

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

CENTRO TECNOLÓGICO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

RENATA SPINASSÉ DELLA VALENTINA

**GERENCIAMENTO DA QUALIDADE E DA QUANTIDADE DE
ÁGUA CINZA EM UMA EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL DE
ALTO PADRÃO COM VISTAS AO SEU REÚSO NÃO-
POTÁVEL**

**VITÓRIA
2009**

RENATA SPINASSÉ DELLA VALENTINA

**GERENCIAMENTO DA QUALIDADE E DA QUANTIDADE DE
ÁGUA CINZA EM UMA EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL DE
ALTO PADRÃO COM VISTAS AO SEU REÚSO NÃO-
POTÁVEL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Ambiental, área de concentração em Saneamento Ambiental. Orientador: Prof^o Dr. Ricardo Franci Gonçalves.

**VITÓRIA
2009**

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)
(Biblioteca Central da Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

- Valentina, Renata Spinassé Della, 1982-
V156g Gerenciamento da qualidade e da quantidade de água cinza em uma
edificação residencial de alto padrão com vistas ao seu reúso não-
potável / Renata Spinassé Della Valentina. – 2009.
163 f. : il.

Orientador: Ricardo Franci Gonçalves.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro
Tecnológico.

1. Água cinza. 2. Água - Reutilização. 3. Água - Estações de tratamento. 4.
Água - Qualidade. 5. Água - Uso. I. Gonçalves, Ricardo Franci
Gonçalves. II. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro
Tecnológico. III. Título.

CDU: 628

RENATA SPINASSÉ DELLA VALENTINA

**GERENCIAMENTO DA QUALIDADE E DA QUANTIDADE DE
ÁGUA CINZA EM UMA EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL DE
ALTO PADRÃO COM VISTAS AO SEU REÚSO NÃO-
POTÁVEL**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisição parcial para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Ambiental.

Aprovada em 27 de fevereiro de 2009.

COMISSÃO EXAMINADORA

Profº. Dr. Ricardo Franci Gonçalves
Universidade Federal do Espírito Santo
Orientador

Profº. Dr. Renato Ribeiro Siman
Universidade Federal do Espírito Santo
Examinador Interno

Profº. Dr. André Bezerra dos Santos
Universidade Federal do Ceará
Examinador Externo

Ao meu querido pai, que mesmo estando longe dos meus olhos está sempre perto, no meu coração, à minha mãe Dalva, meu irmão Ramon e meu amor Felipe.

Agradecimentos

Ao meu querido pai que sempre me incentivou a estudar mais e mais. Dedico esta vitória a você, que tenho certeza, está comigo em todos os momentos.

À minha mãe Dalva, por ser exemplo de força, garra e determinação. Agradeço pelo amor incondicional e incentivo sempre.

Ao meu irmão Ramon, pelo carinho e amizade e por proporcionar vários momentos de alegria e descontração.

Ao meu namorado Felipe, pelo amor, carinho, incentivo, ajuda, companheirismo, pela presença em todos os momentos e por compartilhar comigo esta conquista.

Ao professor Ricardo Franci pela orientação e pelos ensinamentos.

À Laila Vaz e Monica Pertel por estarem sempre dispostas a ajudar e a compartilhar seus conhecimentos. Agradeço a Deus por ter encontrado vocês neste caminho. Não poderia esquecer o Alessandro, que sempre ajudou muito no decorrer da pesquisa. Muito obrigada mesmo, por tudo!

À Camila Vidal pelo exemplo de organização e determinação e por toda ajuda no laboratório.

Aos meus amigos da ETE: Priscilla, Rose, Rosane, Thaís, Renato, Caliari, Marjorye e Erika, pela amizade e ajuda nos momentos de dificuldade.

À Banca Examinadora: Prof. Renato Siman e Prof. André Bezerra, pela disponibilidade em me avaliar.

Aos colaboradores Raphael, Letícia, Cláudia e Elaine pela dedicação à pesquisa e pelos incentivos.

Aos amigos do LABSAN e PPGEA, por todo apoio e amizade.

À Flávia Puget, por ter me iniciado na área ambiental e pelos conhecimentos passados que nunca serão esquecidos.

Às amigas Paula, Meirielli, Lidiane e Akemi pela amizade verdadeira e momentos felizes.

Às minhas primas Juliana e Milena, por me acolherem e pelo convívio diário.

À Lúcia e Moacir pelo carinho e acolhida nos finais de semana.

À construtora Lorenge, por acreditar no nosso trabalho.

Aos moradores e porteiros do Edifício Royal Blue, pela compreensão e ajuda.

Aos bombeiros Veiga e Messias por sempre nos salvarem na “hora do aperto”.

À empresa Fluir Engenharia, em especial à engenheira Giovana Martinelli, por toda a ajuda.

Ao Núcleo Água pelo suporte dado a esta pesquisa.

Ao PROSAB 5, pelo apoio financeiro

Ao FACITEC pela bolsa de estudos.

“O que ocorre com a Terra recairá sobre os filhos da Terra. O homem não tramou os tecidos da vida; ele é simplesmente um de seus fios. Tudo o que fizer ao tecido, fará a si mesmo”.

Chefe Seattle, 1854.

Sumário

SUMÁRIO	IX
RESUMO.....	XII
ABSTRACT.....	XIII
LISTA DE FIGURAS.....	XIV
LISTA DE TABELAS	XVIII
LISTA DE SIGLAS.....	XX
LISTA DE SÍMBOLOS.....	XXII
1. INTRODUÇÃO.....	23
2. OBJETIVOS.....	26
2.1 Objetivo Geral.....	26
2.2 Objetivos Específicos	26
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	27
3.1 Escassez de água em áreas urbanas.....	27
3.2 Consumo urbano de água	29
3.2.1 Consumo residencial de água.....	29
3.2.2 Conservação de água no meio urbano	30
3.3 Produção de águas residuárias em residências	31
3.4 Águas Cinza	32
3.4.1 Produção em residências.....	33
3.4.2 Configurações em edificações	36
3.4.2.1 Instalações prediais de esgotos sanitários.....	36
3.4.2.2 Instalações prediais de água fria.....	37
3.4.3 Características Qualitativas: Físico-Químicas e Microbiológicas	40
3.4.4 Aspectos regulatórios de reúso em bacia sanitária.....	42
3.5 Sistemas de Tratamento de águas cinza.....	46
3.5.1 Tratamentos físicos, químicos e físico-químicos	47
3.5.2 Tratamentos Biológicos.....	52
3.5.2.1 Leitões cultivados ou wetlands	52
3.5.2.2 Sistemas anaeróbios	55
3.5.2.3 Sistemas aeróbios	57
3.5.2.4 Sistemas Combinados (anaeróbios e aeróbios).....	59

3.5.3	<i>Tratamento Terciário - Desinfecção</i>	60
3.6	Considerações Finais	61
4.	MATERIAL E MÉTODOS	63
4.1	Contextualização da pesquisa	63
4.2	Descrição do edifício dotado de sistema de reúso de águas cinza	63
4.2.1	<i>Sistema hidro-sanitário do edifício</i>	65
4.3	Descrição da Estação de Tratamento de Águas Cinza (ETAC)	66
4.3.1	<i>Caixa de entrada</i>	67
4.3.2	<i>Tratamento Anaeróbio</i>	68
4.3.3	<i>Tratamento Aeróbio</i>	69
4.3.4	<i>Tanque de Equalização (TQE)</i>	72
4.3.5	<i>Tratamento Terciário</i>	72
4.3.6	<i>Reservatório superior de água de reúso</i>	74
4.4	Quantificação da produção de água cinza e do consumo de água de reúso .	75
4.5	Avaliação do desempenho da Estação de Tratamento de Água Cinza (ETAC)	78
4.5.1	<i>Avaliação da eficiência das diferentes unidades da ETAC</i>	78
4.5.1.1	<i>Pontos de Coleta</i>	79
4.5.1.2	<i>Análises físico-químicas</i>	80
4.5.1.3	<i>Análises microbiológicas</i>	80
4.5.2	<i>Avaliação da estabilidade da ETAC no período de 24 horas</i>	80
4.5.3	<i>Condições operacionais da ETAC durante o monitoramento</i>	81
4.6	Avaliação das características do lodo.....	83
4.7	Análise Estatística	83
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	84
5.1	Considerações Gerais	84
5.2	Quantificação da produção de água cinza e do consumo de água de reúso .	84
5.2.1	<i>Monitoramento diário</i>	84
5.2.1.1	<i>Produção per capita de água cinza e consumo per capita de água de reúso</i>	88
5.2.2	<i>Perfil de 24 horas</i>	93
5.2.2.1	<i>Perfil de 24 horas per capita</i>	94
5.2.3	<i>Economia de água potável devido ao reúso</i>	95
5.3	Avaliação do desempenho da Estação de Tratamento de Água Cinza (ETAC)	96
5.3.1	<i>Avaliação da eficiência das diferentes unidades da ETAC</i>	96
5.3.1.1	<i>Características gerais da água cinza bruta</i>	97
5.3.1.2	<i>Remoção de Sólidos</i>	99

5.3.1.3	Remoção de Matéria Orgânica.....	104
5.3.1.4	Remoção de microorganismos	109
5.3.1.5	Compostos Nitrogenados	110
5.3.1.6	Compostos Fosforados	113
5.3.1.7	Sulfato e Sulfeto.....	115
5.3.1.8	Alcalinidade	117
5.3.1.9	Considerações finais do desempenho de cada etapa do tratamento.....	118
5.3.1.10	Atendimento aos limites e padrões.....	119
5.3.2	<i>Avaliação do comportamento da ETAC ao longo de 24 horas.....</i>	<i>122</i>
5.3.2.1	Considerações finais do comportamento da ETAC ao longo de 24 h.....	133
5.4	Avaliação das características do Lodo gerado na ETAC.....	133
6.	CONCLUSÕES.....	135
7.	RECOMENDAÇÕES.....	138
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	139
9.	ANEXOS.....	149
9.1	Anexo A	149
9.1.1	<i>Dimensionamento da ETAC</i>	<i>149</i>
9.2	Anexo B	153
9.2.1	<i>Metodologia das análises dos parâmetros físico-químicos</i>	<i>153</i>
9.3	Anexo C.....	155
9.3.1	<i>Estatística Descritiva dos Perfis de 24 h.....</i>	<i>155</i>
9.3.2	<i>Estatística descritiva dos perfis de 24 h per capita</i>	<i>155</i>
9.4	Anexo D.....	157
9.4.1	<i>Estatística Descritiva do Monitoramento da ETAC</i>	<i>157</i>

RESUMO

Uma forma de prevenir a escassez de água é favorecer o estímulo do seu uso através de uma gestão integrada, incentivando o uso racional e favorecendo o desenvolvimento de sistemas sustentáveis. Dentre as fontes alternativas de água, a água cinza é considerada a opção mais favorável devido à sua disponibilidade e à baixa concentração de poluentes. Este trabalho teve como objetivo pesquisar a produção e as características físico-químicas e biológicas da água cinza gerada em uma edificação residencial de alto padrão, bem como avaliar o desempenho de uma estação compacta de tratamento de água cinza (ETAC) para reúso não potável na própria edificação. A ETAC consiste de um tratamento combinado anaeróbio-aeróbio seguido de filtração terciária e desinfecção com cloro. As fontes geradoras de águas cinza na edificação são os chuveiros, lavatórios, máquinas de lavar e tanques localizados na área de serviço, que, após o tratamento na ETAC, são reutilizadas nas descargas de bacias sanitárias, lavagem de pisos e rega de jardins. A quantidade de água cinza produzida e o consumo de água de reúso foram avaliados através de cinco hidrômetros instalados no edifício, tanto por leituras diárias quanto por perfis de 24 h. A produção de água cinza foi em média de 13660 L.dia^{-1} , enquanto que o consumo da água de reúso foi, em média de 4327 L.dia^{-1} . O maior consumidor de água de reúso na edificação foram as descargas das bacias sanitárias, representando 83% do consumo. Através do perfil de 24 h pode-se concluir que o horário de maior produção de água cinza coincide com o horário de maior consumo de água de reúso, que é no intervalo entre 12-14 h. O tratamento adotado apresentou elevada eficiência na remoção de turbidez, cor, DBO_5 , DQO e *E. coli*, e características compatíveis com diversos padrões estabelecidos para reúso em descargas de bacia sanitária. As características do lodo gerado mostram que os lodos provenientes do reator anaeróbio têm uma maior concentração de sólidos e a relação de SV/ST indica um bom grau de estabilização, característicos dos lodos digeridos anaerobicamente.

ABSTRACT

One way to prevent the shortage of water is the stimulus of their use through integrated management, encouraging the rational use and encouraging the development of sustainable systems. Among the alternative sources of water, gray water is considered the most favorable option due to its availability and low concentration of pollutants. This study aimed to find the production and physico-chemical and biological water ash generated in a residential building of high standard and evaluate the performance of a compact treatment of gray water (ETAC) for non-potable reuse in own building. The ETAC is a combined anaerobic-aerobic treatment followed by tertiary filtration and disinfection with chlorine. Generating sources in the construction of gray water are showers, sinks, washing machines and tanks located in the service area, which, after treatment in ETAC are reused in the discharge of sanitary basins, wash the floors and watering of gardens. The amount of gray water produced and consumption of water reuse were evaluated by five meters of water flow installed in the building, both by day and by reading periods of 24 h uninterrupted. The production of gray water was on average 13,660 L.dia-1, whereas consumption of water reuse was an average of 4327 L.dia-1. The largest consumers of water reuse in the building were the discharges of sanitary basins, representing 83% of consumption. Through the 24 h readings we can conclude that the time of increased production of gray water coincides with the time of highest consumption of water reuse, which is in the range 12-14 h. The treatment used had high efficiency in removing turbidity, color, BOD₅, COD and E. coli, and several characteristics consistent with established standards for reuse in discharges of basin health. The characteristics of the sludge showed that the sludge generated from the anaerobic reactor has a higher concentration of solids and the ratio of SV / ST indicates a good degree of stabilization, characteristic of anaerobically digested sludge.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: As cores das águas.....	32
Figura 2: Projeto hidro-sanitário de esgoto da edificação da UFES.....	37
Figura 3: Distribuição típica de água potável em uma residência.	38
Figura 4: Isométrico de água potável e água de reúso da edificação da UFES.....	38
Figura 5: Esquema de coleta de água cinza e distribuição de água de reúso em edificações	39
Figura 6: Esquema ilustrativo do sistema simplificado de tratamento de água cinza	48
Figura 7: Fluxograma do tratamento de água cinza por dupla filtração.....	49
Figura 8: Foto da wetland construída de fluxo vertical recirculada (RVFCW). (A) wetland de fluxo vertical, (B) reservatório, (C) bomba de recirculação e (D) filtros de camada (constituídos de turfa, calcário, pedras e cal)	54
Figura 9: Desenho esquemático de um reator UASB.....	56
Figura 10: Desenho esquemático do reator MBR	58
Figura 11: Edifício dotado de sistema de reúso de águas cinza	64
Figura 12: Vista do jardim, no térreo	64
Figura 13: Vista da área de lazer, na cobertura	65
Figura 14: Esquema de distribuição de água potável e água de reúso no edifício....	66
Figura 15: Vista da ETAC.....	66
Figura 16: Fluxograma da ETAC.....	67
Figura 17: Caixa de entrada.....	68
Figura 18: Tulipas da caixa de entrada	68

Figura 19: Vista do RAC.....	69
Figura 20: Filtro biológico aerado submerso	70
Figura 21: Decantador.....	71
Figura 22: Bomba centrífuga.....	71
Figura 23: Tanque de equalização	72
Figura 24: Filtro terciário	73
Figura 25: Interior do filtro terciário.....	73
Figura 26: Clorador de pastilhas	74
Figura 27: Bombas de recalque	75
Figura 28: Hidrômetro no extravasor da caixa de entrada	75
Figura 29: Hidrômetro na entrada da ETAC.....	76
Figura 30: Hidrômetro da coluna de alimentação de água de reúso	76
Figura 31: Hidrômetro da área de lazer.....	77
Figura 32: Hidrômetro do térreo	77
Figura 33: Torneira para coleta	79
Figura 34: Série histórica diária da produção de água cinza e consumo de água de reúso	85
Figura 35: Distribuição média do consumo de água de reúso no edifício	87
Figura 36: Média de produção de água cinza e do consumo de água de reúso nos meses monitorados	87
Figura 37: Série histórica da produção <i>per capita</i> de água cinza e consumo <i>per capita</i> de água de reúso.....	89

Figura 38: Representação da produção <i>per capita</i> de água cinza, nos meses monitorados.....	90
Figura 39: Representação do consumo <i>per capita</i> de água de reúso, nos meses monitorados.....	91
Figura 40: Produção <i>per capita</i> de água cinza nos dias da semana	92
Figura 41: Consumo <i>per capita</i> de água de reúso nos dias da semana	92
Figura 42: Perfil de 24 horas de produção de água cinza e consumo de água de reúso	93
Figura 43: Perfil de 24 horas <i>per capita</i> de produção de água cinza e consumo de água de reúso	95
Figura 44: Remoção de Turbidez	100
Figura 45: Remoção de Cor Aparente.....	101
Figura 46: Remoção de Sólidos Sedimentáveis (SSed).....	102
Figura 47: Remoção de Sólidos Suspensos Totais (SST)	103
Figura 48: Remoção de DQO.....	104
Figura 49: Remoção de DBO ₅	104
Figura 50: Remoção de Proteína	106
Figura 51: Remoção de Carboidrato	107
Figura 52: Concentrações médias de parâmetros de matéria orgânica na água cinza bruta	108
Figura 53: Remoção de Óleos e Graxas	108
Figura 54: Remoção de Coliformes totais	110
Figura 55: Remoção de <i>E. coli</i>	110

Figura 56: Evolução dos teores de NTK.....	111
Figura 57: Evolução dos teores de Nitrogênio Amoniacal.....	112
Figura 58: Evolução nos teores de Nitrato	113
Figura 59: Evolução nos teores de Nitrito	113
Figura 60: Evolução nos teores de Fósforo Total.....	114
Figura 61: Evolução nos teores de Orto-fosfato.....	115
Figura 62: Evolução nos Teores de Sulfato	116
Figura 63: Evolução nos teores de Sulfeto.....	117
Figura 64: Evolução nos teores de Alcalinidade.....	118
Figura 65: Água de reúso na bacia sanitária	121
Figura 66: Porcentagem de atendimento aos padrões mais e menos restritivos na água de reúso	122
Figura 67: Variação de pH ao longo de 24 h nas diferentes etapas do tratamento.	124
Figura 68: Variação de OD ao longo de 24 h nas diferentes etapas do tratamento	126
Figura 69: Variação da Turbidez ao longo de 24 h nas diferentes etapas do tratamento	128
Figura 70: Variação de DQO ao longo de 24 h nas diferentes etapas do tratamento	130
Figura 71: Variação de Sólidos Suspensos Totais ao longo de 24 h nas diferentes etapas do tratamento	132

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Proporções típicas de produção de águas cinza residenciais	34
Tabela 2: Componentes da água cinza	40
Tabela 3: Faixa de valores para parâmetros físico-químicos encontrados na água cinza	41
Tabela 4: Critérios de qualidade para água de reúso para uso em bacias sanitárias no Japão	43
Tabela 5: Limites estabelecidos para reúso em descarga de bacias sanitárias – Normas dos estados americanos	44
Tabela 6: Limites estabelecidos para reúso em descarga de bacias sanitárias – Normas dos órgãos australianos	44
Tabela 7: Limites estabelecidos para reúso em descarga de bacias sanitárias – normas brasileiras	45
Tabela 8: Características da água de reúso obtida em tratamento tipo dois-estágios	49
Tabela 9: Características da água de reúso obtida em tratamento por membranas	50
Tabela 10: Características da água de reúso obtida em tratamentos químicos	51
Tabela 11: Características da água de reúso obtida em tratamentos de leitos cultivados	54
Tabela 12: Características da água de reúso obtida no tratamento UASB	57
Tabela 13: Características da água de reúso obtida no tratamento por MBR	58
Tabela 14: Características do meio suporte	70
Tabela 15: Características geométricas da ETAC	81
Tabela 16: Tempos de detenção hidráulicos médios	81

Tabela 17: Cargas e velocidade ascendente aplicadas à ETAC (média ± desvio padrão).....	83
Tabela 18: Quantidade média de água potável economizada	96
Tabela 19: Características da água cinza bruta	97
Tabela 20: Características de esgotos fracos	97
Tabela 21: Comparação das concentrações médias de água cinza bruta obtidas nesta pesquisa com dados da literatura.....	98
Tabela 22: Resumo das eficiências de cada etapa do tratamento	118
Tabela 23: Comparação de eficiência da ETAC.....	119
Tabela 24: Valores médios obtidos na água de reúso	120
Tabela 25: Sólidos Totais no lodo produzido na ETAC	134
Tabela 26: Relação Sólidos Voláteis X Sólidos Totais no lodo	134

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas e Técnicas
APHA	<i>American Public Health Association</i>
BASTE	Modelo de emissão para ETE
CESAN	Companhia de Saneamento do Espírito Santo
UFC	Unidade de Formação de Colônia
CO ₂	Gás carbônico / dióxido de carbono
CLOR	Cloração
Corsan	Companhia Riograndense de Saneamento
DEC	Decantador
DQO	Demanda Química de Oxigênio
DBO ₅	Demanda Bioquímica de Oxigênio
EPA	<i>Environmental Protection Agency</i>
ETAC	Estação de Tratamento de Águas Cinzas
ETE-UFES	Estação de Tratamento de Esgotos da Universidade Federal do Espírito Santo
FACITEC	Fundo de Apoio a Ciência e Tecnologia do Município de Vitória
FBAS	Filtro Biológico Aerado Submerso
FT	Filtro Terciário
H ₂ O	Água
H ₂ O ₂	Peróxido de hidrogênio / água oxigenada
H ₂ S	Ácido sulfídrico
HPP	<i>Hydrogen Peroxide Plus</i> (95% DE H ₂ O ₂ , moléculas orgânicas e pequena quantidade de solução ácida)
KMnO ₄	Permanganato de potássio
LABSAN	Laboratório de Saneamento da Universidade Federal do Espírito Santo
MBR	Biorreatores de Membrana
N	Número de amostras
NBR	Norma Brasileira Registrada
NH ₃	Amônia livre
NH ⁴⁺	Íon amônio

NO ²⁻	Íon nitrito
NO ³⁻	Íon nitrato
NTK	Nitrogênio Total <i>Kjedhal</i>
O ₂	Gás oxigênio
OD	Oxigênio Dissolvido
OH-	Hidroxila
O&G	Óleos e Graxas
P	Fósforo
pH	Potencial hidrogeniônico
PROSAB	Programa de Pesquisa em Saneamento Básico
RAC	Reator Anaeróbio Compartimentado
RVFCW	<i>Wetlands</i> Construídas de fluxo vertical recirculada
S	Enxofre
SO ₂	Dióxido de enxofre
SSed	Sólidos Sedimentáveis
SST	Sólidos Suspensos Totais
SV	Sólidos Voláteis
ST	Sólidos Totais
TDH	Tempo de Detenção Hidráulica
TQE	Tanque de Equalização
UASB	Reator Anaeróbio de Manta de Lodo e Fluxo Ascendente – <i>upflow anaerobic sludge blanket</i>
UFES	Universidade Federal do Espírito Santo
UV	Ultra Violeta

LISTA DE SÍMBOLOS

%	porcentagem
µg	micrograma
Cv	carga volumétrica (g/m ³ .d)
CV	coeficiente de variação
cm	centímetro
Cv	cavalo-vapor
DP	desvio padrão
g	gramas
h	horas
kg	Kilograma
kW/h	Kilowatt por hora
Kg/m ³	Kilogramas por metro cúbico
L	Litros
L.dia ⁻¹	Litros por dia
L.hab ⁻¹ .dia ⁻¹	Litros por habitante por dia
m	Metros
m ²	metros quadrados
m ³	metros cúbicos
m ² / m ³	Metros quadrados por metros cúbicos
mm	Milímetros
min	Minutos
mg	Miligramas
mg/L	Miligramas por Litro
mL	Mililitros
mL/min	Mililitros por minuto
m/h	Metros por hora
m ³ /d	Metros cúbicos por dia
mWs.cm ⁻²	miliWatt segundos/centímetro quadrado
NTU	Unidade Nefelométrica de Turbidez
°C	graus Celsius
ppm	partes por milhão
Qn	Vazão volumétrica dos hidrômetros
s	segundos
T	Temperatura
TDH	Tempo de Detenção Hidráulica
µm	micrômetro

1.Introdução

A água é considerada um recurso natural renovável, no entanto, o seu uso indiscriminado compromete a quantidade disponível de água com qualidade para consumo, podendo fazer com que este recurso seja considerado limitado. Com o aumento da população e da industrialização, principalmente nas grandes cidades, a deteriorização dos mananciais se acentua, contribuindo para problemas de abastecimento que atualmente estão merecendo a atenção e a preocupação de toda a sociedade.

Uma forma de prevenir a escassez é estimular o uso através de uma gestão integrada do recurso água, incentivando o seu uso racional e favorecendo o desenvolvimento de sistemas sustentáveis.

Em ambiente urbano, a revisão dos métodos de gerenciamento da água encontra-se em andamento em vários países que experimentam problemas desta natureza. Na prática, busca-se a racionalização do uso através de técnicas e procedimentos que resultem na preservação da água, sem que haja comprometimento dos usos fundamentais que mantêm a vida nas áreas urbanas.

Como medidas de racionalização da água pode-se citar o uso de aparelhos economizadores, a adoção da medição individualizada, a conscientização do usuário para não desperdiçar água no ato do uso, a detecção e o controle de perdas em sistemas prediais, a utilização de fontes alternativas, entre outras.

Dentre as medidas racionalizadoras, a utilização de fontes alternativas de água surge como uma opção interessante por evitar a utilização das fontes convencionais de suprimento (mananciais subterrâneos ou superficiais) e também por reduzir o consumo de energia elétrica.

Dentre as fontes alternativas de água para consumo predial urbano, a água cinza se destaca pela disponibilidade e baixa concentração de poluentes, diferentemente da água de chuva, cuja utilização está vinculada a um regime constante de chuvas que possa suprir a demanda de uso. A água cinza compreende todo o efluente

doméstico sem a contribuição dos vasos sanitários, ou seja, o efluente proveniente da lavanderia, chuveiros, banheiras, lavatórios e cozinha.

Por se tratar de uma prática até então incipiente no Brasil, ainda não existe experiência consistente e passível de ser universalizada sobre o gerenciamento de águas cinza nas edificações, a qual demanda licenciamento, operação e manutenção. A prática envolve assuntos relacionados com saúde pública, controle da poluição ambiental e procedimentos construtivos de edificações, carecendo ainda de regulamentação no País. Não obstante, sua aplicação é crescente em vários países, tais como Japão, EUA, Austrália, Canadá, Reino Unido, Alemanha e Suécia (GONÇALVES, 2006).

No Brasil, até a presente data, existem poucas legislações que incentivam a prática do reúso de água. Algumas cidades brasileiras possuem legislação que regulamenta a utilização de fontes alternativas de água, como Curitiba-PR (Lei nº 10.785/03) e Maringá-PR (Lei nº 6.345/03). Na cidade de Vitória-ES, em 2007, foi sancionada a Lei nº 7079, que institui o Programa de Conservação, Redução e Racionalização do uso da água nas edificações públicas da cidade.

As práticas de reúso de águas cinza envolvem o tratamento deste efluente, uma vez que o seu aspecto em estado bruto é desagradável, além de haver possibilidade de mau cheiro e contaminação microbiológica. Uma ampla variedade de tecnologias tem sido utilizada ou está sendo desenvolvida para o tratamento de águas cinza, compreendendo sistemas naturais, processos químicos, físicos, físico-químicos e biológicos.

Desde 2004, pesquisas relacionadas às tecnologias de tratamento de águas cinza são desenvolvidas no Núcleo Água, na UFES (Universidade Federal do Espírito Santo). Bazzarella (2005) avaliou um sistema compacto de tratamento de águas cinza, composto por um RAC - reator anaeróbio compartimentado, um FBAS – filtro biológico aerado submerso, um DEC – decantador de placas e um FT – filtro terciário. O tratamento, em escala piloto, resultou em uma água de reúso de boa qualidade e atingiu os limites estabelecidos nas legislações brasileiras e internacionais.

A partir do trabalho de Bazzarella (2005), foi desenvolvida e disponibilizada para domínio público, na cidade de Vitória-ES, uma estação de tratamento de águas cinza (ETAC) para reúso não-potável, objeto de estudo desta pesquisa. Esta pesquisa está inserida no Edital 5 do PROSAB (Programa de Pesquisa em Saneamento Básico), integrante da rede temática nº 5, que trata de novas tecnologias para minimização do consumo de água potável.

Dentro deste contexto, esta pesquisa visa avaliar a contribuição do sistema de reúso de águas cinza para a conservação de água em meio urbano. Como benefícios diretos têm-se a diminuição do consumo de água potável e a diminuição do lançamento de esgotos.

2. Objetivos

2.1 Objetivo Geral

Avaliar a produção e as características físico-químicas e biológicas da água cinza gerada em uma edificação residencial de alto padrão, bem como avaliar o desempenho de uma estação compacta de tratamento de água cinza, com vistas ao seu reúso não-potável na própria edificação.

2.2 Objetivos Específicos

- Quantificar a produção de água cinza e a demanda de água de reúso, no edifício dotado de um sistema de reúso de água cinza;
 - Estudar o desempenho da Estação de Tratamento de Água Cinza (ETAC), sob condições dinâmicas de cargas hidráulicas e orgânicas, avaliando de maneira individual o comportamento de todas as etapas do tratamento;
 - Avaliar as características qualitativas do lodo gerado na ETAC.
-

3.Revisão Bibliográfica

3.1 Escassez de água em áreas urbanas

Um dos grandes problemas ambientais dos centros urbanos é o abastecimento de água potável. A disponibilidade de água em áreas urbanas encontra-se seriamente ameaçada, tanto em termos de quantidade quanto de qualidade. A degradação de mananciais – desencadeada pelo lançamento de efluentes urbanos e industriais –, o aumento da população urbana, o aquecimento global e a industrialização são as principais causas deste quadro de escassez.

Segundo Seckler (1999), mais de um quarto da população do mundo, ou um terço da população dos países em desenvolvimento, vive em regiões que já sentem grave escassez de água. Nas regiões semi-áridas da Ásia e do Oriente Médio, o quadro de escassez já é alarmante.

De acordo com Shiklomanov (1999), desde 1995, em muitas regiões do mundo, foi observada baixa disponibilidade hídrica e o abastecimento de água tornou-se catastróficamente baixo no Norte da África e na Península Arábica e muito baixo no norte da China, Sul e Oeste da Ásia. Ainda de acordo com o mesmo autor, em 2025, a maior parte da população da Terra viverá sob condições de baixo e catastróficamente baixo suprimento de água. Cerca de 30-35% da população do mundo terá baixa oferta de água doce (<1 mil m³ por ano *per capita*).

Na capital da Austrália, Sidney, a crescente demanda por água já começa a ultrapassar os fornecimentos disponíveis. Este é um exemplo onde as demandas urbanas de água atingiram a capacidade do atual sistema de abastecimento de água (ANDERSON, 2006).

Em outubro de 2008, o relatório divulgado pela Organização das Nações Unidas (ONU) mostra que, neste século, pela primeira vez na história, mais da metade da população mundial vive em cidades. No Brasil, a população urbana é uma das maiores: chega a 77%, ou seja, cerca de 140 milhões vivem em cidades. Os efeitos

desta realidade são sentidos, sobretudo nos sistemas de abastecimento de água, no transporte e no tratamento de esgotos.

A Região Metropolitana de São Paulo, quarta maior concentração urbana do mundo, encontra-se na Bacia do Alto Tietê e tem uma disponibilidade hídrica insuficiente para atender toda a demanda, havendo a necessidade de captar água nas bacias vizinhas. Esta condição traz como consequência direta o aumento considerável de custo de fornecimento de água, além de evidentes problemas legais e político-institucionais associados (MELLO *et al.*, 2007).

Segundo Peters (2006), problemas com a seca estão sendo constantes na Região Sul do Brasil, principalmente no oeste daquela região, onde os regimes de chuvas sofrem alterações de acordo com as estações do ano e, muitas vezes, o clima é influenciado por fenômenos meteorológicos, acarretando prejuízos severos para o abastecimento urbano, forçando a população a racionalizar o uso da água.

No contexto local, de acordo com a Secretaria Estadual de Meio Ambiente (SEAMA) 2/3 da área do estado do Espírito Santo apresentam déficit hídrico, ou seja, nessas regiões, a quantidade de chuva é menor do que a evapotranspiração.

Na Região da Grande Vitória, que concentra quase metade de toda a população do Estado, a atenção maior tem sido com os rios Santa Maria da Vitória e Jucu, responsáveis pelo abastecimento de 1,28 milhão de pessoas. Os principais responsáveis pela degradação dos dois rios têm sido, em ordem de importância, a má utilização do solo, a poluição e as barragens irregulares. No meio urbano, a percepção sobre a situação de perigo é melhor detectada pela população dos bairros que ficam junto à foz do Santa Maria, que já sofre com cortes no abastecimento de água (BIGIO, 2002).

Alguns estudos apontam que a disponibilidade hídrica nesses rios garantem o abastecimento de água na Grande Vitória até o ano 2030, e que, a partir daí, o abastecimento deverá ser reforçado utilizando-se os rios Reis Magos, Piraque-Açu, Benevente, e finalmente, por volta do ano 2050, o Rio Doce. Porém, alguns especialistas do Estado chegam a prever que em 2016 haverá racionamento no município de Vitória por exaustão das bacias dos rios.

Este stresse hídrico, onde a qualidade e quantidade de água não se encontram adequados para o suprimento da população urbana, aumenta a preocupação e reforça a necessidade de preservação e uso racional da água.

3.2 Consumo urbano de água

Nas áreas urbanas o consumo de água pode ser dividido em quatro categorias, que são descritas a seguir:

- Consumo residencial: água consumida nas habitações sejam elas residências unifamiliares ou edifícios multifamiliares;
- Consumo comercial: representado por restaurantes, hospitais e serviços de saúde, hotéis, lavanderias, auto-postos e lava-rápidos, clubes esportivos, bares, lanchonetes, lojas e escritórios;
- Consumo industrial: indústrias químicas e de produtos afins, indústria metalúrgicas básicas, indústrias de papéis, de alimentação, de equipamentos elétricos e eletrônicos, entre outras;
- Consumo público: relativo aos edifícios públicos, escolas, parques infantis, prédios de unidades de saúde pública, cadeias públicas e todos os edifícios municipais, estaduais e federais existentes.

Em áreas densamente urbanizadas, as residências apresentam-se como as principais fontes de consumo de água. Segundo Rodrigues *apud* Sam (2005), a categoria residencial representa, na Região Metropolitana de São Paulo, 84,4% do consumo total, e, segundo Rodrigues (2005), em Vitória-ES este consumo representa 85,0%, o que demonstra um gasto significativo.

3.2.1 Consumo residencial de água

Falkenberg (2005) expõe que o consumo residencial de água pode ser dividido em uso interno e externo, sendo que a água para uso externo destina-se à lavagem de calçadas, rega de jardins, lavagem de carros, etc., enquanto a água para o uso interno destina-se à atividades de limpeza e higiene. O consumo de água também pode ser dividido quanto aos fins de uso, sendo os fins potáveis a água utilizada

para higiene pessoal, para beber e preparação de alimentos; e os não-potáveis para lavagem de roupas, rega de jardins, descarga em bacias sanitárias.

Ainda segundo o autor, o consumo de água residencial é influenciado por diversos fatores físicos, culturais e econômicos, dentre os quais se podem destacar: nível sócio-econômico da população abastecida, condições climáticas, preço da tarifa de água, hábitos de higiene, nível de conscientização, quantidade de moradores, dias da semana e feriados

3.2.2 Conservação de água no meio urbano

De acordo com o Manual de Conservação e Reúso de Água em Edificações, elaborado pela FIESP (Federação das Indústrias do Estado de São Paulo) (2005), a conservação de água pode ser definida como qualquer ação que:

- Reduza a quantidade de água extraída em fontes de suprimento;
- Reduza o consumo de água;
- Reduza o desperdício de água;
- Aumente a eficiência do uso de água, ou, ainda;
- Aumente a reciclagem e o reúso de água.

As ações de conservação podem ser de uso racional de água e/ou a utilização de fontes alternativas. O uso racional da água envolve o combate ao desperdício da água através de detecção e correção de vazamentos, uso de aparelhos economizadores de água, sistemas de medição individualizada, entre outros. Quanto ao uso de fontes alternativas, este significa buscar fontes diferentes ao sistema público de abastecimento.

Consideram-se fontes alternativas de água aquelas que não estão sob concessão de órgãos públicos ou que fornecem água com composição diferente da água potável fornecida pelas concessionárias (FIESP, 2005), as quais destacam-se a água da chuva, a água cinza, a água subterrânea e a água de drenagem de terrenos.

3.3 Produção de águas residuárias em residências

O consumo residencial de água tem como consequência a geração de águas residuárias, que são todas aquelas que resultam da utilização para diversos processos. As águas residuárias domésticas são provenientes de banhos, pia da cozinha, lavagens de pavimentos domésticos, máquinas de lavar, descarga de bacia sanitária, entre outros.

As águas residuárias domésticas são chamadas de esgoto doméstico e normalmente saem das residências por uma mesma tubulação, sendo então afastadas das residências por coletores e encaminhadas ao tratamento de esgoto, quando este existe na cidade. Esta configuração de coleta e tratamento é um modelo convencional, que centraliza a distribuição e o tratamento de esgoto. Utilizados por anos em países industrializados, implica em altos custos e elevado consumo de água, não sendo apropriado como solução sustentável em países em desenvolvimento.

Alternativas aos sistemas convencionais estão se tornando cada vez mais indispensáveis por razões ecológicas, econômicas e sociais. Neste contexto, o Saneamento Ecológico (ECOSAN) surge com opção de sustentabilidade econômica baseada na reciclagem de matérias.

O conceito de saneamento ecológico é baseado no princípio de segregação na fonte do esgoto doméstico, visando reutilizá-lo ou minimizá-lo para reduzir sua liberação no meio ambiente. O Ecosan propõe que os efluentes sejam separados e representados cada um por uma cor de acordo com suas características, como pode ser visualizado na Figura 1.

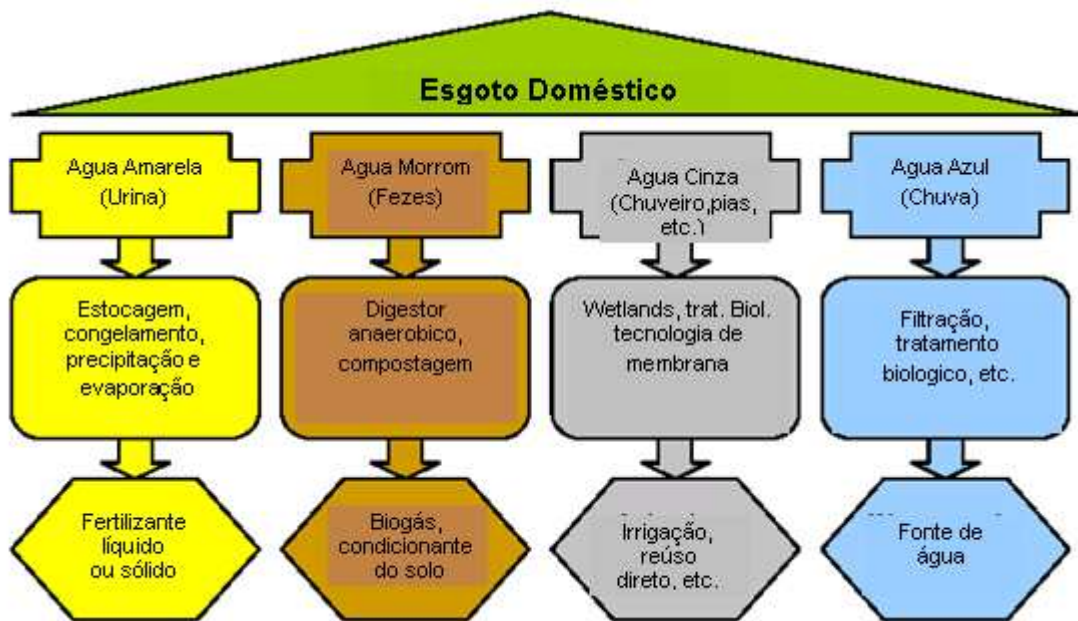


Figura 1: As cores das águas
Fonte: Adaptado de Ganrot, 2005.

As águas amarelas e marrons, quando misturadas são chamadas de águas negras.

3.4 Águas Cinza

As águas cinza são definidas como águas residuárias sem contribuição de efluentes de bacias sanitárias, ou seja, são as águas produzidas nos chuveiros, banheiras, lavatórios, máquinas de lavar, pias de cozinha e tanques (LAMINE *et al.*, 2007). Alguns autores como Nolde (1999) e Christova-Boal *et al.* (1996) não consideram como água cinza o efluente oriundo de cozinhas, por considerá-lo altamente poluído, putrescível e com inúmeros compostos indesejáveis, como por exemplo, óleo e gordura.

