



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Faculdade de Engenharia e Ciências de Guaratinguetá**

LAÍS FLORIANO GIL APOLINÁRIO

Desenvolvimento de um sistema de tratamento de águas cinzas para reuso não potável

Guaratinguetá - SP

2022

Laís Floriano Gil Apolinário

Desenvolvimento de um sistema de tratamento de águas cinzas para reuso não potável

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof^ª Dra Isabel Cristina de Barros Trannin

Guaratinguetá - SP

2022

A644d Apolinário, Lais Floriano Gil
Desenvolvimento de um sistema de tratamento de águas cinzas para reuso não potável / Lais Floriano Gil Apolinário – Guaratinguetá, 2022.
57 f : il.
Bibliografia: f. 53-57

Trabalho de Graduação em Engenharia Civil – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia e Ciências de Guaratinguetá, 2022.
Orientadora: Prof^a Dr^a Isabel Cristina de Barros Trannin

1. Saneamento. 2. Água - Reuso. 3. Sustentabilidade. I. Título.

CDU 628

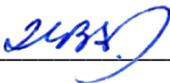
LAÍS FLORIANO GIL APOLINÁRIO

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
"GRADUADO EM ENGENHARIA CIVIL"

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL


Prof^ª Dr^ª Isabel Cristina de Barros Trannin
Coordenadora

BANCA EXAMINADORA:


Prof^ª Dr^ª Isabel Cristina de Barros Trannin
Orientadora/UNESP-FEG


Prof. Dr. Teófilo Miguel de Souza
UNESP-FEG


Prof^ª Dr^ª. Thaís Santos Castro
UNESP-FEG

DADOS CURRICULARES

LAÍS FLORIANO GIL APOLINÁRIO

NASCIMENTO 04.01.1997 – Cachoeira Paulista/SP

FILIAÇÃO Márcio José Gil Apolinário
Adriana Floriano da Silva

2016/2022 Curso de Graduação em Engenharia Civil
Universidade Estadual Paulista – “Júlio de Mesquita Filho”, Campus
de Guaratinguetá.

Dedico este trabalho à minha família por todo cuidado e paciência que me deram durante o período de graduação. Sem seu apoio nada seria possível.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Márcio e Adriana e ao meu irmão Lucas, que sempre se alegraram com os bons resultados que obtive ao longo deste período e que sempre me deram apoio e forças para que eu superasse as dificuldades.

A República Tá-Mar, por estar presente nos momentos mais felizes e nos mais difíceis durante essa caminhada. Em especial, a Izabella Correia, por ser minha dupla do início ao fim. Sua amizade e apoio nesses anos de graduação fizeram ir mais longe.

Aos amigos que fiz nessa trajetória, pelo companheirismo e pela troca de experiências que me permitiram crescer não só como pessoa, mas também como profissional.

A minha terapeuta, Maryah Bittencourt, pelos conselhos, conversas e por auxiliar no meu contínuo processo de autoconhecimento.

A meu namorado, Caio Cabral, por seu incentivo, paciência e apoio. Tê-lo ao meu lado foi essencial nesses últimos meses.

A professora Isabel Trannin, pela paciência e dedicação como orientadora, por compartilhar seu conhecimento para que este trabalho pudesse ser concluído.

“Quando o mundo estiver unido na busca do conhecimento, e não mais lutando por dinheiro e poder, então nossa sociedade poderá enfim evoluir a um novo nível.”

Thomas Jefferson

RESUMO

A água é um recurso natural renovável essencial à vida na Terra, pois sustenta a biodiversidade e mantém em funcionamento ecossistemas, comunidades e populações. Porém, diversos fatores contribuem para a sua escassez, provocando impactos sociais, econômicos e ambientais em escala global. Para amenizar os problemas gerados pela falta deste recurso, torna-se necessário o desenvolvimento de técnicas de reuso, prática já adotada por países desenvolvidos. Esse método não possui legislação nacional específica, entretanto, existem recomendações estabelecidas pelo Manual da ANA/FIESP/SINDUSCON e pela NBR 13969/1997, que apresentam as classes de água de reuso e respectivos parâmetros de qualidade para cada uso previsto. Assim, esse trabalho teve como objetivo analisar os sistemas de tratamento de águas cinzas apresentados na literatura nacional e internacional, para desenvolver um sistema de tratamento para reuso em atividades que não exigem potabilidade, utilizando materiais disponíveis no mercado, de baixo custo, de fácil execução e manutenção. Verificou-se que uma residência com quatro usuários gera, aproximadamente, $10 \text{ m}^3 \text{ mês}^{-1}$ de água cinza, originada de lavadora de roupas, tanques, lavatórios e chuveiros. O sistema de tratamento selecionado para o projeto de reuso foi o *two-stage*, que consiste em filtração e desinfecção, sendo o meio filtrante composto de areia e carvão ativado granular e a desinfecção realizada por cloro de pastilha. Com a implementação do sistema de tratamento, o consumo mensal de água fornecida pelo serviço de abastecimento reduziu em 52%. O sistema de tratamento desenvolvido neste trabalho teve um custo total de R\$ 4.919,59 e, considerando a tarifa paga ao serviço de abastecimento público do município de Guaratinguetá, este empreendimento pode ser quitado em, aproximadamente, 8 anos. Os benefícios ambientais dessa prática são imensuráveis e contribuem para o uso sustentável dos recursos hídricos.

PALAVRAS-CHAVE: Saneamento básico. Disponibilidade hídrica. Reuso de água. Sustentabilidade.

ABSTRACT

Water is a renewable natural resource essential to life on Earth, as it sustains biodiversity and keeps ecosystems, communities and populations functioning. However, several factors contribute to its scarcity, causing social, economic and environmental impacts on a global scale. To alleviate the problems generated by the lack of this resource, it is necessary to develop reuse techniques, a practice already adopted by developed countries. This method does not have specific national legislation, however, there are recommendations established by the ANA/FIESP/SINDUSCON Manual and by NBR 13969/1997, which present the reuse water classes and respective quality parameters for each intended use. Thus, this work aimed to analyze the gray water treatment systems presented in the national and international literature, to develop a treatment system for reuse in activities that do not require potability, using materials available on the market, of low cost, of easy execution. and maintenance. It was found that a residence with four users generates approximately 10 m³ month⁻¹ of gray water, originating from washing machines, tanks, washbasins and showers. The treatment system selected for the reuse project was the two-stage, which consists of filtration and disinfection, the filtering medium being composed of sand and granular activated carbon and disinfection carried out by tablet chlorine. With the implementation of the treatment system, the monthly consumption of water supplied by the supply service reduced by 52%. The treatment system developed in this work had a total cost of R\$ 4,919.59 and, considering the tariff paid to the public supply service in the municipality of Guaratinguetá, this project can be paid off in approximately 8 years. The environmental benefits of this practice are immeasurable and contribute to the sustainable use of water resources.

