

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SERGIPE

CÂMPUS ARACAJU

DEPARTAMENTO DE DESENVOLVIMENTO DE ENSINO

COORDENADORIA DE ENGENHARIA CIVIL

CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

JOÃO PAULO REIS BARROS

**ANÁLISE DE EFICIÊNCIA DE UM FILTRO COM LEITO DE AREIA ASSOCIADO
A RESÍDUOS DE VIDRO DA CONSTRUÇÃO CIVIL NO TRATAMENTO DE ÁGUA
CINZA**

MONOGRAFIA

.

ARACAJU

2017

JOÃO PAULO REIS BARROS

**ANÁLISE DE EFICIÊNCIA DE UM FILTRO COM LEITO DE AREIA ASSOCIADO
A RESÍDUOS DE VIDRO DA CONSTRUÇÃO CIVIL NO TRATAMENTO DE ÁGUA
CINZA**

Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel, da Coordenação do Curso de Engenharia Civil, do Instituto Federal de Sergipe – Câmpus Aracaju.

Orientador: Prof^a. Msc^a. Louise Francisca Sampaio Brandão.

ARACAJU

2017

	Barros, João Paulo Reis. B277a Análise de eficiência de um filtro com leito de areia associado a resíduos de vidro da construção civil no tratamento de água cinza / João Paulo Reis Barros. – Aracaju, 2017. 67 f.
Tecnologia	Monografia (Graduação) – Instituto Federal de Educação Ciência e de Sergipe - IFS. Coordenação do Curso de Engenharia Civil. Orientadora: Prof.^a Me. Louise Francisca Sampaio Brandão.
	1. Água cinza 2. Reuso 3. Tratamento de água 4 . Filtração 5.Esgoto I. Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Sergipe – IFS II. Brandão, Louise Francisca Sampaio. III. Título.

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SERGIPE

CÂMPUS ARACAJU

CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

TERMO DE APROVAÇÃO

Título da Monografia N° 49

**TÍTULO DO PROJETO: ANÁLISE DE EFICIÊNCIA DE UM FILTRO COM LEITO
DE AREIA ASSOCIADO A RESÍDUOS DE VIDRO DA CONSTRUÇÃO CIVIL NO
TRATAMENTO DE ÁGUA CINZA.**

JOÃO PAULO REIS BARROS

Esta monografia foi apresentada às 9 horas e 30 minutos do dia 27 de janeiro de 2017 como requisito parcial para a obtenção do título de BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. José Resende Goes
IFS – Campus Aracaju

MSc. Florilda Vieira da Silva
IFS – Campus Aracaju

Prof. MSc. Louise Francisca Sampaio Brandão
IFS – Campus Aracaju
Orientador(a)

Prof. MSc. Rodolfo Santos da Conceição
IFS – Campus Aracaju
Coordenador(a) da COEC

Dedico este trabalho à vida,
por ter me dado a
oportunidade de conhecê-la.

AGRADECIMENTOS

Depois de muito aprendizado, o tão esperado dia chegou. Espaços são insuficientes para eu descrever toda gratificação pessoal durante essa jornada inapagável e embutida na minha memória; assim como indefinível as pessoas, que comigo, protagonizaram a caminhada.

Agradeço primeiramente à vida, foi ela a inspiração de querer sonhar e ser ator de tudo o que me propus.

Aos meus pais, Clese Mary e Gilvan Fontes, obrigado por terem mostrado que a vida não seria fácil e eu necessitaria lutar por conta própria para poder alcançar a posição onde estou, por isso, a palavra gratidão é pequena diante da importância de vocês na minha existência.

À Luan Gama pela paciência e companheirismo, por sempre ter me trazido paz nos momentos em que mais precisei.

Aos meus familiares, em especial à vovó Carmosita (de onde estiver), espero que esteja orgulhosa do seu neto; jamais a esquecerei.

À Prof^a. MSc. Louise Francisca, mais do que uma orientadora, foi uma amiga, obrigado por toda atenção me oferecida, não só nesse projeto, como também em momentos em que precisei dos seus conselhos; ao Prof. Dr. José Resende pela sua vontade em compartilhar toda sua bagagem de conhecimento com zelo e prazer; à MSc. Florilda Vieira por ter me tornado apto para realizar essa pesquisa; e aos demais professores que com seus jeitos particulares me ajudaram a crescer como pessoa e a ser o que eu sou hoje, “Adrianinha”, Euler Wagner, “PC” e “Adal”. Vocês são ótimos exemplos de profissionais, sempre os terei como inspiração.

Aos meus amigos, só tenho a dizer que são os melhores do mundo, do IFS, Caroline Lucas, Karoline Rocha, Matheus Gomes, Beatriz Núbia, Layanne Martins; do prédio onde resido, da época de escola, dos carnavais da vida, sem vocês minha jornada não seria a mesma, devido a isso, os laços que criamos jamais se romperão.

Muito obrigado a todos!

RESUMO

BARROS, João Paulo Reis. **Análise de eficiência de um filtro com leito de areia associado a resíduos de vidro da construção civil no tratamento de água cinza**. 67 p. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe – Campus Aracaju. 2017.

A água é um recurso natural renovável com volume inalterado devido ao seu ciclo hidrológico, porém, de todo esse volume existente, apenas 0,007% representa a água doce utilizável pelos seres humanos, encontrada em lagoas, rios e reservatórios, que por sua vez, estão com sua qualidade comprometida, mal distribuídas e mal geridas, trazendo uma série de problemas para toda população. Com a finalidade de se buscar soluções simplificadas, sustentáveis e de baixo custo para esses problemas, países de todo o mundo tem estudado formas viáveis de tratar os diversos tipos de efluentes, sobretudo o doméstico, ganhando atenção a reutilização da água cinza, proveniente de lavatórios, chuveiros e máquinas de lavar. No Brasil não existem muitos estudos sobre tal manejo desse tipo de efluente, nem uma norma adequada para tratamento desse tipo de esgoto com o objetivo de reutilizá-lo. Por essas razões, este trabalho tem como objetivo criar e analisar, tecnicamente, um filtro sustentável para tratamento de água cinza com camadas filtrantes compostas de areia e resíduos de vidro moído oriundos da construção civil, com a finalidade de seu reuso. As amostras para filtração na unidade criada foram coletadas no Instituto Federal de Sergipe e teve seus aspectos qualitativos averiguados antes e depois do tratamento, para avaliação da eficiência do filtro. O mesmo apresentou resultados satisfatórios quanto aos aspectos qualitativos, atuando na redução da DBO, DQO e turbidez, além de ter originado um efluente esteticamente agradável e com odor imperceptível. A água cinza tratada obtida pode ser reusada diretamente na irrigação de jardins, pomares e outros cultivos.

Palavras-chave: Água cinza; Reuso; Tratamento; Filtro; Sustentável.

ABSTRACT

BARROS, João Paulo Reis. **Analysis of sand bed filter efficiency associated with glass waste from the construction industry in the treatment of graywater**. 67 p. Monograph (Bachelor of Civil Engineering) - Federal Institute of Education, Science and Technology of Sergipe - Campus Aracaju. 2017.

Water is a renewable natural resource with unchanged volume due to its hydrological cycle. However, of all this existing volume, only 0.007% represents the fresh water that can be used by humans, found in ponds, rivers and reservoirs, which in turn are With their quality compromised, poorly distributed and poorly managed, bringing a series of problems for the entire population. In order to seek simplified, sustainable and low-cost solutions to these problems, countries around the world have been studying viable ways to treat the various types of effluents, especially the domestic ones, paying attention to the reuse of gray water from lavatories , Showers and washing machines. In Brazil there are not many studies on such management of this type of effluent nor an adequate standard for the treatment of this type of sewage with the objective of reusing it. For these reasons, this work aims to create and analyze, technically, a sustainable filter for treatment of gray water with filter layers composed of sand and ground glass residues coming from the civil construction, with the purpose of its reuse. The samples for filtration in the unit created were collected at the Federal Institute of Sergipe and had their qualitative aspects checked before and after the treatment, to evaluate the efficiency of the filter. It presented satisfactory results regarding the qualitative aspects, acting in the reduction of BOD, COD and turbidity, besides having originated an effluent aesthetically pleasing and with imperceptible odor. The treated gray water obtained can be reused directly in the irrigation of gardens, orchards and other crops.

Keywords: Greywater; Reuse; Treatment; Filter; Sustainable.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Critério de reutilização de água cinza na Austrália.	34
Quadro 2 – Normas internacionais para reuso de águas em descarga sanitária.	35
Quadro 3 – Legislações brasileiras que regulamentam a utilização de fontes alternativas de água.	36
Quadro 4 – Estações de tratamento de água cinza.	41
Quadro 5 – Equipamentos e Função.	51

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Distribuição de massa de água no planeta.....	16
Figura 2 – Classificação da qualidade das águas do Brasil	17
Figura 3 – Fluxo linear de massa em um sistema tradicional de esgoto.	23
Figura 4 – Fluxo circular de massa em um sistema de saneamento sustentável.	23
Figura 5 – Esquema de gerenciamento de águas em uma edificação.....	24
Figura 6 – Produção típica de água cinza e descargas de vasos sanitário requeridas em uma universidade.....	33
Figura 7 – Filtro de areia.	42
Figura 8 – Mecanismos de filtração.	43
Figura 9 – Resíduos de vidro da construção civil.....	48
Figura 10 – Areia da construção civil.....	48
Figura 11 – Peneiras com malhas de 1,18 mm; 0,60 mm e 0,425 mm.....	49
Figura 12 – Grãos de vidro com tamanho efetivo entre 0,60 mm e 0,425 mm.	49
Figura 13 – Espectrofotômetro UV VIS 3000W.	51
Figura 14 – Leitor de DBO modelo BOD-OxiDirect na incubadora.	51
Figura 15 – Sonda multiparâmetro Horiba U 52-G.....	52
Figura 16 – Areia média e brita zero.	53
Figura 17 – Modelo de filtro proposto.	53
Figura 18 – Evolução da turbidez de uma amostra durante várias passagens consecutivas pelo filtro.	58
Figura 19 – Aspecto final da água cinza tratada nesse estudo.....	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Níveis de atendimento com água e esgotos dos municípios cujos prestadores de serviços são participantes do SNIS em 2014*, segundo região geográfica e Brasil.....	19
Tabela 2 – Distribuição do consumo de água em edificações.	32
Tabela 3 – Parâmetros para reúso de águas, conforme NBR 13.969 (ABNT, 1997).	37
Tabela 4 – Padrões propostos no manual da FIESP para reúso de águas.	37
Tabela 5 – Faixas prováveis de remoção dos poluentes utilizando filtro de areia como pós-tratamento de tanques sépticos.	44
Tabela 6 – Principais características dos meios filtrantes.	45
Tabela 7 – Parâmetros qualitativos da água cinza bruta.	55
Tabela 8 – Características físico-químicas e microbiológicas dos esgotos.	55
Tabela 9 – Comparação da caracterização das águas cinzas coletadas na instituição com pesquisas desenvolvidas mundialmente.	56
Tabela 10 – Parâmetros qualitativos da água cinza filtrada.	56
Tabela 11 – Acompanhamento das eficiências do filtro, em porcentagem.	59
Tabela 12 – Avaliação de reúso da água cinza filtrada em estudo.	59

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANA – Agência Nacional de Águas

BREEAM – *Building Research Establishment Environmental Assessment Method*

CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

DQO – Demanda Química de Oxigênio

ETA – Estação de Tratamento de Água

ETE – Estação de Tratamento de Esgoto

FAO - *Food and Agriculture Organization of United Nations*

FIESP – Federação das Indústrias do Estado de São Paulo

GBCBrasil – *Green Building Council Brasil*

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IDEC – Instituto Brasileiro de Defesa do Consumidos

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas

IQA – Índice de Qualidade das Águas

LEED – *Leadership in Energy and Environmental Design*

NMP – Número Mais Provável

NTU – Unidade de Turbidez Nefelométrica

OD – Oxigênio Dissolvido

OMS – Organização Mundial da Saúde

ONU – Organização das Nações Unidas

pH – Potencial Hidrogeniônico

SAGA – Sistema Aquífero Grande Amazônia

SDT – Sólidos Dissolvidos Totais

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

USGBC – *United States Green Building Council*

USEPA – *United States Environment Protection Agency*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS	15
2.1	OBJETIVO GERAL	15
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
3	REVISÃO DA LITERATURA	16
3.1	PANORAMA DA ÁGUA.....	16
3.2	IMPACTOS SOBRE OS RECURSOS HÍDRICOS	18
3.3	LEGISLAÇÕES, NORMAS E AÇÕES PARA CONSERVAÇÃO DA ÁGUA	19
3.4	SANEAMENTO ECOLÓGICO	22
3.5	AS CORES DOS ESGOTOS DOMÉSTICOS	24
3.6	CARACTERÍSTICAS DA ÁGUA CINZA.....	25
3.6.1	Características Qualitativas	26
3.6.1.1	Características físicas.....	26
3.6.1.2	Características químicas.....	26
3.6.1.2.1	<i>Demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO).....</i>	<i>27</i>
3.6.1.2.2	<i>Compostos nitrogenados</i>	<i>27</i>
3.6.1.2.3	<i>Compostos fosforados.....</i>	<i>28</i>
3.6.1.2.4	<i>Compostos de enxofre.....</i>	<i>29</i>
3.6.1.2.5	<i>Potencial hidrogeniônico (pH).....</i>	<i>29</i>
3.6.1.2.6	<i>Oxigênio dissolvido</i>	<i>30</i>
3.6.1.2.7	<i>Alcalinidade.....</i>	<i>30</i>
3.6.1.2.8	<i>Cloretos</i>	<i>30</i>
3.6.1.2.9	<i>Óleos e graxas</i>	<i>31</i>
3.6.1.3	Características biológicas.....	31
3.6.2	Características Quantitativas	31
3.7	PADRÕES E QUALIDADE DA ÁGUA PARA REUSO	34
3.8	TRATAMENTOS DE ÁGUA CINZA.....	38
3.9	FILTRO DE AREIA	42
3.9.1	Normas Regulamentadoras.....	43
3.9.2	Meios Filtrantes	44
3.9.3	Tipos de Filtro.....	45
4	MATERIAIS E MÉTODOS	47
4.1	CONTEXTUALIZAÇÃO DA PESQUISA.....	47

4.2	ESCOLHA E CARACTERIZAÇÃO DOS MEIOS FILTRANTES	47
4.3	ÁGUA CINZA DO ESTUDO E SEUS ASPECTOS QUALITATIVOS.....	50
4.4	PROCESSO DE TRATAMENTO DE ÁGUA CINZA COM FILTRAÇÃO	50
4.4.1	Equipamentos e Materiais.....	50
4.4.2	Camadas Filtrantes e Suporte	52
4.4.3	Análises de Trabalhabilidade do Filtro	53
4.5	ANÁLISES ESTATÍSTICAS	54
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	55
5.1	CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E MICROBIOLÓGICA	55
5.1.1	Água Cinza Bruta	55
5.1.2	Água Cinza Filtrada	56
5.2	AValiação da TRABALHABILIDADE DO FILTRO	57
5.3	ANÁLISE DE REUSO	59
6	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	61
	REFERÊNCIAS	63

1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural renovável com volume inalterado devido ao seu ciclo hidrológico, porém, segundo Lima e Machado (2008, p.13), de todo esse volume existente, apenas 0,0075% representa a água doce utilizável pelos seres humanos, encontrada em lagoas, rios e reservatórios (IDEC, 2005). O Brasil detém cerca de 13% de toda água doce superficial do planeta, porém, sofre com a má distribuição desta, uma vez que, cerca de 81% deste percentual está localizado na Amazônia, que detém menos de 5% de toda população brasileira, e o restante, cerca de 19%, está localizado nas demais regiões do país, que concentram 95% da população; dentre essas, a nordeste e a sudeste, possuidoras das menores parcelas desse percentual, são responsáveis por abastecer, aproximadamente, 70% da população brasileira, caracterizando um exemplo claro da má gestão desse recurso pelos órgãos responsáveis (ANA, 2015).

Para agravar essa situação, o intenso processo de urbanização, desenvolvimento desordenado das cidades, industrialização e o aumento da população mundial, que triplicou nos últimos 100 anos, associado a uma má gestão, má distribuição e uso irracional da água doce, tem aumentado em até seis vezes a demanda por esse bem, de acordo com Martins Júnior e Martins (2016, p.2), contribuindo para o aumento da dificuldade de acesso ao saneamento básico, que quando existente, muitas vezes é ineficiente; além de encarecer os processos de tratamento para obtenção de água potável e não-potável, visto que, a maior parte das localidades lançam seus dejetos *in natura* nos corpos hídricos ou solos, comprometendo a qualidade da água que será utilizada para fins de abastecimento, consumo, irrigação ou recreação. (TONETTI et al., 2012, p. 2).

Com a finalidade de buscar soluções simplificadas, sustentáveis e de baixo custo para os problemas citados anteriormente, países de todo o mundo tem estudado formas viáveis de tratar os diversos tipos de efluentes, sobretudo o doméstico, por ser mais “simples” quando comparado ao rural e industrial, e, devido a isso, atingir mais facilmente os parâmetros mínimos legislativos para a(s) finalidade(s) desejada(s). Lima e Machado (2008, p.3) citam como exemplo o Reino Unido, onde a filtração em filtro de areia seguida por desinfecção (com o cloro, por exemplo) é a técnica mais utilizada e eficiente para o tratamento de água cinza, que corresponde aos efluentes domésticos de lavatórios, chuveiros e máquina de lavar e que, por excluírem a contribuição dos vasos sanitários, possuem, geralmente, uma quantidade de resíduos inferior ao esgoto doméstico geral, o que simplifica o seu tratamento.