As características das águas cinza, assim como o volume de água consumida em um domicílio, variam regionalmente. Três fatores que afetam significativamente a composição das águas cinza são: qualidade da água de abastecimento, tipos de rede de distribuição tanto da água cinza quanto da água potável e os usos da água nas residências (LAMINE *et al.*, 2007).

As possibilidades de reutilização desta fração de água residuária têm merecido especial destaque, principalmente por ser gerada em grande volume. Água cinza tratada pode ser utilizada para muitas atividades, tais como descargas em bacias

sanitárias, rega de jardins, irrigação, lavagens de pisos e automóveis, dentre outras, desde que garantidos os padrões de qualidade (LAMINE *et al.*, 2007).

Historicamente, a reutilização doméstica de água cinza foi praticada para conservar a água. No entanto, obstáculos sociais e econômicos impediram o seu maior desenvolvimento e integração aos sistemas hídricos urbanos. O modelo convencional de gestão de águas residuárias é centralizado e desenvolvido em larga escala. Esta abordagem conduziu à sobre-exploração ou esgotamento dos recursos hídricos renováveis, exploração dos recursos não renováveis e de águas subterrâneas e deterioração da qualidade da água. É provável que novas inovações na gestão da água em meio urbano conduzirão eventualmente à mudanças substanciais no estilo de vida, especialmente no que diz respeito à utilização de águas cinza e à redução do uso de água como meio de transporte para dejetos humanos (AL-JAYYOUSI, 2003).

Hoje, muitos países e centros de pesquisas no Japão, Austrália, EUA, Israel, Europa têm se dedicado a estudar o tratamento e reúso descentralizado de águas residuárias. Estes sistemas “on-site” são uma alternativa aos sistemas convencionais e aliviam as cargas orgânica e hidráulica aplicadas ao tratamento de esgoto (FRIEDLER *et al.*, 2008).

3.4.1 Produção em residências

A produção de águas cinza em uma residência é proporcional ao consumo de água potável. Enquanto houver utilização das instalações hidro-sanitárias em uma edificação, haverá produção de águas cinza. A produção doméstica varia de região para região, pois depende do clima, costumes da população, cultura e economia.

Al-Jayyousi (2003) menciona que a água cinza produzida em uma residência, corresponde de 50 a 80% de todo o esgoto doméstico, outros autores como Lamine *et al.* (2007), e Eriksson *et al.* (2002) citam que o volume de água cinza é em torno de 75% do total produzido.

Segundo Prathapar *et al.* (2005), muitos estudos estão sendo realizados no Reino Unido, EUA, Europa e Austrália para quantificar a produção de água cinza. Carr *et*

al. (2004), mencionam que a produção de água cinza *per capita* é na faixa de 90-140 L.hab⁻¹.dia⁻¹.

Em Omã, país localizado no sudoeste da Ásia, um estudo feito por Prathapar *et al.* (2005), estimou a água cinza produzida em residências através de questionários e coleta de dados sobre consumo de água obtidos pelo Ministério da Habitação, Energia e Recursos Hídricos. O levantamento foi realizado em 221 domicílios com 1543 ocupantes. As informações coletadas incluíam o tipo de habitação, o número de ocupantes, área das residências, tipo de máquinas de lavar roupa (manual, semi-automático ou automático), número de ciclos de lavagem e frequência de chuveiros. Os resultados mostram que a produção de água cinza foi em média de 161 L.hab⁻¹.dia⁻¹ o que corresponde a 82% do total de esgoto doméstico produzido nas residências.

Em Tucson, no Arizona, o volume de água cinza gerado em residências pode ser da ordem de 117 L.hab⁻¹.dia⁻¹ (FOSTER e DeCOOK, 1991) enquanto na Califórnia este volume, estimado por Ingham (1980), pode chegar a 223 L.hab⁻¹.dia⁻¹.

Estudo realizado por Lu e Leung (2003), em Hong Kong, apresenta a proporção típica de água cinza residencial, conforme pode ser observado na Tabela 1.

Tabela 1: Proporções típicas de produção de águas cinza residenciais

Fonte	Faixa (L.hab⁻¹.dia⁻¹)	Média (L.hab⁻¹.dia⁻¹)
Apartamento de Alto Padrão	132 – 283	246
Apartamento de Baixo Padrão	189 – 302	189
Residências de Baixo Padrão	170 – 340	264
Residências de Médio Padrão	227 – 378	302
Residências de Padrão Alto (Luxo)	283 – 567	360
Outros Tipo de Residências	113 – 227	170

Fonte: Adaptado de LU e LEUNG (2003)

Halalsheh *et al.*(2008) pesquisaram a produção de água cinza em seis residências em Mafrq, cidade localizada no nordeste da Jordânia. A produção média de águas cinza foi de 14 L.hab⁻¹.dia⁻¹. Segundo os autores, este valor é muito baixo se comparado com a produção de água cinza em Amã, capital da Jordânia, onde a produção é em torno de 59 L.hab⁻¹.dia⁻¹, e com as quantidades típicas estimadas para os países europeus, que variam entre 66 e 274 L.hab⁻¹.dia⁻¹. Ainda segundo os autores, esta baixa produção de água cinza pode ser justificada em função do

quadro de escassez de recursos hídricos existente no país, onde a quantidade de água não é suficiente para atender todas as demandas.

No Brasil, Bazzarella (2005) realizou estudo para validar a produção de águas cinza proveniente de um prédio universitário, onde a população em média foi de 14 pessoas.dia⁻¹. O prédio continha seis pias e dois chuveiros e foi monitorado durante três meses. A produção média de águas cinza foi de 9,3 L.hab⁻¹.dia⁻¹ para esse tipo de habitação.

Em Campo Grande (MS), Pansonato *et al.* (2007) quantificaram a água cinza em uma residência de baixa renda através de hidrômetros instalados na pia de cozinha, banheiro e tanque, por um período de 50 dias. Através da hidrometração, identificou-se que a produção média era de 678,3 L.dia⁻¹ de água cinza, sendo o consumo específico de 75,4 L.hab⁻¹.dia⁻¹.

Peters (2006) avaliou a produção de águas cinza em residência de baixo padrão, ocupada por três habitantes em Florianópolis (SC). Para a quantificação, foram instalados hidrômetros nas tubulações de alimentação das unidades hidráulico-sanitárias do domicílio, com leituras diárias por período de 12 meses. Os resultados mostram que a produção de água cinza na residência, considerando a água proveniente do lavatório, chuveiro e tanque de lavar roupa, totalizou um volume médio de 57 L.hab⁻¹.dia⁻¹.

Nota-se grandes diferenças na produção de água cinza nos diversos países. Estas diferenças estão ligadas principalmente ao nível sócio-econômico da população, disponibilidade de água e tipo de sistema avaliado. Bazzarella (2005) encontrou valores muito baixos, pois o padrão de consumo em prédios universitários é muito diferente do padrão de consumo residencial.

3.4.2 Configurações em edificações

Para a implantação de sistemas de reúso de águas cinza em edificações, inicialmente deve haver a segregação da água cinza das águas negras através de tubulações distintas.

Se a finalidade da água cinza tratada (água de reúso) for para atender as descargas nas bacias sanitárias, as edificações devem ser concebidas com sistemas prediais independentes, sendo um para água de reúso e outro para água potável.

3.4.2.1 Instalações prediais de esgotos sanitários

As instalações prediais de esgoto sanitário visam atender às exigências mínimas de higiene, segurança, economia e conforto dos usuários. A norma técnica da ABNT que regulamenta os procedimentos para instalações prediais de esgoto sanitário é a NBR 8160 (ABNT, 1997).

Conforme a norma, as instalações prediais de esgoto sanitário devem ser projetadas de modo a:

- Permitir o rápido escoamento dos esgotos e fáceis desobstruções;
- Vedar a passagem de gases e animais das tubulações para o interior das edificações;
- Não permitir vazamentos, escapamentos de gases e formação de depósitos no interior das tubulações;
- Impedir a poluição da água potável.

Portanto, elas deveram coletar e afastar da edificação todos os despejos provenientes do uso da água para fins higiênicos ou domésticos, e encaminhá-los a um destino indicado pelo poder público. Este destino poderá ser a rede pública coletora de esgotos sanitários ou um sistema particular.

Novas concepções, configurações e tecnologias referentes aos sistemas prediais de esgoto sanitário têm sido desenvolvidas no intuito de atender às demandas dos

usuários e do meio ambiente. Nesta direção, o fator de maior destaque da atual versão da NBR 8160 consiste na flexibilidade outorgada ao projetista para que o mesmo consiga personalizar a configuração dos sistemas prediais de esgoto sanitário para cada projeto de forma a propiciar o reúso de águas servidas no interior das habitações, como no caso das águas cinza (SANTOS, 2002).

Na Figura 2 pode ser visualizado um exemplo de sistema hidro-sanitário da edificação instalada na UFES com sistema de separação de água residuárias

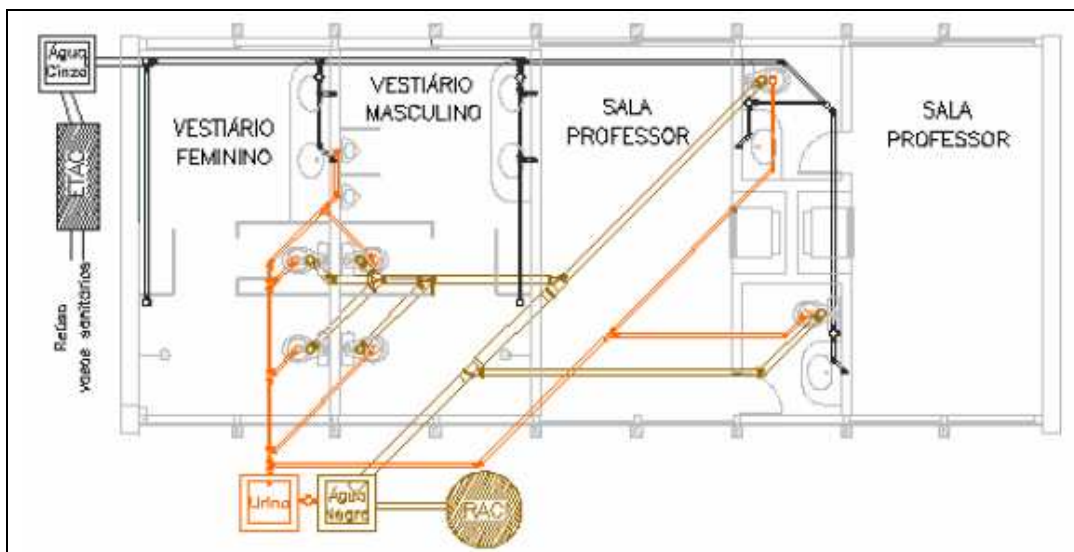


Figura 2: Projeto hidro-sanitário de esgoto da edificação da UFES
Fonte: Gonçalves, 2004

3.4.2.2 Instalações prediais de água fria

As instalações prediais de água fria regem-se pela norma técnica da ABNT NBR 5626 (ABNT, 1997), cujos principais objetivos são: fornecimento contínuo de água aos usuários e em quantidade suficiente e preservação da qualidade da água através de técnicas de distribuição e reservação. A distribuição de água potável é geralmente feita pela rede pública e em rede única, como esquematizado na Figura 3.

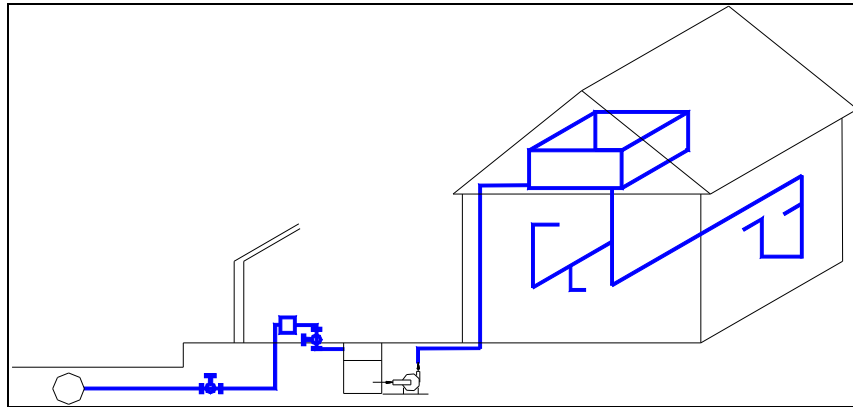


Figura 3: Distribuição típica de água potável em uma residência.

Fonte: Escola de Engenharia de São Carlos, USP, 2002.

As edificações com sistemas de reúso de água cinza para descarga de vasos sanitários devem ser concebidas de tal forma que o abastecimento de água deve ser projetado com rede dupla: uma de água potável, atendendo pias, chuveiros, tanques, máquina de lavar, e outra de água de reúso, atendendo vasos sanitários e mictórios.

As tubulações devem possuir cores distintas e não ter nenhuma interligação entre elas. É recomendável que as válvulas e os registros de cada rede possuam abertura e fechamento diferenciados. No caso de falta de água de reúso, os vasos sanitários devem ser abastecidos com água potável (GONÇALVES, 2006).

Na Figura 4 pode ser visualizado o isométrico de instalação da água potável e água de reúso, da edificação da UFES.

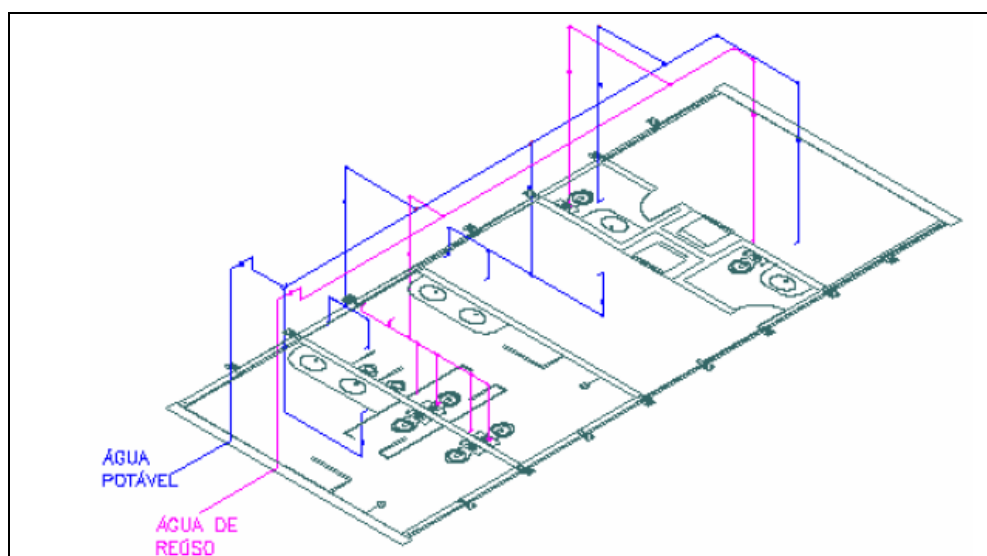


Figura 4: Isométrico de água potável e água de reúso da edificação da UFES.

Fonte: Gonçalves, 2004.

Gonçalves (2006) cita que é necessário que haja um reservatório inferior e outro superior, para armazenamento e distribuição da água de reúso. O volume de reservatório de armazenamento deverá ser determinado com base nas demandas ocupacionais do edifício e as vazões associadas às peças hidráulicas correspondentes (vazão de águas cinza), e na demanda de água dos aparelhos que integram o sistema de reúso (vazão de reúso).

De acordo com Friedler e Hadari (2006), o sistema de transporte e distribuição de águas cinza para reúso em bacias sanitárias em edificações compreende três principais componentes: coleta de água cinza bruta até o tratamento, transporte de água de reúso para o reservatório e distribuição da água de reúso, conforme esquematizado na Figura 5.

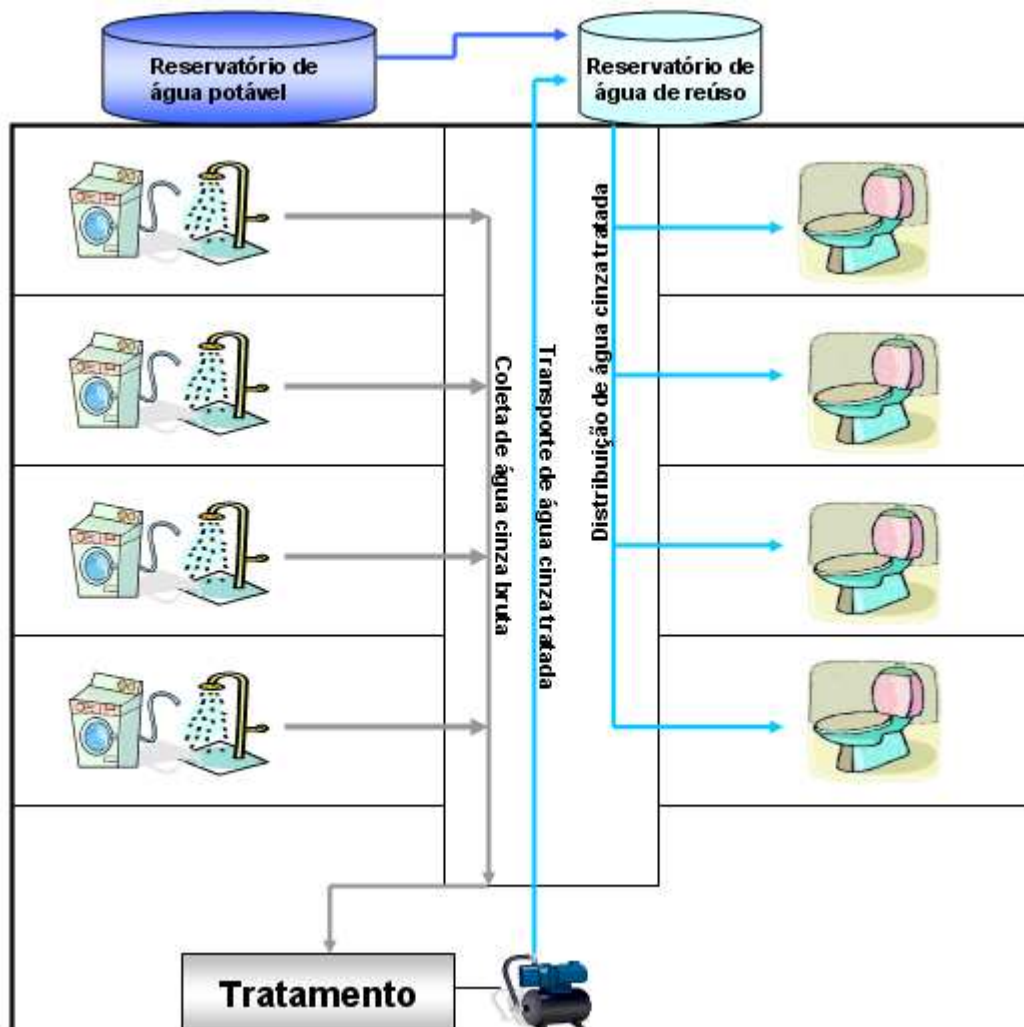


Figura 5: Esquema de coleta de água cinza e distribuição de água de reúso em edificações
Fonte: Adaptado de Friedler e Hadari (2006).

3.4.3 Características Qualitativas: Físico-Químicas e Microbiológicas

A água cinza é comumente gerada pela utilização de sabão ou de outros produtos para lavagem do corpo, de roupas ou de limpeza em geral (JEFFERSON *et al.*, 1999).

De acordo com Eriksson *et al.* (2002) os componentes presentes na água cinza variam de região para região, onde os estilos de vida, os costumes, as instalações e usos de produtos químicos são fatores de grande importância.

Alguns dos principais componentes presentes na água cinza estão resumidos na Tabela 2.

Tabela 2: Componentes da água cinza

Fonte de água cinza	Componentes
Cozinha	Óleos, bactérias e detergentes
Chuveiros e lavatórios	Sabões, xampus, gorduras corporais, partículas sólidas (cabelo, fibras de tecido, areia e ocasionalmente urina e fezes)
Lavanderia e máquina de lavar	Detergentes, alvejantes e óleos

Fonte: Adaptado de SCHÄFER *et al.* (2006)

Devido à grande variação na qualidade desse tipo de água, Ramon *et al.* (2004) propuseram uma classificação em função da carga poluente:

- Água cinza clara: proveniente de banheira, chuveiro, lavatório e máquina de lavar roupa;
- Água cinza escura: proveniente da cozinha, máquina de lavar roupa e louça, chuveiro e lavatório.

Eriksson *et al.* (2002) apontam que as características físicas importantes a serem avaliadas na água cinza são: temperatura, pH, cor, turbidez e sólidos suspensos. Isto porque, temperaturas elevadas podem favorecer o crescimento microbiano. A turbidez e os sólidos suspensos fornecem indicações sobre o teor de partículas e colóides que podem, na presença de detergentes, solidificar-se e comprometer a eficiência do tratamento ou causar o entupimento das tubulações.

Os sólidos suspensos na água cinza são originados de resíduos corporais e produtos de higiene e, geralmente, são de composição orgânica (WINWARD *et al.*, 2008).

Quanto aos parâmetros químicos, Eriksson *et al.* (2002) citam como importantes a DBO₅, DQO e nutrientes como o fósforo e o nitrogênio.

As faixas de valores encontrados na literatura para os componentes físico-químicos da água cinza estão resumidas na Tabela 3:

Tabela 3: Faixa de valores para parâmetros físico-químicos encontrados na água cinza

Parâmetros	Faixa de valores	Referência
pH	5 - 10,9	Schäfer <i>et al.</i> (2006)
Turbidez (NTU)	70 -100	Friedler <i>et al.</i> (2008)
	15 - 240	Gilboa e Friedler (2007)
Sólidos Suspensos (mg/L)	3,1 - 330	Metcalf e Eddy (2003)
	17 - 330	Eriksson <i>et al.</i> (2002)
DBO ₅ (mg/L)	33 - 1460	Al-Jayyousi (2003)
DQO (mg/L)	180 - 650	Gilboa e Friedler (2007)
	38 - 1380	Al-Jayyousi (2003)
Nitrogênio Total (mg/L)	0,6 - 74	Eriksson <i>et al.</i> (2002)
	0,28 - 74	Al-Jayyousi (2003)
Fósforo Total (mg/L)	0,1 - 57	Al-Jayyousi (2003)
	0,062 - 74	Eriksson <i>et al.</i> (2002)
Coliformes termotolerantes (NMP/100mL)	$9,4 \times 10^4 - 3,8 \times 10^8$	Eriksson <i>et al.</i> (2002)
E. Coli (NMP/100mL)	$1,3 \times 10^5 - 2,5 \times 10^8$	Eriksson <i>et al.</i> (2002)

A maior parte da DQO encontrada na água cinza é derivada de produtos químicos encontrados nas residências, como produtos de limpeza e detergentes.

Em relação aos nutrientes (compostos nitrogenados e fosforados) presentes na água cinza, pode-se afirmar que a concentração de nitrogênio total encontrado é baixa porque a fonte principal de nitrogênio é a urina e esta não está presente na água cinza. Entretanto, o nitrogênio presente pode ser originado de produtos de limpeza e da cozinha. Detergentes são a principal fonte de fósforo encontrados em águas cinza em países que ainda não proibiram o uso de detergentes contendo fosfatos.

Os compostos de enxofre também são importantes devido à formação de odores desagradáveis. Como exemplo, pode ser citado o odor desagradável de roupas que permaneceram sob enxágüe em água com sabão por períodos prolongados. A

formação do gás sulfídrico (H_2S) é o principal fator responsável pelos odores desagradáveis, o que ocorre naturalmente em ambientes redutores. Entretanto, as condições ideais para a produção de sulfetos não se encontram presentes logo que a água cinza é produzida. As concentrações de sulfetos, em ambientes redutivos, podem aumentar significativamente em virtude das elevadas concentrações de sulfato, oriundo de sabões e detergentes e da decomposição de matéria orgânica (proteínas) (GONÇALVES, 2006).

As concentrações de oxigênio dissolvido (OD) são relativamente altas logo após a produção da água cinza.

Em relação aos óleos e graxas (O&G), as principais fontes são os óleos e gorduras utilizados no preparo de alimento, resíduos presentes no corpo e nas roupas, oriundos da transpiração humana. Dessa forma, os efluentes da cozinha apresentam maior concentração desses compostos, seguido pelos efluentes de tanque e chuveiro (GONÇALVES, 2006).

Microrganismos patogênicos ocorrem na água cinza em quantidades muito mais baixas do que no esgoto doméstico convencional. A presença de coliformes totais e termotolerantes na água cinza são relacionadas provavelmente à introdução de bactérias fecais no sistema durante a higiene do corpo (banho e lavagem de mão após o uso de toalete) e na lavanderia de objetos potencial contaminados, tais como fraldas e roupas (SCHÄFER *et al.*, 2006).

Escherichia Coli (*E. Coli*) é comumente usada como indicador de contaminação fecal e a investigação da sua presença na água cinza pode trazer informações sobre a possibilidade de presença de patógenos intestinais, como *Salmonella* e vírus entéricos (ERIKSSON *et al.*, 2002).

3.4.4 Aspectos regulatórios de reúso em bacia sanitária

Muitos países têm se orientado por diretrizes e normas relativas ao reúso de águas cinza em bacias sanitárias. As restrições variam de um local para o outro em função de fatores como as condições climáticas, acesso aos recursos hídricos, processos de tratamento, nível econômico, entre outros.

Países com Japão, EUA, Austrália, Alemanha, possuem limites estabelecidos para uso e/ou reúso de água cinza de acordo com a sua utilização.

No Japão, que pratica o reúso de água cinza, algumas instituições estabeleceram critérios quanto aos parâmetros físicos, químicos e microbiológicos de qualidade de água, conforme mostrado na Tabela 4.

Tabela 4: Critérios de qualidade para água de reúso para uso em bacias sanitárias no Japão

Parâmetros	Ministério da Construção	Ministério da Saúde	Governo de Tóquio	Governo de Fukuoka	Prefeitura de Fukuoka
pH	5,8 - 8,6	5,8 - 8,6	5,8 - 8,6	5,8 - 8,6	5,8 - 8,6
Cloro Residual	Nenhum	Nenhum	-	Nenhum	0,5
DBO ₅ (mg/L)	20*	-	-	-	20
DQO (mg/L)	30**	-	-	30	30
Coliformes Termotolerantes (NMP/100mL)	10	10	10	10	10
Sólidos Sedimentáveis (mL/L)	-	-	-	-	30

Fonte: YAMAGATA *et al* (2002) *apud* BORGES (2003). Nota: * Água recuperada através de tratamento biológico. **Água recuperada através de ultrafiltração e microfiltração.

De acordo com a USEPA (2004), não existe regulamentação federal nos EUA, entretanto diversos estados, de maneira individual, desenvolveram regulamentações e guias, cujos limites são mostrados na Tabela 5.

Tabela 5: Limites estabelecidos para reúso em descarga de bacias sanitárias – Normas dos estados americanos

Estado	Tratamento	Parâmetros				
		DBO ₅ (mg/L)	SST (mg/L)	Turbidez (NTU)	Coli. Total (NMP/100mL)	Coli. Fecal (NMP/100mL)
Arizona	Secundário, Filtração e Desinfecção	-	-	2 (méd) 5 (máx)	-	23 (máx)
Califórnia	Oxidação, Coagulação, Filtração e Desinfecção	-	-	2 (méd) 5 (máx)	2,2 (méd) 23 (máx)	-
Flórida	Secundário, Filtração e Alto nível de desinfecção	20	5	-	-	25 (máx)
Hawaii	Oxidação, Filtração e Desinfecção	-	-	2 (máx)	-	2,2 (méd) 23 (máx)
Nevada	Secundário, desinfecção	30	-	-	-	2,2 (méd) 23 (máx)
Texas	-	5	-	3	-	20 (méd) 75 (máx)
Washington	Oxidação, Coagulação, Filtração e Desinfecção	30	30	2 (méd) 5 (máx)	2,2 (méd) 23 (máx)	-

Fonte: Adaptado de Bazzarella (2005)

A Tabela 6 apresenta os parâmetros estabelecidos pelo Departamento de Saúde do Sul da Austrália (*NSW Health*) e os parâmetros citados no Regulamento Estrutural do Sul da Austrália, citado por KAYAALP (1996).

Tabela 6: Limites estabelecidos para reúso em descarga de bacias sanitárias – Normas dos órgãos australianos

Órgão	Tratamento	Parâmetros				
		DBO ₅ (mg/L)	SST (mg/L)	Turbidez (NTU)	Coli. Total (NMP/100mL)	Coli. Fecal (NMP/100mL)
NSW Health	Desinfecção	< 10 (90%) 20 (máx)	< 10 (90%) 20 (máx)	-	< 10 (90%) 30 (máx)	0,5 - 2,0 (90%) 2,0 (máx)
Regulamento Estrutural Sul da Austrália	Secundário, Filtração terciária e Desinfecção	< 20	< 10	2 (méd) 5 (máx)	< 10	-

Fonte: Adaptado de Bazzarella (2005)

No Brasil existem as Normas Brasileiras NBR 13.969/97 e padrões propostos no Manual da FIESP para reúso de água em descarga sanitária, como apresentados na a Tabela 7.

Tabela 7: Limites estabelecidos para reúso em descarga de bacias sanitárias – normas brasileiras

Parâmetros	Manual de "Conservação e reúso de águas em edificações" Classe 1 (FIESP, 2005)	NBR 13.969/97 item 5.6.4 classe 3
pH	6,0 - 9,0	-
Cor (UH)	≤ 10	-
Turbidez (NTU)	≤ 2	< 10
Óleos e Graxas (mg/L)	≤ 1	-
DBO ₅ (mg/L)	≤ 10	-
Coliformes termotolerantes (NMP/100mL)	Não detectáveis	< 500
Compostos Orgânicos Voláteis	Ausentes	-
Nitrato (mg/L)	≤ 10	-
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	≤ 20	-
Nitrito (mg/L)	≤ 1	-
Fósforo total (mg/L)	≤ 0,1	-
Sólidos Suspensos Totais (mg/L)	≤ 5	-
Sólidos Sedimentáveis Totais (mg/L)	≤ 500	-

Fonte: Adaptado de Bazzarella, 2005.

Com relação à turbidez, a maioria dos países adota a faixa de 5-2 NTU para água de reúso. O padrão mais restritivo é o da FIESP, onde a turbidez deve ser inferior a 3.

O padrão mais restritivo para matéria orgânica se aplica nos estados Unidos, no estado do Texas, onde a concentração de DBO₅ não deve superar 5mg/L. Nos outros estados, o limite para descargas varia entre 20-30 mg/L. A norma da FIESP também é bem restritiva quanto a este parâmetro, em que a concentração deve ser inferior a 11 mg/L.

Em relação aos Sólidos Suspensos, os padrões mais restritivos são do estado da Flórida e o da FIESP, ambos exigem concentração máxima de 5 mg/L.

3.5 Sistemas de Tratamento de águas cinza

O tratamento de águas cinza deve cumprir quatro critérios: segurança da saúde, qualidade estética e viabilidades técnica e econômica.

Uma das condições para o tratamento bem sucedido é o seu processamento imediato, pois pode haver crescimento de microrganismos e produção de maus odores (AL-JAYYOUSI, 2003).

A principal dificuldade encontrada no tratamento dessas águas é a grande variação na sua composição, na qual significativas alterações químicas podem ocorrer em períodos de apenas algumas horas (AL-JAYYOUSI, 2003).

As tecnologias de tratamento de águas cinza devem ser robustas para lidar com essas variações e devem produzir, de forma constante, efluente com qualidade adequada e segura, de modo a cumprir as normas exigidas para o reúso.

A fim de minimizar custos de tratamento e possíveis efeitos adversos, Friedler *et al.* (2008) sugerem sempre que o reúso seja feito somente com a água cinza clara (proveniente de chuveiros, máquinas de lavar e lavatórios).

Uma ampla variedade de tecnologias tem sido pesquisada para o tratamento de águas cinza, que vão desde processos simples (filtração grosseira e desinfecção) até processos físicos, físico-químicos e biológicos (JEFFERSON *et al.*, 1999). Geralmente, os processos de tratamentos simples têm por finalidade a irrigação paisagística.

Os tratamentos mais complexos são necessários quando a água tratada é utilizada dentro da própria residência, como nas descargas das bacias sanitárias, por exemplo. Para esses casos, o tratamento de águas cinza necessita de processos físicos, químicos e biológicos para a remoção de partículas e de matéria orgânica dissolvida (ELMITWALLI *et al.*, 2007).

As operações físicas são comuns em pequena escala e são eficazes na remoção de sólidos, porém são pouco eficazes na remoção de compostos orgânicos dissolvidos.

Devido aos altos níveis de carga orgânica normalmente presentes na água cinza, estudos sugerem os processos biológicos como preferenciais para o tratamento (WINWARD *et al.*, 2008). Dentre os processos de tratamentos biológicos de água cinza estudados pode-se citar: biorreatores de membrana (JEFFERSON *et al.*, 1999), biodiscos (NOLDE, 1999), filtros aeróbios (JEFFERSON *et al.*, 1999) e os leitos cultivados ou *wetlands* (OTTERPOHL *et al.*, 2001). A principal diferença entre as tecnologias tem sido o nível de remoção de sólidos suspensos, matéria orgânica e microrganismos.

3.5.1 Tratamentos físicos, químicos e físico-químicos

Os processos físicos, químicos e físico-químicos de tratamento de águas cinza compreendem principalmente a filtração, operações utilizando membranas (normalmente combinado com algum tipo de pré-tratamento) e os processos de coagulação e oxidação avançada (JEFFERSON *et al.*, 1999).

A filtração seguida de desinfecção é um tratamento simplificado chamado de dois-estágios e foi concebido para satisfazer às normas menos restritivas de reúso. A desinfecção pode ser feita utilizando tanto cloro como bromo, sendo eles dispersos na forma de pastilhas que se dissolvem lentamente ou através de dosagem de solução líquida (JEFFERSON *et al.* 1999).

Segundo os autores, este tratamento é pouco eficiente na remoção de matéria orgânica dissolvida da água. Pesquisas mostram que este processo pode sofrer falhas periódicas na desinfecção, já que os níveis de coliformes excederam todos os padrões de qualidade para aquele estudo.

Para este tipo de tratamento, a eficácia da desinfecção foi reduzida por dois fatores: o primeiro fator é que a água cinza depois da filtração ainda continha flocos de partículas maiores que 40µm de diâmetro, o que poderia ter dificultado a difusão do desinfetante dentro do floco. O segundo fator é que a alta concentração de matéria orgânica aumenta a demanda do agente desinfetante e pode gerar subprodutos como cloraminas e trihalometanos.

O sistema de tratamento de dois-estágios foi implantado em um hotel na ilha de Mallorca (Espanha), o qual possui 81 quartos e a água cinza foi proveniente de chuveiros e pias (MARCH *et al.*, 2004). Já no Brasil, Peters (2006) desenvolveu o sistema simplificado de tratamento em uma residência de baixo padrão em Florianópolis (SC), conforme ilustrado na Figura 6. Para ambos os trabalhos, o uso previsto para a água de reúso foi nas descargas das bacias sanitárias.

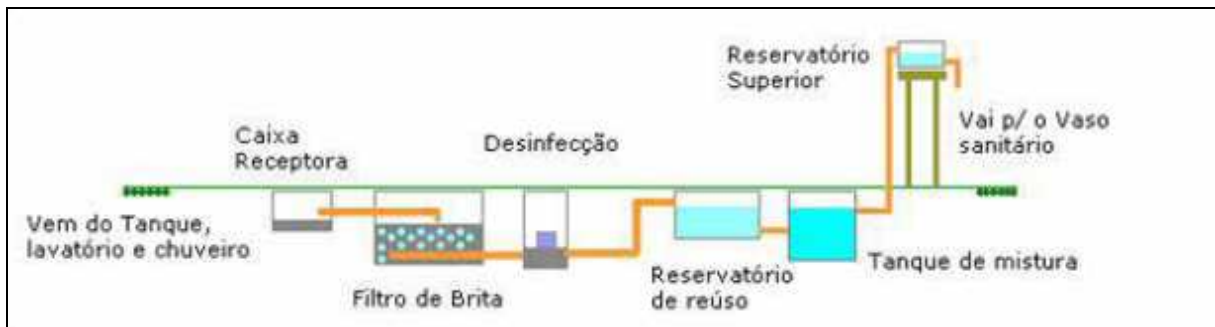


Figura 6: Esquema ilustrativo do sistema simplificado de tratamento de água cinza
Fonte: Peters (2006)

Em uma pesquisa mais recente, Gual *et al.* (2008) estudaram o sistema de dupla filtração para tratamento de águas cinza implantado em outro hotel em Mallorca, na Espanha. A água de abastecimento público nesta localidade possui elevada dureza, que aumenta o custo de operação e manutenção das máquinas de lavar do hotel. Para solucionar esse problema, foi implantado um sistema de osmose reversa. Esse sistema gera um fluxo de água de rejeito, mais concentrada, porém valiosa para usos não-potáveis. No caso do hotel, essa água é misturada à água cinza tratada, vinda dos chuveiros e lavatórios. O fluxograma deste tratamento pode ser visualizado na Figura 7.

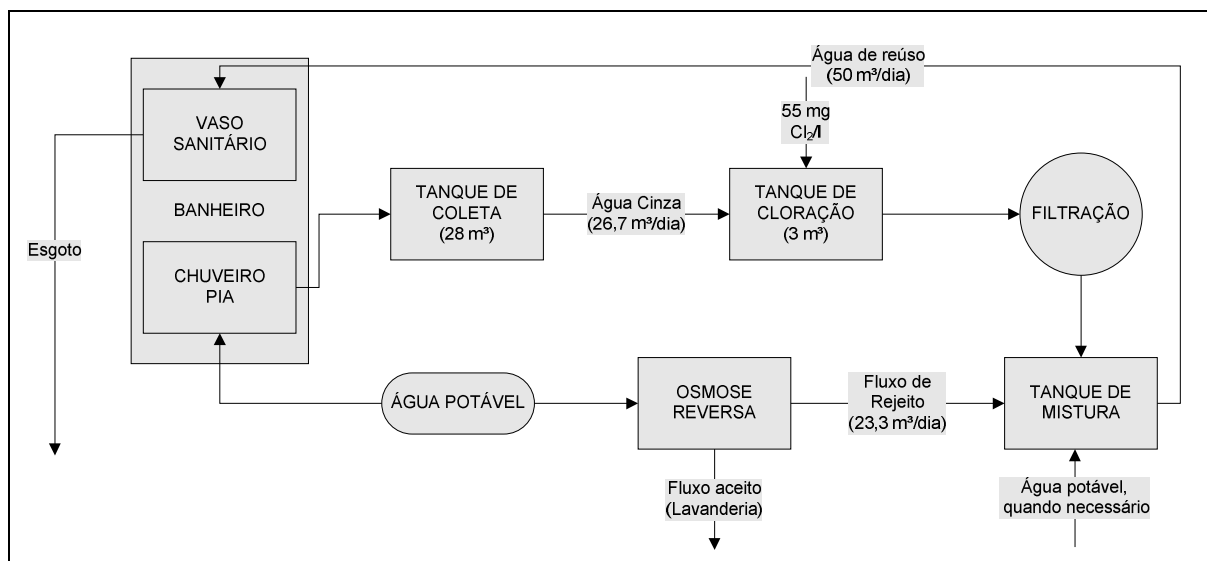


Figura 7: Fluxograma do tratamento de água cinza por dupla filtração
Fonte: Adaptado de Gual *et al.* (2008)

Na Tabela 8 estão apresentadas as características da água de reúso obtidas a partir do tratamento tipo dois-estágios.

Tabela 8: Características da água de reúso obtida em tratamento tipo dois-estágios

Características do tratamento	Características da água cinza bruta	Características da água de reúso	Eficiência do tratamento	Referência
Filtro de tela de nylon seguido de desinfecção com hipoclorito de sódio	Turbidez (NTU) - 20 SST (mg/L) - 44 DQO (mg/L) - 171	Turbidez (NTU) -16,5 SST (mg/L) -18,6 DQO (mg/L) - 78,0	Turbidez – 18% SST – 58% DQO – 54%	March <i>et al.</i> , 2004
Filtro de brita seguido de desinfecção com cloro	Turbidez (NTU) - 155 SST (mg/L) - 129 DQO (mg/L) - 280	Turbidez (NTU) - 86,6 SST (mg/L) - 34,8 DQO (mg/L) - 71,7	Turbidez – 44% SST – 73% DQO – 74%	Peters, 2006
Filtro de nylon seguido por filtro de areia e cloração com hipoclorito de sódio	Turbidez (NTU) – 38,8 SST (mg/L) – 32,2 DQO (mg/L) – 72,7	Turbidez (NTU) – 32,0 SST (mg/L) – 27,3 DQO (mg/L) – 54,6	Turbidez – 18% SST – 15% DQO – 25%	Gual <i>et al.</i> , 2008

Comparando as três pesquisas, March *et al.* (2004) obtiveram uma água de reúso de melhor qualidade em relação à turbidez e SST, porém Peters (2006) obteve uma melhor eficiência de tratamento em relação às outras duas pesquisas. De acordo com March *et al.* (2004), a qualidade da água de reúso foi bem aceita pelos hóspedes, embora estivesse longe da qualidade da água potável.

