso gerou uma economia de aproximadamente 18% para o empreendimento, demonstrando-se viável em cenários em que os valores do custo de implantação fossem inferiores a 5 vezes ao da economia anual, ou, de forma análoga, a economia anual representasse 20% do valor de implantação.

Vale ressaltar que a cidade de Salvador, Bahia, possui um programa de fomento às iniciativas sustentáveis, denominado IPTU Verde, que geram redução de impostos



que não foram considerados no estudo. A exemplo pode ser citado a redução da taxa de outorga onerosa pela construtora e a redução da taxa de IPTU paga pelos moradores. Um outro ponto a ser considerado é que a taxa de depreciação aplicada é utilizada para fins contábeis sendo relativamente conservadora. Em geral, os custos de depreciação observados na prática são inferiores ao que a instrumentação normativa aplica. Portanto, em uma análise mais aprofundada, a viabilidade econômica do projeto tende a ser superior à apresentada no estudo.

Ainda sobre o aspecto financeiro, cabe ressaltar que uma das variáveis que tem maior impacto sobre a viabilidade econômica é tabela tarifaria da concessionaria de água e esgoto, pois afetam diretamente a economia do sistema. Portanto, embora o sistema estudado tenha apresentado uma viabilidade econômica, esse cenário mudaria completamente caso fosse implantado em outro estado ou município, devido às alterações das taxas e políticas aplicadas pela governança local.

## 6 CONCLUSÕES

Dessa forma, pode-se concluir a partir desse estudo que:

- O processo físico-químico de tratamento aplicado às águas cinza para produção de água de reúso se mostrou eficaz do ponto de vista qualitativo, tendo capacidade de fornecer água de reúso dentro dos padrões normativos recomendados pela NBR 16.783/2019, robustez para atender oscilações de qualidade das águas cinza e eficiência na remoção de compostos de nitrogênio e fosforo.
- O valor da média da concentração de cloro residual livre igual a 1,5 mg/L, aferida na saída da ETAC, não foi suficiente para garantir um residual mínimo de 0,5 mg/L nos pontos de consumo, levando em consideração a média dos valores do pH igual a 7,8.
- Sobre o aspecto quantitativo, o sistema de reúso demonstrou reduzir em 12% a demanda por água potável da edificação.
- O lodo coletado no fundo do decantador apresentou 3,7% de teor de sólidos, com geração de aproximadamente 14 litros para cada 1,0 m<sup>3</sup> de água de reúso produzida.
- Sob o ponto de vista econômico, considerando um período de avaliação de 10 anos, a iniciativa de produção de água de reúso gerou uma economia de, aproximadamente, R\$ 120.000,00 por ano e se apresentou economicamente viável em cenários que o custo de implantação foram inferiores a R\$ 600.000,00.
- A parcela mais expressiva do custo operacional do sistema foi o custo referente à mão de obra (70% do custo operacional), seguido pelo custo com produtos químicos (23%) e energia elétrica (7%).
- Considerando o custo com produtos químicos e com energia elétrica, o sistema de aproveitamento de água pluvial apresentou um custo igual a 30% do custo do sistema de tratamento das águas cinza. Entretanto, o volume de geração de água de reúso pela ETAC foi 25 (vinte e cinco vezes) superior ao volume gerado por meio do aproveitamento da água pluvial para o período estudado.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: informe anual**. 10ª Edição. Brasília: ANA, 2018. 72p.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Guia nacional de coleta e preservação de amostras água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos**. Brasília: ANA; 2011. 326p.

AGÊNCIA ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS (AGERH). **Plano Estadual de Recursos Hídricos do Espírito Santo: Macroproduto 5 - Documento Consolidado do Plano Estadual de Recursos Hídricos**. Espírito Santo: AGERH. Novembro, 2018.

AKSO. **Manual de instruções AK83 medidor de condutividade portátil**. Disponível em: <<https://loja.akso.com.br/download-arquivo/32/16292362861966.pdf>>. Acesso em: 10 nov. 2023.

ALHARBI, S. K.; SHAFIQUZZAMAN, M.; HAIDER, H.; ALSALEEM, S. S.; GHUMMAN, A. R. Treatment of ablution greywater for recycling by alum coagulation and activated carbon adsorption. **Arabian Journal for Science and Engineering**, Arábia Saudita. v. 44, n. 10, p. 8389-8399, April 2019.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA); AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA); WATER ENVIRONMENT FEDERATION (WEF). **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**, 23th Ed. Washington, DC.: APHA; AWWA; WEF. 2017. 1504p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 9.897**: Planejamento de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1987a. 14 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 9.898**: Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1987b. 22 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13.969**: Tanques Sépticos – Unidade de Tratamento Complementar e Disposição Final dos

Efluentes Líquidos – Projeto, Construção e Operação. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1997a. 60p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 16.783**: Uso de fontes alternativas de água não potável em edificações. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2019a. 19p.