No Brasil, os processos anaeróbios, onde a decomposição da matéria orgânica ocorre sem a presença de oxigênio, foram a solução utilizada pelos órgãos ambientais para minimizar os problemas já mencionados, devido a sua simplicidade e baixo custo, onde destacam-se a associação tanque séptico e filtro anaeróbio, que além de promoverem a redução de cerca de 70 % do material orgânico presente no esgoto, produzem baixa quantidade de lodo (matéria orgânica decomposta). Apesar das vantagens e eficiência, o efluente que sai dessas estações de tratamento não atendem aos padrões legais para uso, por isso, necessita de um tratamento posterior. (TONETTI et al., 2012, p. 2).

A NBR 13.969 (ABNT, 1997) apresenta várias formas de pós-tratamento dos efluentes oriundos de fossas sépticas e filtros anaeróbios, como o sumidouro, vala de infiltração, filtro de areia, etc. Dentre essas estações, merece atenção o filtro de areia, uma vez que, para tratamento de esgoto, a Associação Brasileira de Normas Técnicas recomenda seguir orientações de dimensionamento e obtenção de dados da NBR 12.216 (ABNT, 1992) que é voltada para tratamento de água, demonstrando, em alguns casos, uma inviabilidade financeira e uma carência de estudo técnico do uso desse filtro para tratamento dos diversos tipos de esgoto, já que as características do efluente final podem divergir muito a depender do tipo de aplicação desejada e serem menos “exigentes” quando comparadas as propriedades finais da água tratada.

Desta forma, diante de toda essa conjuntura apresentada, este trabalho tem como objetivos construir um filtro sustentável para tratamento de água cinza gerada no Instituto Federal de Sergipe, com camadas filtrantes compostas de areia e resíduos de vidro moído, oriundos da construção civil, bem como analisar a eficiência desse filtro correlacionando com os parâmetros exigidos pela legislação para as diversas aplicabilidades desse tipo de esgoto tratado.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar um modelo de filtro sustentável para tratamento de água cinza com camadas filtrantes compostas de areia e resíduos de vidro da construção civil, com a finalidade do seu reuso.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Construir um filtro para tratamento de água cinza com os materiais pré-estabelecidos e detalhar de manutenção importantes para o funcionamento eficiente do mesmo.
- Averiguar capacidade filtrante do tratamento, com taxa de aplicação constante, e no decorrer do tempo.
- Comparar as características do afluente (antes de passar pelo filtro) com a do efluente (após passar pelo tratamento).
- Testar a eficiência do filtro criado correlacionando com os parâmetros exigidos pela legislação para as diversas aplicabilidades desse tipo de esgoto tratado, expondo seus aspectos mais relevantes.

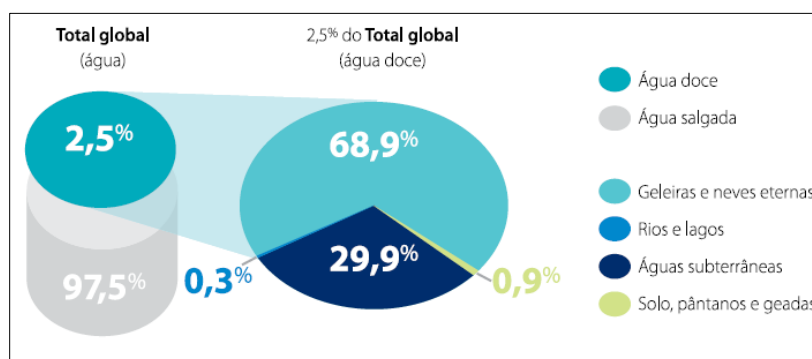
3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 PANORAMA DA ÁGUA

A água é um recurso natural essencial para todas as formas de vida existentes na Terra. Segundo o Instituto Brasileiro de Defesa do Consumidor (IDEC, 2005), apesar de ocupar cerca de 70% da superfície do planeta, a ameaça da escassez dessa, em patamares que podem inviabilizar a existência dos seres vivos, é real e preocupante, visto uma série de fatores que comprometem sua distribuição no mundo e qualidade para os mais diversos fins (consumo, agricultura, indústria, geração de energia, etc).

O volume desse bem natural é inalterável devido ao seu ciclo hidrológico permanente, porém, de toda essa quantidade, conforme é mostrado na Figura 1, apenas 2,5% representa a água doce que pode ser utilizada e tratada para uso pelos seres humanos e os outros 97,5% são constituídos por água salgada. Da parcela de água doce, 68,9% encontra-se nas geleiras, calotas polares ou em regiões montanhosas, 29,9% em águas subterrâneas, 0,9% compõe a umidade do solo e dos pântanos e apenas 0,3% constitui a porção superficial de água doce presente em rios e lagos, ou seja, 0,0075% do total de água existente na Terra (IDEC, 2005).

Figura 1 – Distribuição de massa de água no planeta.



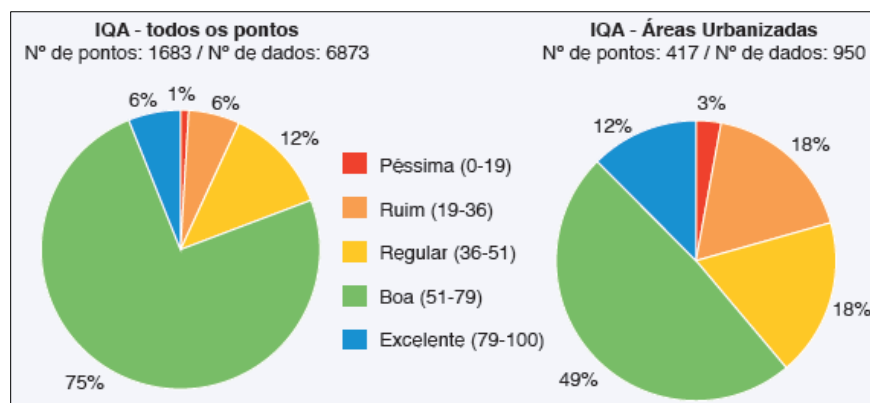
FONTE: Plano Nacional de Recursos Hídricos apud IDEC (2005).

Não obstante a essa pequena disponibilidade acessível, a distribuição da água nas demais áreas do mundo é desigual, uma vez que, depende do ecossistema presente nos territórios de cada país. Segundo o Programa Hidrológico Internacional da Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura, na América do Sul, por exemplo, encontra-se 26% do total de água doce disponível no planeta e apenas 6% da população mundial, enquanto o continente asiático possui 36% do total dessa água e abriga 60% da população do mundo (apud IDEC, 2005, p.27).

Tratando-se do Brasil, o país é destaque quando o assunto é quantidade de recursos hídricos. No país, está localizada a bacia Amazônica, maior bacia hidrográfica do mundo; o Pantanal, uma das áreas mais úmidas do planeta; e o Sistema Aquífero Grande Amazônia (SAGA), a maior reserva de água doce subterrânea da Terra. Segundo a Agência Nacional de Águas (2015), o país detém cerca de 13% de toda água doce superficial espalhada no planeta, porém, também sofre com a má distribuição territorial desta, uma vez que, cerca de 81% deste percentual está localizado na Amazônia, que detém menos de 5% de toda população brasileira, e o restante, cerca de 19%, está localizado nas demais regiões do país, que concentram, aproximadamente, 95% da população.

Quanto a qualidade desse recurso, na Figura 2 observa-se os percentuais dos indicadores qualitativos das águas doces superficiais (IQA) do Brasil, considerando 1.683 pontos de coleta espalhados por todo território brasileiro e 417 espalhados em áreas classificadas como urbanas pelo IBGE. Constatase que 39% dos corpos hídricos utilizados pela população, situados em áreas urbanizadas, possuem índices qualitativos que os classificam como péssimos, ruins e regulares, reflexo da ocupação humana e suas atividades sobre as bacias localizadas nessas regiões de crescimento; já em um panorama geral, essa classificação cai para 19%, uma pequena parcela quando comparado aos 81% com classificação boa e excelente (ANA, 2015).

Figura 2 – Classificação da qualidade das águas do Brasil .



FONTE: ANA (2015).

Devido a associação desses fatores geográficos de distribuição, tanto hídrica quanto demográfica, com aspectos que impactam negativamente o acesso à água potável, observa-se que, atualmente, um terço da humanidade vive em áreas que não lhes oferece água de qualidade (FAO, 2015). Melfi (2009) ainda acrescenta que, 26 países já vivem em situação de penúria com relação a escassez da água e 50 deverão conhecer essa situação até metade do século.

3.2 IMPACTOS SOBRE OS RECURSOS HÍDRICOS

A problemática envolvendo a situação dos recursos hídricos abrange diversos fatores causais, que em ação conjunta, trouxeram várias consequências impactantes, como: o comprometimento da qualidade da água oferecida, o encarecimento dos processos de tratamento dessa e a escassez desse bem natural em várias regiões do mundo.

O aumento da população mundial, que só nos últimos 100 anos triplicou, associado a uma desigual distribuição natural da água doce e ao uso irracional dessa, são as principais causas que, de acordo com dados do Relatório sobre Desenvolvimento Humano e da Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO, 2015), contribuíram para que 1,2 bilhões de pessoas do mundo vivessem em regiões submetidas a escassez de água e, até 2025, prevê-se que 2,5 bilhões de pessoas passem por essa mesma situação.

Segundo dados levantados por Melfi (2009), o homem pré-histórico devia consumir entre 2 e 5 litros de água por dia, já o homem do século 21, estima-se que, para suas necessidades fisiológicas, consuma de 5 a 10 litros diários; já para seu conforto doméstico, entre 150 e 450 litros por dia; e para todas as suas atividades (agrícola, industriais, lazer, etc), aproximadamente 56.000 litros diários, sendo uma média de 20.000 metros cúbicos por pessoa por ano, configurando-se uma demanda cada vez mais crescente, que sem medidas de controle, levará ao esgotamento desse recurso em várias regiões do planeta.

Já o intenso processo de urbanização, o desenvolvimento desordenado das cidades, industrialização e a crescente produção agrícola são apontados como os principais comprometedores da qualidade da água fornecida para diversos fins, como abastecimento, consumo, irrigação e até mesmo recreação, visto que, a maior parte das localidades que passaram por esses processos, desenvolveram-se sem um planejamento ambiental correto, de acordo com Bazzarella (2005) e, conseqüentemente, lançam seus dejetos *in natura* nos corpos hídricos ou solos, fomentando uma poluição contínua e progressiva que encarece os processos de tratamento de água desses receptores (TONETTI et al, 2010).

Não obstante, a má gestão da água, em todo mundo, pelos órgãos responsáveis, fez com que houvesse uma dificuldade de acesso a um saneamento básico, que quando existente, muitas vezes é ineficiente. De acordo com Melfi (2009), no planeta, 2,6 bilhões de pessoas não têm acesso a um saneamento básico e, devido a essas circunstâncias, 1,8 milhão de crianças morrem anualmente em função de infecções transmitidas por águas insalubres. No país, dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2016) revelam que 83% da população é atendida por rede de abastecimento de água, em contrapartida, apenas 70,9% dos

esgotos gerados são coletados e, desse percentual, apenas 40,8% é tratado antes do lançamento em corpos hídricos, pelas concessionárias responsáveis; um crescimento minorável de 3,9% se comparado ao percentual de esgoto tratado no país referente a 2013. Os demais percentuais, referentes ao ano de 2014, do país e suas regiões, podem ser observados na Tabela 1.

Tabela 1 – Níveis de atendimento com água e esgotos dos municípios cujos prestadores de serviços são participantes do SNIS em 2014*, segundo região geográfica e Brasil.

Regiões	Atendimento com Rede (%)		Esgotos Gerados Tratados (%)	Esgotos Coletados (%)
	Água	Coleta de Esgoto		
	Total	Total	Total	Total
Norte	54,5	7,9	14,4	78,2
Nordeste	72,9	23,8	31,4	78,5
Sudeste	91,7	78,3	45,7	65,4
Sul	88,2	38,1	36,9	84,1
Centro-Oeste	88,9	46,9	46,4	91,1
Brasil	83,0	49,8	40,8	70,9

FONTE: SNIS (2016).

Notas:

*O SNIS apurou informações sobre abastecimento de água em 5.114 municípios, assegurando uma representatividade de 91,8% em relação ao total de municípios do Brasil. Para esgotamento sanitário, a quantidade de municípios é de 4.030, uma representatividade de 72,4% em relação ao total de municípios do Brasil.

3.3 LEGISLAÇÕES, NORMAS E AÇÕES PARA CONSERVAÇÃO DA ÁGUA

Para minorar esses problemas de escala global, tornou-se necessário criar estratégias de desenvolvimento mais eficientes ambientalmente e medidas que promovessem qualidade de vida, não só para a geração atual, mas também para a geração futura, medidas essas chamadas de sustentáveis.

Reuniões em todo mundo começaram a ocorrer para discutir tais providências, focando em promover um modelo de desenvolvimento que procurava o equilíbrio sociocultural, econômico e ambiental, sendo a primeira delas, a *Conference on the Human Environment* (Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano), também conhecida como Conferência de Estocolmo, organizada pela Organização das Nações Unidas (ONU, 1972).

A Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano tinha como objetivo tratar sobre temas relacionados à degradação do meio ambiente, com enfoque para o consumo dos recursos naturais finitos e poluição atmosférica. Nesse encontro, que contou com a participação de 113 países e de mais de 400 instituições governamentais e não-governamentais, foram confrontados os interesses dos países desenvolvidos com os dos países

em desenvolvimento, pois, os desenvolvidos defendiam a diminuição do ritmo de industrialização dos países que estavam se desenvolvendo e apontaram esse processo como a principal causa da degradação ambiental mundial; já os em desenvolvimento, recusavam-se a aceitar tal ideia, visto que, isso limitaria sua capacidade de crescimento e, conseqüentemente, de garantir qualidade de vida às suas populações (ONU, 1972).

Devido à falta de consenso das partes envolvidas, não foi possível criar um acordo de compromisso ambiental entre os países, porém, foi concebida nesse encontro, a inserção da problemática ambiental como prioridade dos governos e o primeiro documento de direito internacional que reconhece o direito humano a um meio ambiente de qualidade, conhecido como a *Declaration of the United Nations Conference on the Human Environment* (Declaração da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano), adotada em 6 de junho de 1972 (ONU, 1972).

Em 1983, a ONU criou a Comissão Mundial sobre Ambiente e Desenvolvimento, que buscava reavaliar as questões críticas relativas ao meio ambiente e propor novas formas de cooperação internacional, mais firmes e realistas. Essa reunião, quatro anos depois, culminou na publicação do relatório *Our Common Future* (Nosso Futuro Comum), também conhecido como relatório Brundtland, que definiu o conceito de desenvolvimento sustentável como sendo o “desenvolvimento de acordo com as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de satisfazer suas próprias necessidades”.

Esse documento também levantava uma série de medidas, apoiadas na combinação de crescimento econômico com proteção ambiental e equidade social, que deveriam ser adotadas pelos países envolvidos para promover, realmente, um desenvolvimento sustentável, uma vez que, constatava-se que o consumo excessivo dos recursos naturais e o padrão de produção adotados pelos países desenvolvidos, e reproduzidos pelas nações em crescimento, eram incompatíveis com esse tipo de desenvolvimento, o que comprometeria todos os ecossistemas.

Dando continuidade a temática da sustentabilidade, em 1992, a ONU organizou a conferência mundial conhecida como Rio-20 ou Eco-20, na cidade do Rio de Janeiro, que teve como principal resultado a criação de um dos principais norteadores do crescimento sustentável, a Agenda 21. Nesse documento, 179 países envolvidos comprometeram-se a refletirem, local e globalmente, sobre soluções para os problemas ambientais já existentes e a conscientizar todos os setores da sociedade a promover um desenvolvimento com embasamento sustentável, de maneira holística e priorizando a qualidade, ao invés da quantidade do crescimento (CONFERÊNCIA DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO, 1992).

Com relação aos recursos hídricos, no capítulo 18 da Agenda 21, intitulado "Proteção da Qualidade e do Abastecimento dos Recursos Hídricos: Aplicação de Critérios Integrados no Desenvolvimento, Manejo e Uso dos Recursos Hídricos", propõe-se uma série de ações que norteiam a sustentabilidade desses recursos, com o objetivo de proporcionar uma oferta adequada de água de boa qualidade para toda a população do planeta, ao mesmo tempo em que se preserve a manutenção dos ecossistemas, através da conscientização da sociedade sobre os limites da capacidade de restauração da natureza e combatendo aspectos negativos relacionados com a água. Esse capítulo abrange ainda, como se alcançar tais objetivos, apresentando técnicas para a prática de reuso da água, como a dessalinização da mesma, a reposição artificial de águas subterrâneas, o uso da água de pouca qualidade e aproveitamento de águas residuárias (CONFERÊNCIA DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO, 1992).