Entretanto, os resultados das três pesquisas mostraram que o tratamento não satisfaz o nível de qualidade requerido pelos padrões e normas internacionais e brasileiros para reúso em descarga de bacia sanitária. Portanto, este tipo de

tratamento pode ser indicado para fins menos nobres como rega de jardim e lavagem de pisos e carros.

Os sistemas de membrana oferecem barreira permanente aos sólidos suspensos maiores que o tamanho do poro da membrana, que pode variar de 0,5 µm para as membranas de microfiltração ou menos para a operação de osmose reversa. A água tratada apresenta geralmente valores baixos de turbidez e coliformes. Porém, estes sistemas apresentam como desvantagens: requerem uma demanda alta de energia, custo elevado, geração de rejeito, entre outros (JEFFERSON *et al.*, 1999).

Como exemplo de sistemas de tratamento por membranas pode-se citar dois estudos feitos em escala piloto para examinar a possibilidade de reúso de água cinza. Na Coréia do Sul, a água cinza foi obtida através de limpeza de pisos e foi tratada utilizando membranas de metal com tamanho de poro de 0,5 µm. Depois de tratada, esta água foi misturada com água de chuva (KIM *et al.*, 2007). Já na Austrália, foi pesquisada a ultrafiltração com tamanho de poro de 0,04 µm, utilizou-se água cinza sintética para a realização do experimento (NGHIEM *et al.*, 2006).

A Tabela 9 apresenta as características da água de reúso obtida no tratamento por membranas.

Tabela 9: Características da água de reúso obtida em tratamento por membranas

Características do tratamento	Características da água cinza bruta	Características da água de reúso	Eficiência do tratamento	Referência
Membrana de metal (aço inoxidável)	Turbidez (NTU) – 12,6 DQO (mg/L) – 22,9	Turbidez (NTU) – 3,2 DQO (mg/L) – 6,8	Turbidez – 75% DQO – 70%	Kim <i>et al.</i> 2007
Ultrafiltração com membrana (ZeeWeed®-1) com tamanho de poro de 0,04 µm	ND*	Turbidez (NTU) – 0,4	-	Nghiem <i>et al.</i> , 2006

*ND- Não determinado na pesquisa

Os resultados de tratamento de água cinza por membranas mostraram que este tipo de tratamento é bastante eficiente na remoção de turbidez e matéria orgânica. Os resultados de Kim *et al.* (2007) mostram uma água de reúso de boa qualidade. Nghiem *et al.*, (2006) afirmam que, para todos casos estudados, a turbidez obtida no final do tratamento apresentou valores inferiores a 0,4 NTU.

Observa-se que os resultados alcançados no tratamento por membranas obtiveram melhores resultados em comparação aos resultados obtidos com sistemas de dois-estágios, em que a água de reúso atendia aos padrões internacionais e brasileiros quanto aos parâmetros turbidez e DQO.

Os tratamentos químicos para reúso de água cinza também estão sendo pesquisados. Em uma mesma unidade experimental, Pidou *et al.* (2007) estudaram os processos químicos de coagulação e resina de troca iônica, enquanto que Winward *et al.* (2008) pesquisaram a eficiência de um reator de membrana química (MQR) para tratamento de águas cinza clara e escura. Para os dois experimentos, água cinza foi coletada de instalações construídas que desviam água do banho, ducha e lavatório de 18 apartamentos dentro de uma residência de estudantes localizada na Universidade de Cranfield, no Reino Unido.

Na Tabela 10 estão apresentadas as características da água de reúso obtida a partir dos tratamentos químicos.

Tabela 10: Características da água de reúso obtida em tratamentos químicos

Características do tratamento	Características da água cinza bruta	Características da água de reúso	Eficiência do tratamento	Referência
Coagulação com sulfato férrico	Turbidez (NTU) - 42 DQO (mg/L)- 575	Turbidez (NTU) - 5,20 DQO (mg/L) - 228	Turbidez -88% DQO -60%	Pidou et al., 2007
Coagulação com sulfato de alumínio		Turbidez (NTU) - 4,28 DQO (mg/L) - 287	Turbidez -90% DQO -50%	
Resina de troca iônica MIEX®		Turbidez (NTU) - 8,14 DQO (mg/L) - 272	Turbidez -81% DQO -53%	
Reator de membrana química (MQR) seguida de membrana de filtração	Água cinza Clara Turbidez (NTU) – 19,6 SST (mg/L) - 29 DQO (mg/L) - 87	Água cinza Clara Turbidez (NTU) - 0,1 SST (mg/L) - 0 DQO (mg/L) - 43	Água cinza Clara Turbidez – 99% SST – 100% DQO – 51%	Winward et al., 2008
	Água cinza escura Turbidez (NTU) - 67,4 SST (mg/L) - 93 DQO (mg/L) - 495	Água cinza escura Turbidez (NTU) - 0,72 SST (mg/L) - 2 DQO (mg/L) - 78	Água cinza escura Turbidez – 99% SST – 98% DQO – 84%	

O trabalho de Pidou *et al.*, (2007) mostra que o tratamento com a resina MIEX® apresenta um padrão semelhante ao da coagulação. Os autores citam que embora com uma boa remoção orgânica, comparável com dados vistos na literatura, os

sistemas testados apresentaram limitações para atender às normas de seu país para reutilização em descarga de bacia sanitária, porém, a água pode ser utilizada para fins que exigem padrões menos rigorosos.

Os resultados obtidos com o MQR para a água cinza clara e escura mostraram uma boa remoção de turbidez, SST e DQO, porém os resultados para DQO não alcançaram as exigências de reúso em descarga de bacia sanitária.

3.5.2 Tratamentos Biológicos

Os tratamentos biológicos são requeridos principalmente para a remoção do material biodegradável solúvel e são indicados principalmente para sistemas de reúso que possuem grandes redes de distribuição, como hotéis e edifícios residenciais (JEFFERSON *et al.*, 1999).

Os processos biológicos, que variam dos avançados biorreatores de membrana aos sistemas simplificados de leitos cultivados, ou *wetlands*, são considerados os mais apropriados para o tratamento de águas cinza devido à sua boa eficiência na remoção da matéria orgânica dissolvida e baixo custo (JEFFERSON *et al.*, 1999; PIDOU *et al.* 2007).

3.5.2.1 Leitos cultivados ou wetlands

De acordo com Paulo *et al.* (2007), os leitos cultivados, ou *wetlands*, têm provado ser um tratamento efetivo e de baixo custo, que utiliza a interação de plantas e microrganismos na remoção de poluentes. Eles têm sido usados há muito tempo para o tratamento (ou pós-tratamento) de esgoto doméstico, apresentando alta eficiência na remoção de matéria orgânica, sólidos suspensos e até mesmo patógenos.

Dallas *et al.* (2004) citam que os climas tropicais e subtropicais verificados em muitos países em desenvolvimento são ideais para estes sistemas naturais de tratamento. Os leitos cultivados têm sido utilizados com sucesso na Ásia Tropical, África, Austrália (HO *et al.*, 2001), Estados Unidos (DEL PORTO e STEINFELD, 1999) e Europa (OTTERPOHL, 2001).

No entanto, pouca literatura científica está disponível quando se trata da eficiência de leitos cultivados tratando água cinza. Muitas dúvidas ainda existem a respeito desses sistemas aplicados à residências, como por exemplo: necessidade de um tanque de equalização, capacidade do sistema de acomodar altas cargas de sabão (por exemplo, a descarga de máquina de lavar), tempo de retenção hidráulica, influência de precipitação pluviométrica, proliferação de mosquitos, tipo de cultura, fluxo de escoamento, entre outros.

Paulo *et al.* (2007) estudaram a adaptação, operação e desempenho de um leito cultivado com *Heliconia psittacorum* L.F, *Bromelia* sp. e *Cyperus isocladius* (papyrus), em Campo Grande (MS), para tratamento e reúso de água cinza. O leito cultivado foi projetado para uma residência de 2 habitantes. O sistema foi alimentado com água cinza originada somente da cozinha (pia e máquina de lavar louças) e área de lavanderia (máquina de lavar roupas e tanque).

Já Gross *et al.* (2007) desenvolveram, em Israel, sistema baseado na combinação de leitos cultivados de fluxo vertical e filtração, na qual denominaram “*wetlands* construídas de fluxo vertical recirculada” (RVFCW), para reúso em irrigação de pequenas comunidades. Primeiramente, a água cinza bruta, que foi preparada artificialmente, seguiu para um tanque de sedimentação, onde apenas o material grosseiro sedimentável foi removido. Após este tanque, a água foi bombeada para a zona de raiz das plantas do RVFCW e então era gotejada através de três leitos de filtro até o reservatório, conforme ilustrado na Figura 8:



Figura 8: Foto da wetland construída de fluxo vertical recirculada (RVFCW). (A) wetland de fluxo vertical, (B) reservatório, (C) bomba de recirculação e (D) filtros de camada (constituídos de turfa, calcário, pedras e cal)

Fonte: Gross *et al.*, 2007.

Na Costa Rica, foi desenvolvido sistema de tratamento de leito cultivado de fluxo subsuperficial ou *reedbed*, de baixo custo, para o tratamento de 2500 L.dia⁻¹ de águas cinza, as quais foram coletadas em quatro residências (DALLAS *et al.*, 2004).

Na Tabela 11 estão apresentadas as características da água de reúso obtidas a partir do tratamento por leitos cultivados.

Tabela 11: Características da água de reúso obtida em tratamentos de leitos cultivados

Características do tratamento	Características da água cinza bruta	Características da água de reúso	Eficiência do tratamento	Referência
Leito cultivado com plantas Heliconia psittacorum L.F, Bromélia sp e Cyperus isocladus (papyrus)	Turbidez (NTU) - 187 SST (mg/L) - 109 DQO (mg/L) - 571	Turbidez (NTU) - 34 SST (mg/L) - 17 DQO (mg/L) - 273	Turbidez - 81% SST - 84% DQO - 52%	Paulo <i>et al.</i> , 2007
Leito cultivado de fluxo vertical recirculado (RVFCW)	SST (mg/L) - 158 DQO (mg/L) - 839	SST (mg/L) - 3 DQO (mg/L) - 157	SST - 98% DQO - 81%	Gross <i>et al.</i> , 2007
Leito cultivado de fluxo subsuperficial com a planta <i>Coix lacryma-jobi</i>	Turbidez (NTU) - 96 DBO ₅ (mg/L) - 167	Turbidez (NTU) - 7 DBO ₅ (mg/L) - 10	Turbidez - 93% DBO ₅ - 94%	Dallas <i>et al.</i> , 2004

Os resultados obtidos por Paulo *et al.* (2007), mostram que o tratamento não foi suficiente para atender às normas exigidas para reúso em bacia sanitária. Porém, o RVFCW e o leito cultivado de fluxo subsuperficial apresentaram resultados satisfatórios em relação à turbidez. Com relação à DQO, apesar de uma boa eficiência de remoção, somente o tratamento de leito cultivado de fluxo subsuperficial atingiu um resultado satisfatório em relação às normas de reúso.

Com relação aos parâmetros microbiológicos, o tratamento por RVFCW apresentou uma remoção de três a quatro unidades logarítmicas de coliformes termotolerantes com TDH de 8 horas, mas isso não foi suficiente para satisfazer os atuais regulamentos do seu país para reúso irrestrito na irrigação. Já o tratamento desenvolvido por Dallas *et al.*, (2004), mostrou que um TDH de 4,5 dias foi insuficiente para alcançar um limite de coliformes termotolerantes de 1000 NMP/100 ml enquanto um tempo de detenção de 7,9 dias foi satisfatório.

3.5.2.2 Sistemas anaeróbios

Os sistemas anaeróbios comumente utilizados no tratamento de águas cinza são aqueles que empregam reatores com manta de lodo e alimentação com fluxo ascendente. Um exemplo são os reatores do tipo *Upflow Anaerobic Sludge Blanket*, ou Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente e Manta de Lodo (UASB), largamente utilizados para tratamento de esgoto sanitário. Nestes reatores, a concentração de biomassa é bastante elevada e por isso o volume requerido é bastante reduzido, em comparação com outros sistemas de tratamento com biomassa dispersa.

Como resultados da atividade anaeróbia, são formados gases, principalmente metano, gás carbônico e gás sulfídrico. Geralmente a parte superior do reator apresenta estrutura que possibilita as funções de separação e acúmulo de gás e outra de separação e retorno dos sólidos dispersos. Esta estrutura é denominada separador trifásico. O gás é coletado na parte superior e pode ser reaproveitado para geração de energia, geração de vapor, entre outros usos. A Figura 9 ilustra a configuração de um reator UASB utilizado para tratamento de esgoto.

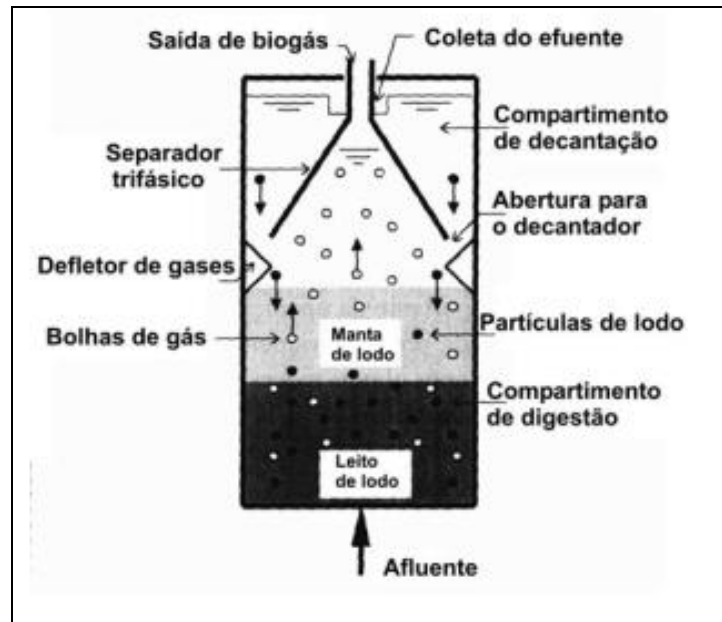


Figura 9: Desenho esquemático de um reator UASB
Fonte: CAMPOS (1999)

De acordo com Von Sperling (1995), a eficiência de remoção de matéria orgânica nos reatores UASB tratando esgoto sanitário é da ordem de 70%. Portanto, o sistema necessita de um pós-tratamento para remoção de DQO remanescente, nutrientes e patógenos.

Elmitwalli *et al.* (2007) esclarecem que os reatores de manta de lodo têm grande potencial para o tratamento de águas cinzas, desde que a temperatura da água se encontre próxima de 30°C, pois temperaturas menores podem retardar o metabolismo anaeróbico. A área do reator deve ser projetada para evitar a perda de biomassa no efluente.

Elmitwalli *et al.* (2007) estudaram a remoção de matéria orgânica da água cinza em reator UASB, quando esta foi coletada em tanques sépticos provenientes da região de Luebeck, Alemanha. O reator foi operado em diferentes TDH de 16, 10 e 6 horas, sendo temperatura operacional de 30°C. O reator UASB, com volume de 7 L, foi instalado no Instituto de Gerenciamento de Esgotos e Proteção da Água, na Universidade de Tecnologia de Hamburgo, e operado por um período de 272 dias. Na Tabela 12 estão apresentadas as características da água de reúso obtidas a partir do estudo.

Tabela 12: Características da água de reúso obtida no tratamento UASB

Características do tratamento	Características da água cinza bruta	Características da água de reúso	Eficiência do tratamento	Referência
UASB tempo de detenção: 6 horas	DQO (mg/L) - 640	DQO (mg/L) - 328	49%	Elmitwalli <i>et al.</i> , 2007
UASB tempo de detenção: 10 horas		DQO (mg/L) - 309	52%	
UASB tempo de detenção: 16 horas		DQO (mg/L) - 223	64%	

Nota-se que o TDH de 16 horas obteve o melhor resultado, sendo que a eficiência de remoção, para este TDH foi de 64%. Embora tendo uma boa eficiência, os resultados mostram que o pós-tratamento é fundamental, visto que a água de reúso não atinge os valores exigidos por normas internacionais e brasileiras para reúso em bacias sanitárias.

3.5.2.3 Sistemas aeróbios

Gonçalves (2006) afirma que a etapa aeróbia de tratamento de águas cinza é muito importante, por ser a única capaz de remover turbidez de maneira consistente.

Os sistemas aeróbios geralmente utilizados para o tratamento de águas cinza são os reatores aeróbios com biofilme, no qual incluem: biodiscos, biorreatores de membrana e filtros biológicos.

Segundo Merz *et al.* (2007), os Biorreatores de Membrana (MBR) vêm ganhando popularidade no tratamento de esgoto, especialmente para aplicações em estações descentralizadas para reúso. Esta tecnologia consiste de uma única unidade compacta que combina lodo ativado, para remoção da carga orgânica, e filtração por membranas, para separação sólido/líquido. MBRs são requeridos quando o espaço é limitado e o tratamento é feito no local, por exemplo, em edifícios ou navios. A principal vantagem do sistema é a alta qualidade do efluente gerado. No entanto, custos de implantação, operação e manutenção são elevados.

Lesjean e Gnirss (2006) conduziram estudo onde o MBR foi investigado para tratamento de água cinza, na Alemanha. Uma planta piloto de MBR, com volume de 35 litros e capacidade para processar $0,5 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$, foi operada com água cinza

originada de banheiros e cozinha por mais de 8 meses. Merz *et al.* (2007) também estudaram um MBR, porém, tratando água cinza proveniente de chuveiro de um clube desportivo em Rabat no Marrocos, com biorreator operado por 137 dias consecutivos. A Figura 10 ilustra o reator MBR utilizado na pesquisa de Merz *et al.* (2007) e na Tabela 13 estão apresentados os resultados obtidos nos dois estudos.

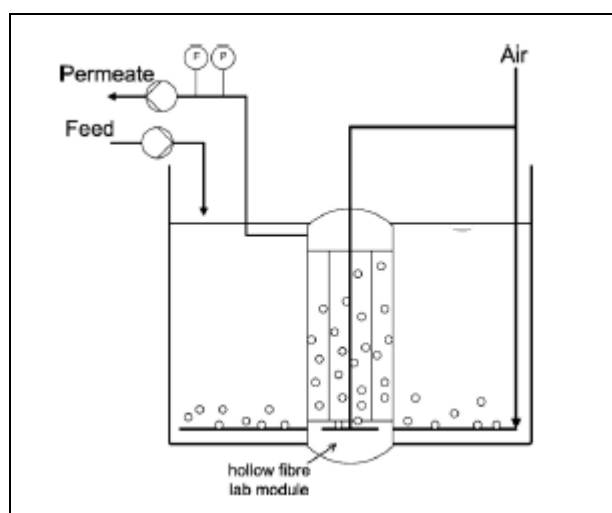


Figura 10: Desenho esquemático do reator MBR
Fonte: Merz *et al.* 2007.

Tabela 13: Características da água de reúso obtida no tratamento por MBR

Características do tratamento	Características da água cinza bruta	Características da água de reúso	Eficiência do tratamento	Referência
MBR TDH: 2 horas	DQO (mg/L) - 493 SST (mg/L) - 90	DQO (mg/L) - 24 SST (mg/L) - < 1	DQO - 95% SST - 99%	Lesjean e Gnriss, 2006
MBR TDH: 13 horas	DQO (mg/L) - 109 Turbidez (NTU) - 29	DQO (mg/L) - 15 Turbidez (NTU) - 0,5	DQO - 86% Turbidez - 98%	Merz <i>et al.</i> , 2007

Os resultados mostram uma água de reúso com boa qualidade para os dois estudos. Apesar do estudo realizado por Merz *et al.* (2007) apresentar um melhor resultado em relação à DQO, a remoção foi maior no TDH de 2 horas, visto que a água cinza bruta neste caso apresentou valores em torno de 4 vezes maiores.

Os resultados obtidos por Merz *et al.* (2007) mostraram que a água cinza tratada obteve uma excelente qualidade estética e também foi isenta de odores, fato que é importante tendo em conta a aceitação pública da água de reúso.

Para os dois estudos, os resultados apontam que a água de reúso pode ser utilizada em descargas de bacia sanitária, de acordo com normas e legislações brasileiras e internacionais.

3.5.2.4 Sistemas Combinados (anaeróbios e aeróbios)

Como citado anteriormente, os reatores anaeróbios dificilmente produzem efluente que atende aos padrões desejados. Torna-se importante, portanto, o pós-tratamento dos efluentes de reatores anaeróbios, como forma de adequar o efluente tratado aos requisitos estabelecidos. O principal papel do pós-tratamento é o de completar a remoção da matéria orgânica, bem como o de proporcionar a remoção de constituintes pouco afetados no tratamento anaeróbio.

Os sistemas anaeróbios-aeróbios podem constituir-se em uma tecnologia tão eficiente na remoção de matéria orgânica quanto os sistemas simplesmente aeróbios. Com a vantagem de ocuparem um espaço notoriamente inferior e reduzirem significativamente os gastos com energia elétrica. Outras vantagens da associação do sistema são a disposição do lodo aeróbio, que pode ser digerido no reator anaeróbio, e a possibilidade do aproveitamento do biogás, gerado no reator anaeróbio (BAZZARELLA, 2005; GONÇALVES, 2006).

Bazzarella (2005) aplicou um Reator Anaeróbio Compartimentado (RAC), seguido de um Filtro Biológico Aerado Submerso (FBAS) para tratamento de águas cinza.

O RAC é uma das variantes do reator UASB e tem sido utilizado por reduzir ainda mais os custos de implantação e operação. Constitui-se de um tanque com diversas câmaras dispostas em série, cada qual separada por paredes verticais, com separador trifásico na última câmara. O fluxo em cada câmara é vertical e ascendente. Em termos de processo, o RAC oferece a possibilidade de separar algumas fases do tratamento, como a digestão anaeróbia e a decantação, proporcionando menor fluxo de sólidos para o compartimento de sedimentação e, conseqüentemente, efluente anaeróbio mais clarificado.

O FBAS é um reator com biomassa fixa e leito fluidizado. Ele é constituído por um tanque preenchido com um material poroso, sobre o qual se desenvolve o biofilme e através do qual água cinza e o ar fluem permanentemente.

Bazzarella (2005) utilizou água cinza bruta proveniente de edificação localizada no parque experimental da UFES. O projeto hidro-sanitário desta edificação apresentou

segregação para as águas cinza, águas negras e águas amarelas utilizando tubulações distintas. As águas cinza foram coletadas de lavatórios, chuveiros e máquina de lavar.

Em linhas gerais, a água de reúso obtida no trabalho de Bazzarella (2005) apresentou, em média, as seguintes características: 2,5 NTU (turbidez), 12 mg/L (DBO₅), 27 mg/L (DQO) e 2 mg/L (SST). Os resultados mostraram que a água de reúso atendeu aos padrões brasileiros e internacionais para descarga em bacia sanitária.

3.5.3 Tratamento Terciário – Desinfecção

O tratamento terciário de águas cinza deve ter como objetivo a desinfecção. O objetivo principal da desinfecção é inativar espécies de organismos presentes no esgoto sanitário, em especial aquelas que ameaçam a saúde humana. Os mecanismos envolvidos na desinfecção dos organismos patogênicos vão desde a destruir ou danificar a parede celular, o citoplasma ou o núcleo celular, alterar importantes compostos envolvidos no catabolismo, tais como enzimas e seus substratos, até mesmo alterar os processos de síntese e crescimento celular e pode ser realizada através de processos artificiais ou naturais.

Winward *et al.* (2008) analisaram a desinfecção de água cinza com cloro e seu impacto sobre os compostos orgânicos e partículas em suspensão. A inativação dos coliformes totais na água cinza bruta revelou uma curva típica de desinfecção de esgoto com uma fase inicial, inativação linear seguida de uma cauda. A eficácia da desinfecção foi estreitamente ligada à dimensão das partículas, como para esgoto. As partículas maiores protegem microorganismos patogênicos diminuindo a eficácia da inativação pelo cloro. A concentração de compostos orgânicos na água cinza não afetou a resistência de bactérias coliformes à desinfecção por cloro. Apesar disso, recomenda-se a remoção de sólidos suspensos do efluente para uma melhor desinfecção da água cinza.

Guerrero *et al.* (2006) estudaram um composto baseado no peróxido de hidrogênio (H₂O₂) como agente desinfetante após tratamento de água cinza por leite cultivado. O composto utilizado foi o *Hydrogen Peroxide Plus* (HPP), e sua formulação

consistem em 95% DE H₂O₂, moléculas orgânicas e pequena quantidade de solução ácida, para alcançar o pH ótimo de 6,2. A principal vantagem deste composto é a não geração de subprodutos tóxicos na água. Ele tem baixa reatividade com compostos orgânicos e efeito tóxico reportado apenas sobre microorganismos. As fontes de água cinza foram duas instalações de pequena escala localizadas na parte central do deserto de Neguev, em Israel. O padrão de qualidade para os tratamentos com desinfecção que as normas israelenses requerem é de menos de 1 NMP/100mL, para coliformes termotolerantes. Para satisfazê-lo foram necessárias concentrações de 125 mg.L⁻¹ de H₂O₂ com tempo de contato de 120 min.

Gilboa e Friedler (2007) analisaram a desinfecção com Ultravioleta (UV) na água cinza, após tratamento por biodiscos. Sete doses de radiação UV foram testadas 0, 19, 39, 44, 69, 147 e 439 mWs.cm⁻². As amostras foram analisadas 0,5, 3 e 6 h após a exposição da radiação. Os resultados mostraram que coliformes termotolerantes se destacam como as bactérias mais resistentes à desinfecção UV, seguida de *Pseudomonas aeruginosa sp*, enquanto que a *Staphylococcus aureus sp* foi a mais sensível.

3.6 Considerações Finais

O problema da escassez de água já é uma realidade em muitos países e em algumas regiões do Brasil, por isso, uma gestão eficaz da água torna-se necessária e urgente. Para suprir esta demanda de água, fontes alternativas como água de chuva e água cinza, surgem como opções interessantes e econômicas.

O reúso de água cinza possui grandes vantagens em relação à água de chuva, pois ela é produzida em grande quantidade e não depende de regimes pluviométricos.

Porém, para tornar o reúso de água cinza viável, faz-se necessário uma segregação do esgoto sanitário, onde a água cinza deve ser separada da água negra. Esta nova forma de gerenciamento do esgoto sanitário, conhecido como ecosaneamento, está ganhando cada vez mais expressão em muitos países.

As características qualitativas e quantitativas da água cinza são bastante variáveis. A quantidade de água cinza gerada em residências depende principalmente das

condições sócio-econômicas e da oferta de água na região. A qualidade depende principalmente dos hábitos e costumes dos moradores.

A água cinza *in natura* apresenta um aspecto desagradável e pode conter contaminação microbológica. Por isso, faz-se necessário o tratamento antes do reúso, principalmente se a finalidade do reúso for as descargas em bacias sanitárias.

Vários países já estabeleceram normas e legislações, estabelecendo limites para os parâmetros físico-químicos e microbiológicos. Estes limites garantem uma qualidade tal que não ofereça risco à saúde humana.

Os tratamentos de água cinza vão desde filtração simples até técnicas mais avançadas. O tratamento simplificado é mais indicado para fins menos nobres: rega de jardim, lavagem de pisos e carros. Enquanto os tratamentos avançados, de acordo com a bibliografia pesquisada, produzem água de reúso que atendem aos padrões exigidos pelas normas internacionais e brasileiras. Dentre os tratamentos pesquisados, os que produziram uma água com qualidade para reúso em bacias sanitárias foram: tratamento por membranas, MBR e tratamento combinado anaeróbio-aeróbio. Deve-se destacar que nos tratamentos por membranas e no MBR o consumo de energia é muito alto.

Diante do exposto, o presente trabalho se propõe a avaliar a quantidade de água cinza gerada em uma edificação multifamiliar de alto padrão, bem como avaliar o sistema de tratamento de água cinza do tipo combinado anaeróbio-aeróbio, seguido de desinfecção. A água de reúso gerada é consumida nas descargas das bacias sanitárias, lavagem de piso e rega de jardins e, por isso, também avaliou-se a quantidade de água de reúso consumida na edificação.

4. Material e Métodos

4.1 Contextualização da pesquisa

A presente investigação faz parte de um projeto de pesquisa da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) financiado pelo Edital 5 do PROSAB (Programa de Pesquisa em Saneamento Básico), integrante da rede temática nº 5 “Racionalização do uso da água e conservação de energia em sistemas de abastecimento público e em edificações por meio da redução do consumo, reaproveitamento de fontes alternativas e outras formas de uso racional da água”. No período de novembro de 2007 a novembro de 2008, a pesquisa foi realizada no parque experimental de Saneamento Básico da UFES e no edifício dotado de uma estação de um sistema de reúso de águas cinza. Ela consistiu de:

- Quantificação da produção de água cinza e do consumo de água de reúso;
- Avaliação do desempenho da Estação de Tratamento de Água Cinza (ETAC);
- Avaliação das características do lodo gerado na ETAC;

4.2 Descrição do edifício dotado de sistema de reúso de águas cinza

O edifício dotado de reúso de águas cinza, apresentado na Figura 11, está localizado na Rua Constante Sodré, 1323, Barro Vermelho, Vitória, Espírito Santo. A ocupação deste prédio, iniciada em agosto de 2007, é do tipo residencial multifamiliar, com 30 apartamentos, sendo dois por andar.

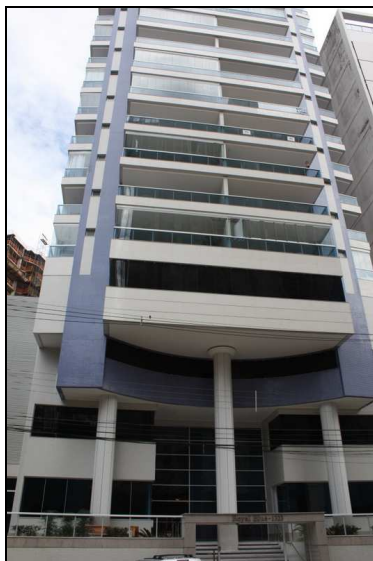


Figura 11: Edifício dotado de sistema de reúso de águas cinza

A edificação possui 20 pavimentos, sendo: 1 térreo, 1 pavimento técnico, 2 pavimentos de garagem, 15 pavimentos de apartamentos e 1 cobertura, totalizando 8427 m² de área construída.

No térreo, mostrado na Figura 12, está localizada a entrada principal para moradores e funcionários, onde existe um jardim (121,20 m²), recepção, portaria, salão de festas, quadra de squash, copa para funcionários, além de 2 lavabos no salão de festas e 1 banheiro na portaria.



Figura 12: Vista do jardim, no térreo

No pavimento técnico está instalada a Estação de Tratamento de Águas Cinza (ETAC) seguido por garagens nos dois pavimentos subsequentes.

Cada apartamento possui 174,48 m² de área construída, sendo constituídos por 4 quartos, 3 banheiros, 1 lavabo, 1 sala, área de serviço, cozinha, dependência, circulação e 3 varandas.

Na cobertura, mostrada na Figura 13, encontram-se a área de lazer com piscina, sauna, churrasqueira, copa, 3 banheiros e academia de ginástica.



Figura 13: Vista da área de lazer, na cobertura

4.2.1 Sistema hidro-sanitário do edifício

O sistema hidro-sanitário na edificação com reúso foi concebido de forma a coletar separadamente as águas cinza e águas negras. Ele possui também duas linhas independentes e exclusivas para o abastecimento de água: uma de reúso e a outra de água potável.

A água potável, que é fornecida pela Companhia de Saneamento do Espírito Santo (CESAN) abastece os chuveiros, pias, máquinas de lavar roupas e tanques. As águas cinza geradas pelos usos destes aparelhos são encaminhadas à Estação de Tratamento de Águas Cinza (ETAC). Após o tratamento, a água cinza tratada, agora chamada de água de reúso, é encaminhada para abastecer as descargas das bacias sanitárias, para lavagem de pisos do térreo e da área de lazer e rega de jardim. Neste edifício, o efluente da pia da cozinha não é considerado água cinza, logo, ele é encaminhado separadamente à rede de coleta de esgoto, junto com o efluente das bacias sanitárias. A Figura 14 ilustra o esquema de distribuição de água potável e água de reúso no edifício.

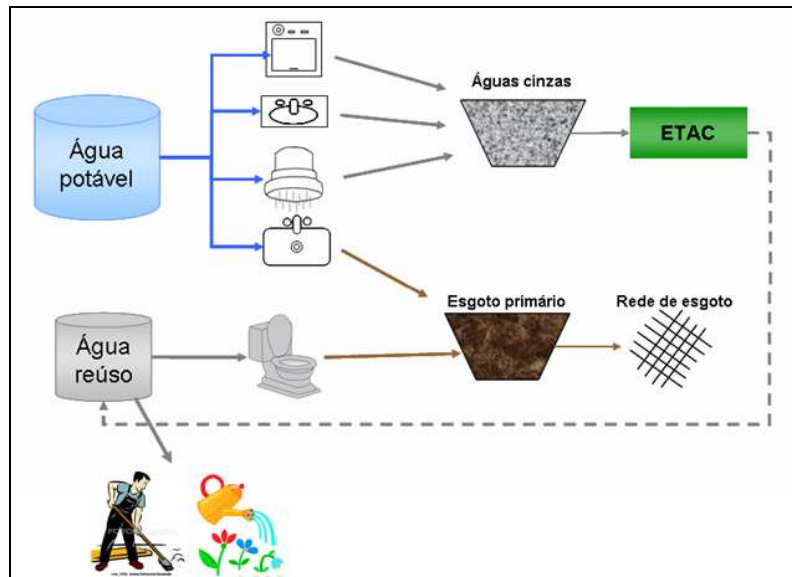


Figura 14: Esquema de distribuição de água potável e água de reúso no edifício.
Fonte: Adaptado de Gonçalves *et al.* (2004)

4.3 Descrição da Estação de Tratamento de Águas Cinza (ETAC)

A ETAC é constituída por 6 módulos que perfazem uma área total de 27 m², incluindo a circulação. O funcionamento da estação ocorre de acordo com os usos das fontes de águas cinza dentro do prédio, sendo a população média atendida diariamente de 70 pessoas. O dimensionamento da ETAC foi realizado pela empresa FLUIR Engenharia e encontra-se detalhado no Anexo A. A Figura 15 apresenta uma vista geral da ETAC.



Figura 15: Vista da ETAC

Toda a água cinza produzida no edifício é encaminhada por gravidade para a ETAC. Após a caixa de entrada ela é conduzida também por gravidade para o Reator



Figura 17: Caixa de entrada

A caixa de entrada possui, em seu interior, dois vertedores reguláveis, tipo tulipa, de 100mm de diâmetro, conforme apresentado na Figura 18. A água convergida em uma tulipa é direcionada para a ETAC e a convergida na outra é direcionada para a rede de coleta de esgoto. O controle da vazão é feito através do ajuste da altura das tulipas.

A retirada do material sólido que fica retido na caixa de entrada é feito através de uma tubulação com válvula de descarte instalada na parte inferior da caixa de entrada, onde uma vez por semana o material retido é descartado para a rede de esgoto do prédio.

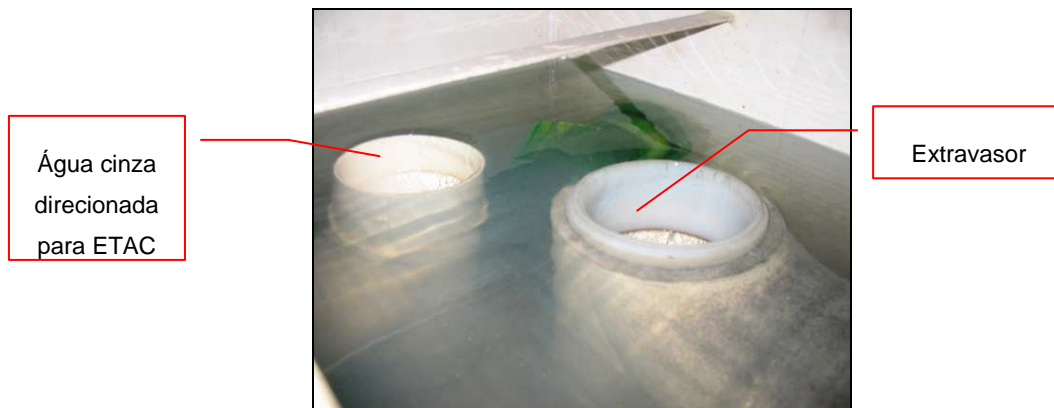


Figura 18: Tulipas da caixa de entrada

4.3.2 Tratamento Anaeróbio

O tratamento anaeróbio é constituído de reator anaeróbio compartimentado (RAC), o qual possui tronco prismático e dimensões totais de 4,5m X 1,5m X 2,2m e subdivide-se em três câmaras de mesmo volume ($4,95 \text{ m}^3$) denominadas de RAC 1, RAC 2 e RAC 3, conforme mostrado na Figura 19.

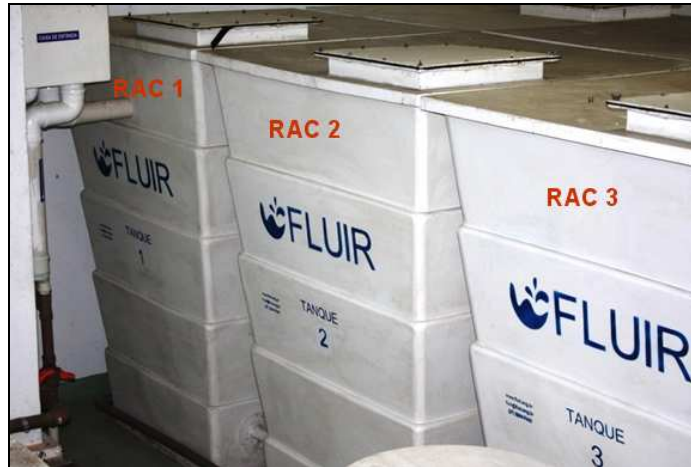


Figura 19: Vista do RAC

A água cinza entra pela parte superior do RAC 1 e segue por uma tubulação vertical até 10 cm do fundo do reator, seguindo em fluxo ascendente até a parte superior do RAC 2. O efluente segue para o RAC 3 da mesma forma.

Nos RAC 1 e 2 é onde ocorre efetivamente a digestão da matéria orgânica. O RAC 3 funciona como um decantador e complementa a separação das fases sólida, líquida e gasosa do efluente.

Na tampa do reator existe uma saída para o biogás, onde este é canalizado até o ramal de ventilação predial.

Para a partida do RAC, foi adicionado lodo de um reator UASB, que trata esgoto sanitário de um bairro de classe média alta. Este reator UASB se localiza na Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), na UFES.

4.3.3 Tratamento Aeróbio


O tratamento aeróbio é constituído pelo Fitro Biológico Aerado Submerso (FBAS) e pelo Decantador (DEC). O polimento do efluente do RAC é realizado pelo FBAS. Ele possui dimensões totais de 1,5m X 1,5m X 2,5m e é apresentado na Figura 20.



Figura 20: Filtro biológico aerado submerso

O FBAS funciona em fluxo ascendente e possui meio-suporte onde as colônias de microrganismos se fixam. O meio suporte utilizado foi de material plástico, composto de conduítes elétricos corrugados de diâmetro de 1", cortados em pedaços de aproximadamente 2 cm. Eles foram escolhidos por serem bem leves e por possuírem elevada área de superfície específica. A Tabela 14 apresenta as características do meio suporte.

Tabela 14: Características do meio suporte

Meio suporte	Área superficial específica (m ² /m ³)	Porosidade (%)	Massa específica (kg/m ³)
	202	92%	53

O suprimento de ar é feito de forma contínua, através do aerador submerso Inject – Air, potência de 1 CV, trifásico, 380V, com transferência de oxigênio de 1,8 Kg O₂ para cada kWh⁻¹.

No FBAS, não há retenção física da biomassa pela ação da filtração, sendo necessária uma etapa de decantação. Todo lodo de excesso ou biofilme de excesso produzido no FBAS são liberados juntamente com o efluente para o decantador.

O decantador opera em fluxo ascendente e possui dimensões totais de 1,5m X 1,5m X 2,5m e pode ser visualizado na Figura 21.



Figura 21: Decantador

O lodo decantado é enviado automaticamente para o RAC 1, através do acionamento de uma bomba centrífuga, da marca SCHNEIDER, modelo BCA, uma vez a cada duas horas, com um tempo de descarte de 1,0 minuto. A Figura 22 mostra uma vista da bomba centrífuga utilizada para o descarte do lodo.



Figura 22: Bomba centrífuga

4.3.4 Tanque de Equalização (TQE)

O tanque de equalização tem duas funções: garantir uma vazão de efluente constante para o filtro terciário e funcionar como um reservatório ou um “tanque pulmão” para os casos de mal funcionamento de algum equipamento ou falta de água de reúso.

O TQE opera em fluxo ascendente e possui dimensões totais de 1,5m X1,5m X 2,5m, conforme Figura 23.