KEYWORDS: Basic sanitation. Water availability. Water reuse. Sustainability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Evolução da retirada de água no Brasil por região geográfica (1970-2030).....	18
Figura 2 – Sistema alternativo de gerenciamento de águas em uma edificação.....	19
Figura 3 – Comparação da produção típica de água cinza e descargas de vasos sanitários.....	22
Figura 4 – Planta baixa de uma residência unifamiliar com quatro usuários.....	35
Figura 5 – Projeto da rede de água fria convencional: pavimento térreo.....	39
Figura 6 – Projeto da rede de água fria convencional: laje.....	40
Figura 7 – Projeto da rede de esgoto convencional.....	40
Figura 8 – Adaptação do projeto da rede hidráulica convencional para captação da água residuária.....	41
Figura 9 – Filtro separador de sólidos	42
Figura 10 – Filtro misto de areia e carvão ativado granular.....	43
Figura 11 – Reservatório do tipo cisterna de 200 litros.....	44
Figura 12 – Pastilha de cloro estabilizado.....	45
Figura 13 – Bomba d’água do tipo periférica.....	46
Figura 14 – Caixa d’água de 250 litros.....	46
Figura 15 – Rede de distribuição da água cinza tratada nos pontos de utilização.....	47
Figura 16 – Sistema de tratamento de água cinza do pavimento térreo.....	48
Figura 17 – Sistema de tratamento de águas cinzas na laje.....	48
Figura 18 – Filtro separador de sólidos, filtro misto, reservatório submerso e bomba de distribuição de águas de reuso.....	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Estimativa de consumo de água potável residencial no Brasil.....	21
Tabela 2 – Parâmetros físicos químicos e microbiológicos de águas cinzas provenientes de diversas fontes.....	24
Tabela 3 – Volume de água cinza gerada em uma residência com quatro usuários.....	35
Tabela 4 - Estimativa do consumo de água de reuso em uma residência de quatro pessoas....	36
Tabela 5 – Tarifa cobrada pela SAEG para a categoria II, no município de Guaratinguetá (SP).....	38
Tabela 6 – Materiais utilizados na rede de captação de águas cinzas e respectivos valores....	42
Tabela 7 – Materiais utilizados na rede de distribuição de águas de reuso e respectivos valores.....	47
Tabela 8 – Valor total do sistema de tratamento de águas cinzas.....	50
Tabela 9 – Vida útil dos materiais utilizados no projeto do sistema de tratamento de água cinza.....	51

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Parâmetros de qualidade para reuso de águas cinzas em diferentes países.....	23
Quadro 2 – Classes de água de reuso estabelecidas pela NBR 13969/1997 e respectivos parâmetros de qualidade para cada uso previsto.....	24
Quadro 3 – Sistemas de tratamentos recomendados para os usos potenciais de águas residuárias e pluviais.....	28
Quadro 4 – Tratamentos da água cinza e respectivas vantagens e desvantagens.....	31
Quadro 5 – Padrões de qualidade para reuso de águas cinzas em descarga de vasos sanitários.....	32

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
FIESP	Federação das Indústrias do Estado de São Paulo
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
MMA	Ministério do Meio Ambiente
NBR	Norma Brasileira Registrada
OMS	Organização Mundial da Saúde
pH	Potencial Hidrogeniônico
PLANSAB	Plano Nacional de Saneamento Básico
PNCDA	Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água
PROSAB	Programa de Pesquisas em Saneamento Básico
SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SAEG	Serviço de Água, Esgoto e Resíduos de Guaratinguetá
SINDUSCON	Sindicato da Indústria da Construção Civil
SISNAMA	Sistema Nacional do Meio Ambiente
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
UNESP	Universidade Estadual Paulista
UNICAMP	Universidade Estadual de Campinas
USP	Universidade de São Paulo

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVOS	16
2.1	OBJETIVO GERAL	16
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
3	REVISÃO BIBLIOGRAFICA	17
3.1	DISPONIBILIDADE E DEMANDA POR RECURSOS HÍDRICOS NO BRASIL.....	17
3.2	POTENCIAL DE REUSO DE ÁGUAS CINZAS E LEGISLAÇÃO.....	19
3.2.1	Aspectos Quantitativos das Águas Cinzas	20
3.2.2	Parâmetros de Qualidade das Águas Cinzas	22
3.3	TRATAMENTOS DE ÁGUAS CINZAS.....	26
3.4	LEGISLAÇÃO E RISCOS ASSOCIADOS AO REUSO DE ÁGUAS CINZAS.....	31
4	MATERIAIS E MÉTODOS	34
4.1	CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA DE TRATAMENTO.....	34
4.2	DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE TRATAMENTO DE ÁGUA DE REUSO.....	36
4.3	TARIFA DE ÁGUA.....	38
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
5.1	SISTEMA DE TRATAMENTO DE ÁGUAS CINZAS PROPOSTO.....	39
5.2	VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DO TRATAMENTO PROPOSTO...49	
6	CONCLUSÕES	52
	REFERÊNCIAS	53

1 INTRODUÇÃO

O crescimento populacional desordenado, a má distribuição de recursos hídricos no território nacional e o desenvolvimento industrial combinados ao uso irracional são os principais fatores que ampliam a demanda de água doce e a produção de águas residuárias no mundo. Em consequência à associação deste aumento do consumo e outros fatores determinantes, como baixo investimento em infraestrutura e períodos de chuvas abaixo da média histórica, pode ocorrer a escassez de recursos hídricos. Este fenômeno desencadeia crises e estresses hídricos, que provocam impactos sociais, econômicos e ambientais, reduzindo a oferta de alimentos e de energia, bem como, a diminuição de oferta de água à população (BAZZARELLA, 2005; ANA, 2019).

De acordo com dados da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), o setor agrícola consome cerca de 70% da água doce em todo o mundo, por isso a sua oferta seria um fator importante no aumento da produção agrícola para atender às necessidades da população mundial em expansão. O consumo de água doce para abastecimento residencial também está entre as principais demandas, sendo registrado que cerca de 24,4% do total captado é destinado para este fim (ANA, 2019). Entretanto, parte deste volume é desperdiçado devido a falhas no sistema de distribuição e ao consumo indisciplinado.

Com base nos levantamentos do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), ao distribuir água para garantir o consumo residencial, os sistemas sofrem perdas na distribuição, que na média nacional são da ordem de 38,5% (INSTITUTO TRATA BRASIL, 2020). Devido a estes fatores, faz-se necessário a aplicação de medidas que resultem na redução do desperdício e estimulem o uso racional e sustentável da água potável. O saneamento ecológico é uma alternativa baseada nos caminhos naturais dos ecossistemas e no ciclo fechado de materiais, e objetiva reduzir o consumo de água proveniente do sistema de abastecimento ao reaproveitá-la na própria residência (MACHADO, 2019).

Gonçalves (2006) destaca que o reuso das águas cinzas tratadas, como fonte alternativa de fornecimento hídrico em edificações, pode resultar em economia de recursos naturais e menor produção de esgoto sanitário, bem como na preservação dos mananciais, ao diminuir a captação pelas redes de abastecimento. Segundo o autor, esta prática já vem sendo utilizada em diversos países, como Japão, Estados Unidos, Austrália, Canadá, Reino Unido, Alemanha e Suécia. No Brasil esta prática ainda é incipiente, tendo em vista que a divulgação da viabilidade de reuso de águas cinzas só teve início nos anos 2000. Ainda assim, a cada ano aumenta o

número de edificações que adotam sistemas prediais, visando o reuso de águas para fins não potáveis em prol da sustentabilidade (BUSICO, 2019).