Adequando-se a conjuntura abordada, países como Inglaterra, Alemanha, Holanda, Austrália, Japão, Suíça, Estados Unidos, entre outros, foram os pioneiros em criar leis e métodos sustentáveis para preservação do meio ambiente, sobretudo no que se refere a reutilização da água. Mota e Aguilar (2009) citam, por exemplo, o lançamento em 1990, na Inglaterra, do primeiro sistema de avaliação ambiental de construções do mundo, o BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method), que certifica construções sustentáveis com um selo “verde”; já em 1999, segundo Rebêlo (2011), o USGBC (*United States Green Building Council*) criou o selo de certificação LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*), que traz incentivos financeiros e econômicos para o mercado de construções verdes dos Estados Unidos.

Nesse contexto, o Brasil vem criando leis e programas que procuram incentivar o desenvolvimento sustentável e, conseqüentemente, a conservação dos recursos hídricos presentes no território nacional. Como exemplos de programas, têm-se o *Green Building Council Brasil* (GBCBrasil), criado em 2007, que certifica construções sustentáveis no país através da análise de 7 dimensões (Espaço sustentável, eficiência do uso da água, energia e atmosfera, materiais e recursos empregados, qualidade ambiental interna, inovações e processos, créditos de prioridade regional) e uma série de recomendações que devem ser obedecidas. Existe também o programa Selo Casa Azul CAIXA, criado em 2009, pela Caixa Econômica Federal, que classifica socioambientalmente os projetos habitacionais financiados pela instituição, com o objetivo de promover o uso racional de recursos naturais nas construções e a melhoria da qualidade da habitação, além de reconhecer projetos que adotam soluções eficientes na construção, uso, ocupação e manutenção dos edifícios.

Quanto as legislações, pode-se citar o Plano de Ação para Produção e Consumo Sustentáveis, criado pelo Ministério do Meio Ambiente em 2010, que direciona as ações do país para padrões mais sustentáveis tanto de consumo quanto de produção; a Resolução do CONAMA nº 54, de 28 de novembro de 2005, que foi a primeira a tratar explicitamente sobre a questão do reuso no Brasil, estabelecendo modalidades, diretrizes e critérios gerais que regulamentam e estimulam a prática de reuso direto não potável de água em todo o território nacional; além das leis: número 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos, abrangendo aspectos sobre sustentabilidade e qualidade/quantidade dos recursos hídricos, e exigindo comprometimento quanto ao lançamento de efluentes (tratados ou não) em corpos hídricos; a de número 11.445, de 5 de janeiro de 2007, que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico e outras leis desenvolvidas no âmbito municipal que serão citadas posteriormente.

Tratando-se de normas, existe no país, a NBR 13.969 - Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação, de 1997, que consiste na primeira norma brasileira a explicitar sobre questões de reuso de águas, abordando desde o tratamento até o treinamento dos operadores do sistema.

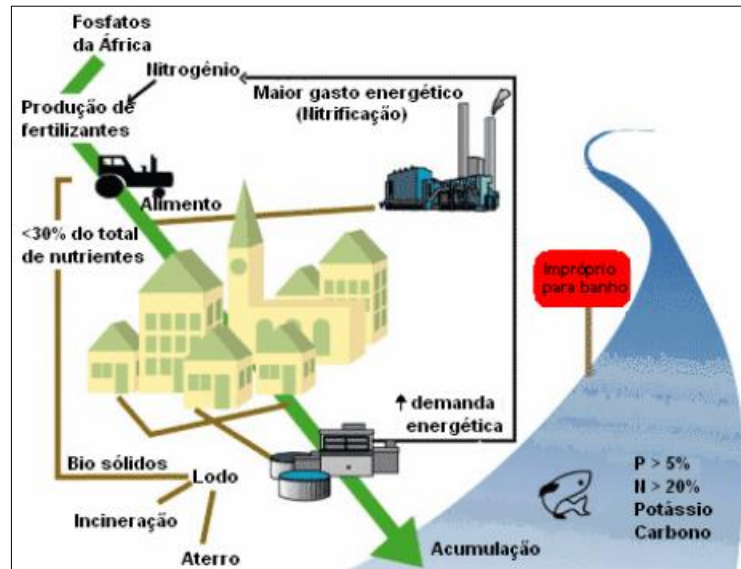
3.4 SANEAMENTO ECOLÓGICO

No atual cenário onde se busca sustentabilidade e conservação dos recursos hídricos, alguns estudiosos desenvolveram o conceito de saneamento ecológico, onde possui um embasamento ideológico divergindo da concepção do tradicional sistema de saneamento.

Segundo as concepções de Otterpohl et al. (1997) e Esrey et al. (1998), os sistemas tradicionais de saneamento produzem um fluxo linear de transporte de materiais para os receptores hídricos, sem agregar valor significativo aos nutrientes transportados, por isso, devem ser descartados sem perspectiva de retorno ou remanejamento.

Esse fluxo, como pode ser observado na Figura 3, abrange o transporte dos efluentes produzidos pela agricultura, indústria e pelos meios urbanos, por meio de grande vazões de água que, por levarem pequenas quantidades de substâncias potencialmente perigosas, aumentam a magnitude da contaminação da fonte receptora, sendo essa condução com características cumulativas, pois, a água é retirada da fonte de abastecimento, tratada pela ETA e distribuída pela concessionária responsável, contaminada pelos utilizadores e, por fim, levada para ETE e despejada novamente na fonte hídrica de fornecimento, que, cada vez mais, vai ficando impura e imprópria (LANGERGRABER; MUELLEGGGER, 2005).

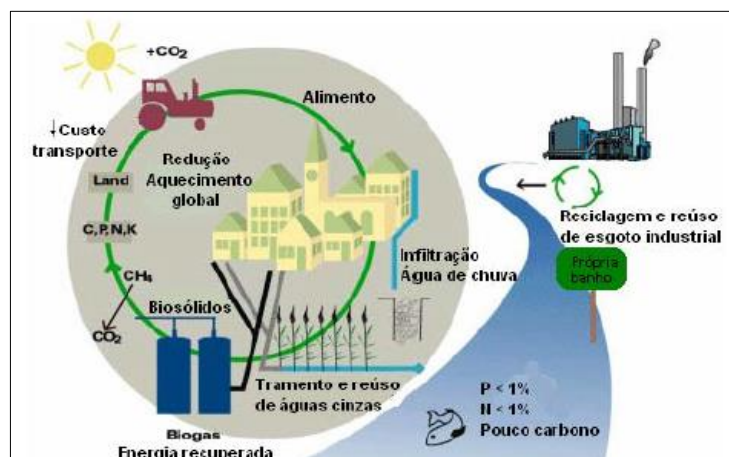
Figura 3 – Fluxo linear de massa em um sistema tradicional de esgoto.



FONTE: OTTERPOHL et al (1997), adaptado.

O conceito de saneamento ecológico surge para evitar os impactos negativos causados pelos sistemas tradicionais de esgoto. Segundo Langergraber e Muellegger (2005), nele, todos os componentes constituintes do esgoto transportados possuem valor significativo, não sendo apenas resíduos, mas sim recursos que possuem utilidades e podem ser reutilizados, por exemplo, os nutrientes do efluente agrícola podem ser usados para a produção de biogás e biosólidos; os esgotos industriais serem remanejados para finalidades que não exigem grande potabilidade, como lavagem e recirculação; já os efluentes domésticos, com suas mais diversas composições, podem possuir destinação adequadamente viável a depender da sua finalidade. Nesse novo modelo, como visto na Figura 4, respeita-se tanto o ciclo fechado da água quanto o dos materiais, com a finalidade de reduzir os impactos sobre a fonte de água fornecedora e/ou receptora.

Figura 4 – Fluxo circular de massa em um sistema de saneamento sustentável.

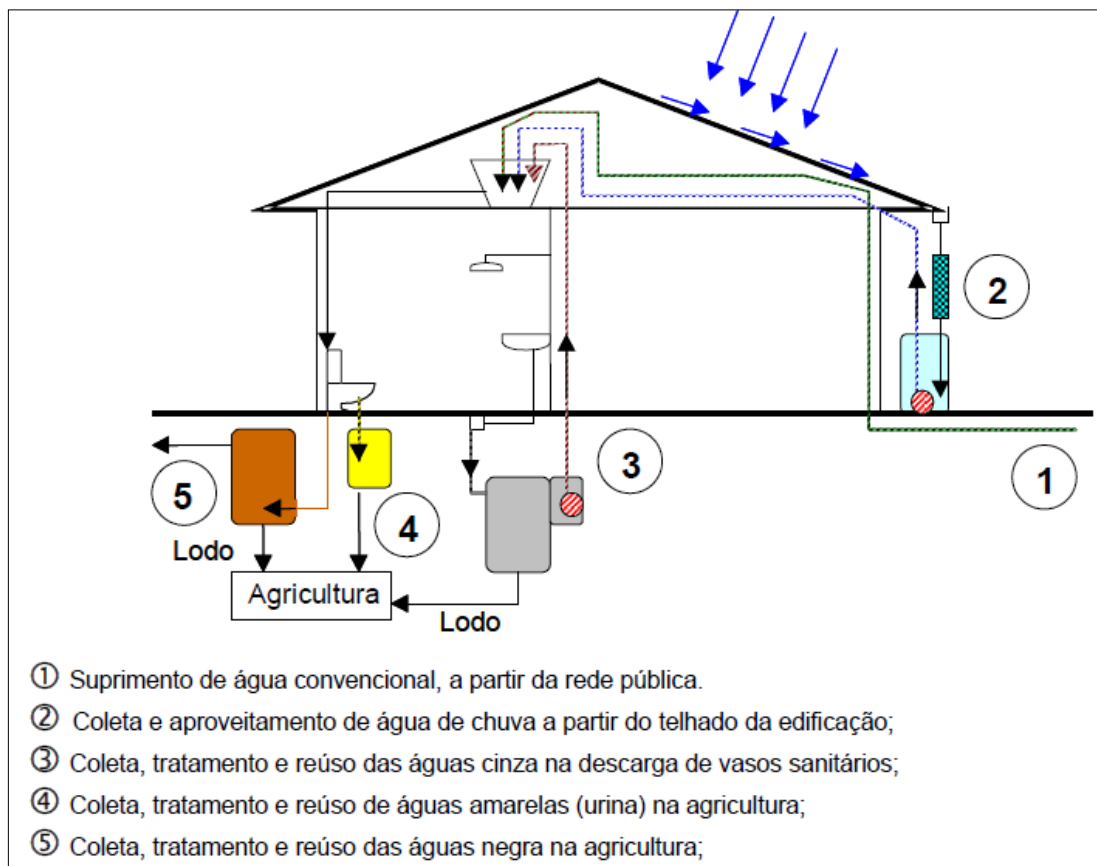


FONTE: OTTERPOHL et al (1997), adaptado.

3.5 AS CORES DOS ESGOTOS DOMÉSTICOS

Obedecendo o ciclo dos nutrientes e da água, o saneamento ecológico sugere a divisão dos diferentes tipos de esgotos residuários inicialmente em sua origem, ou seja, em escala residencial, com o objetivo de valorizá-los, de acordo com a sua composição, e procurar remanejá-los para uma melhor eficiência da reciclagem da água e dos materiais. Na Figura 5, demonstra-se um modelo de gerenciamento dos diferentes tipos de efluentes domésticos, classificando-os por composições semelhantes e distinguindo-os por cores (OTTERPOHL, 2001).

Figura 5 – Esquema de gerenciamento de águas em uma edificação.



FONTE: GONÇALVES (2006), adaptado.

Pode-se observar no modelo acima que divide-se a água, basicamente, em cinco linhas de suprimento diferentes para fins potáveis e para fins não-potáveis. A casa é abastecida pela concessionária de fornecimento de água, representada pela tubulação de número 1, essa é utilizada para finalidades que exigem potabilidade; as águas pluviais são coletadas através de calhas e direcionadas, através da tubulação 2, para um segundo reservatório destinado as águas com fins não-potáveis; os efluentes gerados por chuveiros, máquinas de lavar, tanques e lavatórios, também chamados de água cinza, demonstrados pela tubulação 3, são coletados,

tratados e podem ser reusados para diversas finalidades que não requerem potabilidade da água; por fim, quando as bacias sanitárias possuem separador de urina e fezes, pode-se utilizar os efluentes gerados, água amarela (tubulação 4) e água marrom, respectivamente, para fins agrícolas, geração de energia com o biogás e o lodo como matéria-prima para obtenção de novos materiais; quando não dispõe-se de separador de fezes e urina nas bacias sanitárias, o efluente gerado é chamado de água negra (tubulação 5) possuindo as mesmas utilizações da água amarela e marrom, porém, com maior complexidade de segregação dos nutrientes a depender da destinação final (OTTERPOHL, 2001).

De acordo com Esrey (2001), esse modelo de gerenciamento das águas residuárias seguindo o conceito de saneamento ecológico, é uma das únicas soluções sustentáveis capaz de reduzir todos os impactos negativos já causados sobre o meio ambiente, especialmente as fontes hídricas.

Projetos pilotos englobando essa metodologia já são desenvolvidos em países tais como Escandinávia, Holanda, Suécia e Alemanha, demonstrando resultados satisfatórios relativos a diversos aspectos: econômicos, culturais e ambientais (SKJELHAUGEN, 1999; OTTERPOHL, 2001).

3.6 CARACTERÍSTICAS DA ÁGUA CINZA

São chamados de águas cinzas, os esgotos residuários provenientes de máquinas de lavar, tanques, chuveiros e lavatórios. Alguns autores, como Nolde (1999) e Christova-Boal et al. (1996), não consideram o efluente oriundo de pias de cozinha como água cinza, uma vez que, o mesmo possui características muito distintas quando comparadas com as das demais fontes, como o teor mais elevado de poluição, conteúdo putrescível e substâncias indesejáveis (óleos e gorduras).

De maneira geral, a água cinza pode possuir intensidades diferentes, desde o cinza claro ao cinza escuro; cores diferentes, ao absorver pigmentos e corantes liberados por objetos presentes nesse esgoto; e até mesmo apresentar um aspecto cristalino, como é perceptível no efluente gerado durante a centrifugação de roupas em máquinas de lavar.

Além desses aspectos estéticos, nesse tipo de efluente podem ser observada a presença de partículas de sujeira, substâncias químicas (sabões, líquidos amaciantes, alvejantes, shampoos, condicionador, suor, urina, oleosidade, etc) e microrganismos que podem ser nocivos a saúde, como bactérias, vírus e fungos, por exemplo.

3.6.1 Características Qualitativas

A água cinza é geralmente originada pelo uso combinado de vários componentes, como sabão, produtos para lavagem do corpo, de roupas ou de limpeza em geral (JEFFERSON et al., 1999). Varia em qualidade de acordo com a localidade, nível de ocupação da residência, faixa etária, estilo de vida, classe social, costumes dos moradores (NSWHEALTH, 2002) e com o tipo de fonte de água cinza que está sendo utilizado (lavatório, chuveiro, máquina de lavar, etc.) (NOLDE, 1999). Outros fatores que, segundo Eriksson et al. (2002), também contribuem para as características da água cinza são: a qualidade da água de abastecimento e o tipo de rede de distribuição, tanto da água de abastecimento quanto da água de reuso.

3.6.1.1 Características físicas

As principais características físicas da água cinza, de acordo com Von Sperling (2005), são: temperatura, cor, turbidez, sabor e odor. A temperatura pode influenciar no crescimento de microrganismos, na dissolução de oxigênio, além de facilitar, em algumas situações, a taxa de transferência de gases que poderão contribuir para a geração de odores desagradáveis e também para a proliferação de micróbios. A cor, sabor e odor são variantes de acordo com o local de origem da água cinza, o seu estado de frescor e a quantidade de sólidos presentes nesse efluente; quando estão mais frescos, esses esgotos possuem colorações claras e odores relativamente menos desagradáveis, já quando estão mais maturados, possuem colorações que variam do cinza escuro ao preto e odores mais fétidos devido a presença de substâncias e reações que se desenvolveram na massa líquida. A turbidez e a quantidade de sólidos estão intimamente ligadas e presentes nas águas cinzas, geralmente, em elevadas concentrações. Resíduos, cabelos e fibras de tecidos são alguns exemplos de material sólido existente nesse tipo de efluente. Os materiais em suspensão conferem um aspecto desagradável à água cinza, além de servirem de abrigo para microrganismos, podendo ocasionar rejeição por parte dos usuários no caso de um reuso sem tratamento (JORDÃO; PESSOA, 2005).

3.6.1.2 Características químicas

Os principais aspectos químicos presentes nas águas cinzas são: demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO), compostos nitrogenados,

compostos fosforados, compostos de enxofre, pH, oxigênio dissolvido, alcalinidade, cloretos, óleos e graxas.

3.6.1.2.1 Demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO)

A quantidade de matéria orgânica presente nos demais tipos de efluente é um dos seus principais indicadores de poluição. Para que ocorram as reações metabólicas de estabilização dessa, os microrganismos presentes precisam consumir o oxigênio dissolvido naquele corpo hídrico, logo, quanto maior for esse consumo, maior será a quantidade de matéria orgânica poluidora presente no efluente.

Carboidratos, proteínas, ureia, óleos e gorduras são alguns exemplos de compostos orgânicos encontrados na água cinza. Usualmente, não existe a necessidade de se identificar cada um desses compostos carbonáceos presentes isoladamente, uma vez que, em termos práticos, é grande a dificuldade de se obter dados segregados sobre esses em laboratórios; comumente, basta-se determinar a quantidade de oxigênio dissolvido que será consumida para estabilização da matéria orgânica presente, através de análises mais práticas, a demanda bioquímica de oxigênio (DBO) ou demanda química de oxigênio (DQO), que darão, indiretamente, o nível de poluição do efluente e, conseqüentemente, o potencial poluidor da matéria orgânica existente.