Figura 23: Tanque de equalização

4.3.5 Tratamento Terciário

O tratamento terciário é constituído pelo Filtro Terciário (FT) e pela desinfecção. O FT é a unidade de polimento do tratamento biológico e sua finalidade é, principalmente, a retenção de sólidos suspensos remanescentes. Ele possui altura de 1,07 m e diâmetro de 0,83 m e é mostrado na Figura 24.



Figura 24: Filtro terciário

O FT é constituído por quatro compartimentos de filtração, feitos de nylon, conforme mostrado na Figura 25. Cada compartimento possui 0,23 m de diâmetro e 0,66 m de comprimento. A água cinza vinda do TQE entra por uma tubulação de 100 mm na parte central do FT, onde sobe de forma ascendente e depois é encaminhada aos compartimentos de filtração.



Figura 25: Interior do filtro terciário

A limpeza do filtro é realizada com a retirada dos compartimentos de nylon e lavagem na torneira que fica localizada próxima à ETAC, este procedimento é realizado uma vez por semana.

Após o FT, a água cinza segue para o reservatório inferior, que possui volume de 14 m³ e localiza-se no pavimento técnico, junto à ETAC. A água cinza é desinfetada neste reservatório, através de um clorador de pastilhas, mostrado na Figura 26.

O Clorador de pastilhas é um dispositivo flutuante de simples operação e instalação, não requer energia elétrica para funcionar, utilizando a energia hidráulica do sistema. A aplicação de cloro é feita de forma gradativa na medida em que a pastilha se dissolve com a passagem da água de reúso. A dosagem é controlada por uma grelha localizada na parte inferior do clorador.

A pastilha de cloro utilizada foi a Pace Tricloro (cloro estabilizado em tablete), com as seguintes composição: Tricloro-S-Triazina-Triona (99%) e Água+Hidróxido de cálcio (1%). A pastilha de cloro é trocada quinzenalmente.

A vantagem de se utilizar o cloro como agente desinfetante é que ele deixa uma concentração residual, garantindo a desinfecção em caso de recontaminação no sistema de distribuição.



Figura 26: Clorador de pastilhas

4.3.6 Reservatório superior de água de reúso

O reservatório superior de água de reúso possui volume de 9 m³ e se localiza na cobertura do prédio, acima do pavimento da área de lazer. A água de reúso é encaminhada ao reservatório superior através de duas bombas da marca WEG com 3,7 (5,0) cv de potência, visualizadas na Figura 27.



Figura 27: Bombas de recalque

4.4 Quantificação da produção de água cinza e do consumo de água de reúso

A água cinza é gerada nos 30 apartamentos do edifício, contabilizando um total de 90 banheiros, 30 W.C, 30 lavabos e 30 áreas de serviço. Para avaliar a produção de água cinza no prédio foram instalados dois hidrômetros modelo multijato magnético CIASEY com Q_n de $10 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Os hidrômetros foram instalados em dois pontos da ETAC: entrada da ETAC e extravasor da caixa de entrada da ETAC, medindo assim a água cinza total produzida no edifício. Os hidrômetros instalados podem ser visualizados nas Figura 28 e 29.



Figura 28: Hidrômetro no extravasor da caixa de entrada



Figura 29: Hidrômetro na entrada da ETAC

A água de reúso é utilizada em três setores no prédio:

- Nos apartamentos, onde é utilizada nas descargas das bacias sanitárias;
- Na área de lazer, onde é utilizada nas descargas de bacias sanitárias e lavagem de pisos;
- No térreo, onde é utilizada nas descargas de bacias sanitárias, lavagem de pisos e rega de jardim.

Para quantificar o consumo total de água de reúso no prédio (aptos + área de lazer + térreo) foi instalado um medidor multijato magnético CIASEY de Q_n de $30 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, na coluna de alimentação de água de reúso do prédio, conforme Figura 30.



Figura 30: Hidrômetro da coluna de alimentação de água de reúso

Para quantificar o consumo na área de lazer e no térreo foram instalados dois medidores da marca ELSTER - S120 unijato, com Q_n de $1,5 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, classe B, visualizados nas Figura 31 e 32.



Figura 31: Hidrômetro da área de lazer



Figura 32: Hidrômetro do térreo

A quantificação da produção de água cinza e do consumo de água de reúso teve início em abril/08 e foi finalizado em novembro/08. Para esta quantificação foram realizados dois tipos de monitoramento:

- Leitura diária dos hidrômetros;
- Perfis de 24h.

Na leitura diária dos hidrômetros, os registros de produção e consumo foram realizados sempre às 8:00 h, durante todos os dias da semana, incluindo sábados e domingos.

Nos perfis de 24 h, as leituras dos hidrômetros se iniciava às 8:00 h e finalizava às 8:00 h do dia seguinte, sendo as leituras realizadas a cada 2 horas. Durante a pesquisa, foram gerados 8 perfis de 24 h, sendo quatro em dias de quarta-feira e quatro em dias de quinta-feira.

No período de monitoramento, realizou-se o acompanhamento da população do prédio, identificando a quantidade de moradores e empregados em cada apartamento, no intuito de obter maior precisão nos cálculos. Também no perfil de 24 h foi feito este levantamento, onde estes registros eram feitos de 2 em 2 h. Este acompanhamento contou com a colaboração dos porteiros do prédio que gentilmente anotavam estes dados. Com estas informações foram calculados índices *per capita* de água cinza e consumo de água de reúso.

4.5 Avaliação do desempenho da Estação de Tratamento de Água Cinza (ETAC)

A avaliação do desempenho da ETAC iniciou-se em novembro/07 e foi finalizada em novembro/08. Durante os 3 meses primeiros meses (novembro/07 a fevereiro/08), alguns apartamentos ainda estavam em fase de acabamento e o gesso utilizado nos apartamentos quase sempre era descartado nos ralos dos banheiros e no tanque. Conseqüentemente, esta “água de gesso” seguia para a ETAC, provocando o desequilíbrio do sistema biológico.

Em abril/08 a ETAC ficou estabilizada e os apartamentos já se encontravam acabados e ocupados. A partir deste mês, a ETAC foi monitorada até o mês de novembro/2008.

A avaliação do desempenho da ETAC foi dividida em duas etapas:

- Avaliação do comportamento das diferentes unidades que compõe a ETAC;
- Avaliação da estabilidade da ETAC, no período de 24h.

4.5.1 Avaliação da eficiência das diferentes unidades da ETAC

Para esta avaliação, foram coletadas amostras simples, sempre na parte da manhã, entre 8h e 9h, de segunda à sexta. O volume coletado para cada amostra era de aproximadamente 2 L.

Após a coleta, as amostras foram levadas imediatamente ao laboratório de Saneamento (LABSAN) da UFES, para a realização das análises físico-químicas e microbiológicas.

4.5.1.1 Pontos de Coleta

Para facilitar a coleta das amostras, foram instalados amostradores em cada um dos seis módulos da ETAC, conforme Figura 33.



Figura 33: Torneira para coleta

Os pontos de coleta foram os seguintes:

- Água cinza bruta (Bruta): coletada na caixa de entrada;
 - Água cinza efluente ao RAC 1 e afluente ao RAC 2 (RAC 1): coletada na torneira do RAC 1;
 - Água cinza efluente ao RAC 2 e afluente ao RAC 3 (RAC 2): coletada na torneira do RAC 2;
 - Água cinza efluente ao RAC 3 e afluente ao FBAS (RAC 3): coletada na torneira do RAC 3;
 - Água cinza efluente ao FBAS e afluente ao DEC (FBAS): coletada na torneira do FBAS;
 - Água cinza efluente ao DEC e afluente ao TQE (DEC): coletada na torneira do DEC;
 - Água cinza efluente ao TQE e afluente ao FT (TQE): coletada na torneira do TQE;
-

- Água cinza efluente ao FT e afluyente ao Reservatório Inferior com Cloração (FT): coletada na torneira do FT;
- Reservatório Inferior com Cloração (CLO): coletada no reservatório inferior com cloração.

4.5.1.2 Análises físico-químicas

Os parâmetros físico-químicos analisados foram: pH, temperatura, Oxigênio Dissolvido, cor, turbidez, alcalinidade, Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO_5), Demanda Química do Oxigênio (DQO), Proteínas, Carboidratos, Sólidos Suspensos Totais, Sólidos Sedimentáveis, Óleos e Graxas, Fósforo Total (P_t), S^{-2} , SO_4^{-2} , Nitrogênio Total Kjeldhal (NTK), $N-NH_3$, $N-NO_2^-$ e $N-NO_3^-$.

As técnicas das análises laboratoriais obedeceram aos procedimentos recomendados pelo *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* – 21ª Edição (APHA, 1995) e encontram-se referenciadas no Anexo B.

4.5.1.3 Análises microbiológicas

Para a realização dos testes de Coliformes totais e *E.coli* foi utilizada a metodologia de substrato cromo-fluorogênico conforme *Standard Methods* (APHA, 1995). O meio comercial utilizado foi o *Colilert*.

4.5.2 Avaliação da estabilidade da ETAC no período de 24 horas

A estabilidade da ETAC ao longo de 24 horas foi avaliada por meio de perfis de qualidade da água. As coletas foram realizadas durante 24 horas seguidas, onde uma amostra simples era coletada a cada duas horas. A primeira coleta era feita às 8:00h, sendo a última realizada às 8:00h do dia seguinte, nos seguintes pontos de coleta:

- Água cinza bruta (Bruta): coletada na caixa de entrada;
- Água cinza efluente ao RAC 3 e afluyente ao FBAS (RAC 3): coletada na torneira do RAC 3;

- Água cinza efluente ao DEC e afluyente ao TQE (DEC): coletada na torneira do DEC;
- Água cinza efluente ao FT e afluyente ao Reservatório Inferior com Cloração (FT): coletada na torneira do FT;
- Reservatório Inferior com Cloração (CLOR): coletada no reservatório inferior com cloração.

Para cada ponto de coleta foram geradas treze amostras, dando um total de sessenta e cinco amostras.

Os parâmetros físico-químicos analisados foram: pH, OD, Turbidez, DQO e SST. No reservatório inferior com cloração ainda foi avaliada a concentração de cloro residual. As análises de pH, OD, Turbidez e Cloro residual foram realizadas logo após a coleta. As amostras de DQO e SST foram levadas ao Laboratório de Saneamento (LABSAN), na UFES, onde foram feitas as análises. Durante a pesquisa, foram realizados três perfis de 24 h.

4.5.3 Condições operacionais da ETAC durante o monitoramento

Para a avaliação das condições operacionais durante o monitoramento da ETAC, foram calculadas as cargas volumétricas e superficiais diárias aplicadas em cada etapa do tratamento, a partir da geometria da estação, da vazão de entrada e da concentração afluyente, em termos de DQO. A Tabela 15 apresenta as características geométricas da ETAC.

Tabela 15: Características geométricas da ETAC

Compartimento	Largura (m)	Comprimento (m)	Altura útil (m)	Área superficial As (m ²)	Volume útil Vu (m ³)
RAC	1,35	4,05	2,05	5,467	11,20
FBAS	1,35	1,35	2,05	1,82	3,73
DEC	1,35	1,35	2,05	1,82	3,73

O tempo de detenção médio de cada etapa está representado na Tabela 16.

Tabela 16: Tempos de detenção hidráulicos médios

	RAC	FBAS	DEC	FT	Total
TDH (h)	27,2	9,3	9,3	0,1	45,9

De acordo com Campos (1999), em reatores UASB, o tempo de detenção pode variar de 6 a 16 horas, em temperaturas médias de 20°C. Entretanto, para esgotos domésticos sendo tratados na faixa de temperatura em torno de 20°C, tem-se adotado TDH da ordem de 8 a 10 horas.

Conforme exposto no Anexo A, a ETAC foi dimensionada para um TDH de 12 horas no reator anaeróbio. Entretanto, este tempo foi muito maior, em torno de 27 horas pelo fato de a ETAC ter sido projetada para atender 240 pessoas/dia e o edifício possuir uma população média diária de 70 habitantes.

A carga superficial aplicada (C_{sup}) foi calculada a partir da relação entre a vazão afluyente (Q) e a área superficial de cada reator (A_s)

$$C_{sup} (\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}) = \frac{Q (\text{m}^3/\text{d})}{A_s (\text{m}^2)} \quad \text{Equação 1}$$

A velocidade ascendente do fluxo (V_{asc}) foi calculada a partir da vazão afluyente (Q) e da área superficial (A_s)

$$V_{asc} (\text{m/h}) = \frac{Q (\text{m}^3/\text{h})}{A_s (\text{m}^2)} \quad \text{Equação 2}$$

A carga orgânica volumétrica aplicada (C_{vol}) foi calculada a partir da relação entre o produto da concentração de DQO (C_{DQO}) e da vazão média afluyente (Q) pelo volume útil de cada reator (V_u).

$$C_{vol} (\text{Kg DQO}/\text{m}^3 \cdot \text{d}) = \frac{C_{DQO} (\text{mg/L}) \cdot Q (\text{m}^3/\text{d})}{V_u (\text{m}^3)} \cdot 10^{-3} \quad \text{Equação 3}$$

Os valores médios de carga superficial aplicada, velocidade ascendente do fluxo e carga volumétrica aplicada no RAC, FBAS e DEC estão apresentados na Tabela 17.

Tabela 17: Cargas e velocidade ascendente aplicadas à ETAC (média ± desvio padrão)

Compartimento	Csup (m ³ /m ² .d)	Vasc (m/h)	Cvol (Kg DQO/m ³ .d)
RAC	2,3 ± 1,01	0,1 ± 0,04	0,3 ± 0,24
FBAS	6,8 ± 3,07	0,3 ± 0,13	0,3 ± 0,22
DEC	6,8 ± 3,0	-	0,16 ± 0,13

A temperatura, durante todo o período monitorado, ficou entre 20°C e 30°C.

4.6 Avaliação das características do lodo

O lodo foi coletado no sistema de descarte de lodo existente na ETAC. Este sistema consiste de tubulações e válvulas colocadas a aproximadamente 10 cm do fundo dos reatores, que descartam o lodo direto para a rede de coleta de esgoto do prédio, quando necessário. As amostras de lodo foram coletadas dos seguintes pontos: RAC 1, RAC 2, RAC 3, DEC e TQE.

As amostras de lodo foram coletadas em frascos de 2 litros e levadas ao laboratório de Saneamento (LABSAN), da UFES, onde foram realizadas análises de pH, Sólidos Totais (ST) e Sólidos Voláteis (SV). Durante a pesquisa, foram realizadas nove coletas de lodo.

4.7 Análise Estatística

A análise estatística dos resultados foi realizada utilizando o software Excel, para a obtenção da estatística descritiva dos parâmetros analisados (média, mediana, desvio padrão, máximo, mínimo, percentis e coeficiente de variação). Foram gerados gráficos do tipo Box e Whiskers, séries históricas e distribuição da frequência acumulada.

5. Resultados e Discussão

5.1 Considerações Gerais

Neste capítulo serão apresentados os resultados referentes ao monitoramento quantitativo da produção de água cinza e demanda de água de reúso, à avaliação de desempenho da ETAC, e também ao estudo das características qualitativas do lodo.

5.2 Quantificação da produção de água cinza e do consumo de água de reúso

Os resultados a seguir foram obtidos a partir dos dados do monitoramento dos hidrômetros instalados no edifício, durante os meses de abril a novembro de 2008, correspondendo a um total de 229 dias corridos (incluindo finais de semana e feriados). A quantificação foi avaliada em termos de monitoramento diário e perfil de 24 horas.

5.2.1 Monitoramento diário

Os dados diários de monitoramento foram aqueles obtidos através da leitura dos hidrômetros realizada às 8:00 h da manhã.

Na Figura 34 pode ser visualizada a série histórica da produção de água cinza e consumo de água de reúso no edifício.

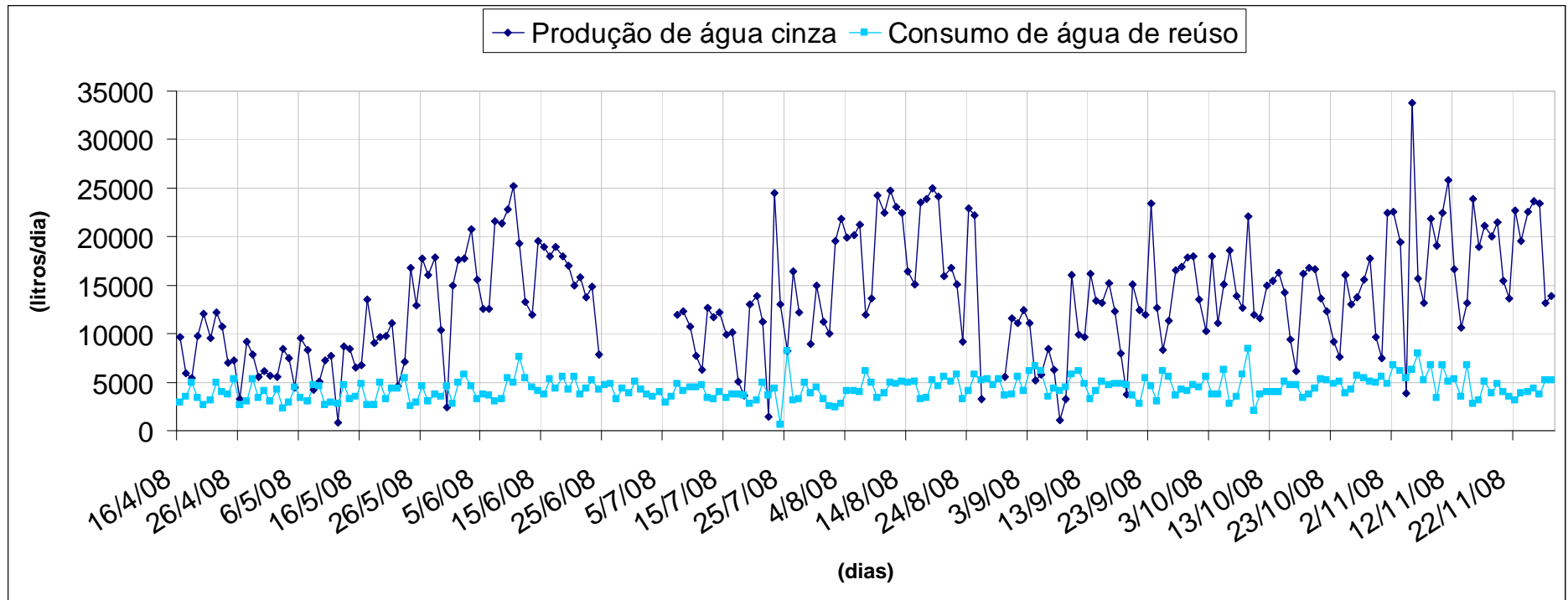


Figura 34: Série histórica diária da produção de água cinza e consumo de água de reúso

Podem ser visualizadas algumas interrupções durante o monitoramento, que ocorreram devido ao mau funcionamento do hidrômetro instalado na entrada da ETAC, onde não foi possível realizar a leitura nesses dias.

A produção diária de água cinza foi bem instável durante o período de monitoramento, apresentando diversos picos e vales. O coeficiente de variação para a produção de água cinza é de aproximadamente 44% em relação à média dos valores apresentados, enquanto que o consumo de água de reúso permaneceu mais estável ao longo desse com variação em torno de 27%.

Durante os meses analisados, a produção de água cinza superou a demanda de água de reúso na maior parte dos dias. Um déficit de água de reúso ocorreu apenas em 8 dos 229 dias monitorados. Quando ocorreu este déficit, a água de reúso, que ficava estocada nos reservatórios, supriu a demanda do prédio.

A produção de água cinza foi, em média, 13660 L.dia^{-1} , enquanto o consumo médio foi de 4327 L.dia^{-1} . Portanto, de toda a água cinza produzida no edifício, cerca de 32% foi reutilizada. O restante da água cinza que não foi reutilizada seguiu para a rede de esgoto do prédio. Algumas alternativas interessantes para o uso dessa água descartada seria a comercialização para lava-jatos de carros, rega de praças e jardins na cidade, entre outros.

Os três setores que consomem a água de reúso no edifício são: apartamentos, área comum e área de lazer. A Figura 35 mostra a distribuição do consumo de água de reúso no edifício. O maior consumo de água de reúso acontece nas descargas das bacias sanitárias dos apartamentos, em seguida a área comum, onde a água de reúso foi consumida nas descargas de bacias sanitárias de 2 banheiros, na lavagem de calçada e rega de jardim. Por fim, a água na área de lazer foi consumida nas descargas de 2 banheiros e lavagem de piso.

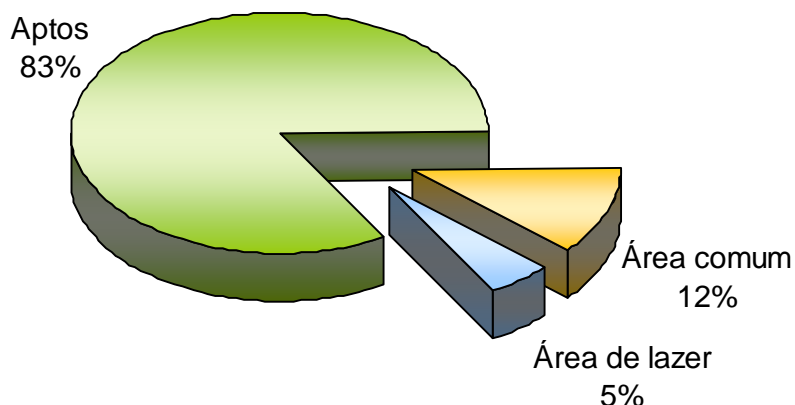


Figura 35: Distribuição média do consumo de água de reúso no edifício

A Figura 36 apresenta a média de produção de água cinza e média do consumo de água de reúso nos meses monitorados.

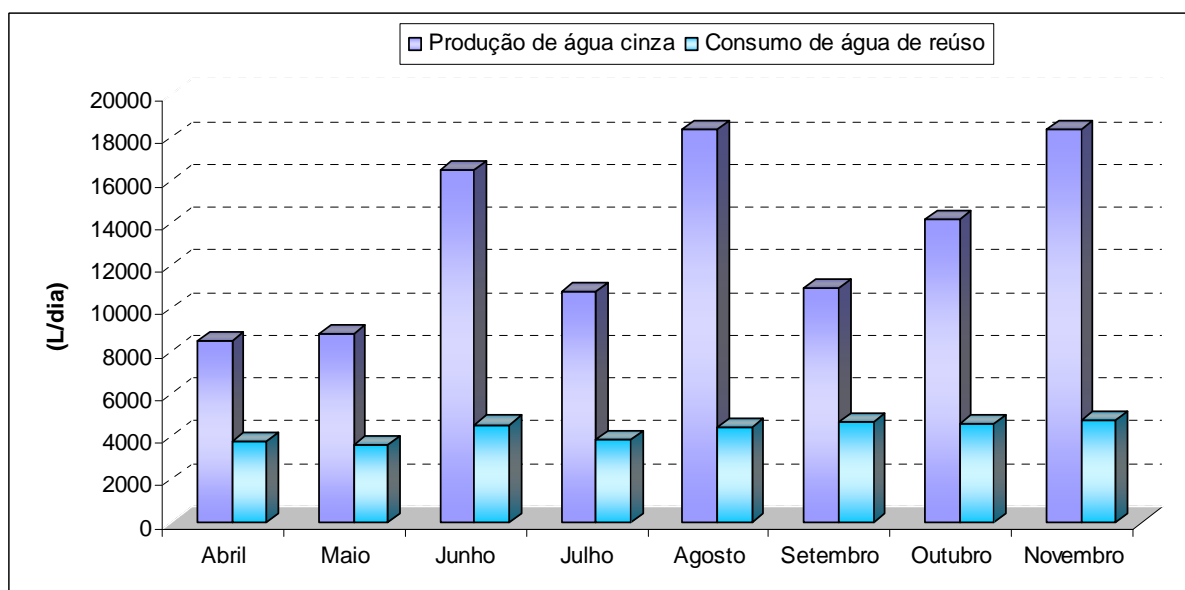


Figura 36: Média de produção de água cinza e do consumo de água de reúso nos meses monitorados

Nota-se que os meses de abril e maio apresentam um consumo inferior aos demais meses, tanto para produção quanto para consumo. Isto ocorreu devido à chegada de novos moradores no mês de junho, aumentando assim a população no prédio. Os meses de maior produção de água cinza foram junho, agosto e novembro, apresentando médias de 16446 L.dia^{-1} , 18382 L.dia^{-1} e 18380 L.dia^{-1} , respectivamente. Em relação ao consumo de água de reúso, no mês de novembro foi observado o maior consumo médio diário, sendo este de 4790 L.dia^{-1} .

5.2.1.1 Produção *per capita* de água cinza e consumo *per capita* de água de reúso

A série histórica de produção *per capita* de água cinza e consumo *per capita* de água de reúso é mostrada na Figura 37. O consumo *per capita* de água de reúso foi calculado levando-se em conta somente o consumo das descargas das bacias sanitárias dos apartamentos. Portanto, o consumo da área comum e da área de lazer não está incluído nestes resultados.

A média *per capita* de produção de água cinza foi de $195 \pm 86 \text{ L.hab}^{-1}.\text{dia}^{-1}$ e coeficiente de variação de 44%. Esta média foi bem maior do que a encontrada por Pansonato (2007), cuja valor foi de $75,4 \text{ L.hab}^{-1}.\text{dia}^{-1}$, para residências de baixa renda. Esta diferença se deve ao fato das residências monitoradas no presente estudo serem de alto padrão, o que justifica um consumo mais elevado de água, acarretando, portanto, em uma maior produção de água cinza.

Entretanto, Prathapar *et al.* (2005) encontraram valores próximos aos obtidos nesta pesquisa, onde a produção de água cinza em Omã, na Ásia, foi em média de $161 \text{ L.hab}^{-1}.\text{dia}^{-1}$.

A média *per capita* de consumo de água de reúso foi de $52 \pm 14 \text{ L.hab}^{-1}.\text{dia}^{-1}$ e coeficiente de variação de 26%. O consumo *per capita* se mostrou bastante estável nos meses monitorados, apresentando pouca variação entre os dias monitorados.

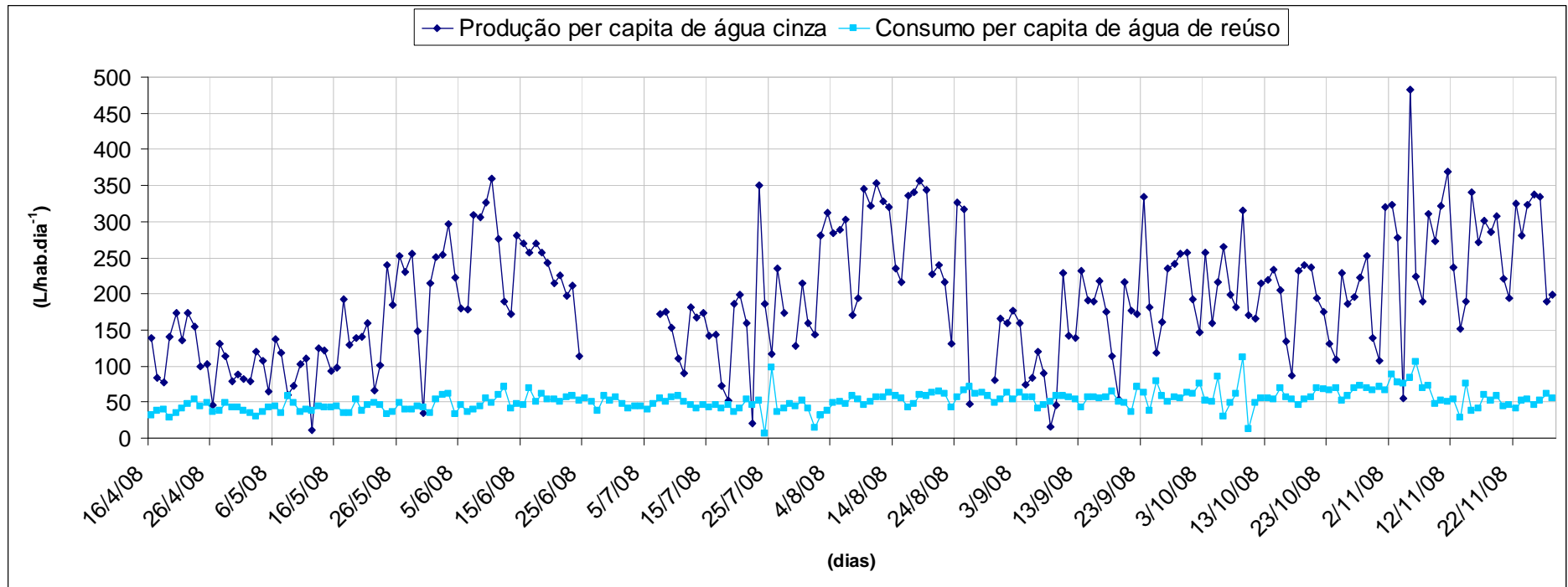


Figura 37: Série histórica da produção *per capita* de água cinza e consumo *per capita* de água de reúso

Nas Figura 38 e 39 estão apresentados, em gráficos *Box plot*, a produção *per capita* de água cinza e consumo *per capita* de água de reúso, referente aos meses monitorados na pesquisa. Estes gráficos apresentam a distribuição dos valores e revelam as tendências centrais e dispersão dos dados, relativos aos meses monitorados.

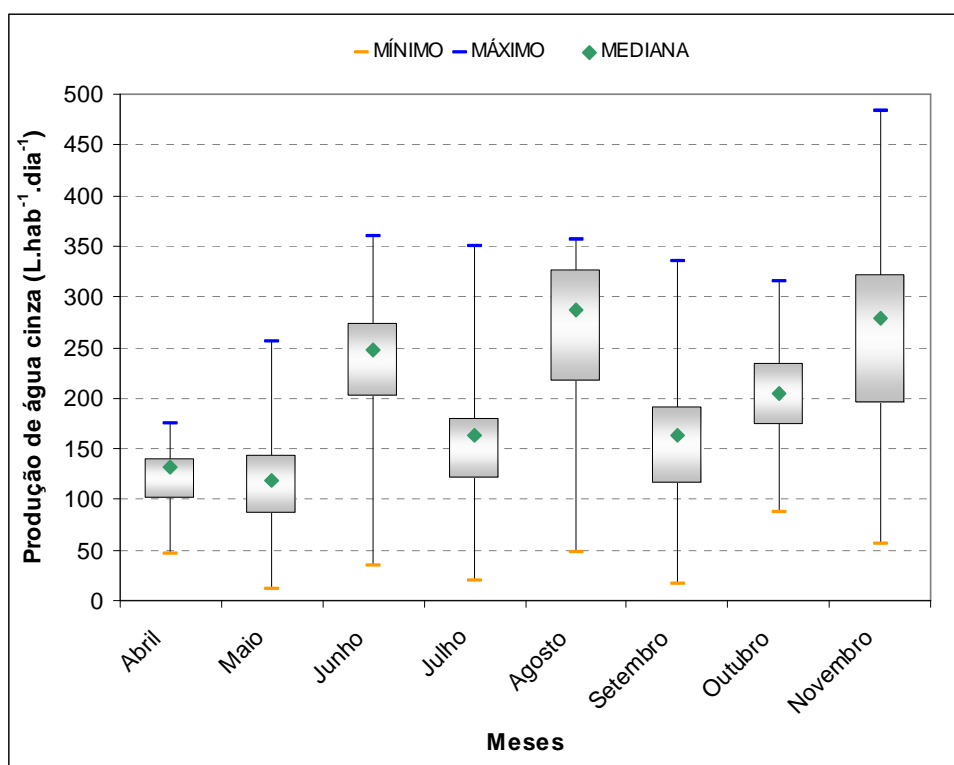


Figura 38: Representação da produção *per capita* de água cinza, nos meses monitorados

Observa-se que os meses de maior produção *per capita* foram junho, agosto e novembro, sendo que o mês de maior produção foi novembro, com uma média de 263 L.hab⁻¹.dia⁻¹. Os meses de menor produção *per capita* foram abril e maio. Nota-se também que os resultados nos meses de agosto e novembro apresentaram grande dispersão, observado pela extensão da caixa nos gráficos Box plot.

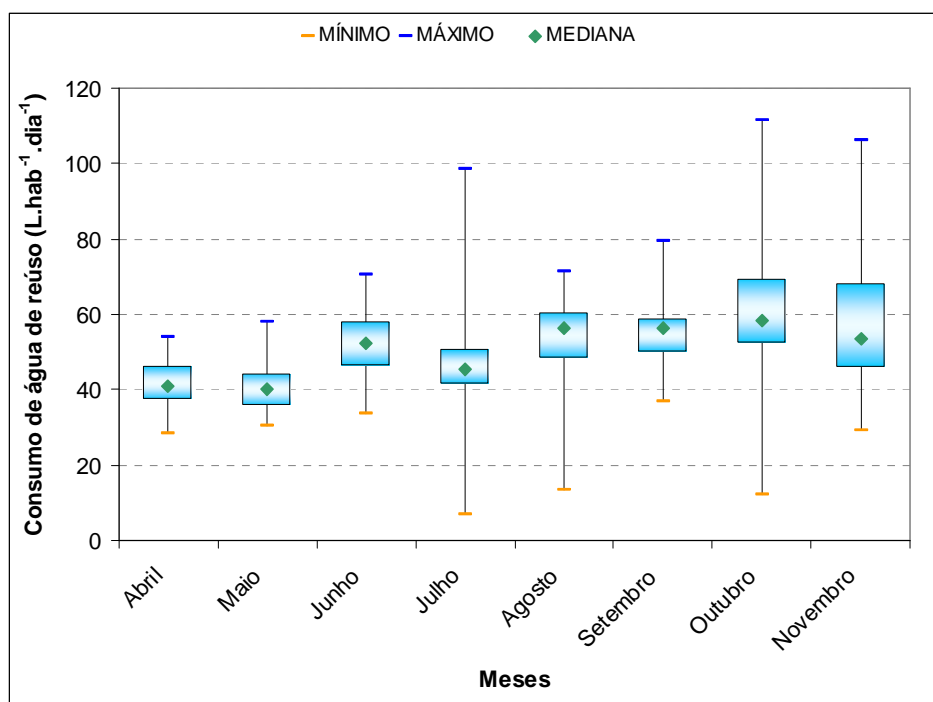


Figura 39: Representação do consumo *per capita* de água de reúso, nos meses monitorados

A Figura 39 mostra uma pequena dispersão dos dados na maioria dos meses, exceto em outubro e novembro, onde é possível observar uma maior dispersão. Os meses de maior consumo *per capita* de água de reúso foram outubro e novembro, com médias de 60 e 58 L.hab⁻¹.dia⁻¹, respectivamente. Os meses de menor consumo *per capita* foram abril e maio.

As Figuras 40 e 41 apresentam, também em gráficos *Box plot*, a produção *per capita* de água cinza e consumo *per capita* de água de reúso, referentes aos dias da semana.

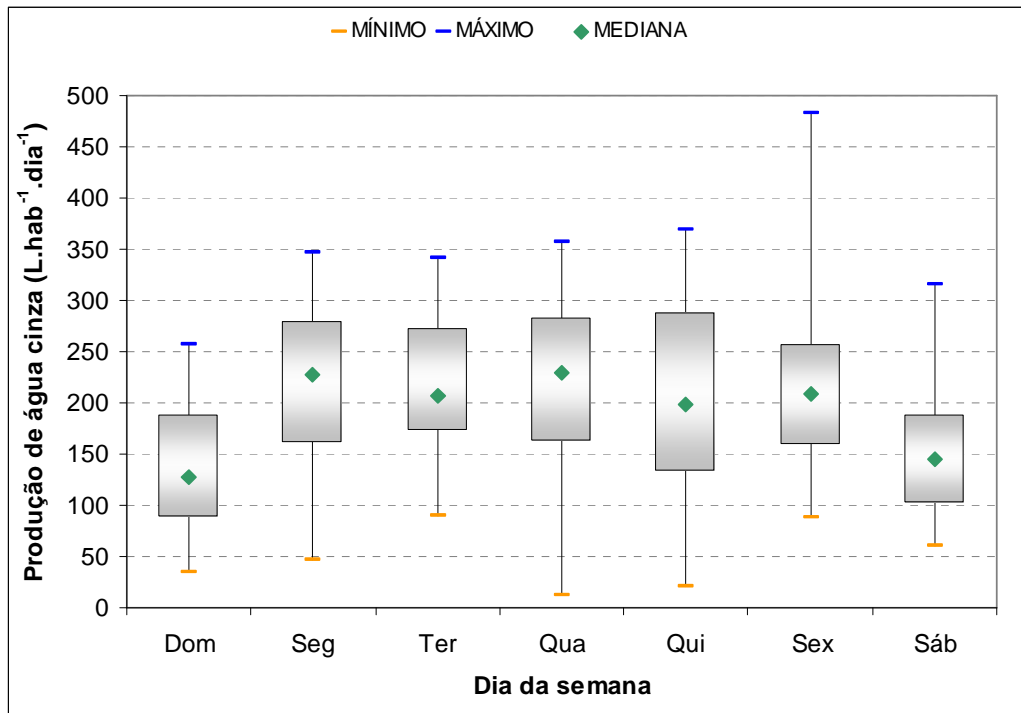


Figura 40: Produção *per capita* de água cinza nos dias da semana

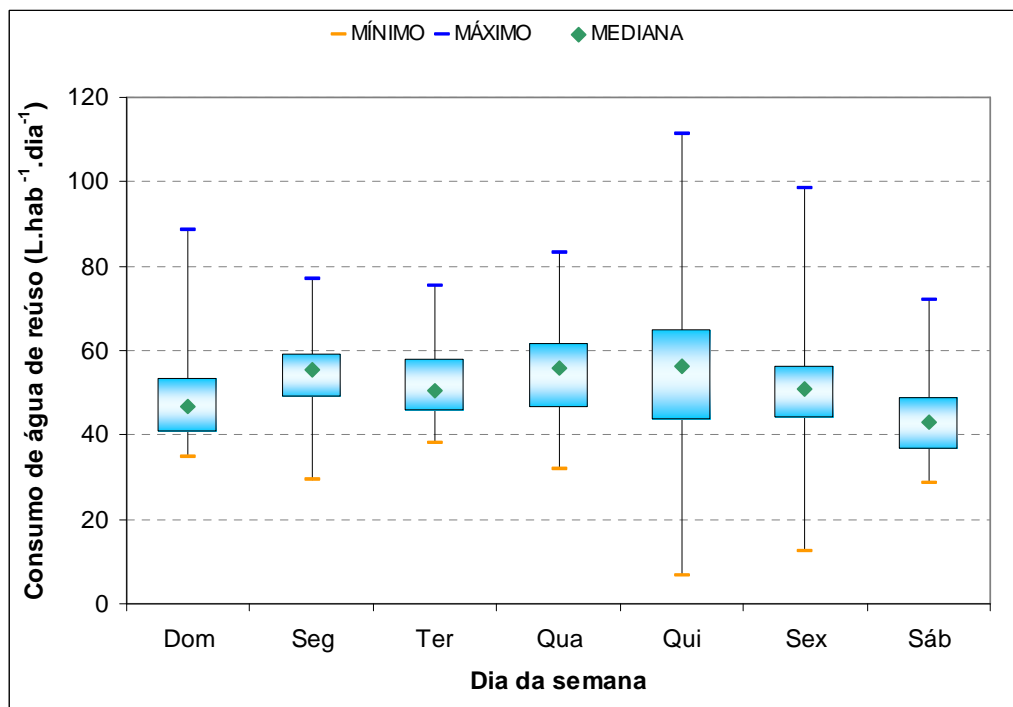


Figura 41: Consumo *per capita* de água de reúso nos dias da semana

De maneira geral, nas segundas-feiras, terças-feiras, quartas-feiras, quintas-feiras e sextas-feiras, a produção de água cinza e consumo de água de reúso seguem uma mesma tendência, apresentando um comportamento semelhante. Porém, nos finais de semana (sábado e domingo), a produção e o consumo apresentam uma ligeira

queda. Isso ocorre provavelmente porque alguns moradores do edifício viajam para outras cidades nos fins de semana, não ficando, portanto, nos apartamentos.

Os resultados de produção de água cinza indicam uma grande dispersão dos dados, para todos os dias da semana, sendo a quinta-feira o dia de maior dispersão. Os dados de consumo de água de reúso apresentam uma pequena dispersão, porém a quinta-feira também se apresenta como o dia da semana de maior dispersão.

5.2.2 Perfil de 24 horas

Como descrito na metodologia, foram realizados oito monitoramentos de 24 h, a fim de caracterizar o perfil de produção de água cinza e consumo de água de reúso durante este período. A estatística descritiva dos resultados pode ser visualizada no Anexo C. A Figura 42 apresenta os valores médios e desvio padrão dos perfis de 24 h obtidos.