O reuso da água é uma prática tecnicamente viável, porém, cuidados específicos devem ser tomados para que seja evitada a contaminação de pessoas, produtos ou subsolo, além de prevenir danos aos equipamentos hidráulicos. Em virtude destes riscos potenciais, faz-se necessário a aplicação de leis que balizem esta prática, de modo a torná-la mais segura à saúde pública e ao meio ambiente. Diferente de países que já adotaram o sistema de reutilização de água residuárias, o Brasil ainda carece de legislação específica sobre o tema, definindo padrões de qualidade e responsabilidades. Diante disso, o reuso de águas cinzas têm sido balizado pela norma NBR 13969/1997, que indica classes e parâmetros de qualidade para a água cinza tratada destinada a fins não potáveis e pelo Manual da parceria ANA/FIESP/SINDUSCON (SAUTCHUK *et al.*, 2005)

Neste contexto, este trabalho de graduação reuniu informações sobre a situação atual da legislação brasileira e de outros países, quanto à normatização do reuso de águas cinzas, apresentando os padrões de qualidade estabelecidos para os diferentes usos e os principais sistemas de tratamentos propostos na literatura. Com base nessa fundamentação teórica, técnica e científica, foi proposto um sistema de tratamento de águas cinzas, utilizando materiais disponíveis no mercado, de baixo custo, de fácil execução e manutenção, visando sua replicação e o incentivo à adoção de práticas sustentáveis na utilização de recursos hídricos.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar os sistemas de tratamento de águas cinzas apresentados na literatura nacional e internacional, para desenvolver um sistema de tratamento para reuso em atividades que não exigem potabilidade, utilizando materiais disponíveis no mercado, de baixo custo, de fácil execução e manutenção.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Obter informações técnicas, científicas e normativas sobre o reuso de águas cinzas para fins potáveis e não potáveis, por meio da revisão de literatura nacional e internacional;
- Analisar os diferentes sistemas de tratamento de águas cinzas para reuso em fins potáveis e não potáveis, apresentados em trabalhos realizados no Brasil e no exterior, para fundamentar o desenvolvimento de um projeto de baixo custo e acessível à população;
- Desenvolver um sistema de tratamento de águas cinzas de baixo custo, com materiais disponíveis no mercado e de fácil execução e manutenção, para viabilizar sua replicação e o incentivo à adoção de práticas sustentáveis na utilização de recursos hídricos.

3 REVISÃO BIBLIOGRAFICA

Esta revisão de literatura apresenta o panorama brasileiro de disponibilidade de recursos hídricos e sua demanda por múltiplos usos; o potencial de reuso das águas cinzas, considerando aspectos quantitativos e qualitativos, os diferentes tratamentos aplicados e os seus padrões de qualidade, bem como, a normatização brasileira pertinente ao reuso.

3.1 DISPONIBILIDADE E DEMANDA POR RECURSOS HÍDRICOS NO BRASIL

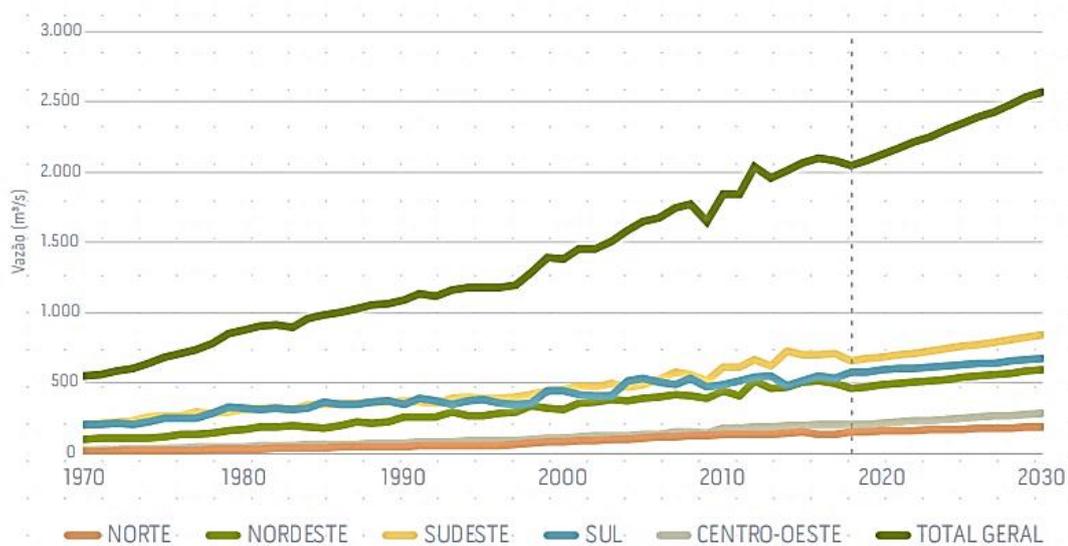
A água é um recurso natural renovável essencial à vida na Terra, pois sustenta a biodiversidade e mantém em funcionamento ecossistemas, comunidades e populações. Seu ciclo é constituído por águas superficiais, subterrâneas e atmosféricas, componentes que permitem um fluxo permanente e volume constante. Contudo, devido à interferência da espécie humana, este equilíbrio vem sendo alterado. A aplicação deste recurso pelo homem em múltiplos usos, como na geração de energia elétrica, abastecimento doméstico e industrial, irrigação de culturas agrícolas, recreação, assimilação e afastamento de esgotos, introduziram uma apropriação dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos, produzindo conflitos crescentes entre os diversos usos da água e escassez do recurso (TUNDISI, 2014).

O Brasil é um dos países com maior disponibilidade de água doce do mundo, possuindo cerca de 12% das reservas hídricas superficiais em seu território e alguns dos maiores reservatórios de água subterrânea, como o Aquífero Guarani e o Alter do Chão (TUNDISI, 2014). O Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), dividiu o território nacional em 12 regiões hidrográficas, a fim de orientar, planejar e gerenciar este recurso. Estas regiões compreendem bacias, grupos de bacias ou sub-bacias hidrográficas próximas, com características naturais, sociais e econômicas similares (ANA, 2019). Entretanto, sua distribuição natural não é equilibrada, gerando um cenário desfavorável à disponibilidade de água doce. Enquanto a região Norte, que representa apenas 5% da população brasileira, concentra aproximadamente 80% da quantidade de água disponível, a região Sudeste que reúne mais de 45% da população, porém detém somente 3% dos recursos hídricos (ANA, 2019).

Além da desigualdade na distribuição da água doce pelo território, a demanda crescente por seu uso é outro agravante crítico ao panorama nacional. De acordo com a Conjuntura dos Recursos Hídricos do Brasil de 2019, o total da água retirada para consumo aumentou aproximadamente 80% nas últimas décadas e ampliará em mais 26% até 2030. Este crescimento de demanda ocorre devido a fatores como desenvolvimento econômico e processo de

urbanização, que contribuem para o surgimento do estresse hídrico, quando a demanda por água é maior que a oferta do recurso, com o passar dos anos. Como pode ser observado na Figura 1, as regiões com maiores demanda de água doce são a Região Sudeste e a Região Sul, devido ao uso da água para abastecimento humano, irrigação e na indústria, e a retirada de água para irrigação de grandes lavouras de arroz pelo método de inundação (ANA, 2019).

Figura 1 – Evolução da retirada de água no Brasil por região geográfica (1970-2030)



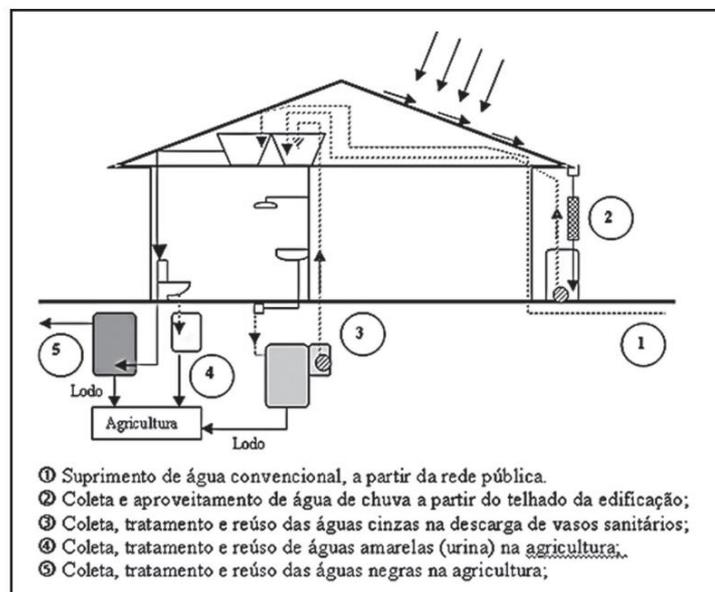
Fonte: ANA (2019)

Ao relacionar a disponibilidade com a demanda da água doce obtém-se o balanço hídrico que, devido à alta vulnerabilidade associada a baixos investimentos em infraestrutura e períodos de chuvas abaixo da média, pode apresentar-se desfavorável (ANA, 2019). Os impactos causados por este desequilíbrio agravam a situação e conduzem a períodos de estiagem e escassez de recursos hídricos. Assim, é de grande importância o conhecimento e aplicação de práticas que se utilizem de fontes alternativas de abastecimento, proporcionando a conservação da água potável e sua economia, reduzindo o consumo, o desperdício e a quantidade de recurso extraído em fontes de suprimento. Além de aplicar métodos e práticas que gerem a reciclagem e o reuso do efluente, para fins não potáveis, antes de seu descarte final (ANA/FIESP/SINDUSCON, 2005).