Mesmo não possuindo contribuições dos vasos sanitários, o conteúdo de matéria orgânica e inorgânica presente na água cinza é bastante significativo. A maior parte dela é oriunda de resíduos de óleos e gorduras, resíduos corporais, sabão, etc. Já a matéria inorgânica provém principalmente dos produtos químicos e detergentes utilizados nos banhos e limpeza. Em alguns casos específicos, as concentrações de DBO_5 (Demanda Bioquímica de Oxigênio medida a 5 dias) e de DQO podem até superar as concentrações características de esgotos sanitários concentrados (GONÇALVES, 2006).

3.6.1.2.2 Compostos nitrogenados

Os compostos nitrogenados podem ser encontrados em diversas formas nos corpos hídricos: nitrogênio orgânico, amônia, nitrito, nitrato, etc. Esgotos com cargas poluidoras mais recentes possuem predominantemente nitrogênio orgânico e amônia, já os com cargas de poluição mais remotas possuem o nitrato como composto nitrogenado predominante.

A concentração de nitrogênio existente nos esgotos é de suma importância e impacta diretamente nas características desses. Altas concentrações dessa substância no efluente podem originar a eutrofização, ou seja, o crescimento exagerado de algas no meio hídrico de tal forma que o comprometerá qualitativamente. Já em adequadas concentrações, favorece o desenvolvimento de microrganismos que auxiliarão, por exemplo, em um sistema de tratamento de esgotos eficiente.

A presença de nitrogênio deve ser controlada com bastante cautela, nos processos bioquímicos de transformações de amônia em nitrito e, em seguida, deste em nitrato, a chamada nitrificação; e do nitrato em nitrogênio gasoso, processo conhecido como desnitrificação. Em ambos, há o consumo do oxigênio dissolvido do meio, o que pode afetar a vida aquática existente. Além disso, a amônia livre e o nitrato quando lançados em corpos hídricos, sem tratamento adequado, comprometem a vida de algumas espécies susceptíveis a essas substâncias.

Em águas cinzas, as concentrações de compostos nitrogenados são relativamente baixas, quando comparadas às existentes em esgotos sanitários, pois, recebem menos contribuições de urina que esses últimos (GONÇALVES, 2006).

3.6.1.2.3 *Compostos fosforados*

Os compostos fosforados encontram-se nos corpos hídricos, basicamente, em três formas: ortofosfatos, polifosfatos e fósforo orgânico. Os ortofosfatos são as substâncias fosforadas mais comuns encontradas nos esgotos, oriundas de dejetos domésticos, industriais, detergentes, fertilizantes, sabões, etc; por serem moléculas mais simples, quando comparadas às outras, participam diretamente do metabolismo biológico dos microrganismos responsáveis pela estabilização da matéria orgânica presente no efluente, e, devido a esse fato, deve-se analisar cautelosamente sua concentração junto com outras substâncias no esgoto, visto que, por auxiliar no desenvolvimento de alguns desses microrganismos, pode levar o corpo hídrico a eutrofização.

Já os polifosfatos constituem-se de moléculas mais complexas com dois ou mais átomos de fósforo, sendo convertidos lentamente, através de reações de hidrólise, em ortofosfatos, não sendo significativamente impactante sobre as propriedades do esgoto. O fósforo orgânico, apesar de presente nos corpos hídricos, não tem grande contribuição sobre as características desses, apenas é convertido, quando desejado, em ortofosfatos, em sistemas de tratamentos de esgotos.

Segundo Jordão e Pessoa (2005), a principal fonte de fósforo na água cinza são os detergentes e os sabões contendo fosfatos. Isso explica as concentrações em amostras de tanque e máquina de lavar, geralmente, sempre maiores do que em amostras de lavatório e chuveiro. Em alguns casos, as concentrações de fósforo em águas cinza podem ser semelhantes ou até superiores às daquelas de esgotos sanitários.

3.6.1.2.4 Compostos de enxofre

Os compostos de enxofre possuem relação direta com a formação de odores desagradáveis, sobretudo, em águas cinzas, devido a geração de gás sulfídrico em suas reações. Como exemplo, pode-se citar o odor desagradável de roupas que permaneceram sob enxágue em água com sabão por períodos prolongados.

As condições ideais para a produção de sulfetos não se encontram presentes logo na fase inicial de produção da água cinza, resultando, em baixas concentrações desses compostos; essas concentrações aumentam significativamente em virtude da elevação da concentração de sulfato, oriundo de sabões e detergentes, e da decomposição de matéria orgânica (proteínas) do corpo hídrico (GONÇALVES, 2006).

3.6.1.2.5 Potencial hidrogeniônico (pH)

O pH representa a concentração de íons hidrogênio livres no efluente, dando uma caracterização de acidez, neutralidade ou alcalinidade a esse.

Sua análise é importante tanto para as diversas etapas de tratamentos de água e esgoto (coagulação, floculação, desinfecção, controle de corrosividade, etc.), quanto para a sobrevivência da vida aquática (peixes e microrganismos responsáveis pelo tratamento de esgotos) presente no corpo hídrico.

Valores baixos desse parâmetro representam um efluente corrosivo e agressivo, já valores elevados caracterizam a possibilidade de incrustações no mesmo.

Segundo pesquisas desenvolvidas por Gonçalves (2006), o pH da água cinza depende basicamente do pH da água de abastecimento. Geralmente, esse tipo de efluente apresenta o pH bem próximo da neutralidade, tal como esgotos sanitários típicos. Entretanto, alguns produtos químicos utilizados podem contribuir para aumento do mesmo, tal como ocorre nas águas cinza geradas em máquinas de lavar e em tanques, devido ao uso de sabão em pó e de amaciante.

3.6.1.2.6 *Oxigênio dissolvido*

O oxigênio dissolvido é de vital importância para alguns seres aquáticos do meio hídrico, como peixes, bactérias aeróbias, etc. É um parâmetro essencial para análise do nível de poluição de um efluente, visto que, quanto mais rápida ocorrer a diminuição da concentração de oxigênio dissolvido, maior está sendo o consumo desse, ou para estabilização da matéria orgânica presente (por bactérias aeróbias e outros microrganismos), ou para sobrevivência (peixes), o que pode prejudicar, em situações de baixa concentração de oxigênio, a vida aquática presente. Quando todo o oxigênio é consumido, tem-se condições para o surgimento das bactérias anaeróbias (processos metabólicos sem a presença de oxigênio), que irão estabilizar a matéria orgânica remanescente com geração de maus odores.

Em águas cinzas, as concentrações de oxigênio dissolvido são relativamente altas logo após a sua produção, diminuindo-se no decorrer do tempo devido as reações que ocorrem no meio (GONÇALVES, 2006).

3.6.1.2.7 *Alcalinidade*

Corresponde a capacidade da água de neutralizar íons de hidrogênio livre e sua acidez (capacidade tampão). Os principais constituintes desse parâmetro são os bicarbonatos, carbonatos e os hidróxidos, e a distribuição dessas substâncias no efluente depende do pH do mesmo. Sua determinação é de suma importância no controle do tratamento de águas e esgotos, visto que está relacionado com a coagulação, corrosão em tubulações, e, nas águas cinzas, com a capacidade de depuração da matéria orgânica pelos microrganismos aeróbios presentes (GONÇALVES, 2006; VON SPERLING, 2005).

3.6.1.2.8 *Cloretos*

O cloreto é o ânion Cl^- que se apresenta nas águas através da dissolução de sais minerais, conferindo ao corpo hídrico um sabor salgado quando em elevadas concentrações.

Nos esgotos em geral, esse parâmetro é originado através da água de abastecimento e dejetos humanos. Já em água cinzas, a principal causa de altas concentrações desse íon se dá se forem levadas em consideração a contribuição do efluente da cozinha e a urina durante o banho, o que pode gerar concentrações de cloretos similares as de esgotos sanitários (GONÇALVES, 2006).

3.6.1.2.9 Óleos e graxas

As principais fontes dessas substâncias nos esgotos, segundo Gonçalves (2006), são os óleos e gorduras utilizados no preparo de alimentos e resíduos presentes no corpo e nas roupas, oriundos da transpiração humana. Dessa forma, deduz-se que os efluentes de cozinha apresentam maior concentração desses compostos, seguidos pelos de tanque e chuveiro. Considerando a contribuição de águas oriundas de cozinha na água cinza, observa-se concentrações de óleos e graxas na água cinza similares as encontradas em esgotos sanitários e, caso não sejam removidos previamente, poderão diminuir a eficiência de tratamentos biológicos subsequentes desse tipo de efluente.

3.6.1.3 Características biológicas

Podem ser oriundas de vários tipos de seres: bactérias, fungos, protozoários, vírus e helmintos. Alguns são de difícil remoção em estações tratamentos de água e esgoto, o que pode gerar doenças aos usuários susceptíveis. Apesar desses fatores, alguns desses microrganismos possuem atividades importantes quando presentes no corpo hídrico; por exemplo, as bactérias possuem a função de estabilizar a matéria orgânica presente no efluente, os fungos auxiliam na decomposição desse material e os protozoários contribuem para a manutenção do equilíbrio entre os diversos grupos de seres presentes nos esgotos.

Embora a água cinza não possua contribuição dos vasos sanitários, de onde provém a maior parte dos microrganismos patogênicos, algumas atividades como limpeza das mãos após o uso da toalete, lavagem de roupas fecalmente contaminadas (fraldas de pano) ou o próprio banho são possíveis fontes de contaminação desse tipo de efluente e o seu grau de risco à saúde humana, dependerá do tipo de patógeno, tempo de maturação do esgoto, do tratamento aplicado (caso necessário) e da rota de exposição desse corpo hídrico até sua destinação final (GONÇALVES, 2006).

3.6.2 Características Quantitativas

A água cinza distingue-se, quantitativamente, das demais fontes de água de reuso (chuva, por exemplo) pelo fato da sua produção ser diretamente proporcional ao consumo de água nas residências, ou seja, enquanto houver uso de aparelhos sanitários, haverá a produção de água cinza. Porém, o consumo de água em uma edificação varia de acordo com a região, o

clima e com os costumes da população envolvida. Devido a esse fato, em algumas situações, é comum ocorrer uma defasagem temporal entre oferta e demanda, recomendando-se existir um reservatório de estocagem desse tipo de água a ser reutilizada para atender as solicitações nos mais variados períodos do dia e, em situações de excesso de produção desse efluente, existir um estudo de descarte do volume excessivo (GONÇALVES, 2006).

No Brasil, a partir da década de 90, devido a quantidade quase inexistente de estudos desenvolvidos sobre o assunto, algumas pesquisas começaram a ser desenvolvidas pelo IPT (Instituto de Pesquisa e Tecnologia) no intuito de estabelecer um processo metodológico para realização de campanhas de medição do consumo de água e produção de água cinza em residências brasileiras, empregando-se equipamentos de monitoramento automático em cada um dos pontos de utilização de água (ROCHA et al., 1999) e associando-se a vazão característica dos aparelhos sanitários com a sua realidade de uso (frequência e duração de uso)(SANTOS, 2002). Alguns resultados dessas pesquisas, desenvolvidas por três instituições diferentes, podem ser vistos na Tabela 2, que representa o percentual de consumo dos principais aparelhos sanitários de uma residência e, conseqüentemente, geração de água cinza por algum desses.

Tabela 2 – Distribuição do consumo de água em edificações.

Aparelho Sanitário	DECA	USP	PNCDA
Vaso Sanitário	14%	29%	5%
Chuveiro	47%	28%	55%
Lavatório	12%	6%	8%
Pia de Cozinha	15%	17%	18%
Tanque	-	6%	3%
Máquina de Lavar	8%	9%	11%

FONTE: GONÇALVES (2006) apud SELLA (2011), adaptado.

Com relação ao consumo de água nas áreas externas, como pisos e jardins, de acordo com Philippi et al. (2006) apud Sella (2011), pode-se considerar um consumo de 3 L/m²/dia para irrigação dos jardins e para lavagem de pisos 4 L/m²/dia, com frequência dessas atividades ocorrendo durante 8 dias no mês.

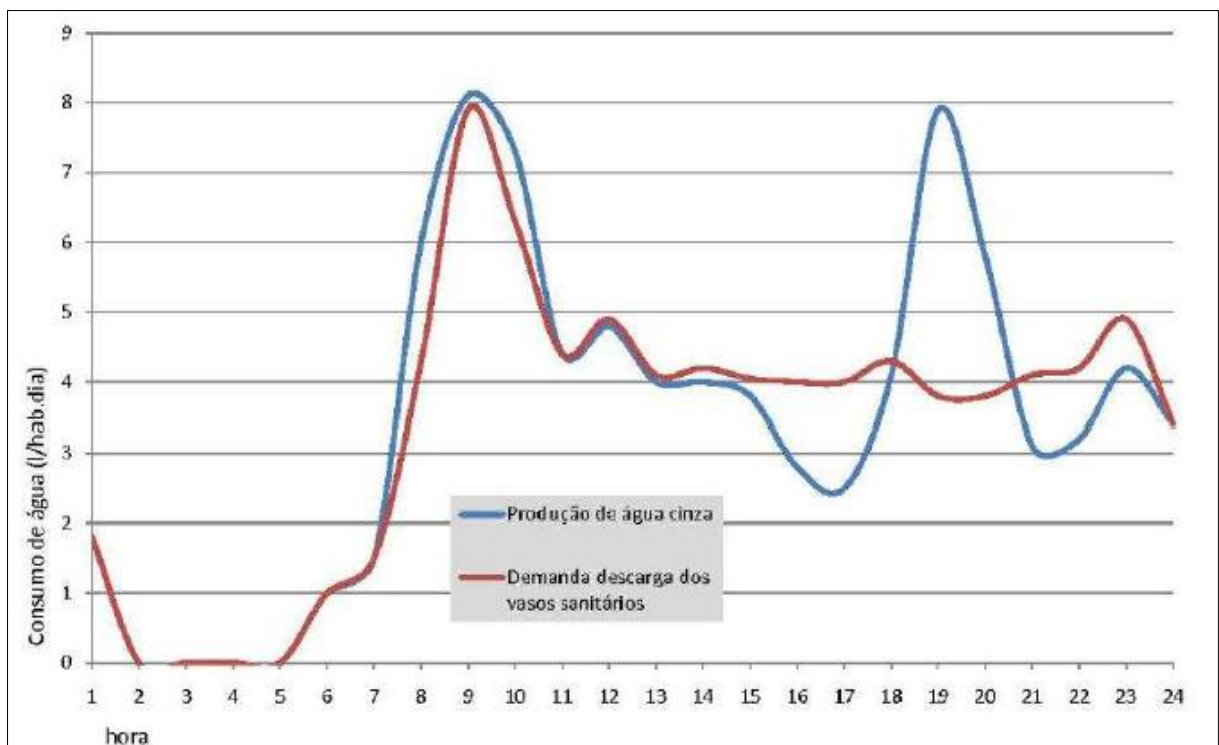
Para se alcançar o sucesso em um sistema de gerenciamento de águas cinzas, deve-se existir um correto estudo das cargas hidráulicas decorrentes das variações de vazão no decorrer do tempo. Esse aspecto assume particular importância no Brasil, tendo em vista os hábitos da população do país no que se refere aos banhos seguidos e prolongados, resultando em uma

produção excedentária de água cinza se o uso preponderante da água de reuso for as descargas sanitárias. Recomenda-se levar em consideração, para o país, que cerca de 80% do volume de toda a água cinza em uma edificação predominantemente residencial são produzidos nos horários de pico (entre 6:00 e 9:00 h, 11:00 e 14:00 h e 17:00 e 21:00 h)(GONÇALVES, 2006).

Estudos realizados por Jefferson et al. (1999, apud SELLA, 2011) em uma universidade, demonstraram que o volume de água cinza gerado e o volume requerido pelos vasos sanitários (finalidade de reuso adotada para o caso analisado) da instituição são bastante semelhantes. Porém, como citado anteriormente, existe, na maioria das situações, um desfalque entre período de produção de água cinza e período de consumo de água pelos instrumentos sanitários, o que justifica necessário um estudo de estocagem da água que pretende-se reusar.

O resultado dos estudos desenvolvidos pode ser observado na Figura 6, onde percebe-se que no período da madrugada até aproximadamente 11 horas, existe uma semelhança entre demanda e produção; das 11 as 18 horas, e das 20 a 24 horas, existe um déficit de produção de água cinza necessário para suprir a demanda exigida, devendo existir um armazenamento prévio dessa para resolver tal problema; e entre 18 e 20 horas, a água cinza gerada sobressai a quantidade demandada, devendo o excesso ser estocado.

Figura 6 – Produção típica de água cinza e descargas de vasos sanitário requeridas em uma universidade.



FONTE: JEFFERSON et al. (1999) apud SELLA (2011), adaptado.

3.7 PADRÕES E QUALIDADE DA ÁGUA PARA REUSO

A água cinza possui uma vasta gama de produtos químicos em sua composição, provenientes da matéria orgânica, do nitrogênio, do enxofre, e de outros compostos presentes; porém, os riscos originados por essas substâncias são mais baixos se comparados com os oriundos dos microrganismos patogênicos desse tipo de água de reuso. Devido a esse fato, as diversas regulamentações ao redor do mundo têm dado maior atenção aos aspectos microbiológicos da água cinza a ser reutilizada, com o objetivo principal de oferecer segurança à saúde dos usuários (USEPA, 2004).