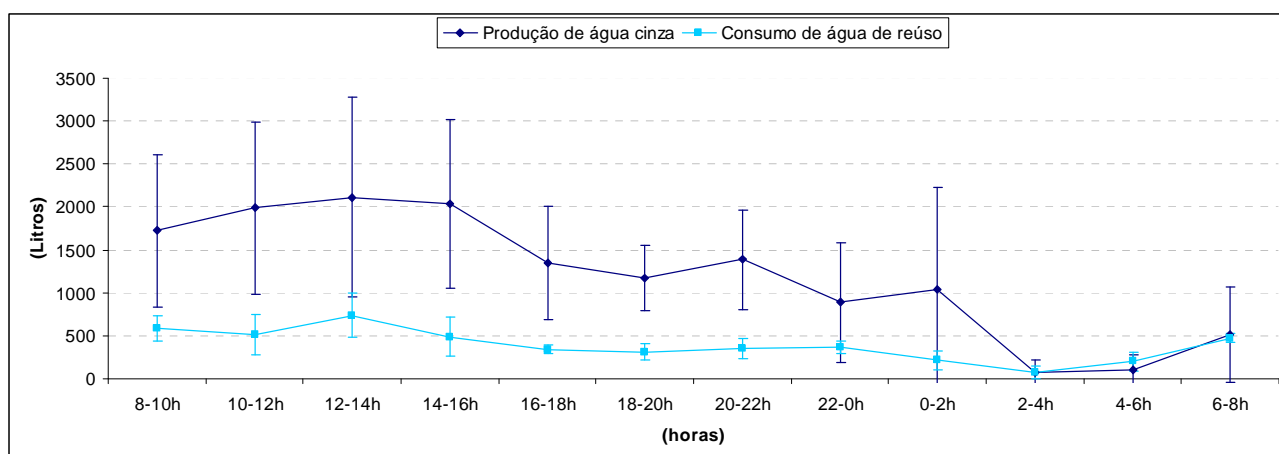


Figura 42: Perfil de 24 horas de produção de água cinza e consumo de água de reúso

Pode-se observar que há uma grande variabilidade de produção de água cinza ao longo do dia. A produção de água cinza é bastante elevada na parte da manhã, com picos nos horários de 12-14 h e 14-16 h, provavelmente é o período de lavagem de roupas e serviços domésticos nos apartamentos.

A partir das 16h, a produção de água cinza diminui, mas apresenta uma elevação nos horários de 20-22 h e 0-2 h, caracterizando-se como as faixas horárias de maiores produções no período noturno. Possivelmente estes picos estão associados com uso do chuveiro pelos moradores.

Nota-se ainda uma baixa produção de água cinza nos intervalos entre 2-6 h, o que é razoável, já que é o período de descanso dos moradores.

A faixa horária de maior produção de água cinza é 12-14h, com uma produção média de 2113 Litros e a de menor produção é de 2-4h, sendo 75 Litros produzidos neste intervalo.

Observa-se uma grande dispersão dos dados de produção de água cinza, principalmente nos horários matutinos, evidenciado pelo desvio padrão dos dados.

O consumo de água de reúso apresenta-se com menos variações ao longo do dia, mas também é bastante elevado no período matutino do dia, sofrendo uma queda a partir das 16 h.

O horário de maior consumo coincide com o horário de maior produção (12- 14 h), com 737 Litros consumidos neste intervalo de tempo. Este consumo pode ser relacionado com a chegada dos moradores para o almoço, onde estes utilizam as descargas das bacias sanitárias.

No período noturno destaca-se o horário de 22- 0 h como o de maior consumo de água de reúso, com uma média de 362 Litros consumidos neste intervalo.

Ressalta-se ainda o intervalo de horário entre 4- 6 h, onde a demanda de água de reúso supera a produção de água cinza e o horário entre 6- 8 h, onde os valores de produção e de consumo são praticamente os mesmos.

5.2.2.1 Perfil de 24 horas *per capita*

Os perfis de 24 h *per capita* foram calculados a partir do número de moradores nos apartamentos para cada horário monitorado. A tabela contendo o número de moradores, bem como a estatística descritiva dos resultados encontram-se no Anexo C.

A média e desvio padrão dos perfis de 24 horas de produção de água cinza e consumo de água de reúso *per capita* pode ser visualizado na Figura 43.

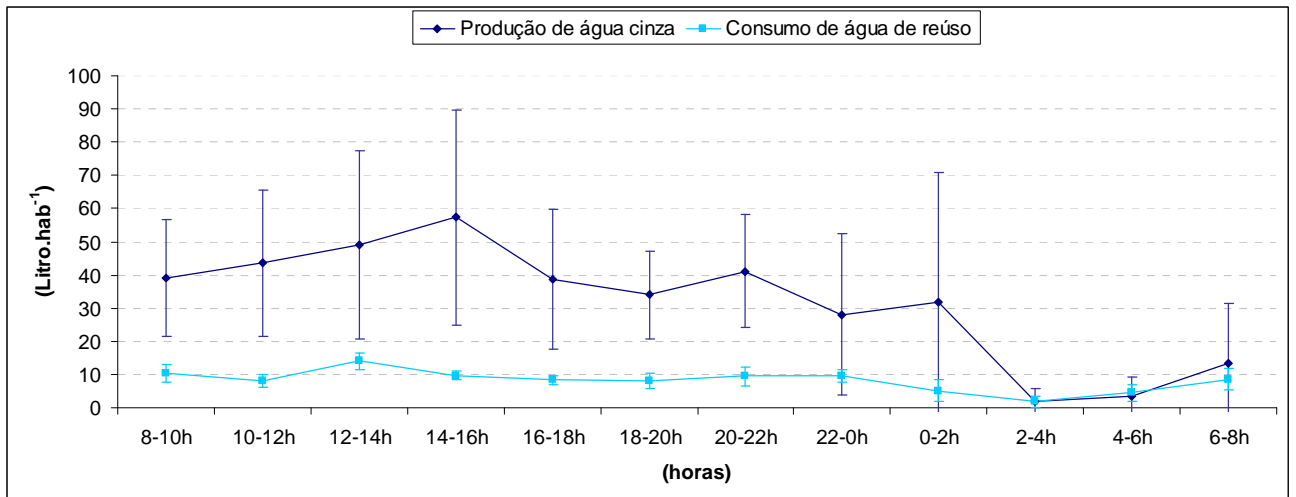


Figura 43: Perfil de 24 horas *per capita* de produção de água cinza e consumo de água de reúso

Diferentemente do perfil de produção, o perfil *per capita* apresenta o maior pico de produção de água cinza no intervalo de 14-16 h. No período noturno, os dois perfis seguem uma mesma tendência, com picos nos horários 20-22 h e 0-2 h.

A faixa de horário de maior produção *per capita* de água cinza é de 14-16 h, sendo 57 L.hab⁻¹. produzidos neste horário, em média. A média de produção horária ficou em torno de 32 L.hab⁻¹., portanto o coeficiente de máxima vazão horária (K2) foi de 1,8. O horário de menor produção é de 2-4 h, sendo produzidos 2 L.hab⁻¹., neste intervalo, em média.

O consumo de água de reúso *per capita* apresenta comportamento semelhante ao perfil 24 h de consumo, com pico entre 12- 14 h, sendo consumidos, em média, 14 L.hab⁻¹., neste período. No período noturno também observa-se um pico de consumo no horário de 22- 0 h, sendo consumidos 10 L.hab⁻¹.

Nota-se também que a demanda de água de reúso supera a produção de água cinza no intervalo entre 4- 6 h.

5.2.3 Economia de água potável devido ao reúso

No edifício estudado, a quantidade de água de reúso consumida equivale a toda quantidade de água potável que seria utilizada para descarga em bacia sanitária, lavagem de pisos e rega de jardim. Durante o período avaliado (abril à novembro/2008), foram consumidos em torno de 990 m³ de água de reúso.

Na Tabela 18, pode-se verificar a quantidade média de água potável economizada diariamente e estimando esse valor para um consumo mensal e anual, pode-se notar uma economia aproximada em torno de cento e trinta metros cúbicos e um mil e quinhentos metros cúbicos, respectivamente.

Tabela 18: Quantidade média de água potável economizada

Período	Quantidade de Água potável economizada
Diária	4,3 m ³
Mensal	129,8 m ³
Anual	1.557,8 m ³

Diante dos valores apresentados, ressalta-se a importância do reúso de água em meio urbano, visto que a quantidade de água economizada diariamente abasteceria aproximadamente 33 pessoas e a quantidade economizada anualmente atenderia 10 pessoas por aproximadamente 3 anos, considerando uma média de consumo de água potável em torno de 160 litros.dia⁻¹.pessoa⁻¹.

5.3 Avaliação do desempenho da Estação de Tratamento de Água Cinza (ETAC)

Neste item discute-se o desempenho da Estação de Tratamento de Água Cinza. O desempenho é avaliado em relação ao comportamento das diferentes unidades que compõe a ETAC e em relação à estabilidade da ETAC ao longo de 24 horas.

Ressalta-se que esta avaliação contempla somente o período de estabilidade da ETAC, portanto, todos os resultados de avaliação da ETAC e caracterização de água cinza são referentes ao período de abril/08 a novembro/08.

5.3.1 Avaliação da eficiência das diferentes unidades da ETAC

Neste item são apresentados os resultados referentes à caracterização da água cinza bruta e também discute-se o desempenho de cada unidade da ETAC. O desempenho foi avaliado em relação à remoção de turbidez, cor, SST, SSed, matéria orgânica, proteína, carboidratos, O & G, coliformes totais e *E. Coli*. A evolução de alguns parâmetros como compostos nitrogenados, compostos fosforados, sulfeto, sulfato e alcalinidade também foram determinados.

5.3.1.1 Características gerais da água cinza bruta

As características da água cinza bruta apresentadas durante toda a pesquisa estão apresentadas na Tabela 19:

Tabela 19: Características da água cinza bruta

Parâmetros	N	Média	Mediana	Máx	Mín	DP	CV
pH	104	7,8	7,54	10,46	6,67	0,74	0,10
Turbidez (NTU)	104	73	60	274	15	47	0,65
Cor (UC)	57	85	69	321	7	69	0,81
SSD (mL/L)	37	0,66	0,50	2,5	0,05	0,52	0,79
SST (mg/L)	28	78	54	226	23	54	0,69
DQO (mg/L)	37	237	200	558	71	122	0,51
DBO ₅ (mg/L)	19	106	90	235	40	53	0,50
Alcalinidade (mg/LCaCO ₃)	29	55	48	188	20	37	0,67
O & G (mg/L)	8	39	34	80	8	27	1
NTK (mg/L)	14	6,53	5,38	15,46	2,69	3,64	0,56
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	11	1,28	0,67	5,38	0,00	1,52	1,18
Nitrato (mg/L)	12	0,14	0,07	0,49	0,00	0,16	1,13
Nitrito (mg/L)	14	0,40	0,32	1,62	0,01	0,41	1,04
P-Total (mg/L)	18	2,87	1,99	10,09	0,00	3,05	1,06
O-fosfato (mg/L)	16	2,23	1,12	11,84	0,12	3,26	1,46
Sulfato (mg/L)	9	88	90	135	50	31	0,35
Sulfeto (mg/L)	15	1,56	1,40	3,00	0,00	1,07	0,69
Proteína (mg/L)	8	96	88	159	30	50	0,52
Carboidrato (mg/L)	7	23	19	40	11	12	0,52
Coliformes Totais (NMP/100mL)	20	4,36x10 ^{3*}	2,6x10 ²	3,16x10 ⁷	2,6 x10 ²	1,15x10 ⁷	-
<i>E. Coli</i> (NMP/100mL)	20	5,21x10 ^{0*}	5,75x10 ⁰	1,7x10 ²	1x10 ⁰	3,53x10 ¹	-

* Foram calculados pela média geométrica

Os resultados encontrados mostram que as concentrações de matéria orgânica na água cinza bruta são semelhantes à de um esgoto sanitário fraco, sendo inferiores as concentrações de SST e nutrientes (Fósforo e Nitrogênio) encontradas na água cinza. A Tabela 20 mostra o resultado da caracterização de um esgoto sanitário fraco.

Tabela 20: Características de esgotos fracos

Parâmetro	Esgoto Fraco
SST (mg/L)	120
DQO (mg/L)	200
DBO ₅ (mg/L)	100
NTK (mg/L)	20
Nitrato (mg/L)	0,10
Nitrito (mg/L)	0
P-Total (mg/L)	5

Fonte: Jordão & Pessoa (2005)

A Tabela 21 apresenta uma comparação dos resultados obtidos na caracterização da água cinza com valores obtidos por outros autores.

Tabela 21: Comparação das concentrações médias de água cinza bruta obtidas nesta pesquisa com dados da literatura

	Esta pesquisa	Peters (2006)	Bazzarella (2005)	Paulo et al. (2007)	Merz et al. (2007)	Gual et al. (2008)	Pidou et al. (2007)
País	Brasil	Brasil	Brasil	Brasil	Marrocos	Espanha	Reino Unido
Fonte da água cinza	Chuveiros, tanques, máquinas de lavar roupas e lavabos	Chuveiros, tanques de lavar roupas e lavabos	Chuveiros, lavatórios, máquina de lavar roupa e efluente de cozinha	Pia da cozinha, máquina de lavar louça, máquina de lavar roupa	Chuveiro	Chuveiros e lavatórios	Chuveiros e lavatórios
Parâmetros							
pH	7,8	7,6	7,07	6,5	7,6	6,8	6,6
Turbidez (NTU)	73	155	168	171,9	29	-	35
Cor (UC)	85	214	533	-	-	-	-
SST (mg/L)	78	129	11,8	129,8	-	32,2	-
DQO (mg/L)	237	280	498	533	109	72,7	144
DBO ₅ (mg/L)	106	267	283	359	59	-	39
Alcalinidade (mg/LCaCO ₃)	55	-	24,9	161	-	-	-
O & G (mg/L)	39		8,5	151		-	-
NTK (mg/L)	6,53	10,7	11,9	4,5	15,9	4,1	7,6
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	1,28	3,1	6,1	2,81	-	-	-
Nitrato (mg/L)	0,14	0,26	-	0,12	-	-	-
Nitrito (mg/L)	0,40	0,21		0,06	-	-	-
P-Total (mg/L)	2,87	7,7	2,3	-	1,6	-	-
Coliformes Totais (NMP/100mL)	4,36x10 ³	7,3x10 ⁴	1,87x10 ⁷	-	-	-	-
<i>E. Coli</i> (NMP/100mL)	5,21x10 ⁰	2,7x10 ⁴	5,2x10 ⁵	-	-	-	-

Percebe-se nos valores reportados na literatura e na pesquisa a grande variabilidade nas concentrações, em todos os parâmetros. Estas variações são, em grande parte, devido à origem da água cinza. Nota-se que as maiores concentrações de Turbidez, Cor, SST, DQO e DBO₅ foram encontradas por Bazzarella (2005) e Paulo *et al.* (2007). Nestas pesquisas, a pia da cozinha era uma das fontes de água cinza.

Nos outros estudos, onde o efluente da pia de cozinha não fazia parte da constituição da água cinza, também foi notada variação nos parâmetros. Isso é devido aos variados estilos de vida, costumes, instalações, preferência de produtos de limpeza e hábitos da população.

Os valores de turbidez, cor e SST encontrados nesta pesquisa foram inferiores quando comparados aos valores encontrados por Peters (2006), Bazzarella (2005) e Paulo *et al.* (2007). Porém, Merz *et al.* (2007), Gual *et al.* (2008) e Pidou *et al.* (2007) encontraram valores inferiores aos reportados nesta pesquisa.

Com relação à matéria orgânica, Peters (2006) encontrou valores próximos aos desta pesquisa em relação à DQO. Entretanto, a concentração de DBO₅ encontrada por este autor foi bem maior à encontrada nesta pesquisa. Merz *et al.* (2007), Gual *et al.* (2008) e Pidou *et al.* (2007) encontraram valores inferiores aos desta pesquisa.

As concentrações de Coliformes totais e *E. Coli* foram baixas, quando comparadas com outras pesquisas. Porém, as concentrações de *E. coli* e coliformes totais mostraram-se acima dos limites permitidos para reúso em descarga de vaso sanitário. Dessa forma, é necessária a etapa de desinfecção previamente ao reúso.

5.3.1.2 Remoção de Sólidos

A Figura 44 apresenta os valores de turbidez, durante as etapas do tratamento. A turbidez na água cinza bruta foi bastante variável no período monitorado, assim como nas etapas anaeróbias e aeróbias.

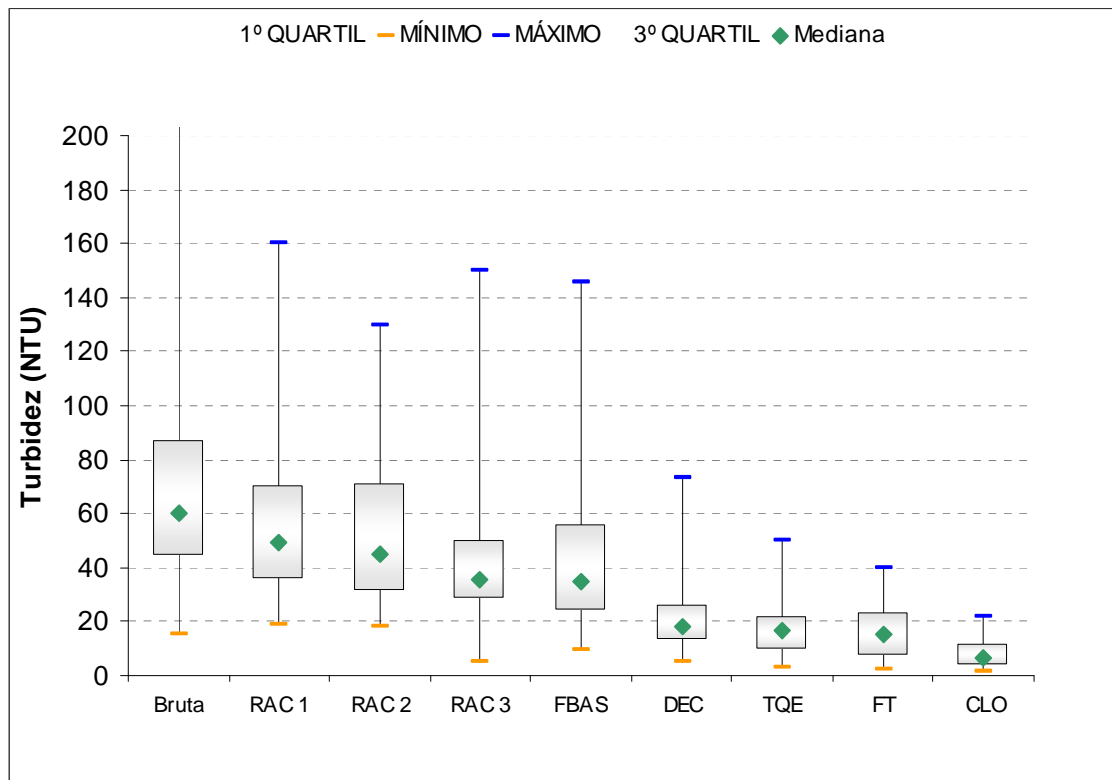


Figura 44: Remoção de Turbidez

A eficiência de remoção nas etapas anaeróbia e aeróbia foi de 36% e 55%, respectivamente. Bazzarella (2005), tratando águas cinza em sistemas anaeróbios + aeróbios, alcançou remoções de 36% na etapa anaeróbia e de 96% na etapa aeróbia.

A maior remoção de turbidez ocorreu na decantador. O Tanque de Equalização (TQE) apresentou uma eficiência de remoção de 16% e o Fitro Terciário (FT) obteve uma remoção de 6%. Houve uma remoção significativa de turbidez na etapa de cloração, possivelmente devido à sedimentação de algumas partículas no reservatório inferior de água tratada.

Como um todo, a ETAC apresentou remoção de turbidez de 89% em média e a água de reúso coletada no reservatório inferior (CLOR) apresentou turbidez média de 8 NTU.

March (2004) e Peters (2006), tratando água cinza em sistemas simplificados tipo dois-estágios, alcançaram valores de turbidez de 18,5 NTU e 86,6 NTU, respectivamente, valores mais altos em relação aos encontrados nesta pesquisa.

Valores de turbidez bem baixos foram encontrados em tratamentos de água cinza por membranas. Kim *et al* (2007), utilizando membranas de metal, obtiveram um água de reúso com turbidez de 3,5 NTU. Já Nghiem *et al*, (2006), tratando água cinza por ultrafiltração, encontrou valores de turbidez inferiores à 0,4 NTU.

Paulo *et al*. (2007) e Dallas *et al* (2004), tratando águas cinza em leitos cultivados, obtiveram, na água de reúso, valores de turbidez de 34 NTU e 10 NTU, respectivamente.

Bazzarella (2005) obteve valor de turbidez de 2 NTU, inferior ao encontrado nesta pesquisa.

A remoção de cor aparente seguiu uma mesma tendência da remoção de turbidez , como pode ser verificado na Figura 45, onde a água cinza bruta e as etapas anaeróbia e aeróbia apresentaram grande dispersão.

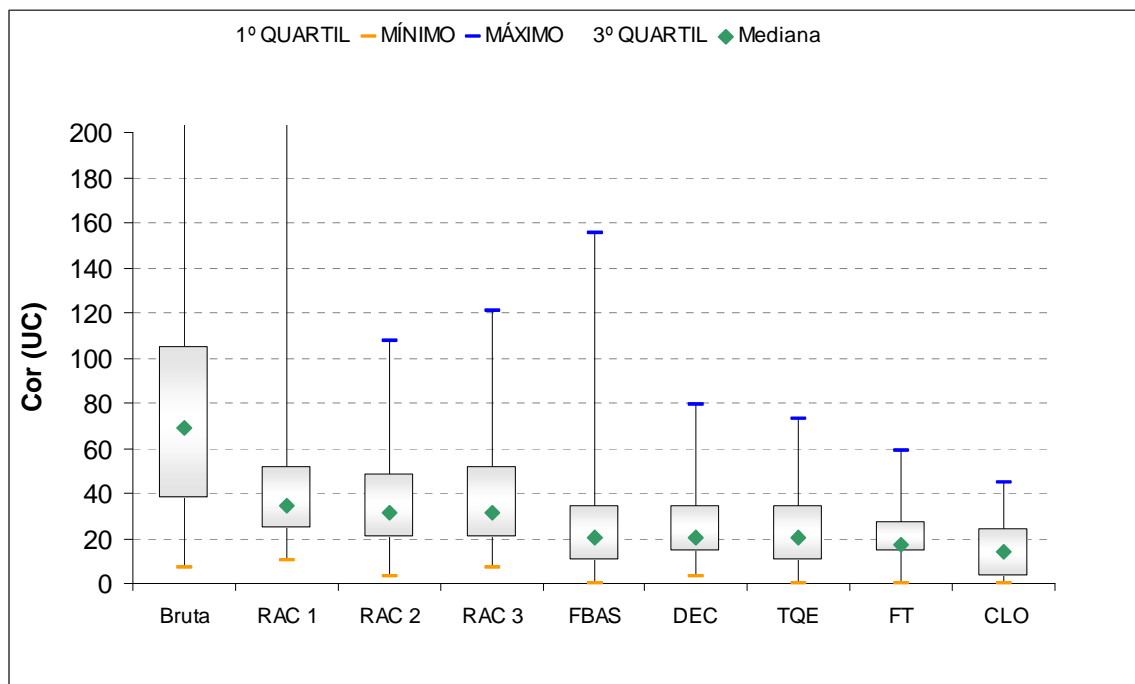


Figura 45: Remoção de Cor Aparente

A maior eficiência de remoção de cor ocorreu nas etapas anaeróbia e aeróbia, onde as eficiências foram de 54% e 40%, respectivamente. Bazzarella (2005) encontrou valor de eficiência na etapa anaeróbia de 53%, bem próxima à encontrada neste trabalho.

A ETAC apresentou eficiência total de 82% e uma água de reúso com uma cor média de 15 UC, também, bem próximo à encontrada por Bazzarella (2005), que foi de 10 UC.

As concentrações de SSed nas várias etapas do tratamento são apresentadas na Figura 46. Observa-se que a etapa anaeróbia é bastante eficiente, porém, no FBAS houve um aumento significativo dos sólidos sedimentáveis. Isto ocorreu devido ao desprendimento da biomassa no meio suporte, fato observado na coleta das amostras.

Dessa forma, a decantação foi fundamental para o polimento do FBAS, atingindo eficiência de 95%. O Tanque de equalização atuou também como um decantador, apresentando eficiência de 24%. A eficiência total da ETAC foi de 98% e a água de reúso apresentou concentração média de SSed de 0,01 mL.L⁻¹.

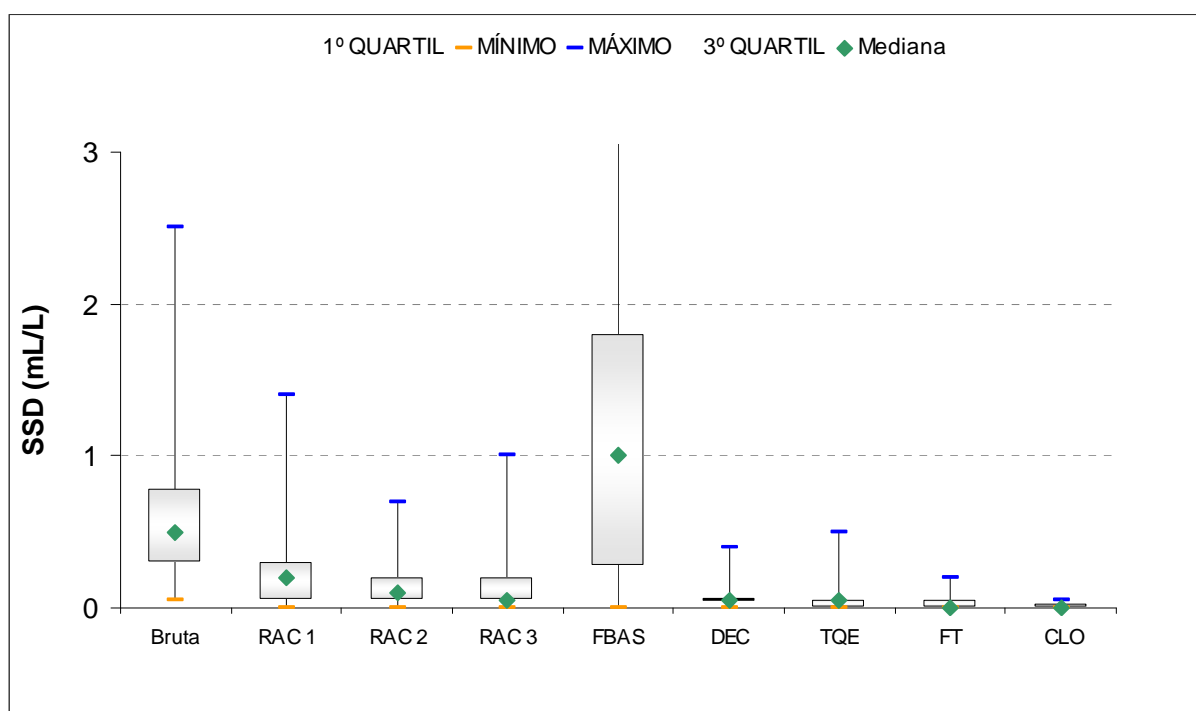


Figura 46: Remoção de Sólidos Sedimentáveis (SSed)

A Figura 47 mostra a remoção de SST. As maiores remoções ocorreram nas etapas anaeróbias e aeróbias, com eficiências de 58% e 49%, respectivamente. Comparando com a turbidez, a eficiência de remoção na etapa anaeróbia foi significativamente maior para SST, porém, na etapa aeróbia, a eficiência de remoção para turbidez foi maior.

A etapa de Filtração Terciária apresentou eficiência de 6%, igual à obtida para turbidez.

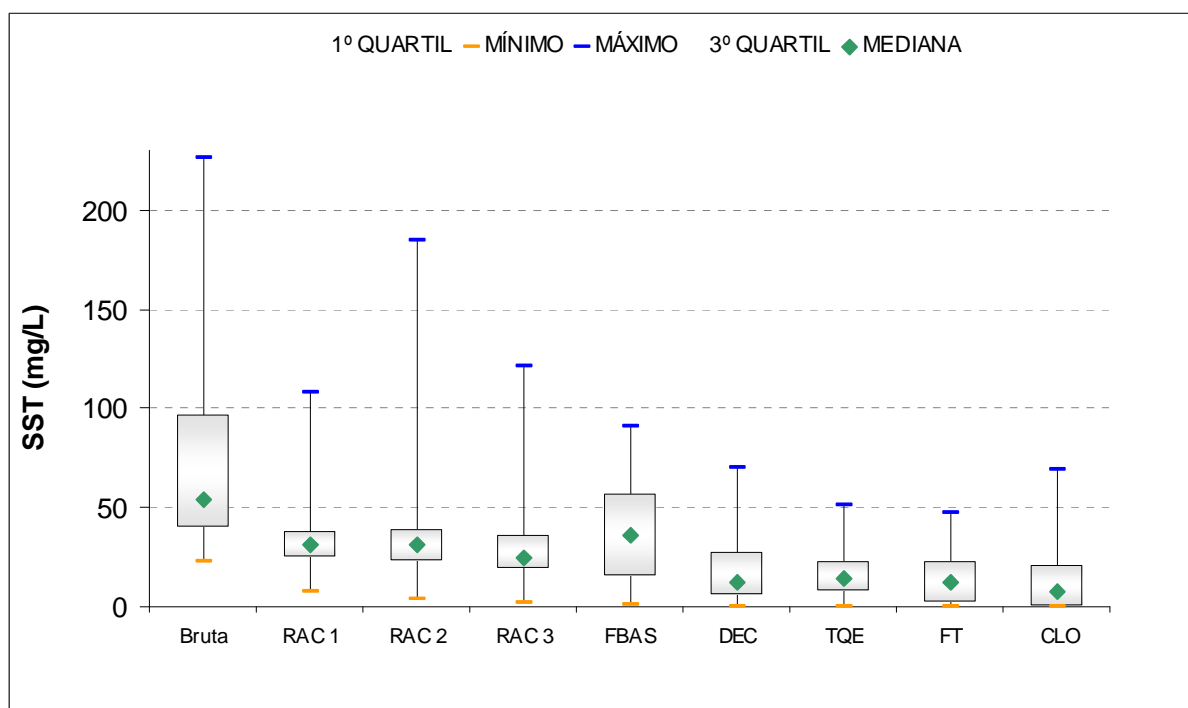


Figura 47: Remoção de Sólidos Suspensos Totais (SST)

O RAC 1, primeiro compartimento da etapa anaeróbia, foi responsável por praticamente toda a remoção de SST, apresentando 53% de eficiência. Bazzarella (2005) encontrou valores de eficiência bem maiores na etapas anaeróbias e aeróbias, que foram de 72% e 95%, respectivamente.

Como um todo, a ETAC apresentou eficiência de remoção de SST em torno de 82%, e a água de reúso apresentou concentração média de SST de 14 mg/L, também acima do valor encontrado por Bazzarella (2005), que foi de 5 mg/L.

March (2004) e Peters (2006), tratando água cinza em sistemas simplificados tipo dois-estágios, encontraram valores médios de SST, na água de reúso, de 18,6 mg/L e 34,8mg/L, respectivamente. Paulo *et al.* (2007), tratando águas cinza em leitos cultivados, encontraram valor de SST de 17mg/L. Todos estes valores foram mais elevados em relação às concentrações encontradas na presente investigação.

5.3.1.3 Remoção de Matéria Orgânica

As Figura 48 e 49 apresentam os valores de DQO e DBO₅, respectivamente, obtidos nas várias etapas de tratamento.

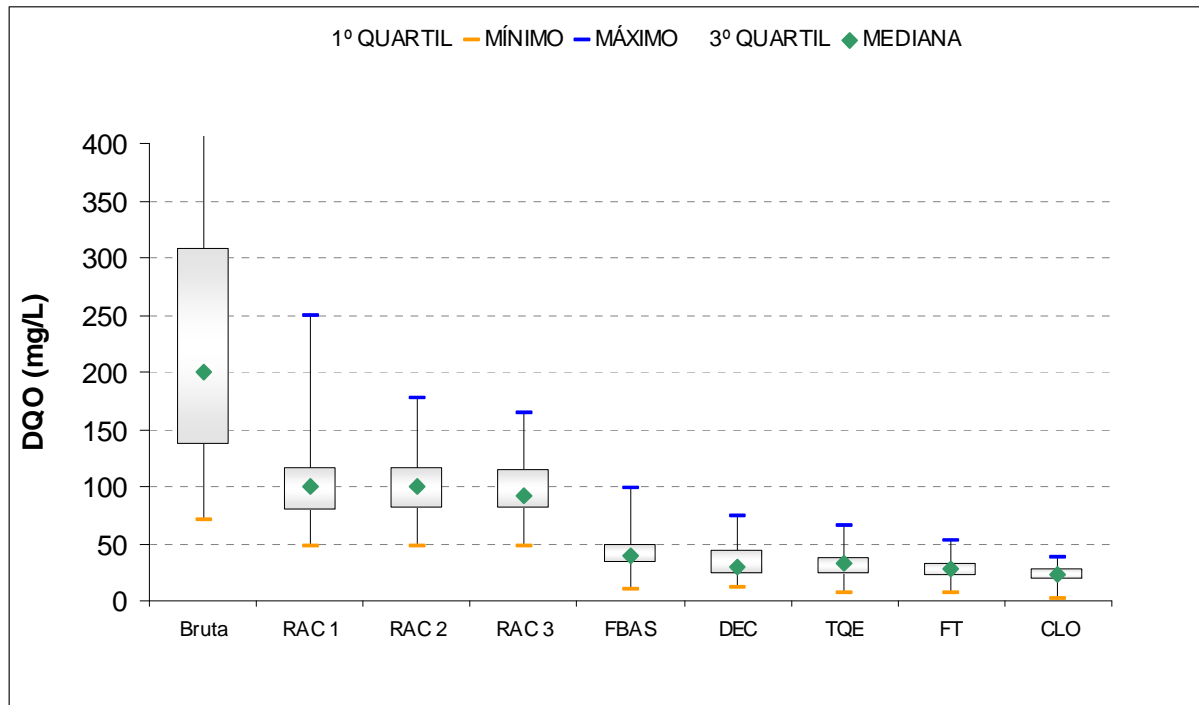


Figura 48: Remoção de DQO

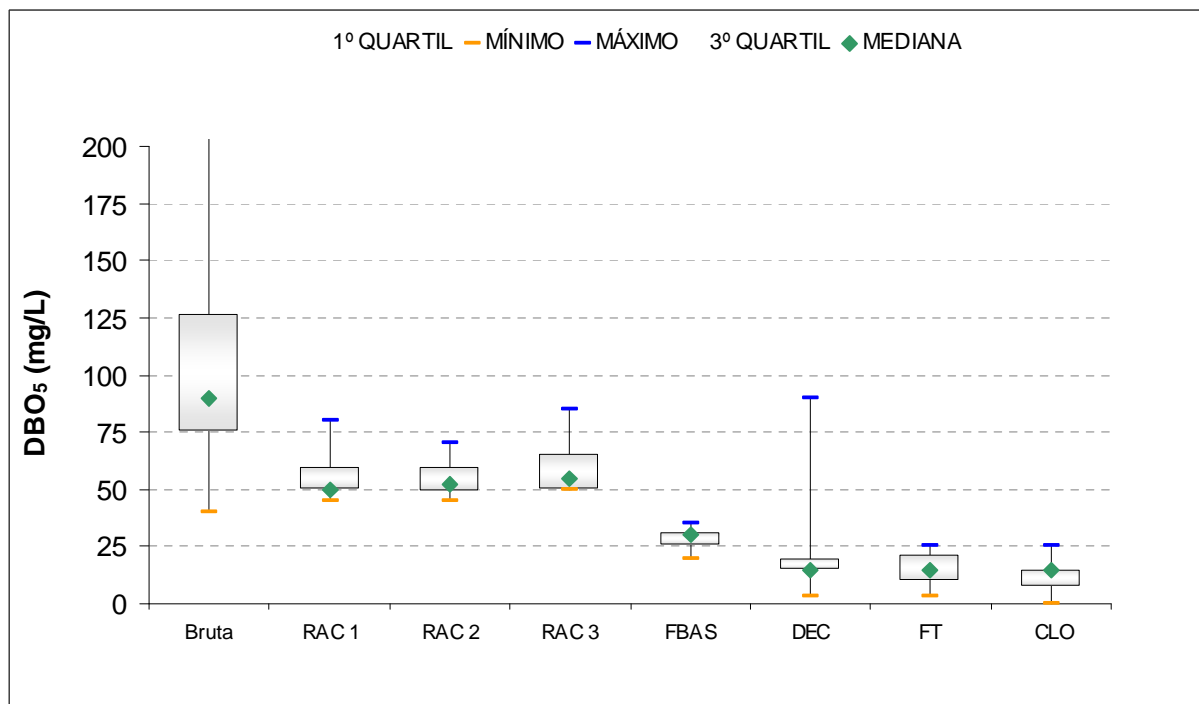


Figura 49: Remoção de DBO₅

Observa-se que a água cinza bruta apresentou grande variabilidade, tanto em termos de DQO quanto de DBO₅.

A etapa anaeróbia é de fundamental importância para a remoção da matéria orgânica biodegradável. O RAC apresentou eficiência de remoção de 59% para DQO e 45% para DBO₅. Nota-se que somente o RAC 1 foi eficiente na degradação de matéria orgânica, com remoções de 57% (DQO) e 42% (DBO₅). O segundo e terceiro compartimentos (RAC's 2 e 3) não apresentaram eficiência na remoção de matéria orgânica.

A ineficiência dos RAC's 2 e 3 ocorreu devido ao elevado tempo de detenção hidráulica (TDH) da água cinza no reator anaeróbio, que foi em média de 27,2 horas. No primeiro compartimento (RAC 1), o TDH foi em torno de 9 horas, provavelmente ocorrendo toda a remoção anaeróbia da matéria orgânica neste compartimento.

Elmitwalli *et al.* (2006), tratando água cinza em um reator UASB, encontraram uma eficiência de DQO em torno de 41%, com TDH de 12 h, valor inferior ao encontrado nesta pesquisa. Já Elmitwalli *et al.* (2007), também tratando água cinza em reator UASB, alcançaram remoção máxima de 64% de DQO, com TDH de 16 h, valor este já bem mais próximo ao encontrado nesta pesquisa.

A etapa aeróbia realizou o polimento do efluente anaeróbio, sendo muito importante na remoção da matéria orgânica remanescente da etapa anaeróbia. Esta etapa apresentou eficiência de 65% para DQO e 62% para DBO₅.

A ETAC apresentou remoção total de 91% para DQO e 89% para DBO₅, obtendo uma água de reúso com valores médios de 22 mg/L (DQO) e 12 mg/L (DBO₅).

Peters (2006), tratando água cinza em sistemas simplificados tipo dois-estágios, encontrou valores de DQO e DBO₅ na água de reúso de 71,7 mg/L e 31,8 mg/L, respectivamente. Estes valores foram maiores aos encontrados nesta pesquisa.

Gual *et al.* (2008), tratando água cinza por dupla filtração, alcançou valores de eficiência de 25% para DQO, valor bem abaixo ao obtido nesta pesquisa. Pidou *et al.* (2007), tratando água cinza por coagulação, obteve uma eficiência de remoção de 85% para DBO₅, também abaixo do obtido nesta pesquisa.

Paulo *et al.* (2007) e Gross *et al.* (2007), tratando água cinza em leito cultivado, obtiveram uma água de reúso com valores médios de DQO de 273 mg/L e 157 mg/L, respectivamente. Estes valores foram bem mais altos ao obtido nesta pesquisa.

Valores próximos aos encontrados nesta pesquisa, foram obtidos por Lesjean *et al.* (2006) e Merz *et al.* (2007), tratando água cinza com Biorreatores de Membrana (MRB), onde obtiveram uma água de reúso com valores de DQO de 24 mg/L e 15 mg/L, respectivamente.

Bazzarella (2005) também obteve valores próximos aos encontrados nesta pesquisa, com médias de 27 mg/L e 12 mg/L, para DQO e DBO₅, respectivamente.

A maior parte do material orgânico presente em águas residuárias é composto por proteínas, carboidratos e lipídios. Assim, nesta pesquisa, foram avaliados os teores de proteínas e carboidratos presentes ao longo do tratamento. Porém os pontos monitorados foram a água cinza bruta, o RAC 3 e o decantador. As Figura 50 e 51 apresentam os valores das concentrações de proteínas e carboidratos, respectivamente.