ATANASOVA, N.; DALMAU, M.; COMAS, J.; POCH, M.; RODRIGUEZ-RODA, I.; BUTTIGLIERI, G. Optimized MBR for greywater reuse systems in hotel facilities. **Journal of Environmental Management**. v. 193, p. 503-511, May 2017.

BAJPAI, M., KATOCH, S. S., CHATURVEDI, N. K. Comparative study on decentralized treatment technologies for sewage and graywater reuse – A review. **Water Science and Technology**, London, Volume 80, Issue 11, 2091–2106. December 2019.

BARZEGAR, G.; WU, J.; GHANBARI, F. Enhanced treatment of greywater using electrocoagulation/ozonation: investigation of process parameters. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 121, p. 125-132, January 2019.

BAZZARELLA, B. B. **Caracterização e aproveitamento de água cinza para uso não potável em edificações**. 2005, 165 p. Dissertação de Mestrado-Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória.

BOYJOO, Y., PAREEK, V. K., ANG, M. A review of greywater characteristics and treatment processes. **Water Science and Technology**, v. 67, n. 7, p. 1403–1424. April 2013.

BRASIL. Instrução Normativa RFB nº 1700 de 14 de março de 2017. Dispõe sobre a determinação e o pagamento do imposto sobre a renda e da contribuição social sobre o lucro líquido das pessoas jurídicas e disciplina o tratamento tributário da Contribuição para o PIS/Pasep e da COFINS no que se refere às alterações introduzidas pela Lei nº 12.973, de 13 de maio de 2014. **Diário Oficial da União**. Brasília, 16 mar. 2017. Seção 1, p. 23.

CERVANTES, F. J.; PAVLOSTATHIS, S. G.; VAN HAANDEL, A. **Advanced biological treatment processes for industrial wastewaters**. IWA publishing, 2006. 345p.

CIABATTIA, I.; CESARO, F.; FARALLI, L.; FATARELLA, E.; TOGNOTTI, F. Demonstration of a treatment system for purification and reuse of laundry wastewater. **Desalination**, v. 245, n. 1-3, p. 451-459, September 2009.

CINTRA, T. S. **Tratamento de água cinza clara de edifício comercial por flotação por ar dissolvido para reúso em descargas de bacias sanitárias**. 2019, 142 p. Dissertação de Mestrado-Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

COSTA, T. H. da S. **Avaliação quali-quantitativa de águas cinza para uso em um condomínio residencial**. 2020, 82 p. Dissertação de Mestrado-Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

COUTO, E. D. A.; CALIJURI, M. L.; ASSEMANY, P. P.; SANTIAGO, A. F.; LOPES, L. S. Greywater treatment in airports using anaerobic filter followed by UV disinfection: an efficient and low cost alternative. **Journal of Cleaner Production**, v. 106, p. 372-379, November 2015.

DANTAS, G. T. **O IPTU verde como instrumento de efetividade da função socioambiental da propriedade privada urbana**. 2014. 114p. Dissertação de Mestrado – Faculdade de Direito, Universidade Federal da Bahia, Salvador.

ERIKSSON, E.; AUFFARTH, K.; HENZE, M.; LEDIN, A. Characteristics of grey wastewater. **Urban Water**, v. 4, n. 1, p. 85-104, March 2002.

FERREIRA FILHO, S. S. **Princípios, fundamentos e processos em engenharia ambiental**. 1. ed. Santana de Parnaíba: SGuerra Design, 2021. v. 1. 938p

FRACASSO, U. R. **Análise de custos na implantação de um sistema de reaproveitamento de águas pluviais em uma residência unifamiliar**. 2017. 43p. Dissertação do Curso de Engenharia Civil. Universidade do Planalto Catarinense, Lages.

GHAITIDAK, D. M.; YADAV, K. D. Greywater treatment for reuse: comparison of reuse options using analytic hierarchy process. **Journal of Water reuse and Desalination**, v. 6, n. 1, p. 108-124, July 2016.

GITMAN, L. J. **Princípios de Administração Financeira**. 7 ed. São Paulo: Harbra, 2002.