Os padrões de reuso de água cinza variam bastante de um lugar para outro. Alguns países desenvolvidos, por exemplo, utilizam métodos conservativos, de baixo risco e com o emprego de tecnologias de alto custo. Já outros, adotam meios suficientemente necessários para adequar a água de reuso as recomendações da Organização Mundial da Saúde (OMS), geralmente utilizando tecnologias de baixo custo (GONÇALVES, 2006). Ambas as escolhas, contudo, possuem como resultado pretendido final, oferecer proteção a saúde pública e ao meio ambiente.

Nos Estados Unidos, segundo a USEPA (2004), não existe uma legislação a nível nacional que regulariza o reuso da água cinza, entretanto, alguns estados desenvolveram suas próprias regulamentações e guias de tratamento de água cinza para sua reutilização nas mais diversas finalidades. Todavia, na Austrália, existe um guia válido para todo o país, embasado em aspectos microbiológicos, que orienta o manejo da água cinza de reuso relacionando a densidade média de coliformes termotolerantes com o nível de contato do usuário com essa água a ser reutilizada (ANDERSON, 2001). No Quadro 1, pode ser observado como é escolhido o critério de reutilização de água cinza empregado na Austrália.

Quadro 1 – Critério de reutilização de água cinza na Austrália.

Densidade de coliformes termotolerantes	Acesso do usuário
Menor que 10 ufc/100ml	Usuário pode ter um contato alto com a água reutilizada.
Entre 10 e 100 ufc/100ml	Usuário deve ter um contato médio com a água reutilizada.
Entre 100 e 1000 ufc/100ml	Usuário deve ter um contato baixo com a água reutilizada.
Entre 1000 e 10000 ufc/100ml	Usuário não deve entrar em contato com a água reutilizada.

FONTE: GONÇALVES (2006).

No Quadro 2, apresentam-se os parâmetros adotados por vários países e/ou estados para reutilizar a água cinza, por exemplo, em vasos sanitários.

Quadro 2 – Normas internacionais para reuso de águas em descarga sanitária.

		Tratamentos	Parâmetros						
			pH	DBO5 (mg/L)	SST (mg/L)	Turbidez (NTU)	C. Totais (ufc/100ml)	C. Fecais (ufc/100ml)	Cloro Residual (mg/L)
1. Estados Unidos (Uso restritamente Urbano)	Arizona	Secundário, filtração e desinfecção.	-	-	-	< 5	-	< 23	-
	Califórnia	Oxidação, coagulação, filtração e desinfecção.	-	-	-	< 5	< 23	-	-
	Flórida	Secundário, filtração e alto nível de desinfecção.	-	< 20	< 5	-	-	< 25	-
	Havai	Oxidação, filtração e desinfecção.	-	-	-	< 2	-	< 23	-
	Nevada	Secundário e desinfecção.	-	< 30	-	-	-	< 23	-
	Texas	-	-	< 5	-	< 3	-	< 75	-
	Washington	Oxidação, coagulação, filtração e desinfecção.	-	< 30	< 30	< 5	< 23	-	-
2	Austrália	Desinfecção.	-	< 20	< 20	-	< 1	< 30	-
3	Alemanha	-	6 - 9	< 20	< 30	1 - 2	< 500	< 100	--
4	Japão	-	6 - 9	< 10	-	< 5	< 10	< 10	-
5	Canadá	-	-	< 30	< 30	< 5	< 200	< 200	> 1

FONTE: GONÇALVES (2006).

No Brasil, ainda são poucas as legislações que incentivam ou norteiam a utilização de fontes alternativas de água, tanto para fins urbanos (utilização de água de reúso para fins de irrigação paisagística, lavagem de logradouros públicos e veículos, desobstrução de tubulações, construção civil, combate a incêndio, etc), quanto para prediais (reuso em vasos sanitários, jardinagem, lavagem de pisos, entre outros), como pode ser visto no Quadro 3 (GONÇALVES, 2006).

Quadro 3 – Legislações brasileiras que regulamentam a utilização de fontes alternativas de água.

Finalidade	Água da Chuva	Água Cinza	Esgoto Sanitário
Uso Predial	Lei Nº 10.785/2003 Curitiba/PR	-	
	Lei Nº 13.276/2002 Regulamentada pelo Decreto Nº 51.184/2002 São Paulo/SP	Lei Nº 10.785/2003 Curitiba/PR	Projeto de Lei Nº 074/14L/2005 Novo Hamburgo/RS
	Lei Nº 6.345/2003 Maringá/PR	Lei Nº 6.345/2003 Maringá/PR	NBR 13.969/1997
	Projeto de Lei Nº 074/14L/2005 Novo Hamburgo/RS	-	
	Decreto Nº 23.940/2004 Rio de Janeiro - RJ	-	
Uso Urbano	Decreto Nº 48138/2003 Estado de SP	-	Lei Nº 6.076/2003 Maringá/PR
	-	-	Lei Nº 13.309/2002 Regulamentada pelo Decreto Nº 44.128/2003) São Paulo/SP
	-	-	NBR 13.969/1997

FONTE: GONÇALVES (2006).

Até a presente data, tem-se como referência apenas a NBR 13.969 (ABNT, 1997) - Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação, que expõe os parâmetros a serem adequados para reutilização de esgotos em geral (Tabela 3) e define as classes de reuso de acordo com as destinações do efluente final tratado, sendo elas:

- Classe 1: destinado à lavagem de carros e outros usos que requerem o contato direto do usuário com a água, com possível aspiração de aerossóis pelo operador, incluindo chafariz;
- Classe 2: destinado à lavagem de pisos, calçadas e irrigação dos jardins, manutenção dos lagos e canais para fins paisagísticos, exceto chafariz;

- Classe 3: reuso nas descargas dos vasos sanitários. Normalmente, as águas de enxágue das máquinas de lavar roupas satisfazem a este padrão, sendo necessário apenas o tratamento de cloração;
- Classe 4: reuso nos pomares, cereais, forragens, pastagens para gados e outros cultivos através de escoamento superficial ou sistema de irrigação pontual.

Tabela 3 – Parâmetros para reuso de águas, conforme NBR 13.969 (ABNT, 1997).

Parâmetros	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
pH	Entre 6 e 8	-	-	-
Turbidez (NTU)	< 5	< 5	< 10	-
Sólidos dissolvidos totais (SDT) (mg/L)	< 200	-	-	-
Cloro residual (mg/L)	Entre 0,5 e 1,5	> 5	-	-
Coliformes fecais (NMP/100mL)	< 200	< 500	< 500	< 5000
Oxigênio dissolvido (mg/L)	-	-	-	> 2

FONTE: NBR 13.969 (ABNT, 1997).

Como pode ser observado na tabela acima, a norma então vigente é muito sucinta com relação aos parâmetros para se reutilizar água residuária, não levando em consideração alguns aspectos que irão contribuir qualitativamente e esteticamente para as características do efluente final. Por isso, a FIESP (SAUTCHUK et al., 2005) desenvolveu um manual mais abrangente que engloba outras características que devem ser readequadas para reuso dessas águas nas diversas finalidades. Algumas requisições do manual referido podem ser vistas na Tabela 4 e servem, junto com outras recomendações normatizadas, de diretrizes para escolha e avaliação da eficiência dos diversos métodos de tratamento para reuso de águas cinzas (CICILIATO, 2013).

Tabela 4 – Padrões propostos no manual da FIESP para reúso de águas.

(continua)

Parâmetros	Classe 1*	Classe 2**	Classe 3***
Coliformes fecais	Ausentes	≤ 1000/mL	≤ 200/100 mL
pH	6 - 9	6 - 9	6 - 9
Cor (UH)	≤ 10	-	< 30
Turbidez (UT)	≤ 2	-	< 5
Odor e aparência	Não desagradáveis	Não desagradáveis	-
Óleos e graxas (mg/L)	≤ 1	≤ 1	-
DBO (mg/L)	≤ 10	≤ 30	< 20
Compostos orgânicos voláteis	Ausentes	Ausentes	-
Nitrato (mg/L)	< 10	-	-

Tabela 4 – Padrões propostos no manual da FIESP para reúso de águas.

(conclusão)			
Nitrogênio amoniacal (mg/L)	≤ 20	-	-
Nitrogênio total (mg/L)	-	-	5 - 30
Nitrito (mg/L)	≤ 1	-	-
Fósforo Total (mg/L)	≤ 0,1	-	-
Sólidos Suspensos Totais (SST) (mg/L)	≤ 5	≈ 30	< 20
Sólidos Dissolvidos Totais (SDT) (mg/L)	≤ 500	-	-
Salinidade	-	-	0,3 – 0,7 (EC) 450 – 150 (SDT)
Toxicidade por íons específicos	Para irrigação superficial	Sódio (SAR)	-
		Cloretos (mg/L)	-
		Cloro Residual (mg/L)	≤ 1
	Para irrigação com aspersores	Sódio (SAR)	-
		Cloretos (mg/L)	-
		Cloro Residual (mg/L)	≤ 1
Boro (mg/L)	Irrigação de culturas alimentícias		-
	Regas de jardim e similares		-

FONTE: SAUTCHUK et al. (2005).

Notas:

*Reuso em descargas de vasos sanitários, lavagem de pisos, fins ornamentais (chafarizes, espelhos de água, etc), lavagem de roupas e veículos.

**Reutilização para lavagem de agregados, preparação de concretos, compactação de solo e controle de poeira.

***Reuso para irrigação de áreas verdes e rega de jardins.

3.8 TRATAMENTOS DE ÁGUA CINZA

De acordo com Jefferson et al (1999), é muito frequente, em algumas regiões do mundo que incentivam a metodologia sustentável, a utilização da água cinza sem tratamento para algumas finalidades. A água proveniente de chuveiros, por exemplo, quando coletada, vem sendo reusada, comumente, em irrigação de jardins e gramados, e de maneira semelhante, o efluente de máquinas de lavar, em situações mais restritas, é remanejado diretamente para utilização em descargas de vasos sanitários.

Entretanto, a utilização desse tipo de água de reuso sem tratamento adequado pode trazer uma série de consequências prejudiciais. Para o caso de irrigação, como citado anteriormente, pode levar à acumulação de sais, alcalinidade, óleos e graxas, alterar as propriedades de solos

e plantas e, em alguns casos, até contaminar águas subterrâneas (CHRISTOVA-BOAL et al., 1996; MISRA et al., 2010; PINTO e MAHESHWARI, 2010). Já para a recirculação em vasos sanitários, pode gerar odor desagradável, manchas nas bacias sanitárias e rejeição pelos usuários, o que pode inviabilizar esse tipo de reutilização (CHRISTOVA-BOAL et al., 1996).

Devido a esses fatores, recomenda-se que o efluente seja tratado antes de ser reusado para quaisquer finalidades, com o intuito de se oferecer uma água agradável esteticamente, com qualidade e, sobretudo, que não gere riscos à saúde dos usuários.

Segundo Telles e Costa (2010), o tratamento aplicado a água cinza é similar ao aplicado em esgotos em geral, porém, ele é mais exigente, visto a necessidade de adequação das características da água a ser reusada aos parâmetros normativos ser maior, a depender da destinação final desejada; e, além disso, sob o ponto de vista local, tem que ser construído em escalas reduzidas.

As etapas de tratamento dependem, exclusivamente, do tipo de efluente que se deseja obter; de acordo com Telles e Costa (2010), esse tratamento pode abranger diferentes estágios, sendo eles:

- Tratamento prévio ou preliminar: tem-se por objetivo, nessa etapa, a remoção de sólidos muito grosseiros, detritos minerais, óleos e graxas, através da utilização de grades finas ou peneiras, caixas de areia, caixas de gordura (se for considerada a contribuição do efluente de cozinhas), entre outros;
- Tratamento primário: possui como principal função a sedimentação de sólidos presentes no afluente, podendo ser esse processo de natureza física (através da gravidade) ou química (coagulação e/ou floculação). Nessa fase, é comum a geração de lodo devido a decantação dos sólidos. Junto com o tratamento preliminar, é capaz de reduzir cerca de 60 a 70% dos sólidos suspensos, de 20 a 45% da DBO e de 30 a 40% dos coliformes existentes. Enquadram-se nessa etapa: os tanques sépticos, decantadores e tanques de sedimentação, também chamados de clarificadores;
- Tratamento secundário ou biológico: nesse nível, tem-se como focos a degradação biológica da matéria orgânica presente nos sólidos dissolvidos ou finamente suspensos, a conversão em compostos mais simples das substâncias presentes (nitrogênio, fósforo, etc) e a remoção de parte dos coliformes. Esses processos podem ocorrer através de formas biológicas aeróbias (presença de oxigênio), anaeróbias (ausência de oxigênio) ou da combinação em série das duas. No primeiro caso, as bactérias e archaeas bactérias são os principais

agentes, e o oxigênio é inserido, ou artificialmente, como nos casos dos lodos ativados e das lagoas aeradas, ou naturalmente, como nos filtros biológicos e nas lagoas de estabilização; no lodo que se deposita no fundo de alguns desses tratamentos, ocorre a decomposição anaeróbia. Quando, no tratamento, não há oxigênio, a estabilização da matéria orgânica e substâncias é feita pelas bactérias anaeróbias, como é o caso dos reatores e filtros anaeróbios, e digestores de lodo. Em sistemas aeróbios, cerca de 40 a 50% da matéria orgânica presente é convertida em gás carbônico e 50 a 60% dessa é transformada em biomassa microbiana, produzindo lodo excedente; já em processos anaeróbios, cerca de 70 a 90% dessa matéria é transformada em biogás e apenas 5 a 15% dela vira lodo. Em ambos os processos, vai-se gerar um efluente com matéria orgânica que não foi degradada, para o caso aeróbio, o equivalente de 5 a 10% dessa e, para o caso anaeróbio, o equivalente de 10 a 30%. A opção de submeter o esgoto a um tratamento aeróbio-anaeróbio em série depende muito das características desejadas do efluente final. No Brasil (GONÇALVES, 2006), por exemplo, além do bom resultado que se é apresentado por esse sistema, ainda se tem as condições climáticas do país, que propiciam tecnicamente esse tipo de arranjo, mostrando-se como uma solução bastante interessante;

- Tratamento terciário: consistindo na última etapa, possui como finalidades principais a remoção de nutrientes e patologias, porém, também vai remover o material orgânico remanescente, os compostos não-biodegradáveis, os sólidos inorgânicos dissolvidos, etc. Vale salientar que é nessa fase que ocorre a remoção de nitrogênio e fósforo, além da desinfecção, que irá inativar seletivamente algumas espécies de organismos que ameaçam a saúde humana. Segundo Gonçalves (2006), a desinfecção pode ser feita de diversas formas, as técnicas mais comuns empregadas utilizam cloro, radiação ultravioleta ou ozônio em seus processos. O ozônio é altamente bactericida e reativo, porém os custos operacionais e de implantação ainda dificultam o seu uso de maneira extensiva. Com relação a utilização de raios ultravioletas, esse vem mostrando uma certa competitividade com a cloração, devido a não geração de subprodutos tóxicos, apesar do último ser mais acessível financeiramente.

Na escolha da combinação de tratamentos para água cinza, deve-se levar em consideração que o reuso seja feito de maneira segura e econômica. Segundo Rampelotto

(2014), deve-se dar preferência a tratamentos que levam o mínimo de adições de substâncias químicas e que demandam baixa quantidade de energia. No Quadro 4, apresenta-se alguns exemplos de estações de tratamento de água cinza de países que utilizam esse tipo de efluente:

Quadro 4 – Estações de tratamento de água cinza.

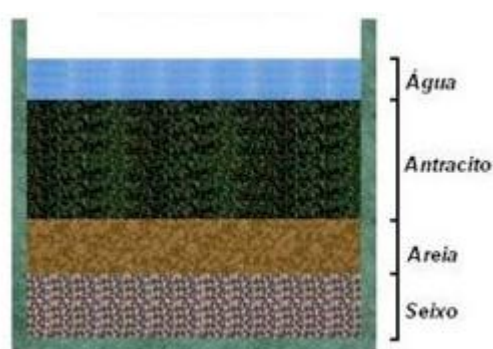
Local	Nível de tratamento			Qualidade do efluente
	Primário	Secundário	Terciário	
Austrália	Grade grosseira + filtro	Lodos ativados (tanque de aeração + clarificador)	Cloração	-
Suécia	Filtro de pedras	Sistema de 3 lagoas em série + filtro de areia	Desinfecção em lagoas	DBO ₅ = 0 N = 1,618 P = 0,02 CTer = 172
Alemanha	Decantação	Biodisco / Sistema de 4 estágios	UV – 250±400 J.m ²	DBO ₅ = 5 SF = 0,03
	Decantação	Leito fluidizado	UV – 250±400 J.m ²	DBO ₅ = 5 SF = 0,03
Inglaterra	Filtração simples ou dupla	-	Cloração	DBO ₅ > 50 CTer = 0
	Grade + filtro duplo/areia	Membrana	-	DBO ₅ = 4,7 DQO = 35,7 Turb = 0,34 CTer = 0
	Grade	Membrana	-	DBO ₅ < 19 DQO = 112 Turb < 1 CTer = 0
	Grade	Lodo ativado com membrana (MBR)	-	DBO ₅ = 1,1 DQO = 9,6 Turb = 0,32 CTer = 0
	Grade	Biofiltro aerado submerso	-	DBO ₅ = 4,3 DQO = 15,1 Turb = 3,2 CTer = 2x10 ⁴
Brasil/Predial	Peneira	Reator anaeróbio compartimentado + filtro biológico aerado submerso + filtro de areia	Cloração com pastilhas com hipoclorito de sódio.	SS = 1 DBO ₅ = 5 Turb = 2 CTer = 0
Brasil/Residencial	Grade fina	Filtro aeróbio com leito de brita	Cloração com pastilhas com hipoclorito de sódio.	SS = 9 DBO ₅ = 6 Turb = 14

FONTE: GONÇALVES (2006), adaptado.