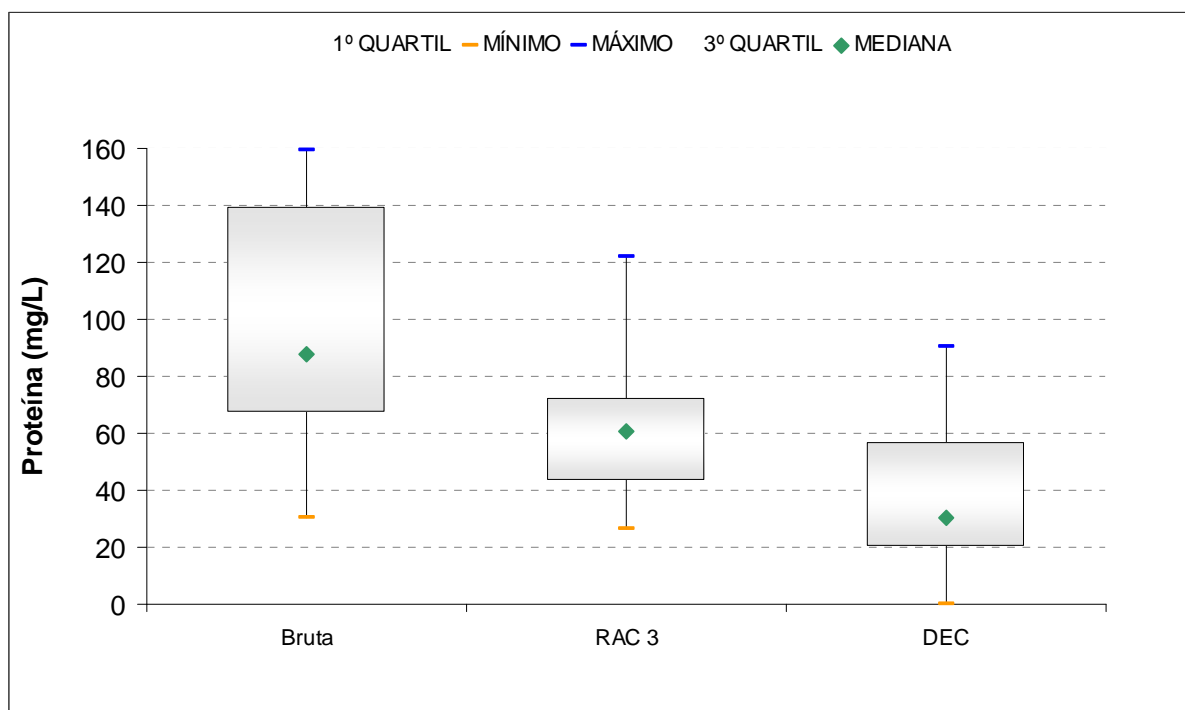


Figura 50: Remoção de Proteína

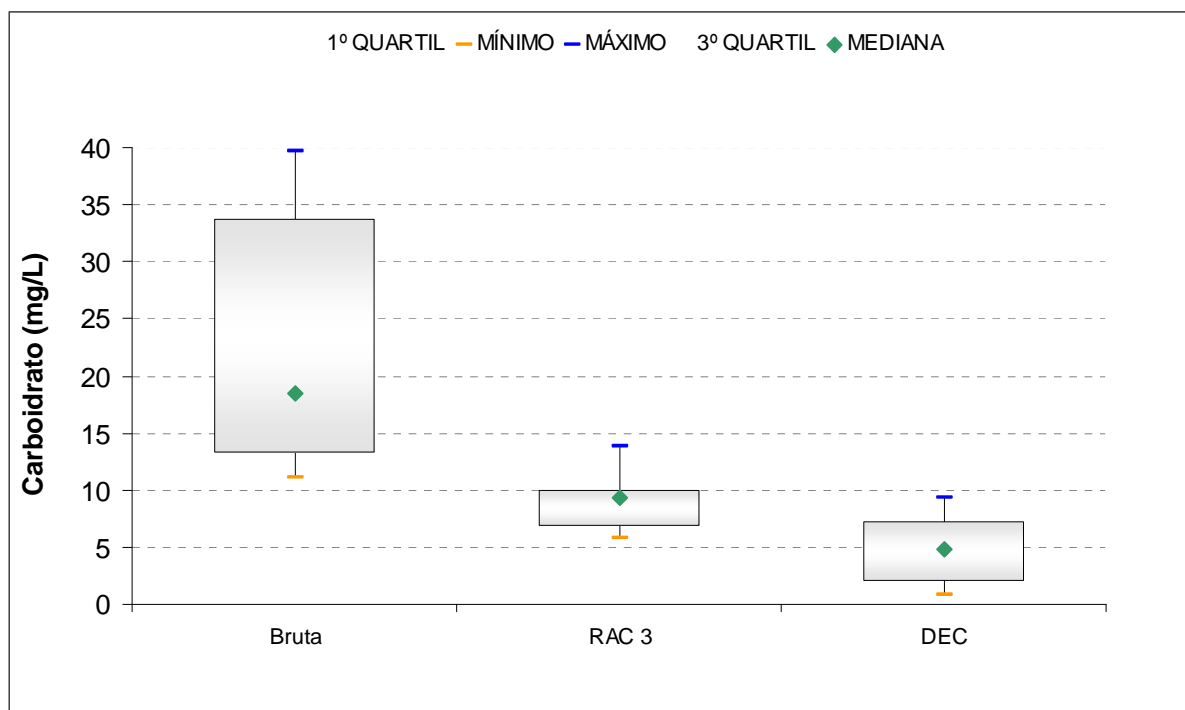


Figura 51: Remoção de Carboidrato

A água cinza bruta apresentou grande variação em relação a proteínas e carboidratos. A etapa anaeróbia foi mais eficaz na remoção de carboidratos, removendo em torno de 62%, enquanto que a etapa aeróbia removeu em torno de 47%.

Com relação às proteínas, a etapa aeróbia foi mais eficiente, com remoção de 40%, enquanto que a remoção na etapa anaeróbia foi de 34%.

Na Figura 52 podem ser visualizadas as concentrações médias de matéria orgânica presente na água cinza bruta. As análises de matéria orgânica específica indicaram que as proteínas constituem significativa porção da matéria orgânica presente na água cinza bruta. A contribuição específica de proteína e carboidrato foram de, respectivamente, 40% e 9,7% da DQO total. Os outros constituintes da DQO são os lipídios e outras substâncias não enquadradas dentro de proteína, lipídio e carboidrato.

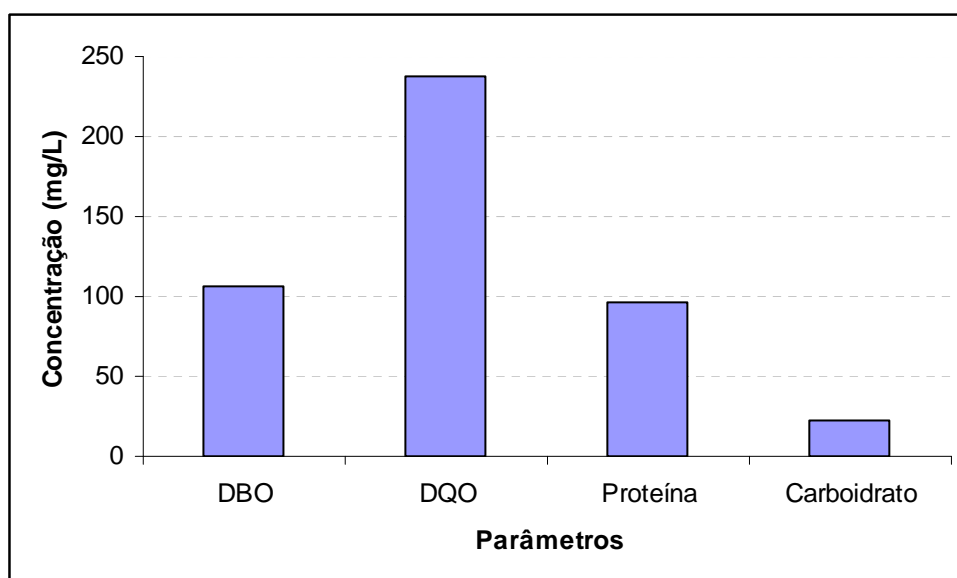


Figura 52: Concentrações médias de parâmetros de matéria orgânica na água cinza bruta

A Figura 53 apresenta os valores das concentrações de óleos e graxas na ETAC. Nota-se que os pontos monitorados foram: água cinza bruta, RAC 3, FBAS, DEC e CLO.

As principais fontes de O&G são os óleos e gorduras utilizados no preparo de alimentos, resíduos presentes no corpo e nas roupas, oriundo da transpiração humana.

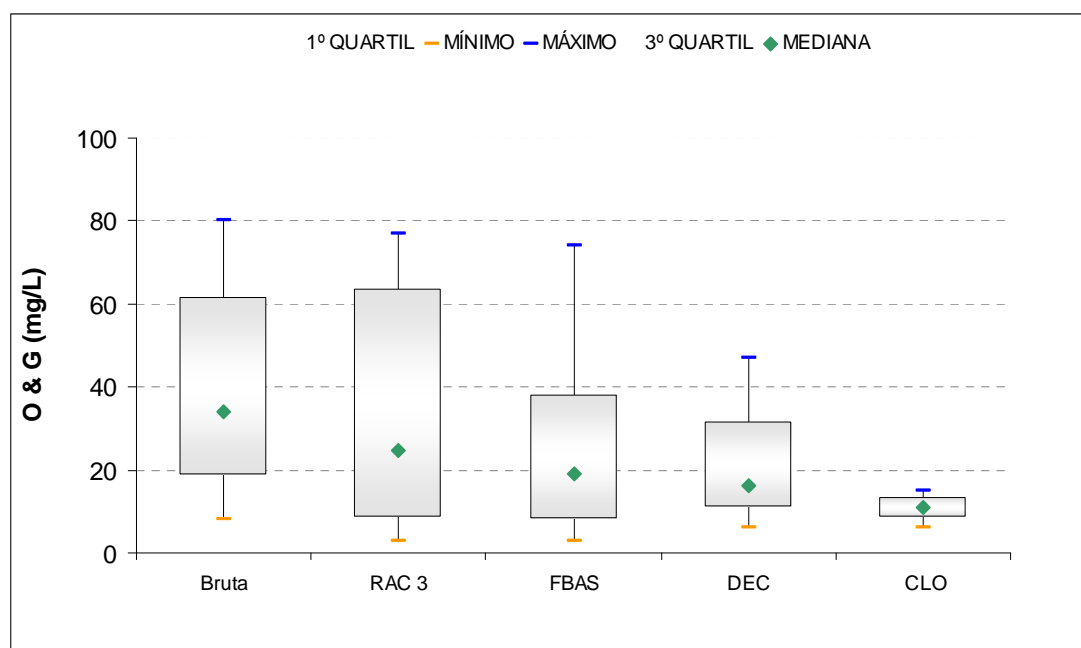


Figura 53: Remoção de Óleos e Graxas

Observa-se que a remoção de O&G foi mais intensa na etapa aeróbia do tratamento, com remoção de 48%.

Na etapa anaeróbia, esta remoção foi em torno de 12%, valor este abaixo do encontrado por Bazzarella (2005), que foi de 25%. A remoção total de O&G na presente investigação foi de 73%.

A água de reúso apresentou valores de O&G de 11 mg/L, valores bem altos comparados com os valores encontrados por Bazzarella (2005), que foram em média 0,9 mg/L. Porém a água cinza bruta pesquisada por Bazarrella (2005) apresentou concentração média de O&G de 8,5 mg/L, enquanto esta pesquisa encontrou valores médios de 39 mg/L.

Paulo *et al.* (2007), tratando água cinza em leitos cultivados alcançou remoção de 63%, valor abaixo do encontrado nesta pesquisa.

5.3.1.4 Remoção de microorganismos

As Figura 54 e 55 apresentam a remoção de Coliformes totais (CT) e *Escherichia Coli* (*E. coli*). Utilizou-se a densidade de *E. coli* como indicação de contaminação fecal e como indicação de eficiência de remoção de patógenos no processo de tratamento de água cinza.

A alta concentração de coliformes totais na AC bruta pode ser provocada por bactérias comuns da pele.

Observa-se que os tratamentos biológicos estudados não foram eficientes na remoção de Coliformes totais e *E. coli*, fato que já era esperado por serem sistemas de alta taxa. A cloração, também como esperado, foi fundamental para a remoção tanto de Coliformes totais quando de *E. Coli*.

A água de reúso apresentou valores médios de $3,3 \times 10^2$ NMP/100mL para coliforme total e < 1 NMP/100mL para *E. coli*. Bazzarella (2005), encontrou valores próximos para CT ($5,4 \times 10^2$ NMP/100mL) e *E. coli* ($3,17 \times 10^1$ NMP/100mL).

Observa-se que a água de reúso apresentou valores abaixo de 1 NMP/100mL em todas as amostras para *E. Coli*. A concentração de *E.coli* na água de reúso está dentro dos limites impostos por todos os padrões internacionais, assim como no Brasil, segundo a norma NBR 13.969/97.

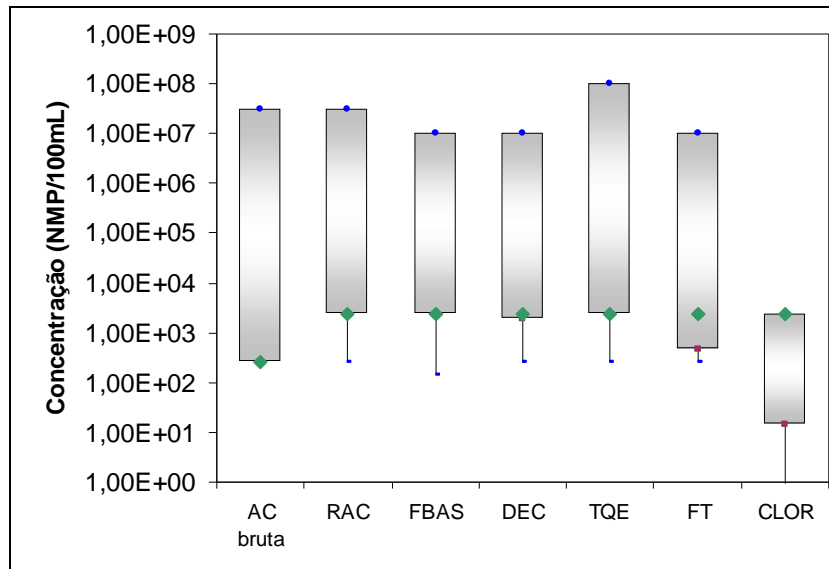


Figura 54: Remoção de Coliformes totais

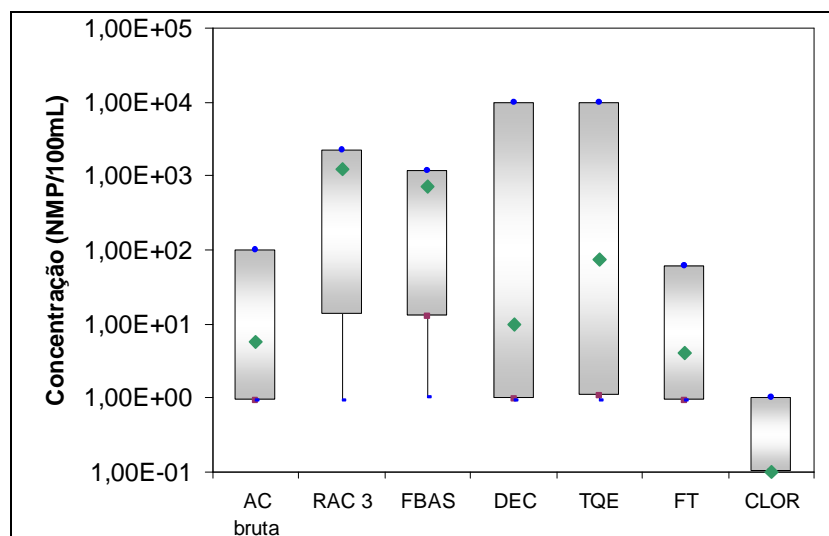


Figura 55: Remoção de *E. coli*

5.3.1.5 Compostos Nitrogenados

A Figura 56 mostra a evolução da concentração de NTK na ETAC.

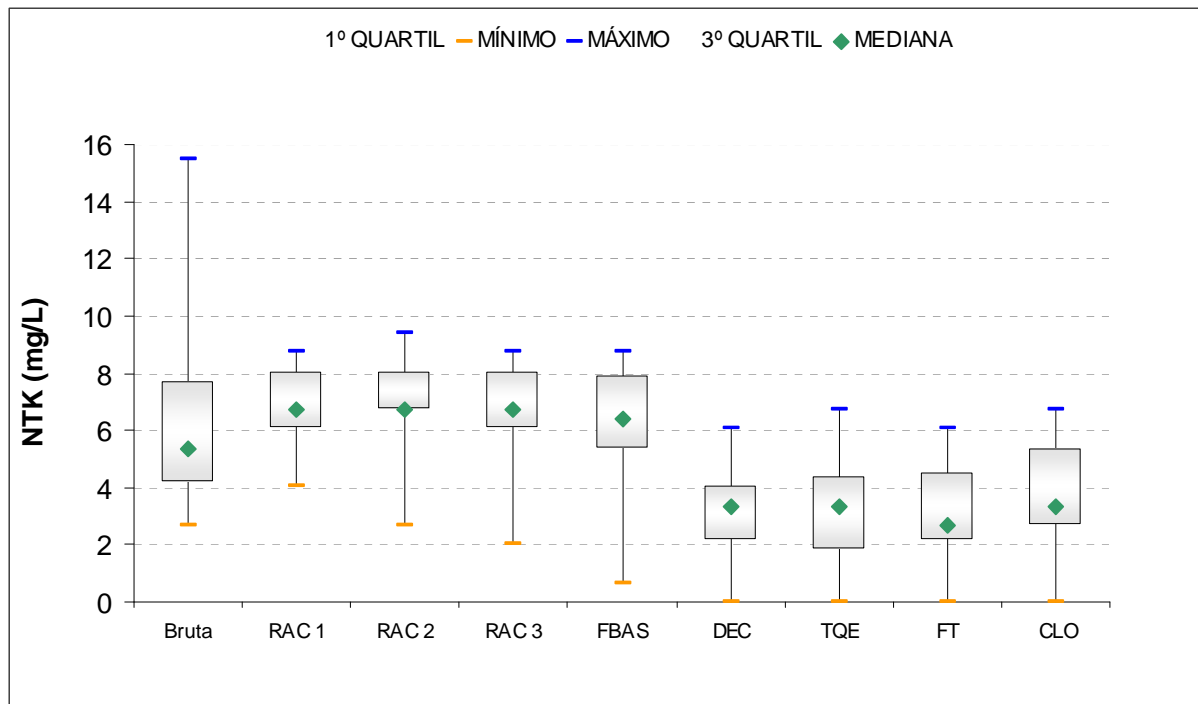


Figura 56: Evolução dos teores de NTK

Observa-se que as concentrações de NTK foram bem baixas durante todo o período da pesquisa. Estas concentrações são inferiores às de um esgoto fraco, com média de 20 mg/L, de acordo com Jordão e Pessoa (2005).

As concentrações de NTK são baixas na água cinza pois a principal fonte de nitrogênio no esgoto é a urina, que contribui com cerca de 80% do nitrogênio total presente no esgoto. O maior aporte de nitrogênio na água cinza é o efluente da cozinha, porém, como já foi dito anteriormente, este efluente é encaminhado para a rede de esgoto, no edifício, não fazendo parte, portanto da água cinza bruta produzida no edifício. Provavelmente, as concentrações de nitrogênio presentes são as provenientes das pessoas que têm o costume de urinar durante o banho.

A concentração de NTK permanece estável ao longo dos tratamentos biológicos, reduzindo significativamente na etapa de decantação. A concentração de NTK na água de reúso foi em média de 3,6 mg/L.

A Figura 57 apresenta a evolução dos teores de Nitrogênio Amoniacal na ETAC.

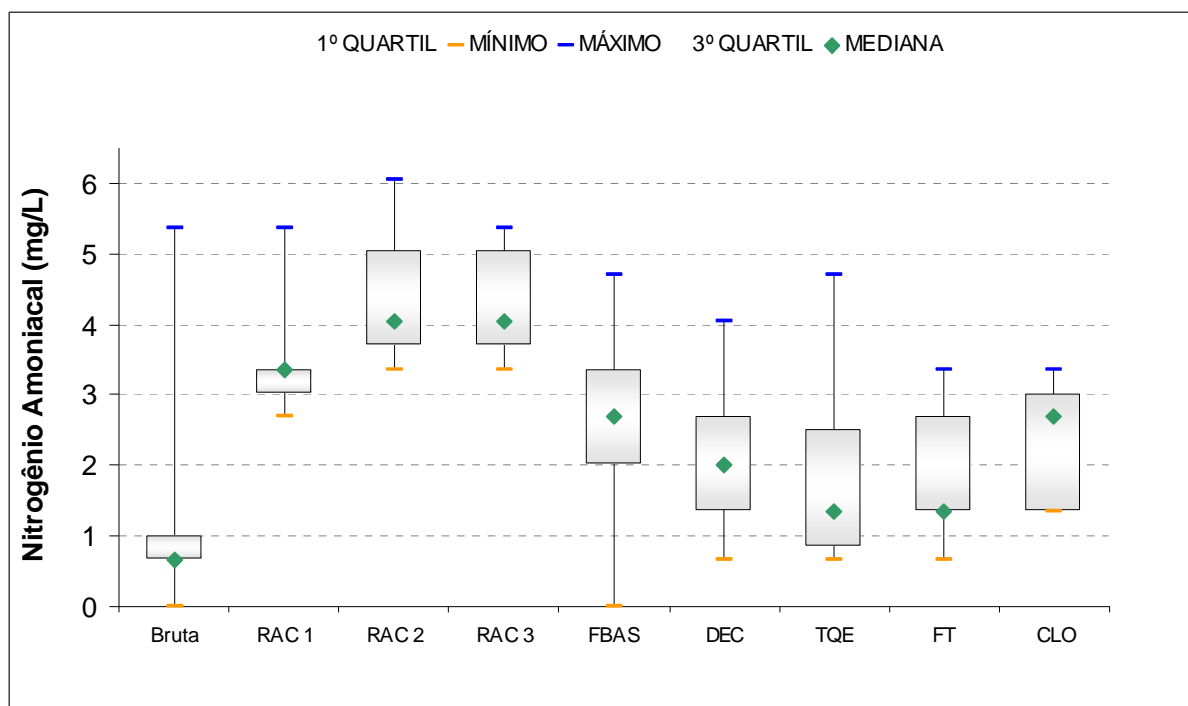


Figura 57: Evolução dos teores de Nitrogênio Amoniacal

Na digestão anaeróbia, o nitrogênio orgânico é convertido para a forma amoniacal, processo denominado de amonificação. Isto pode ser bem visualizado no gráfico *Box plot*, onde observa-se que os níveis de Nitrogênio Amoniacal aumentam na etapa anaeróbia do tratamento.

Os níveis de Nitrogênio Amoniacal decaem na etapa aeróbia devido à nitrificação e assimilação. A água de reúso apresentou concentração média de Nitrogênio Amoniacal de 2,3 mg/L.

As Figura 58 e 59 apresentam, respectivamente, a evolução das concentrações de Nitrato e Nitrito, durante o tratamento.

Observa-se que as concentrações de nitrato e nitrito são bem baixas na etapa anaeróbia do tratamento, porém elas aumentam após a etapa aeróbia. Como citado anteriormente, isto ocorre devido à nitrificação, onde a amônia, na presença de oxigênio, é convertida a nitrito (produto intermediário) e depois a nitrato.

As concentrações de nitrato e nitrito na água de reúso foram, em média, 0,07 mg/L e 0,08 mg/L, respectivamente.

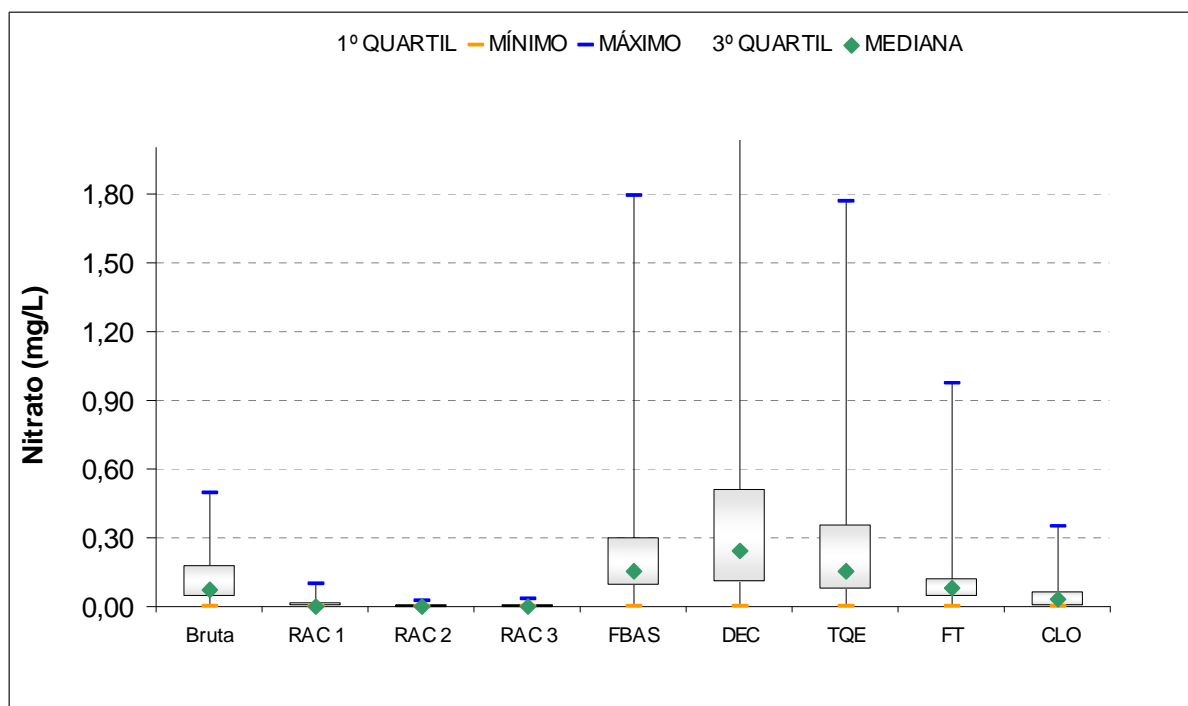


Figura 58: Evolução nos teores de Nitrato

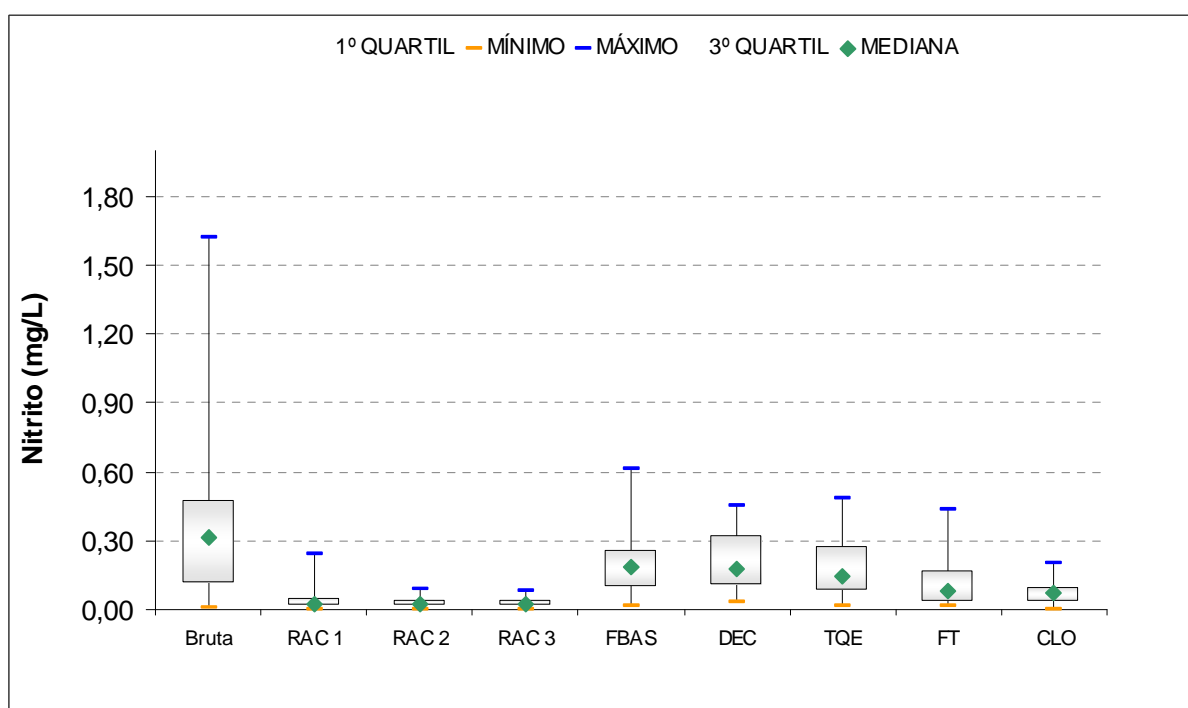


Figura 59: Evolução nos teores de Nitrito

5.3.1.6 Compostos Fosforados

As Figuras 60 e 61 apresentam, respectivamente, a evolução nos teores de Fósforo Total e Orto-fosfato, durante o tratamento.

A principal fonte de fósforo na água cinza são os detergentes e os sabões contendo fosfato.

Nota-se, que a concentração de fósforo total é bem variável na água cinza bruta. Porém, como mostra o gráfico Box Plot, os resultados possuem uma distribuição simétrica, com variabilidade constante entre a mediana e os quartis. Em média, a água cinza bruta apresentou concentração de fósforo total de 2,87 mg/L, valor inferior ao de um esgoto fraco, que é em torno de 5 mg/L, de acordo com Jordão e Pessoa (2005). Contudo, a água cinza bruta apresentou picos de concentração de fósforo total, chegando a concentrações em torno de 10 mg/L, semelhante ao esgoto sanitário com características médias.

De maneira geral, os teores de Fósforo Total e Orto-fosfato não apresentaram uma redução significativa ao longo do tratamento.

As concentrações de Fósforo Total e Orto-fosfato, na água de reúso foram em média de 2,7 mg/L e 2,2 mg/L, respectivamente.

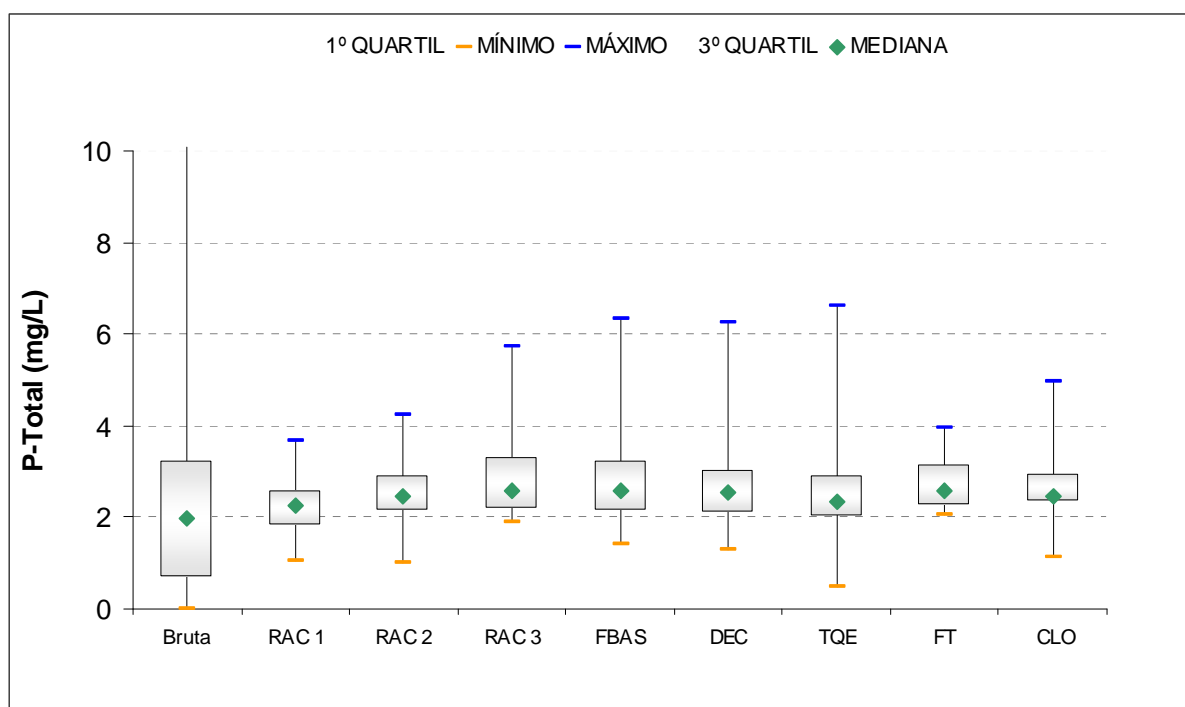


Figura 60: Evolução nos teores de Fósforo Total

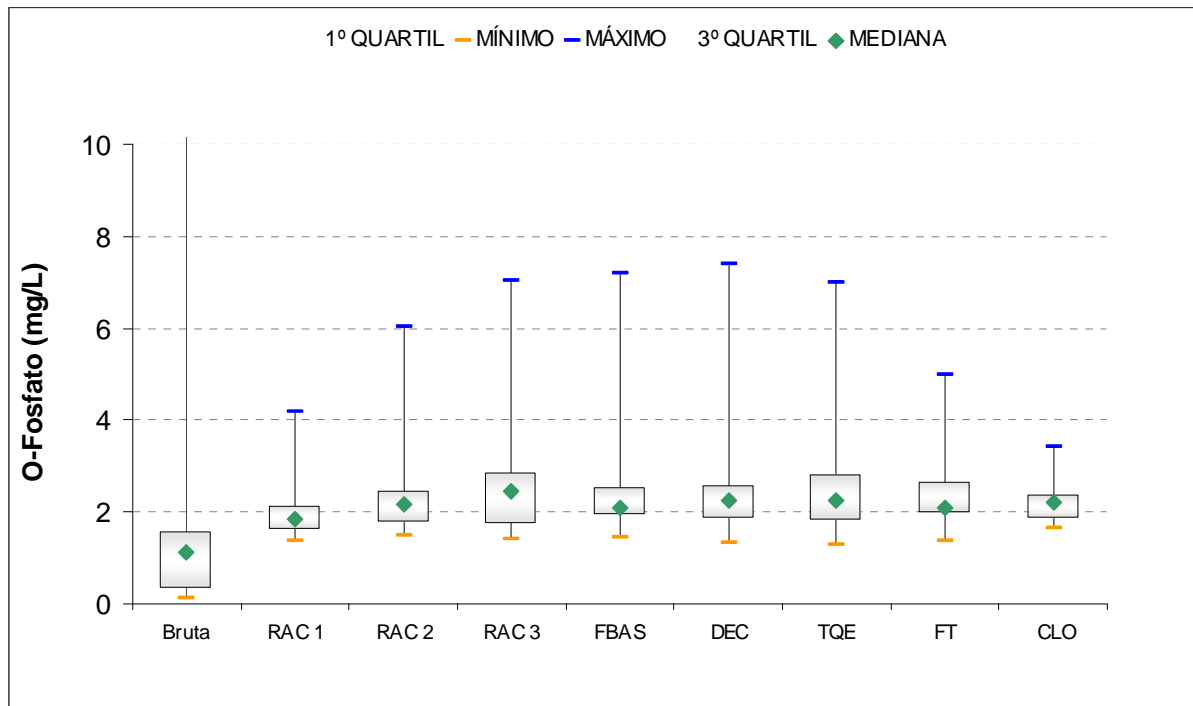


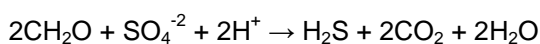
Figura 61: Evolução nos teores de Orto-fosfato

5.3.1.7 Sulfato e Sulfeto

O sulfato presente na água cinza é proveniente de sabões e detergentes. As Figuras 62 e 63 mostram, respectivamente, a evolução nos teores de sulfato e sulfeto na ETAC.

Observa-se que as concentrações de sulfato são reduzidas na etapa anaeróbia, enquanto os níveis de sulfeto são aumentados. Em condições anaeróbias, os sulfatos são reduzidos a sulfetos através do processo biológico de redução de sulfato, e os sulfetos podem se combinar com o hidrogênio, formando o sulfeto de hidrogênio ou gás sulfídrico (H_2S).

O processo de redução global do sulfato, pode ser representado pela Equação 4, onde CH_2O representa um composto orgânico.



Equação 4

O odor característico dos sistemas anaeróbios, proveniente do gás sulfídrico (H_2S), foi detectado nas amostras coletadas neste reator. Porém, como a estação é coberta, este odor não causou transtornos aos usuários do prédio.

Na presença de oxigênio, o sulfeto é oxidado a sulfato, fato observado no aumento das concentrações de sulfato após o tratamento aeróbio. O tratamento fez com que as concentrações de sulfeto fossem reduzidas e as de sulfato aumentadas, promovendo, desta forma, a desodorização do efluente anaeróbio.

Nas demais etapas de tratamento, as concentrações tanto de sulfato quanto de sulfeto não sofreram alteração significativa.

As concentrações de sulfato e sulfeto na água de reúso foram, em média, de 66 mg/L e 1,6 mg/L, respectivamente.

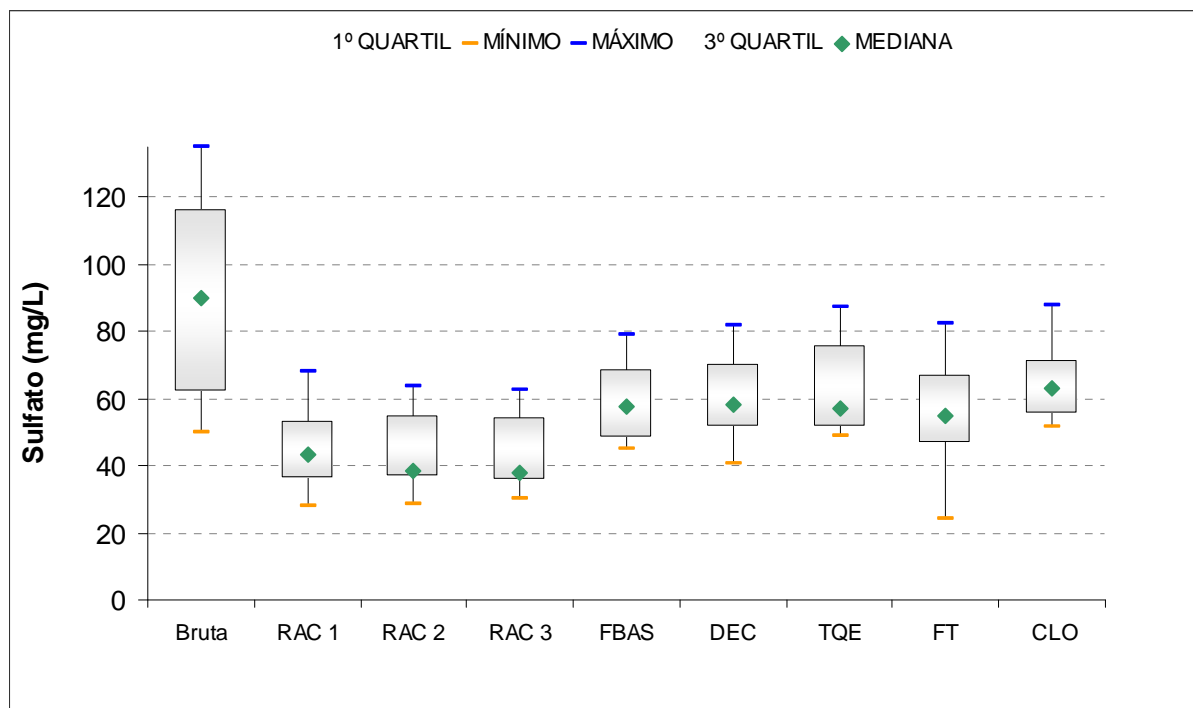


Figura 62: Evolução nos Teores de Sulfato

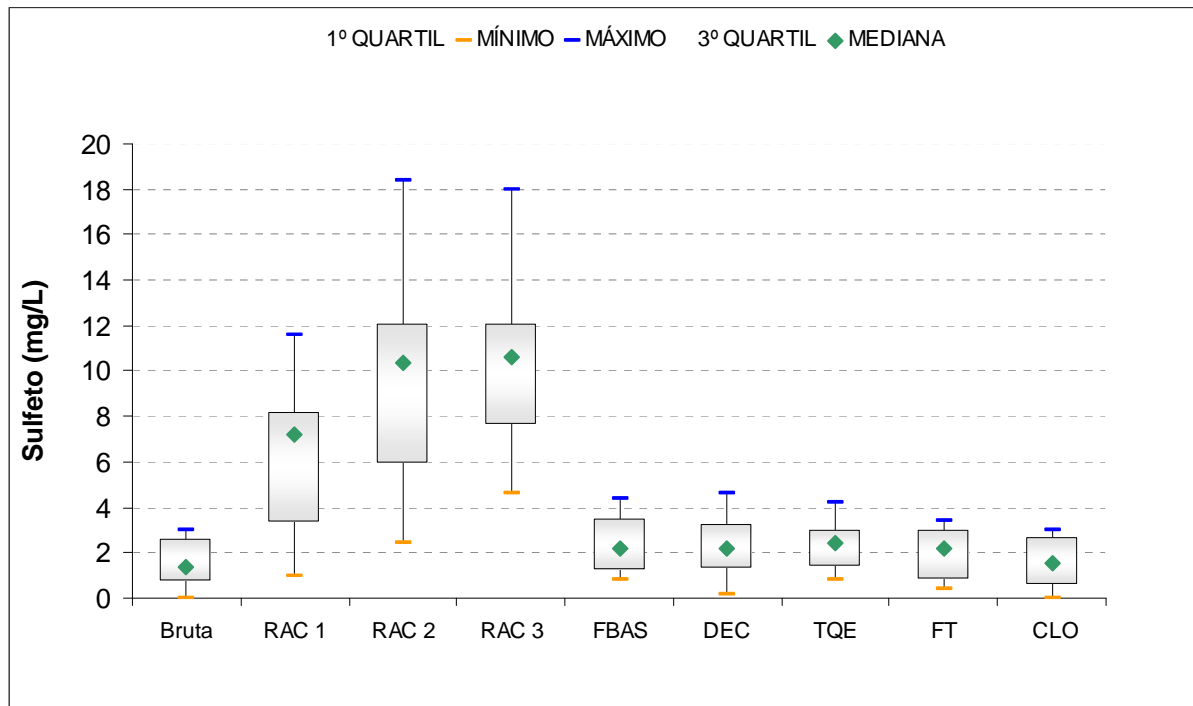


Figura 63: Evolução nos teores de Sulfeto

5.3.1.8 Alcalinidade

A evolução nos teores de alcalinidade está apresentado na Figura 64. A alcalinidade é um parâmetro muito importante quando se pretende tratar a água cinza pela via de digestão anaeróbia, visto que uma redução do pH pode afetar os microrganismos responsáveis pela depuração.