3.2 POTENCIAL DE REUSO DE ÁGUAS CINZAS E LEGISLAÇÃO

O conceito de saneamento ecológico surgiu devido ao cenário de escassez dos recursos hídricos e da necessidade de minimizar os impactos ao meio ambiente. Este sistema baseia-se no reaproveitamento dos efluentes domésticos, separando os fluxos, de acordo, com suas características, tratando e reutilizando-os na própria residência (MACHADO, 2019). A Figura 2 ilustra um sistema alternativo de gerenciamento de águas em uma edificação, indicando linhas de produção de águas residuárias.

Figura 2 – Sistema alternativo de gerenciamento de águas em uma edificação



Fonte: Gonçalves (2006)

De acordo com Gonçalves (2006), os efluentes domésticos podem ser classificados da seguinte forma:

- Águas Negras: são provenientes de vasos sanitários, contendo sobretudo matéria fecal e papel higiênico e não possuem utilidade no reúso residencial. De acordo com Machado e Trannin (2015), o lodo gerado do tratamento biológico pode ser utilizado na agricultura, caso atenda à Resolução do Conama nº 375/2006.

- Águas Cinzas: são as águas servidas, originadas de atividades domésticas como lavagem de roupa em lavadoras e tanques, usadas em lavatórios e banhos, em pias para lavagem de utensílios de cozinha, excluindo-se somente a água residuária proveniente dos vasos sanitários (águas negras).

- Águas Amarelas: são águas que contêm predominantemente urina, originados de mictórios e dispositivos que segregam fezes e urina. Não possuem potencial para uso residencial, mas representa uma fonte de nitrogênio para uso agrícola.

Além das águas residuárias, geradas por atividades domésticas, as águas oriundas de precipitações pluviométricas também podem ser aproveitadas para fins não potáveis, após serem captadas e armazenadas em cisternas, sendo classificadas como “águas azuis”.

A classificação correta dos diferentes tipos de águas residuárias é de extrema importância, pois permite um tratamento específico e mais efetivo para cada efluente, sendo necessário para isso, conhecer seus parâmetros e características com precisão, tratando-os para que atendam aos requisitos de qualidade exigidos ao reuso desejado.

A água cinza é definida pela ANA, como o efluente que não possui contribuição da bacia sanitária, correspondendo aos efluentes gerados pelo uso da água em banheiras, chuveiros, lavatórios, máquinas de lavar roupas e pias de cozinha, originadas de residências, escritórios, escolas, edifícios públicos, entre outros (ANA, 2005). Alguns autores não consideram as águas oriundas de cozinhas como água cinza, devido à alta concentração de matéria orgânica presente no efluente, além de óleos e gorduras (GONÇALVES, 2006). Outros autores não consideram as águas oriundas de chuveiros como águas cinzas, por conter resíduos de urina, caracterizando como águas amarelas (ERIKSSON, 2002).

Os componentes presentes na água variam de acordo com diversos fatores, principalmente relacionado à fonte selecionada (máquina de lavar, chuveiro, etc.), localização, número de moradores da residência, faixa etária, estilo de vida, classe social e costumes. Além disso, outro fator associado à determinação das características da água cinza é a qualidade do abastecimento e o tipo de rede de distribuição utilizada (ERIKSSON, 2002). Não se deve ignorar a possibilidade de a água de reuso possuir diversas contaminações, pela grande flexibilidade do uso dos aparelhos hidrossanitários, havendo a possibilidade de conter matéria orgânica e contaminação fecal. Por isso, é preciso conhecer bem suas características e restringir o uso.

3.2.1 Aspectos Quantitativos das Águas Cinzas

As características quantitativas de um sistema de produção de águas cinzas estão diretamente ligadas ao consumo hídrico na residência: enquanto houver uso das instalações sanitárias, haverá fornecimento. A quantidade consumida, porém, varia de acordo com a região, o clima e os costumes da população (GONÇALVES, 2006). Uma pesquisa divulgada pelo

Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), indicou que a região Sudeste apresentou um consumo médio regional de água por habitante por dia 16% maior que a média nacional no ano de 2014, enquanto a região Nordeste apresentou um resultado cerca de 27% inferior, no mesmo período (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2016). Outro fator determinante para o volume de água cinza gerada é a tipologia da edificação, por exemplo, uma residência consome mais quando comparada a um escritório comercial.

De acordo com Santos (2002), as características do subsistema de coleta estão associadas à vazão específica dos aparelhos sanitários e sua utilização, onde considera-se a frequência e a duração de uso, para estimar a vazão diária de água cinza a ser produzida. A estimativa das vazões em pontos de consumo de uma residência tem sido realizada por estudos nacionais, com resultados que indicam maiores porcentagens de consumo de água em chuveiros e descargas sanitárias. A Tabela 1 apresenta um estudo de consumo residencial de água potável no Brasil.

Tabela 1 – Estimativa de consumo de água potável residencial no Brasil

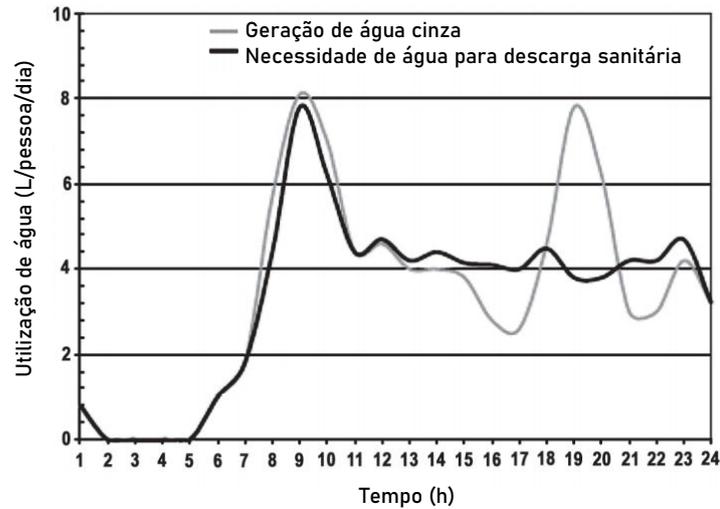
Consumo residencial de água potável	Porcentagem de consumo		
	USP ¹	IPT/PNCDA ²	DECA ³
Vaso sanitário	29	5	14,0
Chuveiro	28	54	46,7
Lavatório	6	7	11,7
Pia de cozinha	17	17	14,6
Tanque	6	10	4,9
Lavadora de roupas	5	4	8,1
Lavadora de louças	9	3	-
Total	100	100	100

Fontes: ¹ Universidade de São Paulo – USP. Programa de uso racional da água – PURA. 1999. ² Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT/Programa Nacional de Combate ao desperdício da água – PNCDA. Caracterização e monitoramento do consumo predial de água. ³ DECA. Uso racional de água.