3.9 FILTRO DE AREIA

Dos tratamentos de água cinza existentes mundialmente, o filtro de areia vem ganhando destaque perante os demais (ALLEN et al., 2010). Esse sistema, como pode ser visto na Figura 7, consiste num tanque preenchido basicamente com areia e outros materiais filtrantes, sendo sustentados por uma camada suporte, que pode ser constituída de pedregulhos, seixos, etc; e, além disso, pode existir um fundo falso ou uma calha para coleta e drenagem da água de lavagem e do efluente final tratado (ABNT NBR 13.969/1997).

Figura 7 – Filtro de areia.



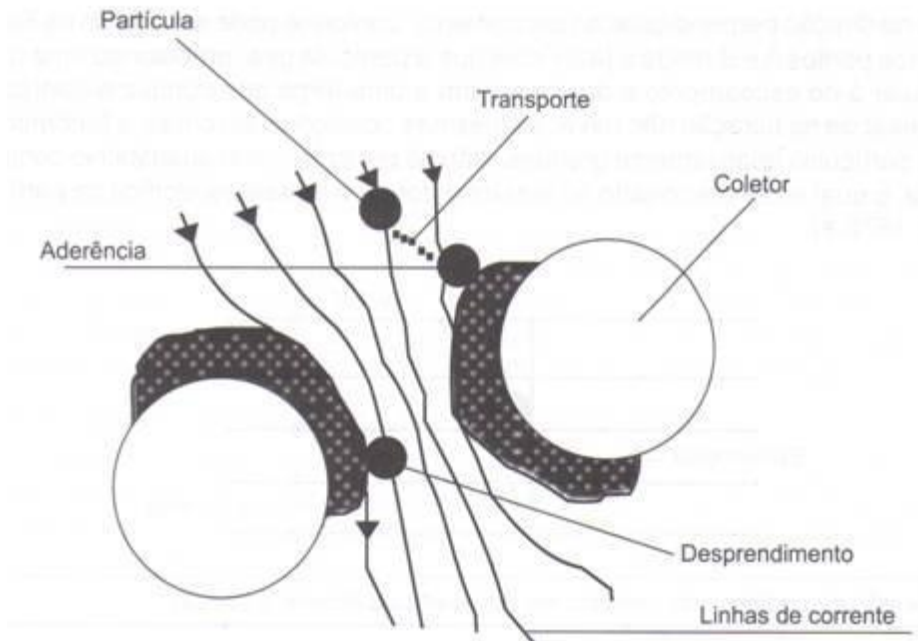
FONTE: OROZCO (2012).

Segundo Orozco (2012), é na filtração que irá ocorrer a remoção das partículas suspensas e coloidais, e de microrganismos presentes no afluente que escoará através de um meio poroso. O desempenho sozinho desse sistema, para tratamento de águas, é bastante limitado, porém, quando associado com outras unidades, pode oferecer resultados bastante satisfatórios, com relação ao que se é exigido pelas normatizações vigentes. No Reino Unido, por exemplo, após a passagem por um filtro de areia, a água cinza é desinfetada e serve para ser utilizada em descargas de vasos sanitários de residências (JEFFERSON et al., 1999). Já no Brasil, essa unidade de tratamento encontra-se pouco difundida, em termos domiciliares, e é aplicada apenas em situações restritas como pós-tratamento simplificado (ABNT NBR 13.969, 1997).

Existem três fatores que impactam diretamente na eficiência de um filtro de areia e que devem ser bastante estudados durante o seu dimensionamento, são eles: a velocidade de transporte, a aderência química dos poluentes aos meios filtrantes e a capacidade desses de se desprenderem do leito de filtração (OROZCO, 2012). Esses mecanismos de filtração estão intimamente ligados, como pode ser observado na Figura 8, uma vez que, a velocidade de transporte da massa hídrica influenciará na aderência das substâncias poluentes ao meio filtrante e a aderência poderá obstruir o filtro ou facilitar o desprendimento de sólidos do leito filtrante,

em ambos os casos, impactando diretamente na velocidade de escoamento do afluyente nessa unidade de tratamento.

Figura 8 – Mecanismos de filtração.



FONTE: OROZCO (2012).

Devido as circunstâncias citadas acima, normas foram criadas para auxiliar na construção de filtros de areia, especificando taxas de aplicação de afluyente, propriedades e funções dos materiais filtrantes a serem utilizados, métodos de limpeza do filtro, etc; tudo isso com a finalidade de oferecer um efluente com qualidade e que atenda aos requisitos desejados.

3.9.1 Normas Regulamentadoras

No Brasil, existe a NBR 13.969 (ABNT, 1997) - Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação, que apresenta o filtro de areia como unidade de pós-tratamento dos efluentes oriundos de fossas sépticas e filtros anaeróbios, bem como sua eficiência em reduzir determinados parâmetros (Tabela 5) quando em conjunto com um desses dois tratamentos predecessores. Entretanto, vale salientar, que a Associação Brasileira de Normas Técnicas recomenda seguir, nessa norma, as orientações de dimensionamento e obtenção de dados da NBR 12.216 (ABNT, 1992) que é voltada para elaboração de unidades de tratamento de água, o que pode ocasionar, em alguns casos, uma inviabilidade técnica e financeira do uso desse filtro para tratamento dos diversos tipos de esgoto, já que as características do efluente final podem divergir muito, a

dependem do tipo de aplicação desejada, e serem menos “exigentes” quando comparadas com as propriedades finais da água tratada.

Tabela 5 – Faixas prováveis de remoção dos poluentes utilizando filtro de areia como pós-tratamento de tanques sépticos.

Parâmetros	Faixa de Remoção (%)
DBO_{5,20}	50 – 85
DQO	40 – 75
Sólidos não filtráveis	70 – 95
Sólidos sedimentáveis	100
Nitrogênio amoniacal	50 – 80
Nitrato	30 – 70
Fosfato	30 – 70
Coliformes fecais	> 99

FONTE: NBR 13.969 (ABNT, 1997).

3.9.2 Meios Filtrantes

Areia e antracito são os dois materiais filtrantes mais empregados na construção desse tipo de unidade de tratamento, sobretudo no Brasil, onde os filtros são construídos com uma dupla camada formada por esses dois materiais. Esses dois elementos são normatizados pela NBR 11.799 (ABNT, 1990) que especifica suas granulometrias, tamanhos efetivos, esfericidade, densidade, porosidade e outras propriedades necessárias para que esses possam ser aplicados como materiais filtrantes.

Além desses mais comuns, pode-se utilizar também, desde que se saiba a função de cada elemento a ser introduzido, outros materiais e combinações, a depender dos requisitos desejados, como carvão ativado e meios filtrantes à base de substâncias químicas. A areia e o antracito, por exemplo, trabalham em conjunto para reduzir a quantidade de sólidos e microrganismos do afluente, e remover gostos e odores estranhos do mesmo. O carvão ativado possui a mesma função do antracito, que é dirimir sabores e odores, porém, a única diferença é que esse processo será feito por adsorção. Quanto aos meios filtrantes à base de substâncias químicas, pode-se citar o material granular catalítico utilizado para remoção de ferro e manganês da água, e aqueles à base de aluminossilicatos de metais ferrosos, empregados para remover turbidez, cor, ureia, DQO/DBO e sólidos do corpo hídrico.

Atualmente, uma nova vertente de meios filtrantes, que leva em consideração a substituição de materiais comumente utilizados por materiais alternativos (como resíduos da construção civil, bambu, etc), vem sendo estudada. Rebouças et al. (2011), por exemplo, obtiveram diminuição de 31% da cor de um corante industrial com o uso de resíduo de

construção civil como recheio para filtração; Souza et al. (2010) constataram remoção orgânica de 90,30% e 82,37% de turbidez ao utilizar filtro de bambu no tratamento de esgoto doméstico e Panziera et al. (2015) conseguiram adequar águas para reaproveitamento hidrossanitário, lavagens e irrigação de hortaliças, utilizando filtro com leito de casca de arroz, serragem, carcaça de pneu e agregado miúdo (areia fina).

De acordo com Orozco (2012), independente do material escolhido, deve-se sempre analisar suas propriedades, sobretudo as físicas, como: a granulometria, esfericidade, porosidade e densidade de cada elemento. O tamanho dos grãos impactará diretamente na qualidade final do efluente tratado e na duração das carreiras de filtração (intervalo de tempo decorrido entre o momento que um filtro é colocado em operação e o momento em que ele é retirado de operação para limpeza.). Já a esfericidade, poderá gerar perdas de carga no decorrer do tempo e influenciar na velocidade ascensional da água de lavagem, a depender da forma dos grãos. Na Tabela 6, pode-se constatar algumas dessas principais características dos meios filtrantes mais comuns utilizados.

Tabela 6 – Principais características dos meios filtrantes.

Características	Meio Filtrante			
	Areia	Antracito	Carvão ativado	Pedregulho
Densidade	≤ 2,5	≥ 1,4	1,3 – 1,5	> 2,5
Porosidade (%)	42 - 47	56 - 60	50	-
Esfericidade (ψ)	0,7 - 0,8	0,46 - 0,60	0,75	-
Granulometria (mm)	≤ 4,8	0,8 - 1,0	2 – 3	4,8 - 76
Dureza	-	≥ 2,7	-	-

FONTE: OROZCO (2012); ABNT NBR 12.216 (1992) e ABNT NBR 11.799 (1990).

3.9.3 Tipos de Filtro

Os filtros de areia são classificados de acordo com a velocidade de filtração, podendo ser lentos ou rápidos, com fluxo ascendente ou descendente.

Nos filtros lentos, a redução dos parâmetros da água ocorre por meio de processos biológicos, devido ao maior tempo de detenção hidráulica e através de uma camada gelatinosa formada pelo desenvolvimento de certas variedades de bactérias, que envolvem os grãos de areia na superfície do leito, que por adsorção retém microrganismos e partículas finamente divididas. Sua taxa de filtração é baixa, em média de 3 a 9 m³/m²/dia e a superfície filtrante desse é cerca de 40 a 120 vezes maior se comparada com a de filtros rápidos, o que pode ser uma desvantagem em pequenos territórios. Em contraposição, seu tempo de carreira de filtração é mais alto, porém, durante a lavagem, necessita-se que o leito filtrante amadureça (isto é,

readquira sua camada filtrante biológica, o que leva dias) para voltar a produzir água filtrada de qualidade satisfatória (ARANTES, 2016).

Já em filtros rápidos, segundo Arantes (2016), as características da água são reajustadas devido a processos físicos, pois, o tempo de detenção hidráulica é pequeno, não permitindo, desse modo, a ação dos microrganismos presentes, além disso, a velocidade de percolação pelo meio filtrante é bastante elevada, uma vez que, tem-se menor seção transversal. Devido a esses fatos, consegue-se taxa de filtração alta, em média de 180 a 360 m³/m²/dia, adequada para grandes cidades que originam um grande volume de efluente, porém, tem-se um curto tempo de carreira de filtração, cerca de 20 horas apenas, por causa do rápido processo de colmatação (obstrução dos poros do leito filtrante comprometendo a eficiência do filtro) das camadas filtrantes.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DA PESQUISA

Através de uma pesquisa experimental, este trabalho analisou uma unidade de tratamento de água cinza composta por um filtro com leito filtrante de areia e resíduos de vidro da construção civil, empregando estratégias de investigação que envolvem coleta de dados simultâneos e sequenciais.

A pesquisa consistiu em 3 etapas:

- Obtenção dos materiais que irão compor as camadas filtrantes do filtro, ou seja, areia e vidro da construção civil, e planejamento do arranjo dessas camadas no protótipo do filtro, de maneira que esse trabalhasse com a melhor eficiência possível;
- Coleta de amostras de água cinza e análise dessas antes de passar pelo tratamento, para obtenção de dados referentes aos parâmetros (DBO, DQO, sólidos dissolvidos totais, turbidez, oxigênio dissolvido, pH e coliformes totais e fecais) para reutilização de água nas diversas finalidades, de acordo com a NBR 13.969 (ABNT, 1997);
- Avaliação de desempenho do filtro criado, coletando aspectos como: tempo de infiltração pelas camadas filtrantes, qualidade do efluente gerado, eficiência na adequação de parâmetros, manutenção e necessidade de lavagem.

4.2 ESCOLHA E CARACTERIZAÇÃO DOS MEIOS FILTRANTES

A escolha dos materiais para compor as camadas filtrantes baseou-se na ideologia sustentável, de onde parte-se a ideia de substituição dos materiais mais comuns utilizados na construção de filtros para tratamento de águas por outros alternativos que tenham características e funcionalidades semelhantes, sobretudo, que sejam viáveis tanto ambientalmente, quanto economicamente.

Inicialmente, com relação à areia requerida pela norma NBR 12.216 (ABNT, 1992), optou-se por substituí-la por resíduos de vidro da construção civil, por esse caracterizar-se como um material inerte, sem custo agregado e que pode ser readequado a ponto de ser utilizado como substituto desse material. Quanto ao antracito, resolveu-se removê-lo, por ser, geralmente, um material financeiramente caro, mesmo sabendo da sua importante função em dirimir sabores e

odores; como opção, adotou-se areia com propriedades granulométricas semelhantes as requeridas pela norma para o antracito, com a finalidade de ter-se uma dupla camada filtrante e assim analisar a capacidade técnica do leito de filtração escolhido.

Os materiais selecionados foram coletados em uma vidraçaria da capital sergipana e podem ser vistos, em seus estados brutos, nas Figuras 9 e 10:

Figura 9 – Resíduos de vidro da construção civil.



FONTE: Autor (2017).

Figura 10 – Areia da construção civil.



FONTE: Autor (2017).

Para escolha das granulometrias foi feita uma analogia ao que é recomendado pela ABNT NBR 12.216 (1992) para os materiais tradicionais e aplicar essas exigências nos materiais substitutos. De acordo com essa norma, quando um filtro é de dupla camada, o leito de areia deve ter grãos de tamanho efetivo entre 0,40 mm a 0,45 mm, e para o de antracito, os grãos

devem estar entre 0,8 mm a 1,0 mm. Para tentar atender a essas solicitações, utilizou-se peneiras com malhas específicas (1,18 mm; 0,60 mm e 0,425 mm), como as da Figura 11, para selecionar os grãos dos novos materiais a serem utilizados.

Figura 11 – Peneiras com malhas de 1,18 mm; 0,60 mm e 0,425 mm.



FONTE: Autor (2017).

Devido a inexistência de peneiras específicas na instituição para os tamanhos dos grãos exigidos pela norma, considerou-se, para a areia, grãos retidos entre as peneiras de 0,60 mm e 1,18 mm, e para o vidro, grãos retidos entre 0,425 mm e 0,60 mm. Na Figura 12, observa-se a granulometria final do vidro após peneiramento.

Figura 12 – Grãos de vidro com tamanho efetivo entre 0,60 mm e 0,425 mm.



FONTE: Autor (2017).

Após peneirados, cada material foi lavado abundantemente com água potável e água destilada, logo após, posto para secagem em estufa, a 100 °C, durante um período de 24 horas, antes de serem acomodados no filtro.

4.3 ÁGUA CINZA DO ESTUDO E SEUS ASPECTOS QUALITATIVOS

Foram utilizadas amostras de águas cinzas provenientes do banheiro feminino do ginásio de esportes do Instituto Federal de Sergipe, pois, de acordo com pesquisas realizadas por Barros et al. (2016) na mesma instituição, essas águas são as que possuem características mais críticas se comparadas com as dos demais locais.

As amostras foram coletadas semanalmente, no período compreendido entre 04/01/2017 e 18/01/2017, em dias distintos, com o intuito de obter uma maior representatividade. Com relação ao número de amostras, coletou-se uma quantidade suficiente para que fosse possível analisar o tempo de colmatação do filtro e, conseqüentemente, fim da sua carreira de filtração. De antemão, obteve-se um total de 8 amostras cada uma com 2 litros de água cinza.

Cada efluente foi coletado com o auxílio de uma concha e um balde e, em seguida, levado até o laboratório de saneamento da instituição para ser analisado no período máximo de quatro horas após a sua obtenção.

Para a escolha dos parâmetros qualitativos a serem analisados, requisitou-se a NBR 13.969 (ABNT, 1997) com a finalidade de verificar quais características da água de reuso são regulamentadas pela mesma, e assim, monitorá-las com o objetivo de sugerir possíveis destinações do esgoto a ser tratado nesse estudo. Os parâmetros a serem avaliados foram: pH, turbidez, oxigênio dissolvido, sólidos dissolvidos totais, DQO, DBO, coliformes fecais e totais; e as análises para obtenção desses dados seguiram os *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, 2005).

4.4 PROCESSO DE TRATAMENTO DE ÁGUA CINZA COM FILTRAÇÃO

4.4.1 Equipamentos e Materiais

Para confecção do filtro, utilizou-se basicamente garrafas de poli tereftalato de etila (PET) e uma tela de aço para segurar a camada suporte, evitando desse modo, que o material da base escoe durante a passagem da água.