GONÇALVES, R. F. (Coord.). **Uso Racional de Água e Energia: Conservação de água e energia em sistemas prediais e públicos de abastecimento de água**. 1ª ed. Rio de Janeiro: ABES, 2009. 352p.

GONÇALVES, R. F.; BAZZARELLA, B. B.; PETERS, M. R.; PHILLIPPI, L. S. Gerenciamento de águas cinzas. In: GONÇALVES, R. F (Coord.). **Uso racional da água em edificações**. 1ª ed. Rio de Janeiro: ABES, 2006. Cap. 4, p. 153-222.

GONÇALVES, R. F.; SANTOS, A. B.; QUEIROZ, L. M.; FRANCI, T. K. Tecnologias de tratamento de correntes de esgotos segregadas aplicadas a empreendimentos habitacionais. In: SANTOS, A. B. dos (Coord.). **Caracterização, Tratamento e Gerenciamento de Subprodutos de Correntes de Esgotos Segregadas e Não Segregadas em Empreendimentos Habitacionais**. Fortaleza: Impreco, 2019. Cap. 5, p. 392-492.

GONÇALVES, R. F.; VAZ, L. O.; PERES, M.; SARNAGLIA, S.A.A. Microbiological risk from non-potable reuse of greywater treated by anaerobic filters associated to vertical constructed wetlands. **Journal of Water Process Engineering**, v. 39, p. 101751, 2021.

HASHIM, H. R.; JAEEL, A. J. The Combined Effect of Ferric Chloride and Cationic Poly-Electrolyte CPE on Coagulation of Grey Wastewater. In: **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, v. 584, 2019, Najaf: IOP Publishing, 2019. p. 012003.

HOAGLIN, D. C.; IGLEWICZ, B.; TUKEY, J. W. Performance of some resistant rules for outlier labeling. **Journal of the American Statistical Association**, v. 81, n. 396, p. 991-999, 1986.

JEFFERSON, B.; LAINE, A. L.; JUDD, S. J.; STEPHENSON, T. Membrane bioreactors and their role in wastewater reuse. **Water Science and Technology**, v. 41, n. 1, p. 197- 204, January 2000.

JEFFERSON, B.; LAINE, A.; PARSONS, S.; STEPHENSON, T.; JUDD, S. Technologies for domestic wastewater recycling. **Urban Water**. v. 1, n. 4, p. 285-292, December 2000.

KATO, M. T.; LAPOLLI, F. R.; SOUSA, J. T.; NOLASCO, M. A.; GONÇALVES, R. F.; LEITE, V. D. Oportunidades e desafios na implementação de estações de tratamento de esgoto descentralizadas. In: SANTOS, A. B. dos. (Coord.) **Caracterização, Tratamento e Gerenciamento de Subprodutos de Correntes de Esgotos Segregadas e Não Segregadas em Empreendimentos Habitacionais**. Fortaleza: Imprece, 2019. Cap. 1, p. 19-47.

KUBLER, H.; FORTIN, A.; MOLLETA, L. **Reúso de água nas crises hídricas e oportunidades no Brasil**. Rio de Janeiro: ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2015. 43p.

LI, D.; ZENG, S.; GU, A. Z.; HE, M.; SHI, H.; Inactivation, reactivation and regrowth of indigenous bacteria in reclaimed water after chlorine disinfection of a municipal wastewater treatment plant. **Journal of Environmental Sciences**, v. 25, n. 7, p. 1319-1325. July 2013.

LYU, S.; CHEN, W.; ZHANG, W.; FAN, Y.; JIAO, W. Wastewater reclamation and reuse in China: opportunities and challenges. **Journal Environmental Sciences**, v. 39, p 86 – 96. January 2016.

MERGULHÃO, J. C. Z.; EMERY, R. D. B. **Avaliação do desempenho de uma estação de tratamento de águas cinzas visando o reúso não-potável**. 2011, 111 p. Dissertação para conclusão de curso, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória.

NOUTSOPOULOS, C.; ANDREADAKIS, A.; KOURIS, N.; MENDRINO, P.; MANTZIARAS, I. Physicochemical treatment of greywater. In: **Proceedings of the 14th International Conference on Environmental Science and Technology**. Rhodes: CEST, September 2015. 5p.

OLIVEIRA JUNIOR, J. L. Tratamento descentralizado de águas residuárias domésticas: uma estratégia de inclusão social. In: LIRA, W. S.; CÂNDIDO, G. A. (Org.). **Gestão sustentável dos recursos naturais: uma abordagem participativa**. Campina Grande: EDUEPB, 2013, pp. 213-232.