Fonte: May (2009)

Em termos quantitativos, a oferta e a demanda de águas cinzas de uma residência são proporcionais, geralmente o sistema de reuso, não corre o risco de falta de água, podendo ocorrer, porém, uma defasagem temporal entre os dois fatores. Portanto, para o sucesso de um sistema de gerenciamento é preciso balancear as vazões de entrada e saída de água cinza. Estudos feitos por Surendran e Wheatley (1998), em uma universidade, indicaram que o volume acumulado de água cinza gerado e o volume requerido pelas descargas dos vasos sanitários em um dia são bastante semelhantes, mas diferem ligeiramente na distribuição temporal, resultando em um déficit de água durante a tarde e a madrugada, como pode ser observado na Figura 3, mas a utilização de reservatórios de estocagem pode corrigir esse defasagem.

Figura 3 – Comparação da produção típica de água cinza e descargas de vasos sanitários



Fonte: Surendran e Wheatley (1998)

3.2.2 Parâmetros de Qualidade das Águas Cinzas

Um aspecto importante para o sucesso de um sistema de reutilização de efluentes é a avaliação da qualidade da água cinza. Para isso, deve-se conhecer as características físicas, químicas e microbiológicas do recurso. De acordo com Gonçalves (2006), a composição das águas cinzas pode variar por diversos fatores, como a fonte (lavatório, chuveiro, lavadora de roupas, etc.), as características regionais e os preceitos culturais do usuário (localização, faixa etária, estilo de vida, classe social, uso de produtos de limpeza, medicamentos e cosméticos) entre outros. Além disso, segundo Eriksson (2002), outros fatores que influenciam as características da água cinza são a qualidade do abastecimento e o tipo de rede de distribuição.

O manual organizado pela parceria ANA/FIESP/SINDUSCON (SAUTCHUK *et al.*, 2005) e pelo PROSAB (ALVES *et al.*, 2009) estabelece os requisitos qualitativos preliminares esperados para a reutilização da água cinza para fins não potáveis em descarga em bacias sanitárias são:

- Deve ter aparência cristalina, incolor e inodora;
- Não deve provocar abrasão e manchas a superfícies;
- Não deve provocar corrosão ou outro tipo de degradação de metais sanitários;
- Não deve propiciar infecções ou a contaminação por vírus ou bactérias prejudiciais à saúde humana;
- Deve ser sanitariamente segura frente ao fenômeno de respingos no usuário;
- Não deve provocar incrustações em louças, tubulações e peças sanitárias;

- Não deve dar origem à formação de espuma quando da descarga;
- Não deve conter materiais particulados em suspensão;
- Não deve permitir a produção de biofilme nas paredes da bacia sanitária em curtos períodos de tempo, menores que 48 horas.

Para a reutilização das águas cinzas é preciso conhecer a origem e a composição dessas águas residuais, para possibilitar a aplicação do tratamento adequado. Como alternativa para proteção de seus recursos hídricos e sua população, países adeptos à utilização de sistemas de tratamentos de água cinza, como Austrália, Estados Unidos e Canadá, possuem legislações próprias que regem a prática e oferecem parâmetros de qualidade específicos para a água cinza. O Quadro 1 estabelece parâmetros de qualidade de águas cinzas para diferentes aplicações e em diferentes países, nos quais essa prática é normalizada e amplamente aplicada.

Quadro 1 – Parâmetros de qualidade para reuso de águas cinzas em diferentes países

Normas	Aplicação	Turbidez (NTU)	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	SS (mg/L)	pH
Austrália - Victoria (EPA – Victoria, 2003)	Urbana, agrícola e ambiente com a exposição humana.	< 2	< 10	-	< 5	6 - 9
	Urbana, agrícola e ambiente com a exposição humana controlada.	-	< 20	-	< 30	6 - 9
Austrália – ACT (ACT – 2004)	Irrigação subsuperficial.	-	≤ 20	-	≤ 30	-
	Irrigação superfície, lavabo e descarga.	-	≤ 20	-	≤ 30	-
Canadá (Chaillou et al., 2011)	Água para uso doméstico (por exemplo, lavabo, descarga)	< 2	< 10	-	< 10	-
China (Lin et al, 2005)	Uso não potável (ex. vaso sanitário)	≤ 10	≤ 10	≤ 50	≤ 10	6,5 - 9
União Europeia (Nolde, 2005)	Águas balneárias	-	< 5	-	-	-
Alemanha (Nolde, 2000)	Água para reúso	-	< 5	-	-	-
Grécia (Andreadakis et al.,2001)	Restrita para irrigação	-	< 25	-	< 35	-
	Irrestrito para irrigação / reutilização não potável urbana.	< 2	< 10	-	< 10	-
Itália (Ciabatti et al.,2009)	Descargas para águas superficiais	-	-	< 160	< 80	5,5 – 9,5
	Descargas de vaso sanitário	-	-	-	-	5,8 – 8,6
Japão (Asano et al.,1996)	Irrigação / paisagismo	-	-	-	-	5,8 – 8,6
	Água para meio ambiente	≤ 10	≤ 10	-	-	5,8 – 8,6
Jordania (Halalsheh et al., 2008)	Categoria a irrigação (legumes cozidos)	-	< 30	< 100	< 50	6 - 9
	Irrigação categoria b (plantações de árvores)	-	< 200	< 500	< 150	6 - 9
	Irrigação categoria c (forrageiras)	-	< 300	< 500	< 150	6 - 9
Coreia (Kim et al., 2009)	Reutilização não potável irrestrita	< 2	-	< 20	< 5	-
Eslovênia (Sostar-Turk et al.,2005)	Descarga p/ águas superficiais	-	< 30	< 200	< 80	6,5 - 9
Espanha (Chaillou et al.,2011)	Reúso urbano e residencial	< 2	-	-	< 10	-
Taiwan (Lin et al., 2005)	Uso não potável (ex. vaso sanitário)	-	≤ 10	-	-	6,8 – 8,5
Turquia (Atasoy et al., 2007)	Irrigação	-	≤ 100	-	≤ 45	6,5 – 8,5
EUA (USEPA, 1992)	Reutilização urbana (paisagismo, irrigação, descarga)	≤ 2	≤ 10	-	-	6 – 9
OMS, orientações da para reutilizar AC (OMS, 2006).	Restrita irrigação	-	-	-	-	-
	Irrestrita irrigação	-	-	-	-	-

*DBO: Demanda Bioquímica de Oxigênio; DQO: Demanda Química de Oxigênio; SS: Sólidos em Suspensão; pH: potencial hidrogeniônico.

Fonte: Rampelotto (2014)

Na Tabela 2 são apresentados os parâmetros físicos, químicos e microbiológicos de algumas fontes de águas cinzas.

O Brasil, até o momento, não possui uma legislação exclusiva que estabeleça critérios de implementação do sistema e padrões para as propriedades da água cinza. Diante disso, a técnica de reuso da água tem sido balizada pela norma NBR 13969/1997, que indica classes e

parâmetros de qualidade para a água cinza tratada destinada para fins não potáveis, como irrigação, descarga sanitária e lavagem de pisos (BAZZARELLA, 2005).