Observa-se que a água cinza bruta apresenta grande variação nos valores de alcalinidade. Na etapa anaeróbia, a alcalinidade é levemente aumentada, diminuindo na etapa aeróbia.

O valor médio de alcalinidade, na água de reúso, foi de 69 mg/LCaCO₃.

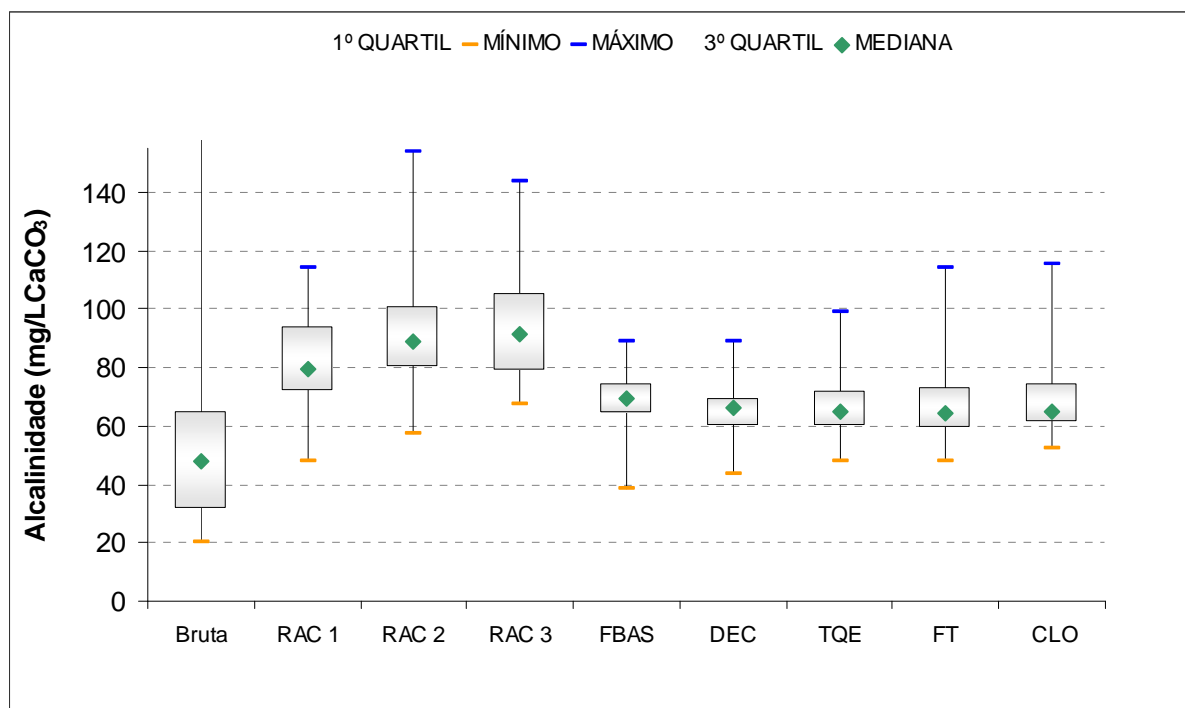


Figura 64: Evolução nos teores de Alcalinidade

5.3.1.9 Considerações finais do desempenho de cada etapa do tratamento

A Tabela 22 apresenta um resumo das eficiências de cada etapa do tratamento.

Tabela 22: Resumo das eficiências de cada etapa do tratamento

Parâmetros	Anaeróbio	Aeróbio	Terciário
Cor	54%	40%	35%
Turbidez	36%	55%	56%
SSed	78%	49%	76%
SST	58%	49%	14%
DBO ₅	45%	62%	24%
DQO	59%	65%	30%
O&G	11%	48%	-

Observa-se que o tratamento anaeróbio foi de fundamental importância na remoção das cargas iniciais presentes na água cinza. Destaca-se a grande eficiência na remoção de cor, SSed, DBO₅ e DQO, removendo grande parte dos sólidos e matéria orgânica sem praticamente nenhum aporte energético ou meio suporte.

O tratamento aeróbio atuou complementando a remoção de matéria orgânica remanescente da etapa anaeróbia. O DEC foi de extrema importância na remoção de sólidos provenientes do FBAS, os quais fariam diminuir a qualidade do efluente.

As eficiências de remoção de SSed e SST foram altas na etapa aeróbia, fazendo esta ser fundamental após o tratamento anaeróbio.

No tratamento terciário, o FT atuou complementando a remoção de sólidos provenientes do DEC, destacando-se a remoção de SSed e cor. A etapa de Cloração removeu a cor e turbidez remanescentes do tratamento. O cloro atuou como agente oxidante na remoção da matéria orgânica remanescente proveniente do filtro terciário.

A Tabela 23 apresenta uma comparação da eficiência total do tratamento combinado anaeróbio-aeróbio, seguido de desinfecção, realizados nesta pesquisa e na pesquisa realizada por Bazzarella (2005).

Tabela 23: Comparação de eficiência da ETAC

Parâmetros	Eficiência Total ETAC Esta pesquisa	Eficiência Total ETAC Bazzarella (2005)
Cor	82%	98%
Turbidez	89%	98%
SST	82%	80%
DBO ₅	89%	99%
DQO	91%	97%

Nota-se uma maior eficiência nos resultados obtidos por Bazzarella (2005), para quase todos os parâmetros, excluindo o parâmetro SST.

5.3.1.10 Atendimento aos limites e padrões

A Tabela 24 apresenta os valores médios obtidos, durante todo o monitoramento, para a água de reúso.

Tabela 24: Valores médios obtidos na água de reúso

Parâmetros	N	Média	Mediana	Máx	Mín	DP	CV
pH	72	7,15	7,11	8,97	6,50	0,32	0,04
Turbidez (NTU)	69	8	7	21	2	5	0,65
Cor (UC)	33	15	14	45	0	13	0,83
SSD (mL/L)	30	0,01	0,00	0,05	0,00	0,02	1,69
SST (mg/L)	22	14	8	69	0	18	1,26
DQO (mg/L)	19	22	22	37	1	9	0,40
DBO ₅ (mg/L)	11	12	15	25	0	7	0,60
Alcalinidade (mg/LCaCO ₃)	23	69	65	115	52	13	0,19
O & G (mg/L)	7	11	11	15	6	3	0
NTK (mg/L)	9	3,6	3,36	6,72	0,00	2,28	0,64
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	7	2,30	2,69	3,36	1,34	0,94	0,41
Nitrato (mg/L)	8	0,07	0,04	0,35	0,00	0,12	1,61
Nitrito (mg/L)	10	0,08	0,08	0,20	0,00	0,06	0,75
P-Total (mg/L)	15	2,6	2,45	4,97	1,12	0,88	0,33
O-fosfato (mg/L)	13	2,2	2,20	3,41	1,64	0,53	0,24
Sulfato (mg/L)	6	66	63	88	51	14	0,21
Sulfeto (mg/L)	8	1,6	1,50	3,00	0,00	1,14	0,73
Coliformes Totais (NMP/100mL)	20	3,29x10 ² *	2,42x10 ³	2,42x10 ³	9x10 ¹	1,13x10 ³	-

*Média geométrica

Para visualizar o aspecto da água após tratamento, a Figura 65 apresenta a água de reúso na bacia sanitária de um dos banheiros do edifício. Nota-se uma água bastante clarificada, não havendo indícios de partículas sólidas nem cor. Alguns moradores demoraram a perceber que o sistema de reúso estava funcionando, o que foi uma ótima constatação, visto que a aparência era próxima da água fornecida pela companhia de abastecimento.



Figura 65: Água de reúso na bacia sanitária

Foi realizada uma análise da frequência de atendimento aos padrões (mais e menos restritivos), na água de reúso, conforme Figura 66. A análise foi feita em termos de porcentagem para os parâmetros Turbidez, SST, DQO e DBO_5 , seguindo os padrões brasileiros e internacionais apresentados no tópico 3.4.4 da Revisão Bibliográfica.

Desta forma, observa-se que 65% das amostras de água de reúso atendem aos padrões menos restritivos para turbidez, enquanto que 1% atendem aos padrões mais restritivos.

Em relação aos SST, 86% das amostras atendem aos padrões menos restritivos e 36% atendem aos padrões mais restritivos.

Somente os padrões japoneses estabelecem limites para a DQO, sendo este limite de 30 mg/L. Este valor é alcançado em 89% das amostras de água de reúso.

Por fim, as amostras atendem em 100% para o padrão menos restritivo de DBO_5 e 18% para o padrão mais restritivo.

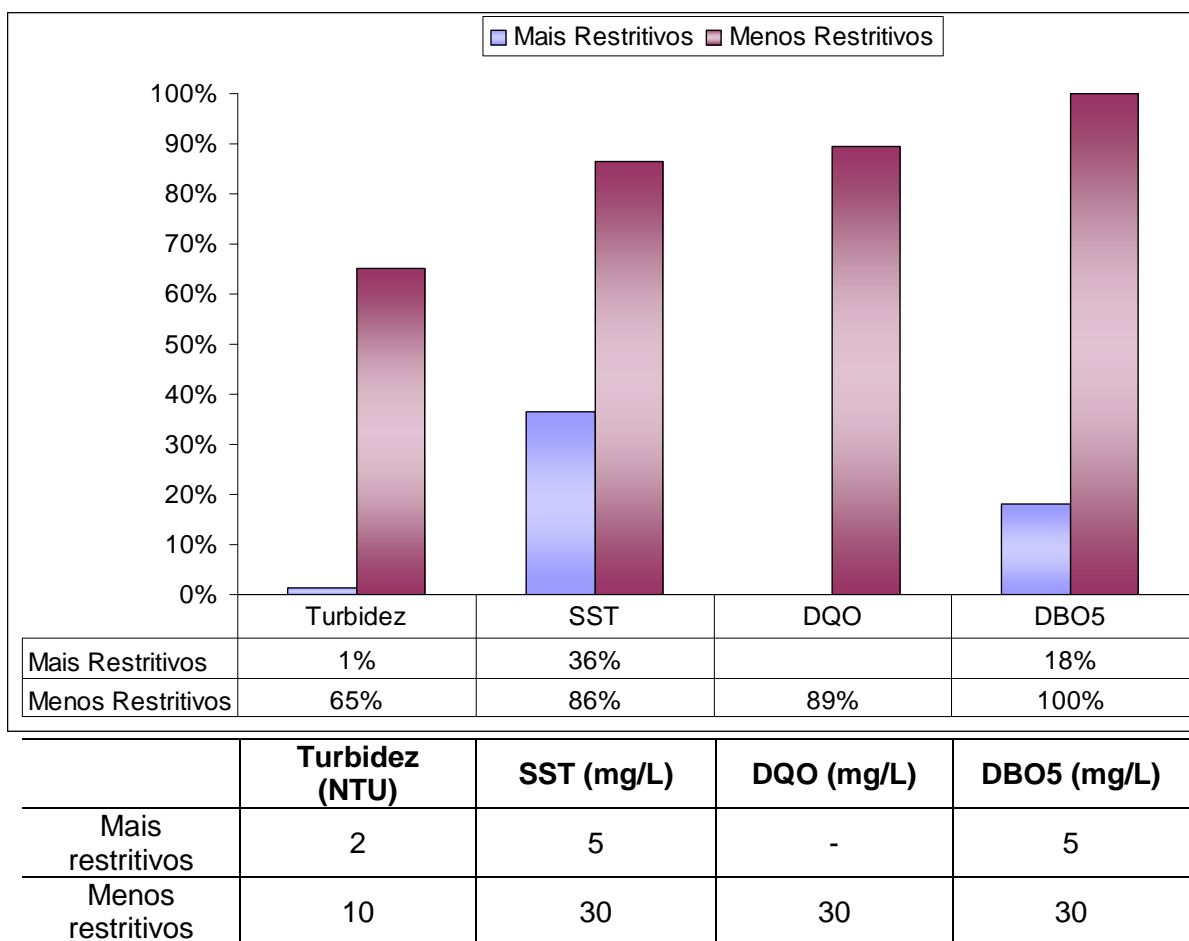


Figura 66: Porcentagem de atendimento aos padrões mais e menos restritivos na água de reúso

5.3.2 Avaliação do comportamento da ETAC ao longo de 24 horas

Neste item discute-se o desempenho da ETAC ao longo de três perfis de 24 horas. Os parâmetros avaliados foram: pH, OD, turbidez, DQO, SST e Cloro residual. A intenção foi analisar o comportamento da ETAC, avaliando sua estabilidade, em relação às horas do dia.

A Figura 67 apresenta a média de valores de pH obtidos. Observa-se que a água cinza bruta tem grande variação ao longo do dia, sendo que um pico bem acentuado ocorre no horário de 12 h, com um valor de pH de 9,13.

Verifica-se também que o pH diminui após o tratamento anaeróbio, sendo que os valores após tratamento aeróbio e decantação sofrem ligeira queda. Os valores de pH na água de reúso são bastante estáveis ao longo do dia, ficando numa faixa entre 6,8 e 7,2, indicando uma boa capacidade de tamponamento.

Podem ser visualizadas algumas falhas no monitoramento do ponto FT, que ocorreram porque, em alguns horários, não havia água cinza suficiente no FT para a realização da coleta.

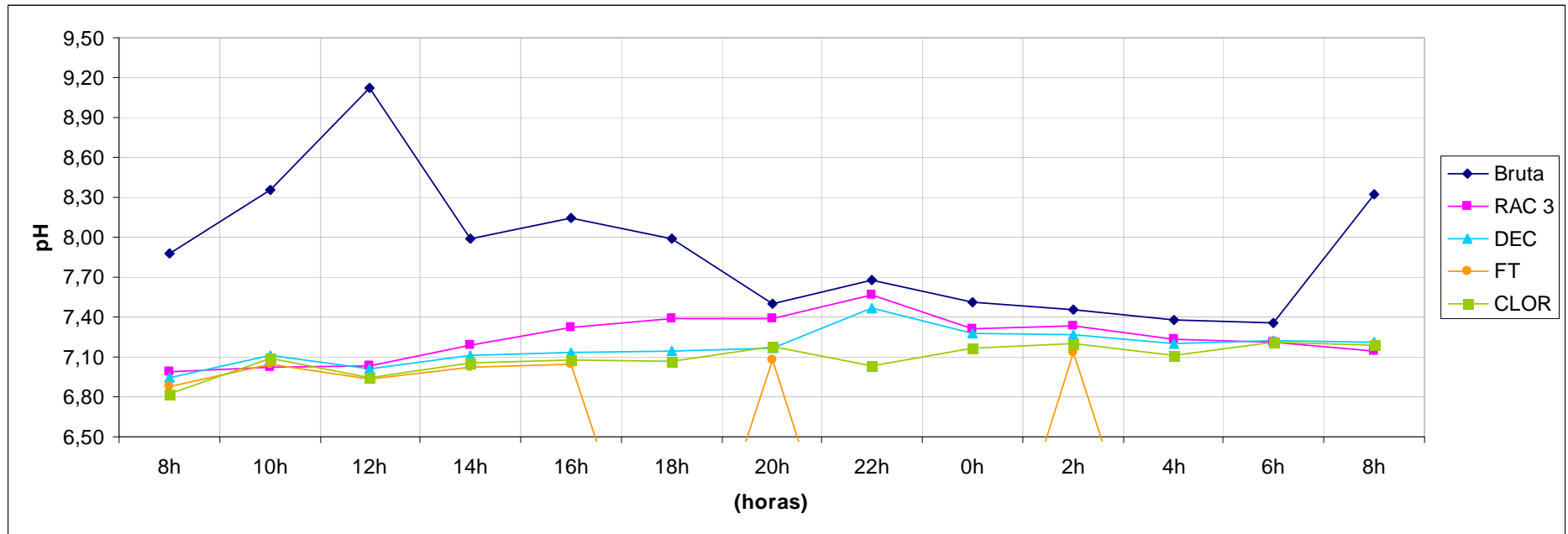


Figura 67: Variação de pH ao longo de 24 h nas diferentes etapas do tratamento

A Figura 68 mostra o comportamento do OD. A água cinza bruta também apresenta bastante variação neste parâmetro, com pico de 12 mg/L no horário de 12 h. No tratamento anaeróbio, o OD é praticamente nulo, com pequenas variações que não ultrapassam 0,5 mg/L.

Na etapa aeróbia, o OD encontrava-se sempre na faixa de 2-4 mg/L, o que mostra que estava em concentração adequada ao processo aeróbio.

Os valores de OD na água de reúso foram também estáveis, ficando na faixa entre 1,5 e 4,9 mg/L.

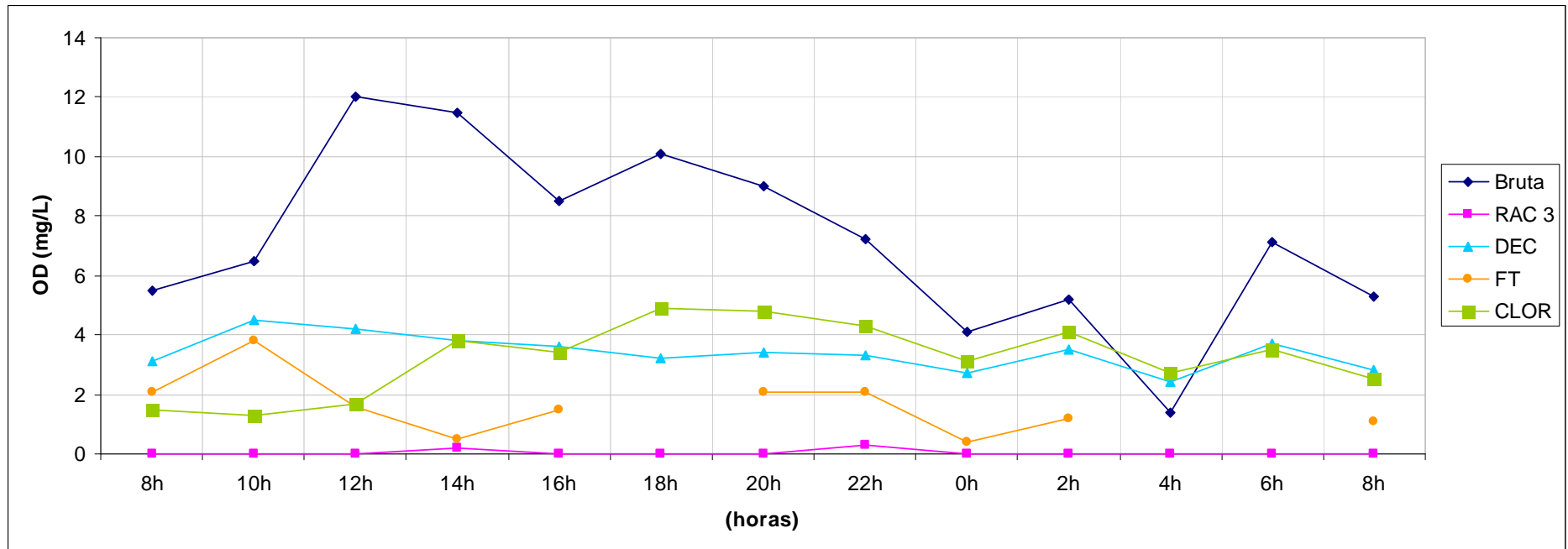


Figura 68: Variação de OD ao longo de 24 h nas diferentes etapas do tratamento

A variação da Turbidez ao longo de 24h nas diferentes etapas do tratamento é mostrada na Figura 69. Novamente, a água cinza bruta é bastante variável durante o dia, sendo o pico também no horário de 12 h, em que a turbidez chega a 95 NTU.

Os menores valores de turbidez são observados na madrugada, entre 2 h e 4 h, horários em que a geração de água cinza também é menor.

A etapa anaeróbia reduz significativamente a turbidez, além desta já se encontrar significativamente estável, não apresentando picos durante o dia para as demais etapas de tratamento.

A turbidez na etapa de decantação não sofre queda significativa em relação à etapa anaeróbia. Nos horários de 12 h, 14 h e 16 h, alguns valores de turbidez permaneceram ligeiramente acima dos valores a etapa anaeróbia.

Nota-se também que a etapa de Filtração Terciária é bastante eficaz, reduzindo a turbidez remanescente do decantador.

Os valores de Turbidez na água de reúso permaneceram constantes, não ultrapassando o valor de 10 NTU.

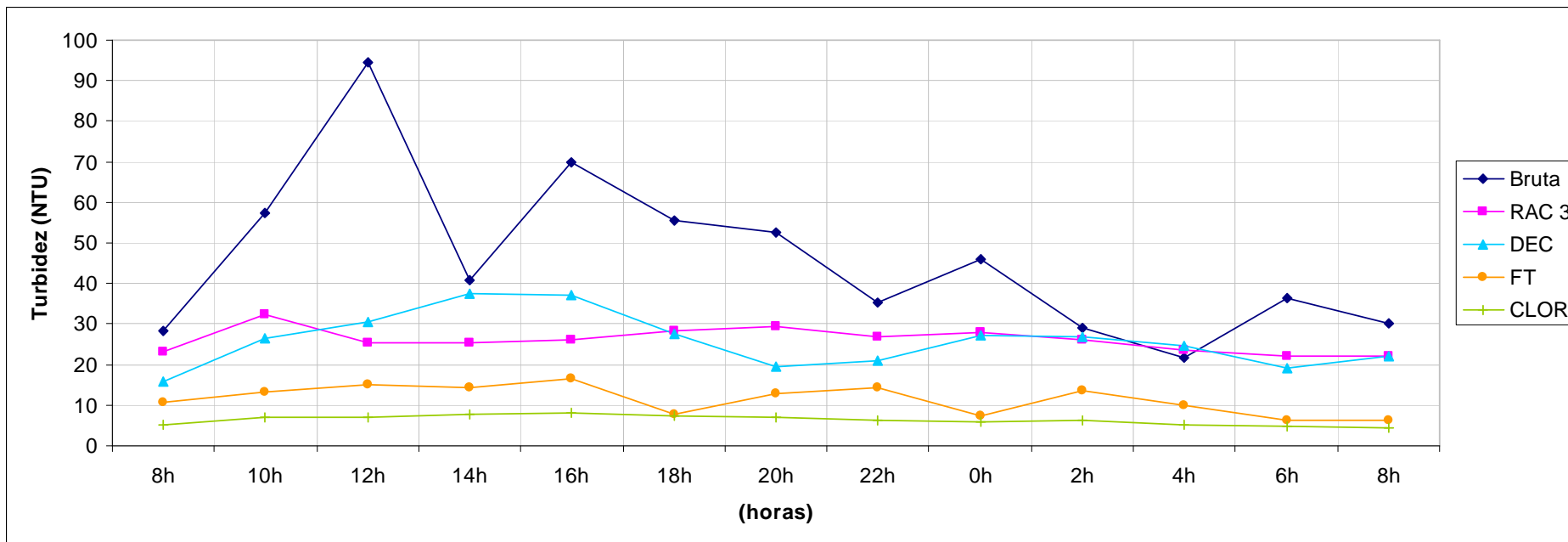


Figura 69: Variação da Turbidez ao longo de 24 h nas diferentes etapas do tratamento

A Figura 70 apresenta o perfil de DQO. A água cinza bruta mostra-se bastante variável ao longo do dia, sendo que os picos encontram-se nos horários de 12 h, 16 h e 8 h, com valores de 337 mg/L, 269 mg/L e 195 mg/L, respectivamente.

A etapa anaeróbia já reduz significativamente a carga de DQO, apresentando comportamento estável, com picos nos horários de 18 h e 20 h.

A etapa aeróbia amortece ainda mais a carga orgânica do efluente vindo da etapa anaeróbia, permanecendo bem estável ao longo do dia, sem picos nem vales.

O comportamento da DQO no FT e CLOR é semelhante, com um vale acentuado no horário de 0 h.

A ETAC mostra-se bastante eficiente no amortecimento da carga orgânica, sendo que a água de reúso apresenta valores inferiores à 50 mg/L ao longo do dia.

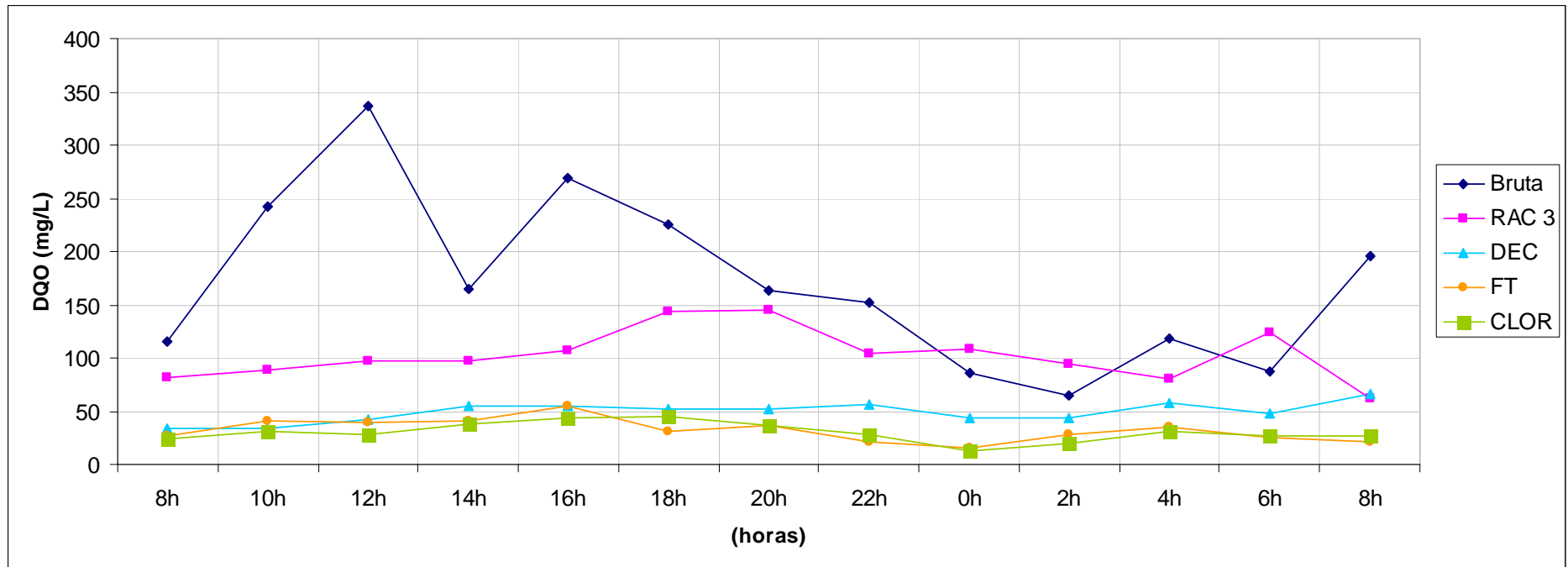


Figura 70: Variação de DQO ao longo de 24 h nas diferentes etapas do tratamento

A Figura 71 mostra o comportamento dos Sólidos Suspensos Totais. Os SST apresentam grande variação durante as 24 h para as águas cinza, após RAC 3 e DEC.

O RAC 3 apresenta um pico no horário de 8 h e um vale acentuado no horário de 0 h.

O Decantador e o Filtro terciário são importantes para a remoção dos sólidos provenientes dos tratamentos biológicos.

A concentração de SST na água de reúso é estável ao longo das 24 h, apresentando picos nos horários de 18 h e 6 h.

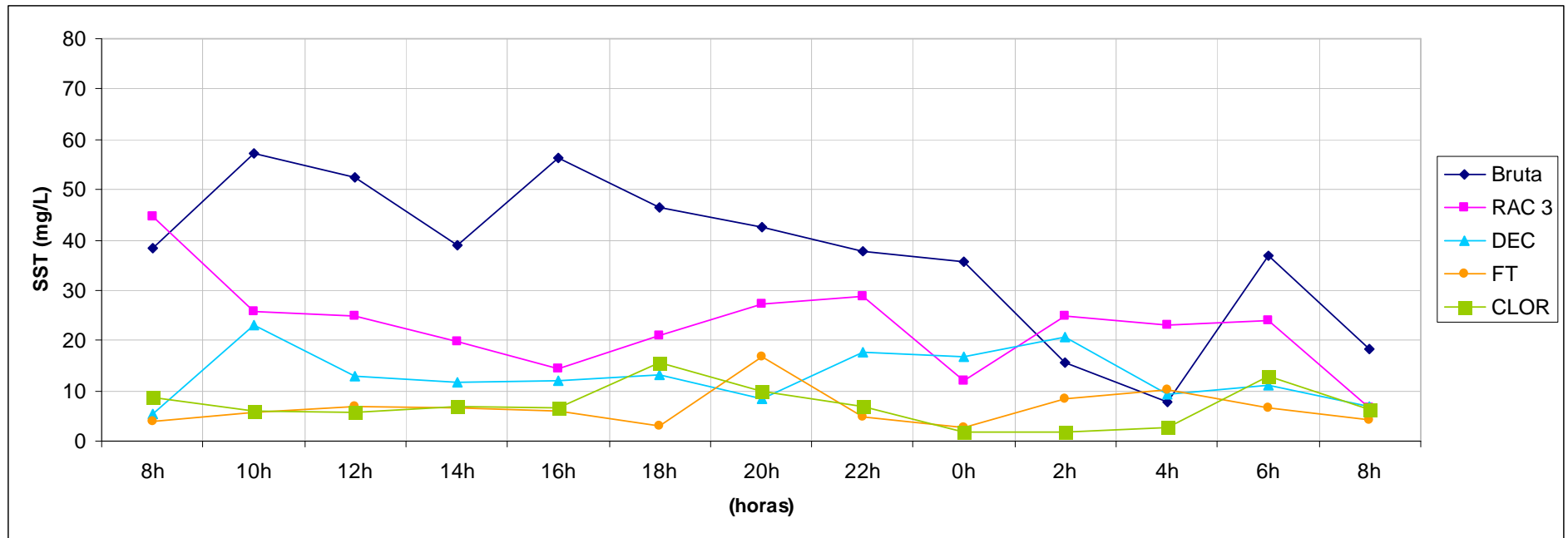


Figura 71: Variação de Sólidos Suspensos Totais ao longo de 24 h nas diferentes etapas do tratamento

A concentração de cloro residual na água de reúso permaneceu constante ao longo das 24 h, sendo esta concentração de 0,5 mg/L. O manual elaborado pela FIESP (2005), recomenda para água de reúso, a detecção de cloro residual em todo o sistema de distribuição, devendo sua concentração ser igual ou superior a 0,5 mg/L, para se evitar a recontaminação da água de reúso.

5.3.2.1 Considerações finais do comportamento da ETAC ao longo de 24 h

Analisando os parâmetros monitorados observa-se que a água cinza bruta mostra-se bastante variável ao longo das 24 h.

Nota-se ainda que os parâmetros pH, OD, Turbidez e DQO apresentam picos no horário de 12 h, o que coincide com o horário de maior pico de produção de água cinza, já mostrados no perfil de 24 horas de produção de água cinza (Tópico 5.2.2). Possivelmente, neste horário, ocorrem descargas de máquinas de lavar roupa e aumentam o número de banhos realizados nos apartamentos, fazendo com que a vazão e as cargas aumentem.

Observa-se também as concentrações dos parâmetros tendem a diminuir nos horários de madrugada, onde também se observam as menores produções de água cinza.

Como um todo, a ETAC mostra-se eficiente no amortecimento das cargas, fazendo com que a água de reúso tenha um comportamento estável, para todos os parâmetros, ao longo das 24 h.

5.4 Avaliação das características do Lodo gerado na ETAC

A caracterização dos lodos gerados na ETAC iniciou-se em junho de 2008. Foram realizadas nove coletas de lodo durante o monitoramento da ETAC. O pH médio do lodo gerado no RAC 1, RAC 2, RAC 3, DEC e TQE foi de 7,9; 7,4; 7,1; 7,2 e 7,2, respectivamente.

A Tabela 25 ilustra as características do lodo gerados na ETAC, em relação aos Sólidos Totais.

Tabela 25: Sólidos Totais no lodo produzido na ETAC

Lodo	ST (mg/L)	ST (%)
Rac 1	3991	0,40
Rac 2	3368	0,34
Rac 3	1013	0,10
Dec	1526	0,15
TQE	1713	0,17

O lodo gerado em todos os pontos monitorados se caracteriza como um lodo fluido, cuja umidade é alta, sendo que o lodo do primeiro compartimento do reator anaeróbio (RAC 1) é o que apresenta a maior concentração de sólidos totais. Os lodos provenientes do Decantador e Tanque de equalização apresentaram-se mais fluidos que os anaeróbios do primeiro e segundo compartimentos, com teores de sólidos de 0,15% e 0,17%, respectivamente.

A Tabela 26 apresenta a relação SV/ST nos lodos. A relação entre os sólidos voláteis e os sólidos totais dá uma boa indicação da fração orgânica dos sólidos do lodo, bem como do nível de digestão do lodo. Em lodos não digeridos, a relação entre sólidos voláteis e sólidos totais é entre 0,75 e 0,80, ao passo que em lodos digeridos estes valores situam-se entre 0,60 e 0,65.

Tabela 26: Relação Sólidos Voláteis X Sólidos Totais no lodo

Lodo	SV/ST (%)
Rac 1	0,60
Rac 2	0,62
Rac 3	0,49
Dec	0,71
TQE	0,76

A relação SV/ST do lodo do primeiro e segundo compartimentos do reator anaeróbio (RAC's 1 e 2) apresentaram valores em torno de 0,60, que caracteriza lodo digerido e com uma concentração maior de matéria orgânica, em relação aos demais pontos monitorados. Os lodos coletados no Decantador e Tanque de equalização apresentaram-se como lodos não digeridos, todavia eles retornam ao início do tratamento onde são digeridos no próprio RAC.

6. Conclusões

Com relação à quantificação da produção de água cinza e do consumo de água de reúso:

- A produção de água cinza foi em média $13660 \pm 6033 \text{ L.dia}^{-1}$, enquanto o consumo de água de reúso foi, em média $4327 \pm 1150 \text{ L.dia}^{-1}$.
- Apenas 32% da água cinza produzida foi reutilizada, enquanto que o restante foi direcionada para a rede de esgoto.
- O maior consumo de água de reúso acontece nas descargas das bacias sanitárias dos apartamentos (83%), seguido da área comum (12%) e por fim a área de lazer (5%).
- A média *per capita* de produção de água cinza foi de $195 \pm 86 \text{ L.hab}^{-1}.\text{dia}^{-1}$, enquanto a média *per capita* de consumo de água de reúso foi de $52 \pm 14 \text{ L.hab}^{-1}.\text{dia}^{-1}$.
- No perfil 24h pode concluir que a produção de água cinza é bastante elevada na parte da manhã, com picos nos horários de 12-14 h e 14-16 h.
- Durante o período avaliado (229 dias), a quantidade de água potável economizada devido ao consumo de água de reúso foi de 990 m^3 .

Com relação à avaliação do desempenho da ETAC:

- O tratamento anaeróbio foi de fundamental importância na remoção das cargas iniciais presentes na água cinza. Destaca-se a grande eficiência na remoção de cor, SSD, DBO_5 e DQO, removendo grande parte dos sólidos e matéria orgânica sem praticamente nenhum aporte energético.

-
- Os RACs 2 e 3 (segundo e terceiro compartimento do reator anaeróbio) não apresentaram eficiência na remoção de matéria orgânica, devido ao TDH no RAC 1, em torno de 9 h.
 - O tratamento aeróbio atuou complementando a remoção de matéria orgânica remanescente da etapa anaeróbia. A concentração de sólidos aumentou significativamente no FBAS, devido, principalmente, ao desprendimento da biomassa no meio suporte, fato observado na coleta da amostra neste ponto. O tratamento aeróbio fez com que as concentrações de sulfeto fossem reduzidas, fazendo com que o efluente proveniente do FBAS fosse isento de odor. O DEC foi de extrema importância na amortização de sólidos provenientes do FBAS. As eficiências de remoção de SSD e SST foram altas, fazendo desta etapa uma etapa fundamental após o FBAS.
 - O FT atuou complementando a remoção de sólidos provenientes do DEC. A remoção de SSed e cor aparente foi alta nesta etapa.
 - A etapa de Cloração removeu a cor e turbidez remanescente do tratamento. O cloro atuou como agente oxidante na remoção da matéria orgânica remanescente proveniente do filtro terciário. Também foi de extrema eficiência na remoção de Coliformes totais e *E. Coli*, sendo que a concentração de *E. coli* na água de reúso foi inferior à 1 NMP/100mL em todas as amostras.
 - Com relação à frequência de atendimento aos padrões de reúso em descarga de bacia sanitária, a maioria dos parâmetros atendem aos limites menos restritivos de reúso para a água de reúso.
 - O desempenho da ETAC ao longo de 24 h mostrou que a água cinza bruta mostra-se bastante variável neste intervalo de tempo. Conclui-se também que a ETAC mostra-se eficiente no amortecimento das cargas, fazendo com que a água de reúso tenha um comportamento estável, para todos os parâmetros, ao longo das 24 h.
-

Com relação à avaliação das características do lodo gerado na ETAC:

- O lodos gerados no reator anaeróbio, no decantador e no tanque de equalização se caracterizam como um lodos fluidos.
 - A relação SV/ST do lodo do primeiro e segundo compartimentos do reator anaeróbio (RAC's 1 e 2) apresentaram valores em torno de 0,60, que caracteriza lodo digerido e com uma concentração maior de matéria orgânica, em relação aos demais pontos monitorados.
 - Os lodos coletados no Decantador e Tanque de equalização apresentaram-se como lodos não digeridos, todavia eles retornam ao início do tratamento onde são digeridos no próprio RAC.
-

7.Recomendações

- Quantificar a produção de biogás produzido pelo reator anaeróbio, bem como avaliar a composição do mesmo, em termos de sulfeto e metano;
 - Realizar teste de atividade metanogênica (AME) nos diferentes reatores anaeróbios ao longo de um tempo de operação do sistema.
 - Avaliar se há formação de organoclorados, como por exemplo, os trihalometanos, em virtude da desinfecção à base de cloro;
 - Testar outros tipos de processo de desinfecção, como por exemplo a desinfecção UV;
 - Estudar o consumo de energia do sistema de reúso de águas cinzas;
 - Estudar a viabilidade econômica da implantação do sistema de reúso;
-

8.Referências Bibliográficas

AL-JAYYOUSI, O. Greywater reuse: towards sustainable water management. **Desalination**. V.156, p. 181-192, 2003.

ANDERSON, J. Prospect for international guidelines for water recycling. **Water** **21**. p. 16-21, ago. 2001

ANDERSON, J.; M. Integrating recycled water into urban water supply solutions. **Desalination**. V.187, p. 1-9, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. Tanques sépticos – unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – projeto, construção e operação: NBR 13.969. Rio de Janeiro, 1997.

AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th Edition. American Public Health Association, American Water Works Association and Water Environment Federation, 1998

BAZZARELLA, B.; B. **Caracterização e aproveitamento de água cinza para uso não potável em edificações**. 2005. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2005.

BIGIO, M.; COUZEMENCO, F. Vidas Secas, **Século Diário**, Outubro 2002. Disponível em www.seculodiario.com.

BORGES, L.; G. **Caracterização da água cinza para promoção da sustentabilidade dos recursos hídricos**. 2003. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de recursos Hídricos e Ambiental. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.

BUCHARLES, L. G. E.; SILVA, S. M. C. P. Avaliação do consumo de água potável em um empreendimento habitacional: estudo de caso em Londrina / PR. In: 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2007.

CAMPOS, J.; R. (coordenador) Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo. PROSAB- Edital 1, 1999.

CARR, R.; M., BLUMENTHAL, U.J., MARA, D.D., 2004. Guidelines for the safe use of wastewater in agriculture: revisiting WHO guidelines. **Water Science**. Technol. 50 (2), 31–38.