OTTERPOHL, R. Black, brown, yellow, grey – The new colors of sanitation. **Water**, v. 21, 2001.

PAULO, L. P.; KIPERSTOK, A.; SOUZA, H. H. S.; MORAIS, J. C.; OLIVEIRA, L. O. V.; QUEIROZ, L. M.; NOLASCO, M. A.; MAGRI, M. E.; LOPES, T. A. S. Ferramentas de avaliação de sustentabilidade em sistemas de tratamento de esgotos descentralizados. In: SANTOS, A. B. dos. (Coord.) **Caracterização, Tratamento e Gerenciamento de Subprodutos de Correntes de Esgotos Segregadas e Não Segregadas em Empreendimentos Habitacionais**. Fortaleza: Imprece, 2019. Cap. 9, p. 746-812.

PIVELI, R. P.; KATO, M. T. **Qualidade das Águas e Poluição: Aspectos Físico-Químicos**. 01. ed. São Paulo/SP: ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005. v. 01. 285p.

PORTO, R. L.; PORTO, M. F.; PALERMO, M. A ressurreição do volume morto do Sistema Cantareira na Quaresma. **Revista DAE**, v. 197, p. 18-25, Setembro 2014.

QUEIROZ, L. M.; FERREIRA, I. V. L.; SOUSA, J. T.; OLIVEIRA-ESQUERRE, K. P.; BARBOZA, M. G.; MENDONÇA, N. M. Aspectos quantitativos de correntes de esgotos segregadas e não segregadas. In: SANTOS, A. B. dos. (Coord.). **Caracterização, Tratamento e Gerenciamento de Subprodutos de Correntes de Esgotos Segregadas e Não Segregadas em Empreendimentos Habitacionais**. Fortaleza: Imprece, 2019. Cap. 2, p. 48-117.

SANTOS, L. V. dos. **Desempenho ambiental de Estação de Tratamento de Esgotos implantada em uma unidade de ensino**. 2018, 121 p. Dissertação de Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial, Universidade Federal da Bahia, Salvador.

SARGNALIA, A. A. S. **Desempenho de um “wetland” vertical aplicado ao tratamento do efluente de um filtro anaeróbio em uma estação de tratamento de**



**águas cinzas claras visando o reúso não potável em edificações residenciais.** 2014, 158 p. Dissertação de Mestrado - Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória.

SINGH, S.; AHAMMED, M. M.; SHAIKH, I. N. Combined coagulation and intermittent sand filtration for on-site treatment of greywater. In: **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, v. 1114. Kerala: IOP Publishing, 2021. p. 012031.

SITIO ELETRÔNICO DA JOÃO FORTES ENGENHARIA S.A. Rio de Janeiro, 2023. **Mansão Wildberger**. Disponível em: <<http://www.joaofortes.com.br/institucional/ficha/MansaoWildberger/conteudo.aspx>>. Acesso em: 27 de jul. 2023.

SOSTAR-TURK, S.; PETRINIĆ, I.; SIMONIČ, M. Laundry wastewater treatment using coagulation and membrane filtration. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 44, n. 2, p. 185-196, May 2005.

SOUZA, C. L.; SANTOS, A. B.; SILVA, M. E. R.; AQUINO, S. F. Aspectos qualitativos de correntes de e 178 esgotos segregadas e não segregadas. In: SANTOS, A. B. dos. (Coord.). **Caracterização, Tratamento e Gerenciamento de Subprodutos de Correntes de Esgotos Segregadas e Não Segregadas em Empreendimentos Habitacionais**. Fortaleza: Impreco, 2019. Cap. 3, p. 118-218.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). **Guidelines for Water Reuse**. Washington, DC: USEPA. 2012. 643p.

TCHOBANOGLIOUS, G. The Role of Decentralized Wastewater Management in the Twenty-First Century. **Proceedings of the Water Environment Federation**, n. 17, p. 1-17, 2002.

VINITHA, E. V.; AHAMMED, M. M.; GADEKAR, M. R. Chemical coagulation of greywater: modelling using artificial neural networks. **Water Science and Technology**, v. 2017, n. 3, p. 869-877, July 2018.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Overview of greywater management: Health considerations**. Amman: WHO, 2006. 49p.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Reuse of Effluents: Methods of Wastewater Treatment and Health Safeguards**, Geneva: WHO. Technical Report Series No. 517. 1973. 64p.

ZAVALA, M. Á. L.; ESTRADA, E. E. The contribution of the type of detergent to domestic laundry graywater composition and its effect on treatment performance. **Water**, v. 8, n. 5, p. 214, 2016.