Tabela 2 – Parâmetros físicos químicos e microbiológicos de águas cinzas provenientes de diversas fontes

Parâmetros	Siegrist et al. (1976) *					Christova-Boal et al. (1998)		Almeida et al. (1999)			
	Chuveiro/ Banheira	Pia de Cozinha	Lava Louças	Lava Roupas	Enxague de roupa	Banheiro	Lavanderia	Banheira	Lavatório	Chuveiro	Pia de Cozinha
Físicos											
mg/l exceto onde indicado											
Temperatura (°C)	29	27	38	32	28						
Turbidez (NTU)						60 - 240	50 - 210				
ST	250	2410	1500	1340	410						
SST	120	720	440	280	120			54	181	200	235
Químicos											
mg/l exceto onde indicado											
pH						6,4 - 8,1	9,3 - 10				
Condutividade (µS/cm)						82 - 250	190 - 1400				
Alcalinidade						24 - 43	83 - 200				
DBO5	170	1460	1040	380	150	76 - 200	48 - 290				
DQO								210	298	501	644
Óleos e Graxas						37 - 78	8,0 - 35				
Cloreto						9,0 - 18	9,0 - 88				
Nutrientes											
mg/l exceto onde indicado											
N-total	17	74	40	21	6						
NTK						4,6 - 20	1,0 - 40				
NH4-N	2	6	4,5	0,7	0,4	<0,1 - 15	<0,1 - 1,9	1,1	0,3	1,2	0,3
NO3-N	0,4	0,3	0,3	0,6	0,4			4,2	6	6,3	5,8
NO3 & NO2						<0	0,10 - 0,31				
P-total	2	74	68	57	21	0,11 - 1,8	0,062 - 42				
PO4-P	1	31	32	15	4			5,3	13,3	19,2	26
Microbiológicos											
por 100 ml exceto onde indicado											
Coliformes Totais	70-8200			85 - 8,9x10 ⁵	190 - 1,5x10 ⁵	500-2,4 x 10 ⁷	2,3 x 10 ⁵ -3,3 x 10 ⁵				
Coliformes Fecais	1-2500			9 - 1,6x10 ⁴	35 - 7,1x10 ³	170-3,3 x 10 ⁵	110 - 1,09x10 ⁵				
Criptosporidium						nd	nd				
Salmonela						nd					

Fonte: Bazzarella (2005)

O Quadro 2 apresenta a classificação prevista na NBR 13969/1997 e os padrões de qualidade para cada destinação.

Quadro 2 – Classes de água de reuso estabelecidas pela NBR 13969/1997 e respectivos parâmetros de qualidade para cada uso previsto

Classe	Uso previsto	Parâmetros de qualidade de reuso	
Classe 1	Lavagem de carros e outros usos que requerem contato direto do usuário com a água, com possível aspiração de aerossóis pelo operador incluindo chafarizes. Nível de tratamento sugerido: tratamento aeróbio (filtro aeróbio submerso ou lodo ativado por batelada – LAB) seguido por filtração convencional (areia e carvão ativado) e cloração.	Turbidez (UT) Coliformes fecais (NMP 100 mL ⁻¹) Sólidos Dissolvidos Totais (mg L ⁻¹) pH Cloro residual (mg L ⁻¹)	< 5 < 200 < 200 6 a 8 0,5 a 1,5
Classe 2	Lavagem de pisos, calçadas e irrigação de jardins, manutenção de lagos e canais para fins paisagísticos, exceto chafarizes. Nível de tratamento sugerido: tratamento biológico aeróbio (filtro aeróbio submerso ou LAB) seguido por filtração de areia e desinfecção	Turbidez (UT) Coliformes fecais (NMP 100 mL ⁻¹) Cloro residual (mg L ⁻¹)	< 5 < 500 > 0,5
Classe 3	Reuso em descargas de bacias sanitárias - normalmente efluentes de enxague de lavadoras de roupas satisfazem	Turbidez (UT) Coliformes fecais (NMP 100 mL ⁻¹)	< 10 < 500

Classe	Uso previsto	Parâmetros de qualidade de reuso	
	aos padrões, sendo necessária apenas a cloração. Nível de tratamento sugerido: tratamento aeróbio seguido por filtração e desinfecção.		
Classe 4	Reuso nos pomares cereais, forragens, pastos para gados e outros cultivos, por meio de escoamento superficial ou sistema de irrigação pontual. As aplicações devem ser interrompidas pelo menos 10 dias antes da colheita	Coliformes fecais (NMP 100 mL ⁻¹) Oxigênio Dissolvido (mg L ⁻¹)	< 5000 > 2,0

Fonte: Busico (2019). Adaptado de NBR 13969/1997

Parâmetros Físicos

Dentre os parâmetros físicos da água cinza, os de maior relevância para um sistema de reuso em residências são: turbidez, cor, temperatura e concentração de sólidos em suspensão. Altas temperaturas favorecem o crescimento de microrganismos no líquido, e são indesejáveis para o bom funcionamento do sistema. Os parâmetros, turbidez e cor, são importantes na avaliação da qualidade da água residuária, pois podem representar a presença de matérias sólidas em suspensão, matéria orgânica e inorgânica, organismos microscópios e algas. Além disso, fornece informações a respeito das partículas e coloides, que podem causar o entupimento das instalações sanitárias, devido à combinação das partículas coloidais com surfactantes, presentes em detergentes e sabões, que se estabilizam na fase sólida (BAZZARELLA, 2005).

Parâmetros Químicos

Os parâmetros químicos variam com o tipo de composto químico dissolvido na água que, de acordo com Gonçalves (2006), podem ser classificados em compostos orgânicos, nitrogenados, fosforados, de enxofre e outros. Os compostos orgânicos são oriundos, principalmente, de resíduos alimentícios, óleos, gorduras, resíduos corporais, sabão, entre outros. Os compostos inorgânicos se originam de produtos químicos e detergentes utilizados para limpeza em geral, e estão diretamente relacionados aos valores de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Demanda Química de Oxigênio (DQO), que indicam perda de oxigênio devido à degradação da matéria orgânica presente nas águas cinzas, bem como, o risco de produção de sulfetos (BAZZARELLA, 2005).

Os efluentes provindos de alimentos processados na cozinha são a principal fonte de compostos de nitrogênio na água cinza. A concentração destes compostos dissolvidos na água de reuso são menores quando comparada aos existentes em esgotos sanitários, que possuem como provedor de nitrogênio, a urina. Entretanto, em algumas regiões, tem-se o costume de urinar durante o banho. Os compostos fosforados dissolvidos na água de reuso são provenientes, principalmente, de detergentes e sabões contendo fosfatos. Assim, sua concentração em águas

provenientes de lavadoras de roupas, tanque e cozinha é maior que em outras fontes (GONÇALVES, 2006).

Os maus odores das águas de reuso estão diretamente relacionados aos compostos de enxofre. A formação do gás sulfídrico (H_2S) é o principal responsável pelos cheiros desagradáveis. Esse gás é formado em ambientes anaeróbicos, quando o sulfato é reduzido a sulfeto durante a oxidação dos compostos orgânicos. Dentre os demais compostos, o pH na água cinza deriva do pH da água de abastecimento, variando de acordo com os produtos químicos utilizados no manuseio do recurso. A alcalinidades e a dureza, assim como, a turbidez e os sólidos suspensos, estão relacionados a possíveis entupimentos nas tubulações. Os óleos e graxas presentes nas águas cinzas são provenientes do preparo de alimentos e de resíduos da transpiração absorvidos pelas roupas e, caso não sejam removidos previamente, podem reduzir a eficiência do tratamento biológico das águas residuárias (GONÇALVES, 2006).

Parâmetros Microbiológicos

As águas cinzas, normalmente, apresentam significativa quantidade de microrganismos patogênicos em sua composição, dentre eles, bactérias, vírus e parasitas, o que pode ocorrer mesmo não havendo contribuições de vasos sanitários como fonte de coleta. Algumas atividades podem contribuir com a presença destes agentes às águas de reuso, como limpeza das mãos após o uso de banheiro, lavagem de roupas contaminadas com resíduos fecais ou o próprio banho (GONÇALVES, 2006).