CASSINI, S.; T. (coordenador) **Digestão de resíduos sólidos orgânicos e aproveitamento do biogás**. PROSAB – Edital 3, 2003.

CHERNICHARO, C.; A.; L. (coordenador) **Pós tratamento de efluentes de reatores anaeróbios**. PROSAB – Edital 2, 2001.

CHRISTOVA-BOAL, D.; EDEN, R. E.; MACFARLANE, S. An investigation into greywater reuse for urban residential properties. **Desalination**. V.106, n. 1-3, p. 391-397, 1996.

DALLAS S.; SCHEFFEC B.; HO G. Reedbeds for greywater treatment—case study in Santa Elena-Monteverde, Costa Rica, Central America. **Ecological Engineering**. n. 23. p. 55-61, 2004.

DEL PORTO, D., STEINFELD, C. The Composting Toilet System Book. The Center for Ecological Pollution Prevention (CEPP), Concord, MA. 1999.

ELMITWALLI, T. A., SHALABI, M., WENDLAND, C., OTTERPOHL, R. Grey water treatment in UASB reactor at ambient temperature. In: Proceeding of Seventh IWA Specialised Conference on Small Water and Wastewater Systems to be held in Merida, Mexico, from March 7–10, 2006.

ELMITWALLI T. A.; OTTERPOHL R. Anaerobic biodegradability and treatment of grey water in upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor. **Water Research**. n. 41. p. 1379-1387, 2007.

EPA (US) -. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Guidelines for water reuse**. EPA 625-R-04-108. Office of Water, Washington, DC, 2004.

ERIKSSON, E.; AUFFARTH, K.; MOGENS, H. LEDIN, A. Characteristics of grey wastewater. **Urban Water**. v. 4, n.1, p. 58-104, 2002.

FALKENBERG, A.; V. **Previsão de consumo urbano de água em curto prazo**. 2005. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Métodos Numéricos em Engenharia. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

FIESP. Manual de Conservação e reúso de água em edificações. São Paulo, Pro editora gráfica, 2005.

FIORI, S. **Avaliação qualitativa e quantitativa do potencial de reúso de água cinza em edifícios residenciais multifamiliares**. 2005. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia. Faculdade de Engenharia e Arquitetura da Universidade de Passo Fundo.

FOSTER, K.E; DeCOOK, K.J Impacts of residential waterreuse in the Tucson area. **Water Resour. Bull** 22, 753-757, 1996

FRIEDLER, E.; ILAN, K.; DOSORETZ, C. G.; Chlorination and coagulation as pretreatments for greywater desalination. **Desalination**. n.222, p.38-49, 2008.

FRIEDLER, E.; HADARI, M.; Economic feasibility of on-site greywater reuse in multi-storey buildings **Desalination**. n.190, p.221-234, 2006.

GANROT, Z. **Urine processing for efficient nutrient recovery and reuse in agriculture**. Göteborg: Göteborg University, 2005. 170 p. Thesis for the degree of Doctor of Philosophy.

GILBOA, Y.; FRIEDLER, E. UV disinfection of RBC-treated light greywater effluent: Kinetics, survival and regrowth of selected microorganisms. **Water Research**. n. 42, p 1043-1050, 2007.

- GODDARD, M. Urban greywater reuse at the D'LUX Development. **Desalination**. n.188, p.135-140, 2006.
- GONÇALVES, R. F.; ARAÚJO, V. L.; CHERNICHARO, C. A. L. **Tratamento secundário de esgoto sanitário através da associação em série de reatores UASB e biofiltros aerados submersos**. In: Proceedings of 19th Brazilian Congress on Sanitary and Environmental Engineering, Foz do Iguaçu, Brazil, 1997.
- GONÇALVES, R. F. (coordenador) **Desinfecção de efluentes sanitários**. Rio de Janeiro: ABES, Rima, 2003. 438p.
- GONÇALVES, R. F. (coordenador) **Uso racional da água em edificações**. PROSAB – Edital 4, 2006.
- GONÇALVES, R. F. Plano de integração – Rede 5. **Programa de Pesquisa em Saneamento Básico**, Edital 4 (PROSAB 4), 2004. 12p.
- GONÇALVES, R. F.; SILVA, G. M.; WANKE, R. **Relatório técnico: Memorial descritivo e de dimensionamento do sistema de reúso de águas cinzas do Hotel Comfort Suítes de Macaé-RJ**. Fluir Engenharia Ambiental Ltda, 2004. 20p.
- GREGORY, J. D., LUGG, R., SANDERS, B. Revision of the national reclaimed water guidelines. **Desalination**. v. 106, n. 1-3, p. 263-268, 1996.
- GREYWATER. What is it...how to treat it... how to use it. Disponível em: <<http://www.greywater.com/>>. Acesso em: jan. 2008.
- GROSS A., KAPLAN D., BAKER K. Removal of chemical and microbiological contaminants from domestic greywater using a recycled vertical flow bioreactor (RVFB). **Ecological Engineering** n. 31; p. 107–114, 2007.
- GUAL, M.; MOIÀ, A.; MARCH, J. G.; Monitoring of an indoor pilot plant for osmosis rejection and greywater reuse to flush toilets in a hotel. **Desalination**. n.219, p.81-88, 2008.
-

GUERRERO, A.; ORON, G.; RONEN, Z.; GROSS, A.; Disinfection of greywater with hydrogen peroxide based compound – A new green agent. **Protection 2006**. conferência, Jul. 2006.

GÜNTER, F. Wastewater treatment by greywater separation: Outline for a biologically based greywater purification plant in Sweden. **Ecological Engineering**. v. 15, n. 1-2, p. 139-146, 2000.

HALALSHEH, M.; DALAHMEH, S.; SAYED, M.; SULEIMAN, W.; SHAREEF, M.; MANSOUR, M.; SAFI, M. Grey water characteristics and treatment options for rural areas in Jordan. **Bioresource Technology**. n.99, p.6635-6641, 2008.

HESPANHOL, I. Potencial de reúso de água no Brasil: agricultura, indústria, municípios, recarga de aquíferos. Disponível em <www.aguabolivia.org>. Acesso em: jan 2008.

HO, G., DALLAS, S., ANDA, M., MATHEW, K. On-site wastewater technologies in Australia. **Water Science Technology** .n. 44, p. 81–88, 2001.

INGHAM, A. **Residential Graywater Management in California**, California State Water Resources Control Board, 1980

JEFFERSON, B.; LAINE, A.; PARSONS, S.; STEPHERSON, T.; JUDD, S. Technologies for domestic wastewater recycling. **Urban Water**. v. 1, n. 4, p. 285-292, 1999.

JORDÃO, E. P.; PESSOA, C. A. **Tratamento de Esgoto Doméstico**. 4 ed. Rio de Janeiro: Segrac, 2005.

KAYAALP, N. M. Regulatory framework in South Australia and reclaimed water reuse options and possibilities. **Desalination**. v. 106. n. 1-3, p. 317-322, 1996.

KIM, R.H.; LEE, S.; JEONG, J.; LEE, J.H.; Reuse of greywater and rainwater using fiber filter media and metal membrane. **Desalination**. n.202, p.326-332, 2007.

- KISHINO, H. ISHIDA, H. IWABU, H. NAKANO, Domestic wastewater reuse using a submerged membrane bioreactor. **Desalination**. v. 106, n. 1-3, p. 115-119, 1996.
- LAMINE M., BOUSSELMI L., GHRABI A. Biological treatment of grey water using sequencing batch reactor. **Desalination** 215, 127–132, 2007.
- LANGERGRABER, G.; MUELLEGGER, E. 2005) Ecological Sanitation - a way to solve global sanitation problems?. **Environment International**. v. 31, n. 3, p. 433-444, 2005.
- LARSEN, T. A.; PETERS, I.; ALDER, A.; EGGEN, R.; MAUREN, M.; MUNCKE, J. Re-engineering the toilet for sustainable wastewater management. **Environmental science technologies**, Suíça, v. 35, n. 9, p. 192-197, 2001.
- LAZAROVA, V. HILLS, S. BIRKS, R. Using recycled water for non-potable, urban uses: a review with particular reference to toilet flushing. **Water Science and Technology**. v. 3, n. 4, p. 69-77, 2003.
- LESJEAN B.; GNIRSS R. Grey water treatment with a membrane bioreactor operated at low SRT and low HRT. **Desalination**. n. 199. p. 432-434, 2006.
- LU. W., LEUNG, A. Y. T. A preliminary study on potential of developing shower/laundry wastewater reclamation and reuse system. **Chemosphere**. v. 52. p. 1451-1459. 2003.
- MARCH, J.; GUAL, M.; OROZCO, F. Experiences on greywater re-use for toilet flushing in a hotel (Mallorca Island, Spain). . **Desalination**. n. 164. p. 241-247, 2004.
- MELLO, A.; C.; S.; P.; BARBOSA, M.; C.; T.; NASCIMENTO, E.; S. Programa de uso racional da água. In: 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2007.
- MERZ C.; SCHEUMANN R.; HAMOURI B. E.; KRAUME M. Membrane bioreactor technology for the treatment of greywater from a sports and leisure club. **Desalination**. n. 215. p. 37-43, 2007.
-

METCALF & EDDY **Wasterwater Engineering** – Treatment and Reuse. 4ª ed. New York: Mc Graw Hill, 2003.

MIELI, J. C. de A. Reúso de água domiciliar. 126 f. Dissertação (mestrado em engenharia civil). Universidade Federal Fluminense (UFF), 2001.

NETO M. L. F.; NAGHETTINI M.; SPERLING, M.; LIBÂNIO M. Avaliação da relevância dos parâmetros intervenientes no consumo per capita de água para os municípios de Minas Gerais. *ABES*, v. 9, n. 2, p. 100-107, 2004.

NGHIEM L. D.; OSCHMANN N.; SCHÄFER A. I. Fouling in greywater recycling by direct ultrafiltration. **Desalination**. n. 187. p. 283-290, 2006.

NOLDE, E. Greywater reuse systems for toilet flushing in multi-story buildings – over ten years experience in Berlin. **Urban Water**. v. 1, n. 4, p. 275-284, 1999.

NSW HEALTH. Greywater reuse in Sewered single domestic premises, Sidney, 2002. Disponível em: <http://www.health.nsw.gov.au/publichealth/ehb/general/wastewater/greywater_policy.pdf>. Acesso em: jan 2008.

ORNELAS, P. **Reúso de água em edifícios públicos: o caso da escola politécnica**. 2004. Dissertação (mestrado profissional em gerenciamento e tecnologias ambientais no processo produtivo) – Departamento de engenharia ambiental, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2004.

OTTERPOHL, R. Black, brown, yellow, grey- the new colors of sanitation. **Water 21**. p. 37-41, out. 2001.

OTTOSON, J.; STRENSTRÖM, T. A. Faecal contamination of greywater and associated microbial risk. **Water Research**. v. 37, n. 3, p. 645-655, 2003.

PANSONATO, N.; AZEVEDO, C.; RIBEIRO, A. S.; ASMUS, A. F.; PAULO, P. L. **Caracterização de água cinza em uma residência de baixa renda em Campo Grande, MS, Brasil**. Conferência Internacional em Saneamento Sustentável, (Ecosan), Fortaleza 2007.

PAULO, P. L.; BRAGA, A. F. M.; MAXIMOVITCH, A. C.; BONCZ, M. A. **Tratamento de água cinza em uma unidade residencial de banhados construídos**. In: 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2007.

PRATHAPAR S.; A., JAMRAH A., AHMED M., AL ADAWI S., AL SIDAIRI S., AL HARASSI A. Overcoming constraints in treated greywater reuse in Oman. **Desalination**. n. 186. p. 177-186, 2005.

PETERS, M. R. **Potencialidade de uso de fontes alternativas de água para fins não potáveis em uma unidade residencial**. 2006. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

PIDOU, M.; AVERY, L.; STEPHENSON, T.; JEFFREY, P.; PARSONS, S. A.; LIU, S.; MEMON F. A.; JEFFERSON B. Chemical solutions for greywater recycling. **Chemosphere**. n 71. p. 147-155, 2007.

PORTNOV, B. A.; MEIR I. Urban water consumption in Israel: convergence or divergence? **Environmental science & policy** n. 11. p. 347 – 358, 2008.

RAMON G., GREEN M., SEMIAT R., DOSORETZ C., Low strength graywater characterization and treatment by direct membrane filtration, **Desalination** 170 (2004) 241–250.

RAPORPORT, B. **Águas cinzas: Caracterização, avaliação financeira e tratamento para reúso domiciliar e condominial**. Fundação Oswaldo Cruz, Escola Nacional de Saúde Pública 2004.

RODRIGUES, L. C. S.; **Avaliação da Eficiência de Dispositivos Economizadores de Água em Edifícios Residenciais em Vitória - ES**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2005.

SANEPAR (Estado). Companhia de Saneamento do Paraná. Paraná, 2006. Disponível em: <http://www.sanepar.com.br>. Acesso em agosto/2008.

SANTOS, D.; C. Os sistemas prediais e a promoção da sustentabilidade ambiental. **Ambiente Construído**, v. 2, n.4, p. 7–18, 2002.

SECKLER, D.; BARKER R.; AMARASINGHE, U. Water Scarcity in the Twenty-first Century. **Water Resources Development**. Vol. 15, N. 1-2, p. 29-42, 1999.

SCHÄFER A. I.; NGHIEM L. D.; OSCHMANN N. Bisphenol A retention in the direct ultrafiltration of greywater. **Journal of Membrane Science**. n 283. p 233- 243, 2006.

SHIKLOMANOV, I. A. **WORLD WATER RESOURCES AT THE BEGINNING OF THE 21ST CENTURY** . United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, Paris, 1999. Disponível em : <http://webworld.unesco.org/water/ihp/db/shiklomanov/index.shtml>. Acesso em 13 out. 2008.

SILVA, R. T., CONEJO, J. G. L., GONÇALVES, O. M. Apresentação do programa. Brasília: Ministério do Planejamento e Orçamento. Secretaria de Política Urbana, 1998. 48 p. (Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água. Documentos Técnicos de Apoio; A1).

SNIS - Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento. Disponível em: <http://www.snis.gov.br>. Acesso em agosto/2008.

TOMAZ, P. **Previsão de Consumo de Água: Interface das instalações prediais de água e esgoto com os serviços públicos**. São Paulo. Editora Navegar. 2000. 250 p.

USEPA United States Environmental Protection Agency. 2004. An examination of EPA risk assessment principles and practices. Washington DC: USEPA. EPA/100/B-04/001.

VERONEZ, F. A; GONÇALVES R. F. Produção de biogás em um reator UASB tratando esgoto sanitário e lodo de descarte de biofiltros aerados submersos. VI Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2002.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos - Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. V. 1. 3 ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. DESA. UFMG, 2005. 452 p, 1995.

YASSUDA E. R., OLIVEIRA W. E., GAGLIANONE S., NOGAMI P. S., PEREIRA B. E. B., Martins J. A., 1976. Técnica de abastecimento e tratamento de água – vol. 1. 2^a edição, CETESB, São Paulo – SP.

ZABROCKI, L.; SANTOS, D. C. **Caracterização da água cinza em edifícios residenciais**. In: 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005.

WIDIASTUTI, N., WU, H., ANG, M., ZHANG, D. The potential application of natural zeolite for greywater treatment. **Desalination**. n. 218. p. 271-280, 2008.

WINWARD, P. G., AVERY, L. M., STEPHENSON, T., JEFFERSON B. Chlorine disinfection of grey water for reuse: Effect of organics and particles. **Water research**. n. 42. p. 483- 491, 2008.

WINWARD, G. P., AVERY, L. M., FRAZER-WILLIAMS, R., PIDOU, M., JEFFREY, P., STEPHENSON, T., JEFFERSON, B. A study of the microbial quality of grey water and an evaluation of treatment technologies for reuse. **Ecological Engineering**. n. 32, p. 187–197, 2008.

WONG, L.T., MUI, K.W. Epistemic water consumption benchmarks for residential buildings. **Building and Environment**. n. 43, p. 1031–1035, 2008.

9.Anexos

9.1 Anexo A

Premissas Iniciais do projeto da ETAC

9.1.1 Dimensionamento da ETAC

a) Dados de entrada

População	240 habitantes
Consumo de água Per Capita (q_a)	160 l/hab.dia
Coef. de retorno (R)	0,8
Coef. Reaproveitamento (c)	40 %
K1	1,2
K2	1,5

b) Cálculo da vazão de águas cinza

$$Q_{mes} (l/s) = \frac{População \cdot q_a \cdot R \cdot c}{86400}$$

$$Q_{max} = Q_{med} \cdot K_1 \cdot K_2$$

$$Q_{mes} = \frac{240 \cdot 160 \cdot 0,8 \cdot 0,4}{86400} = 0,142 l/s = 12,28 m^3/d$$

$$Q_{max} = 0,25 l/s = 22,44 m^3/d$$

c) Características da água cinza e eficiência do tratamento

Parâmetros	Água cinza
DBO ₅	250 mg/L
DQO	400 mg/L
SST	100 mg/L

No RAC:

Parâmetros	Carga aplicada	Eficiência	Efluente	Carga removida
DQO	3,17 KgDQO/dia	55%	180 mg/l	1,75 KgDQO/dia
DBO ₅	1,98 KgDBO ₅ /dia	65%	88 mg/l	1,29 KgDBO ₅ /dia
SST	0,79 KgSST/dia	65%	35 mg/l	0,52 KgSST/dia

No FBAS:

Parâmetros	Carga aplicada	Eficiência	Efluente	Carga removida
DQO	1,43 KgDQO/dia	50%	90 mg/l	0,72 KgDQO/dia
DBO ₅	0,69 KgDBO ₅ /dia	66%	30 mg/l	0,46 KgDBO ₅ /dia
SST	0,28 KgSST/dia	57%	15 mg/l	0,16 KgSST/dia

Sendo:

$$\text{CargaDBO}(\text{kgDBO}/\text{dia}) = \frac{\text{Concentração}(\text{mg}/\text{L}) \cdot Q_{\text{med}}(\text{m}^3/\text{dia})}{1000}$$

d) Dimensionamento do Reator Anaeróbio Compartimentado

O RAC foi dimensionado com geometria retangular, para uma temperatura média no esgoto de 20°C. Para assegurar uma eficiência mínima de 65% na remoção de DBO₅, tomou-se como parâmetro principal de dimensionamento o tempo de detenção hidráulica (θ) de 12,0 horas e uma compartimentação de 3 (três) câmaras.

Volume

$$V = Q_{\text{méd}} \cdot \theta$$

Onde: V = volume útil do reator (m³)

Q_{méd} = vazão de esgoto média em final de plano (m³/h)

θ = tempo de detenção hidráulica = 12 horas

$$V = \frac{12,28 \text{ m}^3/\text{d} \cdot 12\text{h}}{24} = 6,14 \text{ m}^3$$

Área

Considerando uma $H_{\text{útil}} = 2,00 \text{ m}$

$$S_{\text{RAC}} = V_{\text{RAC}} / H_{\text{útil}}$$

$$S_{\text{RAC}} = 6,14 / 2,0 = 3,07\text{m}^2$$

Foi adotado como dimensões:

$$L = 4,5 \text{ m}$$

$$B = 1,5 \text{ m}$$

$$H_{\text{otal}} = 2,50 \text{ m} \dots\dots\dots 3 \text{ compartimentos de } 1,5 \times 1,5 \times 2,50 \text{ m}$$

1. Dimensionamento do Filtro Biológico Aerado Submerso (FBAS)

Volume:

Carga volumétrica DBO_5 aplicada (ideal) = $\text{CVDBO}_5 \text{ aplic.} = 1,8 \text{ KgDBO}_5/\text{m}^3.\text{dia}$

$$V_{\text{FBAS}} = \text{Carga } \text{DBO}_5 / \text{CVDBO}_5 \text{ aplic} = 0,69 / 1,8 = 0,40 \text{ m}^3$$

Área:

Adotando profundidade para o meio suporte: $H_{\text{leito}} = 1,00 \text{ m}$

$$S_{\text{FBAS}} = V_{\text{FBAS}} / H_{\text{útil}} = 0,4 / 1,00 = 0,39 \text{ m}^2$$

Verificação da velocidade ascensional (v_{asc}):

$$V_{\text{asc}} = Q_{\text{med}} / S_{\text{FBAS}} = 0,33 / 0,39 = 0,86 \text{ m/h}$$

Por questões construtivas, foi adotado um FBAS com as seguintes dimensões:

$$L = 1,5\text{m};$$

$$B = 1,5\text{m};$$

$$H_{\text{leito}} = 1,0\text{m}$$

Estimativa de fornecimento de ar:

Para uma taxa de aplicação de ar de $30 \text{ Nm}^3/\text{kg DBO}_5$ aplicada, tem-se:

$$Q_{\text{ar}} = 30 \times 0,69 = 20,7 \text{ Nm}^3/\text{d} = 0,86 \text{ Nm}^3/\text{h}.$$

e) Dimensionamento do decantador secundário (DEC)**Área:**

$$\text{Taxa} = 50 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$$

$$S_{\text{DEC}} = Q_{\text{max}} / \text{taxa} = 14,29 \text{ (m}^3.\text{d)} / 50 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia} = 0,29 \text{ m}^2$$

Por questões construtivas e operacionais foi adotado um Decantador Secundário com as seguintes dimensões:

$$L = 1,5 \text{ m}$$

$$B = 1,5 \text{ m}$$

f) Dimensionamento dos reservatórios inferior e superior

Para o cálculo dos volumes dos reservatórios de água cinza considerou-se um período de estocagem de 1,8 dias.

Considera-se que o volume de água cinza necessário para atender a demanda dos vasos sanitários é de 40% do volume de esgoto produzido diariamente, então:

$$Q_{\text{água cinza}} = 40\% \times 240 \times 160 \times 0,80 = 12.288 \text{ l/d} = 12,28 \text{ m}^3/\text{dia}$$

$$Vt_{\text{cinza}} = 12,28 \times 1,8 = 22,10\text{m}^3 \rightarrow 23,0 \text{ m}^3$$

a) Volume reservatório inferior de água de reúso (V_{i_ac}):

$$V_{i_ac} = 3/5 Vt_{\text{cinza}} = 13,8 \text{ m}^3 \rightarrow 14 \text{ m}^3$$

b) Volume reservatório superior de água cinza (V_{s_ac}):

$$V_{s_ac} = 2/5 Vt_{\text{cinza}} = 9,2\text{m}^3$$

9.2 Anexo B

9.2.1 Metodologia das análises dos parâmetros físico-químicos

Parâmetro	Métodos	Referência
Alcalinidade	Método Titulométrico	STANDARD METHODS 2320 B, 2005
Cloro Residual	Método DPD colorimétrico	STANDARD METHODS 4500 – Cl G, 1995
Cor verdadeira	Método Espectrofotométrico	STANDARD METHODS 2120 C, 2005
DBO ₅	Oxítóp	
DQO	Método Colorimétrico	STANDARD METHODS 5220 D, 2005
Nitrato (N-NO ₃ ⁻)	Método da Coluna Redutora de Cádmio	STANDARD METHODS 4500-NO ₃ ⁻ E, 2005
Nitrito (N-NO ₂ ⁻)	Método Colorimétrico	STANDARD METHODS 4500-NO ₂ ⁻ B, 2005
Nitrogênio Amoniacal	Método Semi-Micro-Kjeldahl	STANDARD METHODS 4500-N _{org} C, 2005
NTK (Nitrogênio Total Kjeldhal)	Método Semi-Micro-Kjeldahl	STANDARD METHODS 4500-N _{org} C, 2005
O&G (Óleos e Graxas)	Método de Extração Soxhlet	STANDARD METHODS 2520 D, 2005
Orto-P (Orto fósforo)	Método do Ácido Ascórbico	STANDARD METHODS 4500-P , 2005
pH	Método Eletrométrico	STANDARD METHODS 4500 H ⁺ B, 2005
P-total (Fósforo total)	Método do Ácido Ascórbico	STANDARD METHODS 4500-P E, 2005
Sólidos Sedimentáveis	Método Gravimétrico	STANDARD METHODS 2540 F, 2005
Sólidos Suspensos Totais (SST)	Método Gravimétrico	STANDARD METHODS 2540 D, 2005
Sólidos Totais (ST)	Método Gravimétrico	STANDARD METHODS 2540 B, 2005

Sulfato	Método Turbidimétrico	STANDARD METHODS 4500-SO ₄ ²⁻ , 2005
Sulfetos	Método Iodométrico	STANDARD METHODS 4500-S ²⁻ F, 2005
Temperatura	Método de Laboratório e de Campo	STANDARD METHODS 2550 B, 2005
Turbidez	Método Nefelométrico	STANDARD METHODS 2130 B, 2005
Proteína	Método do micro-biureto modificado	STICKLAND (1951)
Carboidrato	Método do fenol e ácido sulfúrico	DUBOIS et al.; GILLES; HAMILTON (1956)

9.3 Anexo C

9.3.1 Estatística Descritiva dos Perfis de 24 h

Parâmetros	Produção de água cinza (litros.hora ⁻¹)											
	8-10h	10-12h	12-14h	14-16h	16-18h	18-20h	20-22h	22-0h	0-2h	2-4h	4-6h	6-8h
N	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Média	1725	1988	2113	2038	1350	1175	1388	887	1038	75	100	512
Mediana	1400	1800	1850	1700	1200	1200	1400	700	800	0	0	400
Máximo	3500	3600	4200	3800	2400	1700	2100	2000	3800	400	500	1800
Mínimo	700	400	1100	1000	500	400	300	0	0	0	0	0
Desvio Padrão	888	1002	1166	980	661	385	579	700	1188	149	177	559
CV	0,51	0,50	0,55	0,48	0,49	0,33	0,42	0,79	1,15	1,98	1,77	1,09

Parâmetros	Consumo água de reúso (litros.hora ⁻¹)											
	8-10h	10-12h	12-14h	14-16h	16-18h	18-20h	20-22h	22-0h	0-2h	2-4h	4-6h	6-8h
N	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Média	588	512	737	488	337	313	350	362	213	75	200	475
Mediana	550	400	700	400	300	300	350	350	200	100	200	500
Máximo	800	1000	1300	1000	400	500	500	500	400	200	400	500
Mínimo	400	300	400	300	300	200	200	300	100	0	100	400
Desvio Padrão	145,77	229,52	256,00	223,21	51,75	99,10	119,52	74,40	112,60	70,71	106,90	46,29
Variância	0,25	0,45	0,35	0,46	0,15	0,32	0,34	0,21	0,53	0,94	0,53	0,10

9.3.2 Estatística descritiva dos perfis de 24 h *per capita*

Quantidade de moradores nos apartamentos nos dias de monitoramento de perfil 24 h

2008	8-10h	10-12h	12-14h	14-16h	16-18h	18-20h	20-22h	22-0h	0-2h	2-4h	4-6h	6-8h
Perfil 1	34	39	38	29	28	26	26	26	26	26	26	32
Perfil 2	34	39	38	29	28	26	26	26	26	26	26	32
Perfil 3	47	43	39	31	35	37	31	31	31	31	31	46
Perfil 4	42	42	39	36	41	41	39	39	39	39	39	41
Perfil 5	53	55	52	44	39	40	39	39	39	39	39	59
Perfil 6	42	42	39	36	41	41	39	39	39	39	39	41
Perfil 7	53	55	52	44	39	40	39	39	39	39	39	59
Perfil 8	53	55	52	44	39	40	39	39	39	39	39	59

Produção de água cinza <i>per capita</i> (l.hab ⁻¹)												
Parâmetros	8-10h	10-12h	12-14h	14-16h	16-18h	18-20h	20-22h	22-0h	0-2h	2-4h	4-6h	6-8h
N	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Média	39	44	49	57	39	34	41	28	32	2	3	13
Mediana	37	38	39	48	33	35	49	22	21	0	0	9
Máximo	67	79	111	131	79	50	55	65	123	10	16	56
Mínimo	15	9	29	28	12	10	8	0	0	0	0	0
Desvio Padrão	17,65	22,00	28,33	32,32	21,01	13,12	17,01	24,26	39,24	3,82	5,84	17,94
CV	0,45	0,51	0,58	0,56	0,54	0,39	0,41	0,86	1,23	1,98	1,77	1,35

Consumo de água de reúso <i>per capita</i> (l.hab ⁻¹)												
Parâmetros	8-10h	10-12h	12-14h	14-16h	16-18h	18-20h	20-22h	22-0h	0-2h	2-4h	4-6h	6-8h
N	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Média	10	8	14	10	8	8	9	10	5	2	4	9
Mediana	11	8	15	10	8	7	9	10	4	2	4	8
Máximo	15	12	17	12	10	12	13	12	12	5	10	15
Mínimo	7	6	9	8	7	4	5	7	2	-1	2	4
Desvio Padrão	2,83	1,77	2,37	1,25	1,51	2,31	2,95	1,86	3,31	1,88	2,62	3,25
CV	0,27	0,22	0,17	0,13	0,18	0,29	0,31	0,19	0,65	1,08	0,59	0,38

9.4 Anexo D

9.4.1 Estatística Descritiva do Monitoramento da ETAC

Parâmetro	Ponto	N	Média	Mediana	Máx	Min	DP	CV
pH	Bruta	104	7,80	7,54	10,46	6,67	0,74	0,10
	RAC 1	105	7,28	7,25	7,96	6,15	0,25	0,03
	RAC 2	105	7,24	7,23	7,86	6,75	0,18	0,03
	RAC 3	106	7,23	7,24	7,59	6,69	0,17	0,02
	FBAS	106	7,19	7,19	7,60	6,65	0,18	0,02
	Decantador	102	7,15	7,15	7,70	6,41	0,20	0,03
	TQE	102	7,14	7,12	7,71	6,66	0,18	0,03
	Filtração	80	7,08	7,07	7,49	6,68	0,18	0,03
	Cloração	72	7,15	7,11	8,97	6,50	0,32	0,04

Parâmetro	Ponto	N	Média	Mediana	Máx	Min	DP	CV
Turbidez (NTU)	Bruta	104	73	60	274	15	47	0,65
	RAC 1	94	56	49	160	19	27	0,49
	RAC 2	96	54	45	130	18	29	0,53
	RAC 3	105	47	36	150	5	30	0,64
	FBAS	105	45	35	146	9	30	0,67
	Decantador	101	21	18	73	5	12	0,57
	TQE	97	18	17	50	3	10	0,57
	Filtração	78	17	15	40	2	11	0,63
	Cloração	69	8	7	21	2	5	0,65

Parâmetro	Ponto	N	Média	Mediana	Máx	Min	DP	CV
Cor (UC)	Bruta	57	85	69	321	7	69	0,81
	RAC 1	57	46	35	218	10	36	0,78
	RAC 2	55	39	31	107	3	25	0,63
	RAC 3	55	39	31	121	7	24	0,61
	FBAS	57	28	21	155	0	26	0,92
	Decantador	51	24	21	79	3	16	0,68
	TQE	51	24	21	73	0	17	0,72
	Filtração	37	21	17	59	0	14	0,67
	Cloração	33	15	14	45	0	13	0,83

Parâmetro	Ponto	N	Média	Mediana	Máx	Min	DP	CV
SSD (mL/L)	Bruta	37	0,66	0,50	2,50	0,05	0,52	0,79
	RAC 1	37	0,26	0,20	1,40	0,00	0,32	1,24
	RAC 2	36	0,16	0,10	0,70	0,00	0,16	1,00
	RAC 3	37	0,14	0,05	1,00	0,00	0,20	1,38
	FBAS	36	1,48	1,00	9,00	0,00	2,01	1,36
	Decantador	36	0,07	0,05	0,40	0,00	0,08	1,05
	TQE	35	0,06	0,05	0,50	0,00	0,08	1,50
	Filtração	30	0,03	0,00	0,20	0,00	0,04	1,43
	Cloração	30	0,01	0,00	0,05	0,00	0,02	1,69

Parâmetro	Ponto	N	Média	Mediana	Máx	Min	DP	CV
SST (mg/L)	Bruta	28	78	54	226	23	54	0,69
	RAC 1	26	36	31	108	8	22	0,61
	RAC 2	27	36	31	185	4	33	0,92
	RAC 3	27	33	25	121	2	26	0,80
	FBAS	27	37	36	91	1	26	0,71
	Decantador	26	17	12	70	0	16	0,96
	TQE	23	16	14	51	0	13	0,81
	Filtração	18	15	12	47	0	15	0,98
	Cloração	22	14	8	69	0	18	1,26

Parâmetro	Ponto	N	Média	Mediana	Máx	Min	DP	CV
DQO (mg/L)	Bruta	37	237	200	558	71	122	0,51
	RAC 1	36	103	100	250	47	40	0,38
	RAC 2	36	99	99	176	48	28	0,28
	RAC 3	38	97	92	164	48	30	0,30
	FBAS	31	43	39	98	10	21	0,48
	Decantador	34	34	30	73	11	16	0,46
	TQE	33	32	33	65	6	15	0,47
	Filtração	23	28	27	52	7	11	0,41
	Cloração	19	22	22	37	1	9	0,40

Parâmetro	Ponto	N	Média	Mediana	Máx	Min	DP	CV
DBO₅ (mg/L)	Bruta	19	106	90	235	40	53	0,50
	RAC 1	13	55	50	80	45	10	0,19
	RAC 2	12	55	53	70	45	8	0,15
	RAC 3	14	59	55	85	50	10	0,17
	FBAS	12	29	30	35	20	5	0,17
	Decantador	14	22	15	90	4	20	0,92
	Filtração	8	15	15	25	3	8	0,50
	Cloração	11	12	15	25	0	7	0,60

Parâmetro	Ponto	N	Média	Mediana	Máx	Min	DP	CV
Alcalinidade (mg/LCaCO₃)	Bruta	29	55	48	188	20	37	0,67
	RAC 1	29	81	79	114	48	15	0,19
	RAC 2	29	93	89	153	58	21	0,23
	RAC 3	30	94	91	144	67	19	0,20
	FBAS	30	69	70	89	38	10	0,15
	Decantador	30	66	66	89	43	10	0,15
	TQE	29	66	65	99	48	10	0,16
	Filtração	24	68	64	114	48	16	0,23
Cloração	23	69	65	115	52	13	0,19	

Parâmetro	Ponto	N	Média	Mediana	Máx	Min	DP	CV
O&G (mg/L)	Bruta	8	39	34	80	8	27	1
	RAC 3	8	35	25	77	3	31	1
	FBAS	7	27	19	74	3	27	1
	Decantador	3	23	16	47	6	21	1
	Cloração	7	11	11	15	6	3	0

Parâmetro	Ponto	N	Média	Mediana	Máx	Min	DP	CV
NTK (mg/L)	Bruta	14	6,53	5,38	15,46	2,69	3,64	0,56
	RAC 1	13	6,77	6,72	8,74	4,03	1,51	0,22
	RAC 2	13	6,67	6,72	9,41	2,69	1,93	0,29
	RAC 3	14	6,34	6,72	8,74	2,02	2,15	0,34
	FBAS	14	5,95	6,38	8,74	0,67	2,47	0,42
	Decantador	14	3,17	3,36	6,05	0,00	1,82	0,57
	TQE	12	3,33	3,36	6,72	0,00	2,06	0,62
	Filtração	10	3,02	2,69	6,05	0,00	1,88	0,62
Cloração	9	3,58	3,36	6,72	0,00	2,28	0,64	

Parâmetro	Ponto	N	Média	Mediana	Máx	Min	DP	CV
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	Bruta	11	1,28	0,67	5,38	0,00	1,52	1,18
	RAC 1	11	3,42	3,36	5,38	2,69	0,76	0,22
	RAC 2	11	4,34	4,03	6,05	3,36	0,92	0,21
	RAC 3	11	4,34	4,03	5,38	3,36	0,82	0,19
	FBAS	11	2,69	2,69	4,70	0,00	1,28	0,47
	Decantador	11	2,08	2,02	4,03	0,67	1,06	0,51
	TQE	10	1,88	1,34	4,70	0,67	1,34	0,71
	Filtração	7	1,92	1,34	3,36	0,67	1,06	0,55
Cloração	7	2,30	2,69	3,36	1,34	0,94	0,41	

Parâmetro	Ponto	N	Média	Mediana	Máx	Min	DP	CV
Nitrato (mg/L)	Bruta	12	0,14	0,07	0,49	0,00	0,16	1,13
	RAC 1	12	0,02	0,00	0,10	0,00	0,03	1,87
	RAC 2	12	0,00	0,00	0,03	0,00	0,01	1,96
	RAC 3	12	0,00	0,00	0,03	0,00	0,01	2,85
	FBAS	12	0,32	0,16	1,79	0,00	0,49	1,55
	Decantador	12	0,44	0,24	2,13	0,00	0,58	1,31
	TQE	11	0,33	0,16	1,77	0,00	0,50	1,52
	Filtração	8	0,19	0,08	0,97	0,00	0,32	1,70
Cloração	8	0,07	0,04	0,35	0,00	0,12	1,61	

Parâmetro	Ponto	N	Média	Mediana	Máx	Min	DP	CV
Nitrito (mg/L)	Bruta	14	0,40	0,32	1,62	0,01	0,41	1,04
	RAC 1	14	0,05	0,02	0,24	0,00	0,06	1,40
	RAC 2	14	0,03	0,02	0,09	0,00	0,02	0,82
	RAC 3	14	0,03	0,02	0,08	0,00	0,02	0,84
	FBAS	14	0,22	0,18	0,61	0,02	0,18	0,82
	Decantador	14	0,22	0,18	0,45	0,03	0,14	0,63
	TQE	13	0,19	0,15	0,48	0,01	0,14	0,75
	Filtração	10	0,13	0,08	0,44	0,02	0,13	1,04
	Cloração	10	0,08	0,08	0,20	0,00	0,06	0,75

Parâmetro	Ponto	N	Média	Mediana	Máx	Min	DP	CV
P-Total (mg/L)	Bruta	18	2,87	1,99	10,09	0,00	3,05	1,06
	RAC 1	17	2,23	2,25	3,66	1,06	0,65	0,29
	RAC 2	17	2,48	2,45	4,24	0,99	0,80	0,32
	RAC 3	19	2,79	2,56	5,73	1,89	0,89	0,32
	FBAS	19	2,82	2,59	6,35	1,43	1,07	0,38
	Decantador	19	2,68	2,56	6,26	1,30	1,04	0,39
	TQE	18	2,54	2,34	6,61	0,47	1,22	0,48
	Filtração	12	2,76	2,59	3,94	2,07	0,64	0,23
	Cloração	15	2,65	2,45	4,97	1,12	0,88	0,33

Parâmetro	Ponto	N	Média	Mediana	Máx	Min	DP	CV
O-Fosfato (mg/L)	Bruta	16	2,23	1,12	11,84	0,12	3,26	1,46
	RAC 1	17	2,07	1,86	4,18	1,36	0,74	0,36
	RAC 2	17	2,33	2,18	6,04	1,48	1,04	0,45
	RAC 3	17	2,58	2,46	7,03	1,39	1,32	0,51
	FBAS	17	2,47	2,09	7,20	1,44	1,32	0,53
	Decantador	17	2,46	2,24	7,39	1,32	1,37	0,56
	TQE	15	2,61	2,23	6,98	1,29	1,41	0,54
	Filtração	13	2,54	2,09	5,00	1,35	1,03	0,41
	Cloração	13	2,24	2,20	3,41	1,64	0,53	0,24

Parâmetro	Ponto	N	Média	Mediana	Máx	Min	DP	CV
Sulfato (mg/L)	Bruta	9	88	90	135	50	31	0,35
	RAC 1	10	45	43	68	28	13	0,29
	RAC 2	10	44	39	63	29	13	0,29
	RAC 3	10	43	38	63	30	12	0,28
	FBAS	10	60	58	79	45	13	0,21
	Decantador	10	60	58	82	40	14	0,22
	TQE	9	62	57	87	49	14	0,23
	Filtração	6	55	55	82	24	20	0,37
Cloração	6	66	63	88	51	14	0,21	

Parâmetro	Ponto	N	Média	Mediana	Máx	Min	DP	CV
Sulfeto (mg/L)	Bruta	15	1,56	1,40	3,00	0,00	1,07	0,69
	RAC 1	15	6,36	7,20	11,60	1,00	3,17	0,50
	RAC 2	15	9,68	10,40	18,40	2,40	4,69	0,48
	RAC 3	15	10,32	10,60	18,00	4,60	3,83	0,37
	FBAS	15	2,32	2,20	4,40	0,80	1,21	0,52
	Decantador	15	2,31	2,20	4,60	0,20	1,32	0,57
	TQE	13	2,34	2,40	4,20	0,80	1,07	0,46
	Filtração	9	1,96	2,20	3,40	0,40	1,20	0,61
Cloração	8	1,58	1,50	3,00	0,00	1,14	0,73	

Parâmetro	Ponto	N	Média	Mediana	Máx	Min	DP	CV
Proteína (mg/L)	Bruta	8	96	88	159	30	50	0,52
	RAC 3	8	63	61	122	27	31	0,48
	Decantador	8	38	31	90	0	30	0,79

Parâmetro	Ponto	N	Média	Mediana	Máx	Min	DP	CV
Carboidrato (mg/L)	Bruta	7	23	19	40	11	12	0,52
	RAC 3	7	9	9	14	6	3	0,32
	Decantador	7	5	5	9	1	3	0,70