Quanto aos ensaios laboratoriais para obtenção de dados, foram utilizados os seguintes equipamentos e materiais, conforme Quadro 5 e Figuras 13, 14 e 15:

Quadro 5 – Equipamentos e Função.

Equipamento	Função
Leitor de DBO modelo BOD-OxiDirect	Leitura da demanda bioquímica de oxigênio
Incubadora	Refrigeração das amostras
Reator para DQO SL 16/30	Leitura da demanda química de oxigênio
Espectrofotômetro UV VIS 3000W	Leitura da absorbância das amostras
Seladora Quanti-Tray Modelo 2X	Selagem das cartelas para análise de coliformes totais e fecais.
Câmara com lâmpada ultravioleta	Leitura das cartelas para análise de coliformes totais e fecais.
Sonda multiparâmetro Horiba U 52-G	Leitura de turbidez, cor, temperatura, SDT, salinidade, OD, pH.

FONTE: Autor (2017).

Figura 13 – Espectrofotômetro UV VIS 3000W.



FONTE: Autor (2017).

Figura 14 – Leitor de DBO modelo BOD-OxiDirect na incubadora.



FONTE: Autor (2017).

Figura 15 – Sonda multiparâmetro Horiba U 52-G.



FONTE: Autor (2017).

4.4.2 Camadas Filtrantes e Suporte

As espessuras dos meios filtrantes foram escolhidas observando o que é exigido pela NBR 12.216 (ABNT, 1992) para os materiais tradicionais, areia e antracito; porém, com o intuito de analisar a necessidade dessas alturas regulamentadas, resolveu-se reduzir em 50% a altura exigida para a camada de areia e para 12,5% da recomendada para o leito de antracito. Desse modo, fazendo-se analogia, atribui-se uma altura de 12,5 cm para a camada filtrante de vidro, uma vez que, esse substitui a areia comumente utilizada; e uma de 5,625 cm para a areia utilizada na montagem do novo filtro, já que esse é o substituto do antracito.

Visando um bom funcionamento da unidade de filtração, colocou-se sobre o leito filtrante, finas camadas, de 2 cm cada, de areia média (granulometria de 1,20 mm) e brita zero, para retenção de materiais grosseiros, como pedaços de sacola, partes de insetos e fios de cabelos, presentes no esgoto coletado. Na Figura 16, mostra-se esses dois materiais após passarem pelo processo de lavagem e secagem em estufa.

Figura 16 – Areia média e brita zero.



FONTE: Autor (2017).

Quanto a camada suporte, adotou-se, em ordem decrescente: 5,625 cm da areia utilizada no leito filtrante, 2 cm de areia média com tamanho efetivo de 0,6 mm, e 4 cm de brita zero.

A estrutura do filtro a ser utilizado para tratamento de água cinza da instituição com as camadas acomodadas pode ser vista na Figura 17.

Figura 17 – Modelo de filtro proposto.



FONTE: Autor (2017).

4.4.3 Análises de Trabalhabilidade do Filtro

Para avaliação do filtro elaborado, estabeleceu-se que o volume a ser filtrado no período estudado, da amostra de água cinza escolhida, seria de 2 litros, com o objetivo de se obter um

maior controle sobre os seguintes dados: tempo de passagem pelo filtro, vazão do sistema e carreira de filtração.

Com relação a monitoração da eficiência do mesmo, adotou-se a premissa de analisar qualitativamente a amostra bruta, ou seja, antes da passagem pelo filtro, e, posteriormente, a amostra filtrada; além disso, resolveu-se passar duas vezes, pelo sistema, o volume coletado, no intuito de acompanhar a capacidade de filtração do tratamento criado, e assim, verificar a necessidade de aumento de alturas do leito filtrante, e de manutenção e limpeza de todo o sistema.

4.5 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

A análise estatística dos resultados qualitativos e quantitativos foi realizada utilizando-se planilhas eletrônicas para organização das informações coletadas, e assim, obter dados estatísticos como: média, mediana, máximo e mínimo.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesses itens, são expostos e discutidos os principais resultados obtidos na pesquisa, referentes aos aspectos qualitativos da água cinza antes e depois da passagem pelo filtro e ao comportamento do filtro durante seu funcionamento.

5.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E MICROBIOLÓGICA

5.1.1 Água Cinza Bruta

Avaliando-se os parâmetros pré-estabelecidos, observa-se, na Tabela 7, que a amostra de água bruta coletada na instituição possui: pH de $7,420 \pm 0,393$; turbidez de 881 ± 119 NTU; oxigênio dissolvido (OD) de $7,278 \pm 5,525$ mg.L⁻¹; sólidos dissolvidos totais (SDT) de $0,228 \pm 0,078$ g.L⁻¹; coliformes totais e fecais superiores a 2.419,6 NMP/100 mL; DQO equivalente a $863,121 \pm 511,698$ mg.L⁻¹ e DBO de $325,660 \pm 219,340$ mg.L⁻¹.

Tabela 7 – Parâmetros qualitativos da água cinza bruta.

Parâmetro	AMOSTRA (Nº)										
	1	2	3	4	5	6	7	8	Mín.	Máx.	Méd.
pH	7,813	7,097	7,027	7,813	7,343	7,380	7,190	7,643	7,027	7,813	7,413
Turbidez (NTU)	830,000	869,333	1000,0	947,000	1000,0	912,667	883,333	762,000	762,000	1000,0	900,542
O.D. (mg/L)	9,410	8,537	3,373	1,753	5,163	3,460	5,507	3,967	1,753	9,410	5,146
S.D.T. (g/L)	0,150	0,205	0,197	0,222	0,204	0,259	0,245	0,306	0,150	0,306	0,224
Col. Fecais (NMP/100 mL)	2419,6	2419,6	2419,6	2419,6	2419,6	2419,6	2419,6	2419,6	2419,6	2419,6	2419,6
Col. Totais (NMP/100 mL)	2419,6	2419,6	2419,6	2419,6	2419,6	2419,6	2419,6	2419,6	2419,6	2419,6	2419,6
DQO (mg/L)	351,423	715,231	1374,818	1123,406	1315,662	-	-	-	351,423	1374,818	976,108
DBO (mg/L)	106,320	264,370	346,000	292,000	545,000	-	-	-	106,320	545,000	310,738
Salinidade (%)	-	0,017	0,010	0,020	0,017	0,020	0,020	0,020	0,010	0,020	0,018

FONTE: Autor (2017).

Conforme a Tabela 8, formulada por Metcalf e Eddy (1991), podemos classificar esse efluente bruto como um esgoto de características medianas, visto que o valor médio dos seus parâmetros, em sua maioria, atende a essa categoria.

Tabela 8 – Características físico-químicas e microbiológicas dos esgotos.

Característica	Forte	Médio	Fraco
SDT (g/L)	$\geq 0,850$	Entre 0,250 e 0,850	$\leq 0,250$
DQO (mg/L)	≥ 1.000	Entre 250 e 1.000	≤ 250
DBO ₅ (mg/L)	≥ 400	Entre 110 e 400	≤ 110

FONTE: Metcalf e Eddy (1991).

Comparando-se os valores médios encontrados na Tabela 7 com os dados de pesquisas já realizadas pelo mundo para mistura de águas cinzas provenientes de diversas fontes (Tabela 9), constata-se que os valores encontrados, para o efluente bruto coletado, mostram-se coerentes.

Tabela 9 – Comparação da caracterização das águas cinzas coletadas na instituição com pesquisas desenvolvidas mundialmente.

Parâmetro	Unidade	Locais			Resultados da pesquisa
		Omã	Pesquisa UFSC	Pesquisa UFES	
pH	-	8,3	7 – 8,9	5,99 – 7,58	7,413
Turbidez	NTU	444	2 – 583	90 – 289	900,542
O.D.	mg/L	-	1,5 – 4,6	5,5 – 7,6	5,146
SDT	g/L	-	-	-	0,224
DQO	mg/L	231,3	36 – 921	190 – 1331	976,108
DBO	mg/L	179,7	24 – 808	425 – 725	310,738
Col. Totais	NMP/100 mL	> 200,5	$2,4 \cdot 10^3$ - $2,42 \cdot 10^5$	$2,9 \cdot 10^4$ - $1 \cdot 10^5$	2.419,6
Col. Fecais	NMP/100 mL	> 200,5	$0 - 2,42 \cdot 10^5$	$1 \cdot 10^4$ - $1,3 \cdot 10^5$	2.419,6

FONTE: Autor (2017); Prathapar et al. (2005); Peters (2006); Bazzarella (2005).

5.1.2 Água Cinza Filtrada

De acordo com a Tabela 10, percebe-se que o efluente, após passar pela unidade de filtração, possui: pH de $7,202 \pm 0,789$; turbidez de $46,9 \pm 17,4$ NTU; oxigênio dissolvido (O.D.) de $5,387 \pm 1,850$ mg.L⁻¹; sólidos dissolvidos totais (S.D.T.) de $0,332 \pm 0,089$ g.L⁻¹; coliformes totais e fecais ainda superiores a 2.419,6 NMP/100 mL; DQO equivalente a $252,190 \pm 134,432$ mg.L⁻¹ e DBO de 89 ± 48 mg.L⁻¹.

Tabela 10 – Parâmetros qualitativos da água cinza filtrada.

Parâmetro	AMOSTRA (Nº)										
	1	2	3	4	5	6	7	8	Mín.	Máx.	Méd.
pH	7,990	7,202	6,573	7,257	6,600	6,413	7,087	7,520	6,413	7,990	7,080
Turbidez (NTU)	44,067	32,900	29,500	36,933	35,467	34,033	38,900	64,300	29,500	64,300	39,513
O.D. (mg/L)	4,927	4,803	3,537	3,873	6,693	7,237	5,573	4,487	3,537	7,237	5,141
S.D.T. (g/L)	0,243	0,280	0,276	0,313	0,300	0,395	0,387	0,421	0,243	0,421	0,327
Col. Fecais (NMP/100 mL)	2419,6	2419,6	2419,6	2419,6	2419,6	2419,6	2419,6	2419,6	2419,6	2419,6	2419,6
Col. Totais (NMP/100 mL)	2419,6	2419,6	2419,6	2419,6	2419,6	2419,6	2419,6	2419,6	2419,6	2419,6	2419,6
DQO (mg/L)	247,900	370,649	199,097	386,621	117,758	-	-	-	117,758	386,621	264,405
DBO (mg/L)	75,000	137,000	45,000	98,000	41,000	-	-	-	41,000	137,000	79,200
Salinidade (%)	-	0,020	0,020	0,030	0,027	0,030	0,030	0,030	0,020	0,030	0,027

FONTE: Autor (2017).

Defrontando-se os valores da Tabela 10 com os da Tabela 7, nota-se que houve uma diminuição dos parâmetros pH, turbidez, oxigênio dissolvido, DQO e DBO; acréscimo no valor dos sólidos dissolvidos totais e, quanto a coliformes totais e fecais, os dados permaneceram-se inalterados.

Analisando-se os resultados médios, antes e depois do processo de filtração, percebe-se que:

- os valores do pH e do oxigênio dissolvido permaneceram estáveis, não possuindo uma variação tão considerável que viesse afetar a qualidade da água cinza final;
- a turbidez, DQO e DBO foram bastante reduzidas. Com relação ao primeiro parâmetro, essa redução ocorreu devido ao fato de grande parte dos sólidos suspensos terem sido retidos pelo leito filtrante; quanto aos dois últimos, pode-se atribuir tal efeito ao biofilme criado antes de se iniciar o processo de filtração em si, uma vez que, esse tem a função exclusiva de estabilizar a matéria orgânica presente no efluente bruto durante sua detenção e passagem pelo filtro;
- a quantidade de sólidos dissolvidos totais teve um aumento significativo, o que geralmente não é para acontecer quando o efluente passar por um processo de filtração. Através da investigação das possíveis causas dessas elevações, verificou-se que a porcentagem de sais minerais (salinidade) da água cinza (última linha das Tabelas 7 e 10) sempre aumentava após passagem pelo filtro, tal fato tem sua origem na intensificação da dissolução de sais, presentes em materiais como areia e pedras, em meio líquido; logo, pode-se atribuir tal aumento desse parâmetro à camada suporte, visto que ela possui minerais e não possui em sua composição uma barreira fina o suficiente para impedir o escoamento desses junto com a água cinza.
- as quantidades de coliformes totais e fecais mantiveram-se inalteráveis, podendo ser justificado, pelo fato de o sistema não ter sido capaz de reduzir significativamente tais parâmetros (geralmente, concede-se essa função as unidades de desinfecção).

5.2 AVALIAÇÃO DA TRABALHABILIDADE DO FILTRO

Durante todos os processos de filtração das amostras, foram coletados dados pertinentes ao funcionamento do sistema, tais como: número de filtrações, de uma mesma amostra,

necessárias para fornecer alturas de camadas filtrantes eficientes; tempos de percolação da água de lavagem e do efluente no filtro, duração da carreira de filtração e período de manutenção ou lavagem.

A partir da necessidade de se dar partida ao filtro (ou seja, de criar um biofilme no mesmo antes de se iniciar o processo de filtração), aproveitou-se para averiguar a capacidade filtrante do mesmo, acompanhando a evolução da turbidez, do esgoto de partida, durante várias passagens pelo sistema de filtração, como pode ser observado na Figura 18. Concluiu-se que a partir da terceira passagem pelo filtro, o mesmo não produzia resultados tão distintos se comparados com os valores anteriores, logo, estabeleceu-se que as alturas das camadas filtrantes de vidro e areia necessárias seriam o dobro da utilizada, ou seja, 25 cm e 11,25 cm, respectivamente.

Figura 18 – Evolução da turbidez de uma amostra durante várias passagens consecutivas pelo filtro.



FONTE: Autor (2017).

Do momento da partida até a percepção de que a eficiência do filtro havia caído consideravelmente, ocorreram um total de 25 filtrações (9 referentes a partida e 16 referentes as amostras coletadas), cada uma, em média, durando 12 minutos.

Na Tabela 11, consta-se o acompanhamento das eficiências do filtro, em reduzir, aumentar ou manter inalterado os parâmetros analisados da água cinza, até verificação do encerramento da sua carreira de filtração.

Analisando os resultados, percebe-se que na 8ª amostra, o filtro havia atingido sua carreira de filtração, uma vez que, o mesmo reduziu consideravelmente, comparada as anteriores, sua eficiência filtrante, devido ao processo de colmatação. Logo, pode-se dizer que a unidade de tratamento trabalhou de maneira efetiva até a 7ª amostra (22ª e 23ª filtração), com eficiências médias equivalentes as apresentadas na última coluna da tabela 11, e teve seu funcionamento interrompido para manutenção e lavagem após 4 horas e 36 minutos.

Tabela 11 – Acompanhamento das eficiências do filtro, em porcentagem.

Efeito Pós-Filtração	Amostra (Nº)								Mín.	Máx.	Méd.
	1	2	3	4	5	6	7	8			
Redução da Turbidez	94,69	96,22	97,05	96,10	96,45	96,27	95,60	91,56	91,56	97,05	96,05
Aumento dos SDT	62,00	36,59	40,10	40,99	47,06	52,51	1,20	13,11	1,20	62,00	40,06
Col. Fecais	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Col. Totais	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Redução da DQO	29,46	48,18	85,52	65,58	91,05	-	-	-	29,46	91,05	63,96
Redução da DBO	29,46	48,18	86,99	66,44	92,48	-	-	-	29,46	92,48	64,71
Aumento da Salinidade	-	17,65	100,00	50,00	58,82	50,00	50,00	50,00	17,65	100,00	54,41

FONTE: Autor (2017).

No intuito de conhecer o tempo de percolação da água de lavagem no filtro, utilizou-se um cronômetro para marcar o período decorrido entre o lançamento do volume da água de lavagem no filtro e a saída desse volume filtrado, e obteve-se um tempo de 4 min e 55 segundos.

5.3 ANÁLISE DE REUSO

Correlacionando-se os valores médios dos parâmetros qualitativos da água cinza filtrada com os exigidos pela NBR 13.969 (ABNT, 1997), conclui-se, como demonstrado na Tabela 12, que o efluente, quando filtrado apenas nessa unidade de tratamento, enquadra-se na classe 4 da referida norma e pode ser reusado em pomares, cereais, forragens, pastagem de gados e outros cultivos através de escoamento superficial ou por sistema de irrigação pontual. Com interrompimento das aplicações 10 dias antes da colheita.

Nessa tabela também observa-se quais parâmetros devem ser ajustados para reutilização da água cinza nas demais classes, bem como sugestões de tratamentos complementares para readequação desses.