Apesar da contaminação fecal na água cinza ser menor do que a encontrada nas águas negras (esgoto), esta não pode ser desprezada, pois a presença destes microrganismos oferece riscos à saúde humana. Este fato comprova a importância dos sistemas de desinfecção e de armazenamento, evitando assim, a proliferação de agentes indesejáveis.

3.3 TRATAMENTOS DE ÁGUAS CINZAS

Por ser originada de diversas fontes da residência, as águas cinzas, apresentam poluentes físicos, químicos e biológicos que afetam sua qualidade, como produtos tóxicos, microrganismos patogênicos, entre outros, em níveis acima dos permitidos para consumo humano. Portanto, o uso da água cinza sem tratamento adequado pode acarretar diversos riscos à saúde pública, como intoxicação e irritabilidade aos olhos e mucosas, além de causar impactos ambientais, como a contaminação de recursos hídricos e solo e, mesmo quando utilizada para

fins não potáveis, pode causar manchas nos pisos, desgaste nas pinturas de carros, contaminação do solo e águas subterrâneas (FERNANDES, 2006).

Os tratamentos aplicados às águas cinzas são semelhantes aos utilizados em estações de tratamento de esgoto sanitário, devido aos seus parâmetros. Porém, sua escala deve ser em tamanho reduzido, pois o sistema é construído no local de uso. De acordo com Telles e Costa (2010), o tratamento das águas cinzas tem como objetivo a remoção de sólidos presentes, de matéria orgânica dissolvida e particulada, de patogênicos, nutrientes e fósforo.

Existem muitos processos desenvolvidos para o tratamento da água cinza. A análise de suas características, juntamente com os requisitos necessários para a aplicação de reuso desejado, definem o melhor tratamento a ser adotado. Além disso, ao escolher o sistema deve-se considerar a elevada variação de vazão em períodos curtos e a elevada biodegradabilidade do efluente (SELLA, 2011).

De acordo com Gonçalves (2006), para produzir um efluente inodoro e com baixa turbidez, o processo deve ser composto, ao menos, pelas etapas primária e secundária. Porém, para assegurar que a água cinza tenha baixa densidade de coliformes, o tratamento deve prever desinfecção, etapa terciária da estação de tratamento.

Gonçalves (2006) e Telles e Costa (2010) relataram que o processo de tratamento de águas cinzas em uma estação pode abranger as diferentes etapas descritas a seguir:

- Tratamento Preliminar: é a primeira etapa do sistema de tratamento. Tem por objetivo a separação do efluente líquido dos materiais em suspensão, como sólidos grosseiros, óleos e graxas, a fim de que não danifiquem as tubulações. Esta remoção pode ser realizada por meio de grades, peneiras, caixas de areia, caixas de gordura, entre outros.

- Tratamento Primário: é constituído por processos físico-químicos. Tem a finalidade de remover os sólidos sedimentáveis que chegam ao fundo da unidade por decantação ou por adição de produtos químicos. Ao mesmo tempo, os óleos e graxas sobem a superfície da estação e podem ser coletados. A soma dessas etapas iniciais remove de 60 a 70% dos sólidos suspensos, de 20 a 45% da DBO e de 30 a 40% dos coliformes (RAMPELOTTO, 2014).

- Tratamento Secundário: tem como intuito promover a degradação biológica da matéria orgânica presente nos sólidos dissolvidos ou nos particulados. O tratamento pode ser realizado por via anaeróbica, por via aeróbica ou pela associação de ambas:

a) Processo Anaeróbio: ocorre sem a presença de oxigênio, baseado na ação de bactérias anaeróbicas. Neste sistema ocorre a conversão do material orgânico em biogás (de 70 a 90%),

em biomassa (de 5 a 15%), conhecido como lodo, e o restante em efluente. O processo ocorre em variantes de reatores anaeróbios, sendo os dois mais utilizados o filtro anaeróbio e o reator anaeróbio de fluxo ascendente de alta eficiência.

b) Processo Aeróbio: ocorre na presença de oxigênio e simula o processo natural de decomposição. O oxigênio é obtido por aeração mecânica (agitação), como nos filtros biológicos, ou por insuflação de ar, como é o caso dos lodos ativados e lagoas aeradas. A matéria orgânica é convertida em biomassa (de 50 a 60%), em gás carbônico (de 40 a 50%) e o restante em efluente.

- Tratamento Terciário: etapa final do processo de tratamento, tem a finalidade de remover poluentes específicos, que não foram retirados pelos processos anteriores, como nutrientes, compostos orgânicos e inorgânicos dissolvidos, e organismos patogênicos. A desinfecção é o principal tratamento terciário e tem como objetivo a inativação de organismos patogênicos, que oferecem riscos à saúde humana. A desinfecção pode ser realizada por meio de processos físicos e químicos, como lagoas de tratamento biológico e cloração, respectivamente.

No Quadro 3 são apresentados os sistemas de tratamento recomendados para diferentes fontes alternativas de águas residuárias e pluviais, em função dos usos potenciais (ANA/FIESP/SINDUSCON, 2005).

Quadro 3 – Sistemas de tratamentos recomendados para os usos potenciais de águas residuárias e pluviais

Potenciais usos	Fontes alternativas de água			
	Pluvial	Drenagem	Lavadora de roupas	Lavatório e chuveiro
Lavagem de roupas	A + B + F + G	C ou D + F	(D ou E) + B + F + G	(D ou E) + B + F + G
Descargas em bacias sanitárias				
Limpeza de pisos		C + F + G		
Irrigação, rega de jardins		C ou D + F + G		
Lavagem de veículos				
Uso ornamental - chafariz				
Tratamentos convencionais: A = sistema físico: gradeamento; B = sistema físico: sedimentação e filtração simples por meio de decantador e filtro de areia; C = sistema físico: filtração por meio de um filtro de camada dupla (areia + antracito); D = sistema físico-químico: coagulação, floculação, decantação ou flotação; E = sistema aeróbio de tratamento biológico (lodos ativados); F = desinfecção; G = correção de pH.				

Fonte: ANA/FIESP/SINDUSCON (2005)

A variedade de fontes e finalidades a que se destinam a água cinza tratada contribuem para o desenvolvimento de diversas de tecnologias e sequências de processos, que variam desde sistemas mais simples em residências até séries de tratamentos avançados para reuso em larga escala (JEFFERSON *et al.*, 1999).

3.3.1 Sistemas de Tratamentos Simplificados (*two-stage systems*)

O sistema *two-stage*, composto por filtração grosseira seguida de desinfecção da água cinza, é o mais utilizado para reuso doméstico. O processo conta com um curto tempo de retenção da água de reuso, para que sua natureza permaneça inalterada e um mínimo de tratamento seja necessário. A primeira etapa consiste na filtração da água cinza, realizada por um filtro grosso que retém grandes partículas e remove parte dos poluentes orgânicos do efluente. A desinfecção, etapa posterior, pode ser realizada utilizando produtos químicos a base de cloro ou bromo, sendo eles dispersos na forma de pastilhas ou por meio de dosagem de solução líquida (LI *et al.*, 2010).

Segundo Jefferson *et al.* (1999), embora a qualidade da água cinza tratada seja segura para reutilização, este sistema resulta em um efluente com padrão menos restritivo. A carga orgânica e a turbidez da água cinza permanecem altas, limitando a eficiência do processo de desinfecção química e, conseqüentemente, impedem a eliminação de patógenos. Além de gerar subprodutos prejudiciais à saúde humana ao se juntar com o cloro.

3.3.2 Tratamentos Físicos

Os sistemas físicos de tratamento de água cinza compreendem principalmente a filtração, com leitos de areia ou carvão ativado granular (GAC), e processos utilizando membrana filtrante, baseando-se na adsorção dos sólidos suspensos na água de reuso (PIDOU, 2008).