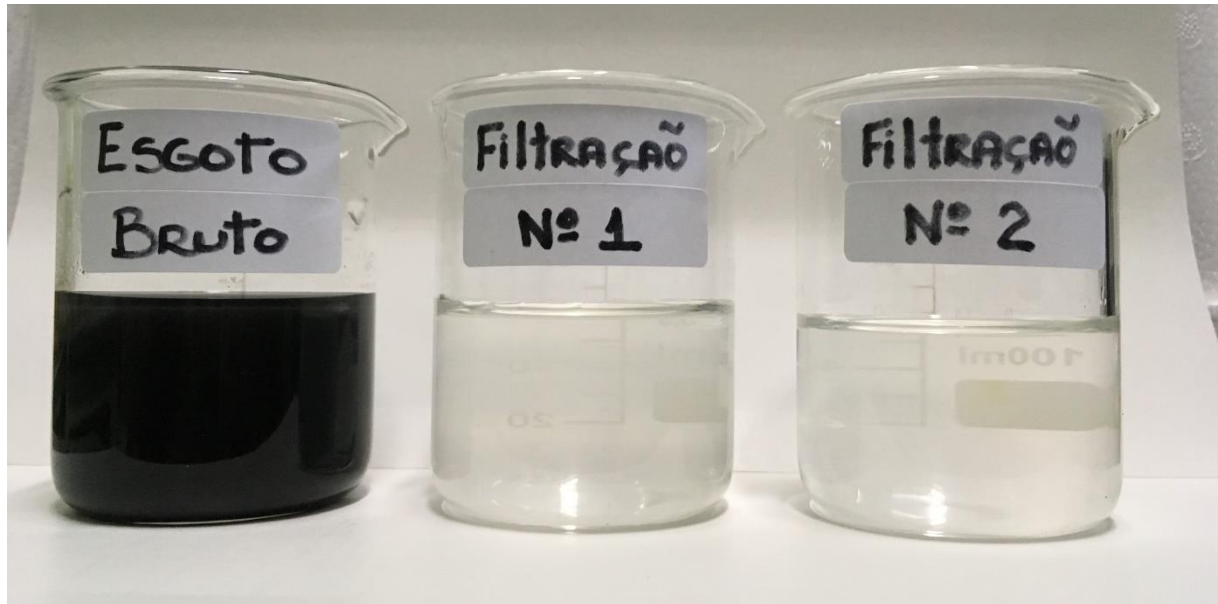
Tabela 12 – Avaliação de reuso da água cinza filtrada em estudo.

Parâmetro	Água Cinza Filtrada	NBR 13.969			
		Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
pH	7,080	6 - 8	-	-	-
Turbidez	39,513	< 5	< 5	< 10	-
O.D.	5,141	-	-	-	> 2
SDT	0,327	< 0,200	-	-	-
Col. fecais	2416,9	< 200	< 500	< 500	< 5000
Ajustes necessários para reuso		Reduzir turbidez Reduzir SDT Reduzir Col. fecais	Reduzir turbidez Reduzir Col. fecais	Reduzir turbidez Reduzir Col. fecais	Nenhum
Sugestão de tratamento(s) complementar(es)		Fossa séptica/Decantador/Tanque de sedimentação + Desinfecção	Fossa séptica/Decantador/Tanque de sedimentação + Desinfecção	Fossa séptica/Decantador/Tanque de sedimentação + Desinfecção	Desnecessário

FONTE: Autor (2017).

Na Figura 19, tem-se uma demonstração do aspecto final da água cinza tratada e pronta para ser reusada conforme os usos múltiplos. Constatou-se que o efluente possui um aspecto estético agradável e um odor imperceptível, o que diminui a possibilidade de reclamações por parte dos usuários.

Figura 19 – Aspecto final da água cinza tratada nesse estudo.



FONTE: Autor (2017).

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O presente trabalho teve como objetivos principais construir um filtro para tratamento de água cinza, utilizando-se da metodologia sustentável, compondo suas camadas filtrantes com areia e resíduos de vidro da construção civil; além de analisar esse sistema de filtração.

Para alcançar tais objetivos, necessitou-se conhecer, previamente, as características qualitativas e quantitativas dos esgotos em geral e, particularmente, da água cinza; o funcionamento das fases de tratamento de esgotos, as normas e legislações que regem a reutilização e conservação das águas, e os aspectos do tipo de filtro a ser construído, para então passar para o estudo técnico e experimental desse.

Pôde-se aferir que o filtro elaborado possui os seguintes aspectos relevantes:

- O leito filtrante composto de vidro associado com areia teve um desempenho satisfatório;
- Eficiência média de redução de parâmetros de: 96,05% para turbidez; 63,96% para DQO e 64,71% para DBO, demonstrando-se uma boa remoção na quantidade de sólidos suspensos e estabilização da matéria orgânica presente na água cinza coletada, mesmo em um curto período de detenção hidráulica;
- Necessidade de uma manta de malha fina ou camada suporte com granulometrias mais próximas entre si, para que desse modo, evite-se o escoamento dessa camada junto com o efluente;
- Requer o uso de tratamentos complementares caso opte-se por reutilização nas classe 1, 2 e 3, de acordo com a NBR 13.969 (ABNT, 1997);
- Possui uma carreira de filtração de 4 horas e 36 minutos e, após esse tempo operando, exige-se lavagem para restauração da eficiência do filtro;
- Constatou-se um tempo de percolação médio de: 12 min para água cinza bruta e 4 min e 55 segundos para água de lavagem;
- Caso seja aplicado em escala maior, recomenda-se utilizar alturas de camadas filtrantes de: 25 cm para a constituída de resíduos de vidro e 11,25 cm para a de areia; além das seguintes granulometrias: 0,60 mm a 1,18 mm para a areia; e 0,425 mm a 0,60 mm para o vidro;
- Originou um efluente com aspecto estético agradável e com odor imperceptível, o que é interessante visto que pode dirimir a possibilidade de reclamações por parte dos usuários.

- A água cinza tratada enquadra-se na classe 4 da ABNT NBR 13.969 e pode ser reusado em pomares, cereais, forragens, pastagem de gados e outros cultivos através de escoamento superficial ou por sistema de irrigação pontual. Com interrompimento das aplicações 10 dias antes da colheita.

Como sequencias para futuros trabalhos, faz-se as seguintes recomendações:

- Analisar a trabalhabilidade do filtro com leito filtrante composto pelos mesmos materiais utilizados nesse estudo, porém, com granulometrias diferentes;
- Verificar a qualidade da água após passar pelo sistema de filtração analisado e pelos tratamentos complementares aqui recomendados;
- Averiguar a eficiência do filtro com uma camada suporte composta por materiais com granulometrias mais próximas ou com manta ao fundo;
- Aplicar em escala real o sistema aqui analisado e verificar o seu funcionamento;

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil**: informe 2015. Brasília, 2015. 88p.

ALLEN, L., CHRISTIAN-SMITH, J., & PALANIAPPAN, M. (2010). **Overview of greywater reuse**: The potential of greywater systems to aid sustainable water management. Informally published manuscript, Pacific Institute, Oakland, California. 2010. Disponível em: <http://www.pacinst.org/wpcontent/uploads/sites/21/2013/02/greywater_overview3.pdf>. Acesso em: 06 jan. 2017.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21 ed., Washington-USA, 2005.

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

ARANTES, Eudes José. **FILTRAÇÃO**. ParanÁ, 2016. 115 slides, color. Disponível em: <http://paginapessoal.utfpr.edu.br/eudesarantes/disciplinas/saneamento/Aula_5_Filtracao.ppt/at_download/file>. Acesso em: 01 jan. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11.799**: Material filtrante — Areia, antracito e pedregulho — Especificação. Rio de Janeiro, 1990. 7 p.

_____. **NBR 12.216**: Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público. Rio de Janeiro: [s.n.], 1992. 18 p.

_____. **NBR 13.969**: Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação. [S. l.], 1997. 60 p.

BARROS, João Paulo Reis et al. PROJETO DE REUSO DE ÁGUA CINZA NO IFS, CAMPUS ARACAJU, POR MEIO DE RECIRCULAÇÃO NOS BANHEIROS E IRRIGAÇÃO DE JARDINS, COM SEUS ASPECTOS ECONÔMICOS E QUALITATIVOS. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 2016, Aracaju. **Artigo**. Aracaju: Ifs, 2016. p. 1 - 9.

BAZZARELLA, Bianca Barcellos. **Caracterização e aproveitamento de água cinza para uso não potável em edificações**. 2005. 165 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2005. Disponível em: <http://portais4.ufes.br/posgrad/teses/tese_6573_Bazzarella_BB_2005.pdf>. Acesso em: 15 out. 2016.

BRASIL. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Resolução No 54 - Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, 9 mar. 2005.

_____. Lei Nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio

de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei No 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, 5 jan. 2007.

_____. Lei Nº 9433, de 08 de janeiro de 1997. Dispõe sobre a Política Nacional de Recursos Hídricos. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 09 jan. 1997.

_____. Ministério do Meio Ambiente. Portaria nº 44, de 13 de fevereiro de 2008. Comitê Gestor Nacional de Produção e Consumo Sustentável, **Plano de Ação para Produção e Consumo Sustentáveis** - Versão Para Consulta Pública. Set. 2010.

_____. Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento. **Diagnóstico dos serviços de Água e Esgoto - 2014**. Brasília: SNIS, 2016.

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.

CICILIATO, Rafael Coelho. **TRATAMENTO DE ÁGUAS CINZAS SINTÉTICA PARA FINS DE REÚSO ATRAVÉS DE MÉTODOS ELETROQUÍMICOS**. 2013. 64 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2013. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/1093/1/LD_COEAM_2012_2_09.pdf>. Acesso em: 03 jan. 2017.

CONFERÊNCIA DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO, 1992, Rio de Janeiro. **Agenda 21**. Brasília: Senado Federal, Subsecretaria de Edições Técnicas, 1996.

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

ESREY, S. et al.. **Ecological sanitation**. Sida, Stockholm, 1998.

_____. **Closing the loop Ecological Sanitation for food security**. Stockholm (Sweden) 7 SIDA; 2001.

FAO - Food and Agriculture Organization of United Nations. **Towards a water and food secure future: Critical Perspectives for Policy-makers**. Roma: White Paper, 2015. 76 p. Disponível em: <http://www.fao.org/nr/water/docs/FAO_WWC_white_paper_web.pdf>. Acesso em: 15 out. 2015.

Green Building Council Brasil – Certificação. Disponível em: <www.gbcbrazil.org.br/pt/certificacao>. Acesso em 20 nov. 2016.

GONÇALVES, R. F. (Coord.). **Uso Racional da Água em Edificações**. Programa de Pesquisa em Saneamento Básico. Rio de Janeiro: ABES, p. 1-28, 2006. Disponível em: <<http://www.finep.gov.br/prosab/livros/Uso%20%C3%81gua%20-%20final.pdf>>. Acesso em: 20 set. 2016.

IDEC. **Manual de educação para consumo sustentável**. Brasília: [s.i.], 2005. 162 p. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/dmdocuments/publicacao8.pdf>>. Acesso em: 14 out. 2016.

JERFFERSON, 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.; PESSÔA, C. A. **Tratamento de Esgoto Doméstico**. 4 ed. Rio de Janeiro: Segrac, 2005.

LANGERGRABER, G.; MUELLEGGER, E. 2005) Ecological Sanitation - a way to solve global sanitation problems?. **Environment International**. v. 31, n. 3, p. 433-444, 2005.

LIMA, Ricardo Paganelli de; MACHADO, Thiago Garcia. **Aproveitamento de Água Pluvial: análise do custo de implantação do sistema em edificações**. 2008. 46 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil Ênfase Ambiental, Centro Universitário da Fundação Educacional de Barretos, Barretos, 2008.

MARTINS JUNIOR, Rubens; MARTINS, Márcia Viana Lisboa. Dimensionamento de Filtro de Areia para Tratamento de Água Cinza do Bloco Novo do IRN. **Revista Brasileira de Recursos Renováveis**, Minas Gerais, v. 3, n. 5, p.356-363, 2016.

MELFI, Adolpho José. **ÁGUA**: São Paulo: Fapesp/sabesp, 2009. 22 slides, color.

MISRA, R. K.; PATEL, J. H.; BAXI, V. R. Reuse potential of laundry greywater for irrigation based on growth, water and nutrient use of tomato. **Journal of Hydrology**. n. 1-4, v. 386, p. 95-102, 2010.

MOTTA, Silvio R. F.; AGUILAR, Maria Teresa P.. SUSTENTABILIDADE E PROCESSOS DE PROJETOS DE EDIFICAÇÕES. **Revista Gestão & Tecnologia de Projetos**, São Carlos, v. 4, n. 1, p.84-119, 2009. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/gestaodeprojetos/article/viewFile/50953/55034>>. Acesso em: 20 nov. 2016.

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.

NOVA IORQUE. PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO. **Relatório do Desenvolvimento Humano 2006**. Nova Iorque: Communications Development Incorporated, 2006.

NSWHEALTH. **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: 15 nov. 2016.

Organização das Nações Unidas (Org.). **United Nations Conference on the Human Environment**: Stockholm Conference. 1972. Disponível em: <<https://sustainabledevelopment.un.org/milestones/humanenvironment>>. Acesso em: 17 nov. 2016.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE. **Diretrizes para a qualidade microbiológica de águas residuais tratadas, utilizadas em agricultura**: recomendações para a revisão das diretrizes da OMS. Boletim da Organização Mundial de Saúde, 2000.

OROZCO, Margarita Maria Dueñas. **FILTRAÇÃO**. Rondônia, 2012. 44 slides, color. Disponível em: <http://www.engenhariaambiental.unir.br/admin/prof/arq/Aula_12_Filtracao.pdf>. Acesso em: 26 jan. 2017.

OTTERPOHL, R.; GROTTKER, M.; LANGE, J. Sustainable water and waste management in urban areas. **Water Science Technologies**. v. 35, n. 9, p. 121-133, 1997.

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

PANZIERA, André Gonçalves et al. VIABILIDADE DO USO DE MATERIAIS ALTERNATIVOS EM FILTRO DE ÁGUA PARA REÚSO. **Disciplinarum Scientia**, Santa Maria, v. 16, n. 3, p.371-385, 2015. Disponível em: <<http://www.periodicos.unifra.br/index.php/disciplinarumNT/article/download/1401/1323>>. Acesso em: 20 out. 2016.

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

PINTO, U.; MAHESHWARI, B. L. Reuse of greywater for irrigation around homes in Australia: understanding community views, issues and practices. **Urban Water Journal**. n. 1, v. 7, p. 141–153, 2010.

RAMPELOTTO, Geraldo. **CARACTERIZAÇÃO E TRATAMENTO DE ÁGUAS CINZAS VISANDO REÚSO DOMÉSTICO**. 117 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014. Disponível em: <http://cascavel.ufsm.br/tede//tede_arquivos/20/TDE-2015-04-02T125343Z-6200/Publico/RAMPELOTTO, GERALDO.pdf>. Acesso em: 02 jan. 2017.

REBÊLO, Marcelle Maria Pais Silva. **Caracterização de águas cinzas e negras de origem residencial e análise da eficiência de reator anaeróbio com chicanas**. 2011. 113 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Recursos Hídricos e Saneamento, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2011. Disponível em: <<http://www.ctec.ufal.br/posgraduacao/ppgrhs/sites/default/files/dissertacaomarcellemariapaisilvarebelo.pdf>>. Acesso em: 18 nov. 2016.

REBOUÇAS, E. G. et al. Proposição de resíduo da construção civil como recheio para filtração de efluentes de elevada cor. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Química Iniciação Científica, 29-02 out., Rio de Janeiro. **Anais**. Rio de Janeiro: ABEQ, 2011.

ROCHA, A.L.; BARRETO, D.; IOSHIMOTO, E. **Caracterização e Monitoramento do Consumo Predial de Água**: Documento Técnico de Apoio DTA E1. Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água. PNCDA, 1999.

SANTOS, D. C. Os sistemas prediais e a promoção da sustentabilidade ambiental. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 2, n. 4, p. 7-18, 2002. Disponível em: <<http://www.antac.org.br/ambienteconstruido/pdf/revista/artigos/Doc11030.pdf>>. Acesso em: 22 ago. 2016.

SAUTCHUK, C., FARINA, H., HESPANHOL, I., OLIVEIRA, L. H., COSTI, L. O., ILHA, M.S.O., GONÇALVES, O.M., MAY, S., BONI, S.S.N., SCHMIDT, W. **Conservação e reúso da água em edificações**: Manual da FIESP. São Paulo, 151 p, 2005.

SELLA, Marcelino Blacene. **REÚSO DE ÁGUAS CINZAS: AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE DA IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA EM RESIDÊNCIAS**. 2011. 87 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/34521/000789725.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 22 dez. 2016.

SKJELHAUGEN, O. J.; Closed system for local reuse of blackwater and food waste, integrated with agriculture. **Wat. Sc. and Tech.**, n.39 v.5, p.161-168, 1999.

SOUZA, R. C.; ISOLDI, L. A.; OTIZ, C. M. Tratamento de esgoto doméstico por filtro anaeróbio com recheio de bambu. **Vetor**, v. 20, p. 5-19, 2010.

TELLES, D. D.; COSTA, P. R. (coord). **Reúso da Água – Conceitos, teorias e práticas**. 2 ed. São Paulo: Blucher. 408 p., 2010.

TONETTI, Adriano Luiz et al. Avaliação de um sistema simplificado de tratamento de esgotos visando a utilização em áreas rurais. **Eng Agríc Ambient**, Campinas, v. 14, n. 2, p.227-234, 2010. Disponível em: <<file:///C:/Users/box/Downloads/TONETTI%20ET%20AL%202010.pdf>>. Acesso em: 10 out. 2016.

_____. Tratamento de esgoto e produção de água de reúso com o emprego de filtros de areia: Wastewater treatment and reuse water production using sand filters. **Eng Sanit Ambient**, Campinas, v. 3, n. 17, p.287-294, jul. 2012. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/esa/v17n3/v17n3a05.pdf>>. Acesso em: 11 out. 2016.

USEPA. **Guidelines for Water Reuse**. Environmental Protection Agency and U.S. Agency for International Development, 2004.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3 ed. Belo Horizonte: DESA/UFMG, v. 1, 2005. 452 p.