O processo de filtração por meio de passadores com leitos de areia apresenta resultados eficientes na diminuição da carga orgânica e turbidez da água cinza, que podem ser aprimorados ao associar à desinfecção (JEFFERSON, 1999). Segundo Pidou (2008), os filtros com carvão ativado granular (GAC) apresentam resultados significativamente melhores quando comparado com o filtro de areia como, maiores porcentagens de remoção de sólidos suspensos, de turbidez e de microrganismos.

O sistema de membrana filtrante oferece uma barreira permanente a partículas dissolvidas e sólidos em suspensão, devido à suas variadas dimensões, gerando um efluente com baixíssima turbidez e densidade de coliformes abaixo do limite de detecção (JEFFERSON, 1999).

3.3.3 Tratamentos Químicos

Segundo Li *et al.* (2010), entre os processos químicos aplicados ao tratamento de água cinza, destacam-se a coagulação, a oxidação fotocatalítica e a eletrocoagulação.

A coagulação é um processo químico que consiste em remover os materiais suspensos, que não sedimentam e não são removidos por processos de tratamentos físicos convencionais. Os coagulantes mais utilizados no tratamento de água são o sulfato de alumínio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) e o cloreto férrico (FeCl_3). Este sistema permite um aumento significativo da qualidade da água cinza, permitindo seu reuso em atividades que não exijam potabilidade (PAULA, 2018).

O tratamento da água cinza por oxidação fotocatalítica baseia-se na oxidação de reagentes orgânicos por um fotocatalisador, que ao receber radiação ultravioleta (UV) gera radicais livres altamente reativos, capazes de mineralizar uma grande variedade de compostos orgânicos, corantes e inativar microrganismos. O principal reagente utilizado no processo de fotocatalise para o tratamento da água cinza é o dióxido de titânio (TiO_2) (TEODORO *et al.*, 2017).

A eletrocoagulação é um processo eletroquímico que consiste em gerar agentes coagulantes por meio de aplicação de corrente elétrica em eletrodos de ferro, alumínio ou grafite, substituindo os aditivos químicos usualmente utilizados nos processos de tratamento (JOÃO *et al.*, 2018). Segundo Vakil (2014), esse sistema é mais simples e eficiente quando comparado com a coagulação convencional, principalmente no que diz respeito ao tempo de retenção hidráulica, menor produção de lodo e facilidade de operação e manutenção.

3.3.4 Tratamentos Biológicos

Os tratamentos biológicos de água cinza são indicados para sistemas de reuso que possuem grandes redes de distribuição, como edifícios, hotéis e escolas, em combinação com a filtragem prévia do efluente. Tais processos objetivam a remoção do material biodegradável presente na água de reuso filtrada. Os dois processos biológicos mais empregados, associados à processos físicos, utilizam o biorreator de membrana (MBR) e o filtro biológico aerado (BAF) (LI *et al.*, 2010).

Segundo Jefferson *et al.* (1999), o processo BAF combina filtração com um reator biológico de leito fixo, enquanto o processo MBR combina reatores de lodo ativado com membranas de microfiltração. Ambas apresentam desempenho biológico semelhantes, removem a matéria orgânica alcançando padrões restritivos para o reuso. Porém, diferenciam na permeabilidade das membranas, variando a turbidez e remoção de coliformes. O MBR alcança padrões mais elevados de qualidade de água cinza quando comparado com o BAF. No Quadro 4 são apresentados os processos de tratamento de águas cinzas e suas respectivas vantagens e desvantagens.

Quadro 4 – Tratamentos da água cinza e respectivas vantagens e desvantagens

Tipo de tratamento de água cinza	Descrição do tratamento	Vantagens	Desvantagens
Simplificado	Sistema two-stage	Processo simples, com baixo custo operacional	Tratamento de baixa eficiência, desinfecção limitada
Físico	Filtros com leitos de areia	Processo simples, com baixo custo operacional	Não reduz totalmente a poluição, pode causar entupimento e congestionamento do sistema
	Filtros com carvão ativado granular (GAC)	Tratamento simples e eficaz	Alto investimento
	Filtros com membrana filtrante	Tratamento eficiente, requer pouco espaço de aplicação	Necessário pré-tratamento, limpeza regular das membranas, alto custo de investimento e operação, indicado para água de reuso com pouca carga orgânica
Químico	Coagulação, oxidação fotocatalítica e eletrocoagulação	Para casos específicos, tratamento com alta eficiência	Alto custo de investimento e operação
Biológico	Biorreator de membrana (MBR)	Tratamento eficaz, requer pouco espaço de aplicação, possível operar em altas cargas de lodo	Necessário pré-tratamento, limpeza regular das membranas, alto custo de investimento e operação
	Filtro biológico aerado (BAF)	Alta eficiência no tratamento da carga orgânica	Alto custo de investimento e operação, não remove totalmente os patógenos

Fonte: Adaptado de Raček (2019).

3.4 LEGISLAÇÃO E RISCOS ASSOCIADOS AO REUSO DE ÁGUAS CINZAS

Ao reutilizar a água para fins não potáveis, é necessário tomar medidas efetivas de proteção à saúde pública e ao meio ambiente, por meio de adoção técnica e economicamente viáveis (GONÇALVES, 2006). O Brasil, até o momento não tem legislação específica para reuso de águas cinzas, com definição de padrões de qualidade e responsabilidades. Entretanto,

existem direcionamentos para o reuso de águas residuárias estabelecidos pelo Manual da ANA/FIESP/SINDUSCON (SAUTCHUK *et al.*, 2005), que determina limites de qualidade para a água de reuso e a NBR 13969/1997, que estabelece as classes de água de reuso e respectivos parâmetros de qualidade para cada uso previsto.

Como os parâmetros variam significativamente de um país ao outro, devido a vários fatores como nível de desenvolvimento, qualidade da água disponível e hábitos populacionais, é importante que cada país utilize uma legislação que se adeque às suas necessidades, uma vez que o fator econômico é o que mais rege a escolha de um sistema de reuso de águas cinzas (ANDERSON, 2001).

De acordo com Gonçalves (2006), países desenvolvidos que adotaram a aplicação de um sistema de reuso de água cinza aplicam tecnologias de alto custo para o tratamento do efluente, porém nem sempre é a melhor alternativa para garantir um baixo risco ao usuário, em virtude da falta de experiência operacional. Por outro lado, países em desenvolvimento, signatários das recomendações da Organização Mundial da Saúde (OMS), aplicam tratamentos utilizando tecnologias de baixo custo e conseguem reduzir os riscos a níveis aceitáveis. No Quadro 5 são apresentados os padrões de qualidade estabelecidos pelo Manual da ANA/FIESP/SINDUSCON (SAUTCHUK *et al.*, 2005) e pela NBR 13969/1997 para reuso de águas cinzas em descarga de vasos sanitários.

Quadro 5 – Padrões de qualidade para reuso de águas cinzas em descarga de vasos sanitários

Parâmetros	Manual de "Consevação e reuso de água em edificações " Classe 1 (FIESP, 2005)	NBR 13.969/97 item 5.6.4 Classe 3
pH	6,0 - 9,0	-
Cor (UH)	≤ 10	-
Turbidez (NTU)	≤ 2	< 10
Óleos e Graxas (mg/L)	≤ 1	-
DBO (mg/L)	≤ 10	-
Coliformes Fecal (NMP/100mL)	Não detectáveis	< 500
Compostos Orgânicos Voláteis	Ausentes	-
Nitrato (mg/L)	≤ 10	-
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	≤ 20	-
Nitrito (mg/L)	≤ 1	-
Fósforo Total (mg/L)	≤ 0,1	-
SST (mg/L)	≤ 5	-
SDT (mg/L)	≤ 500	-

Fonte: Bazzarella (2005). Adaptado de Sautchuk et al., 2005, e NBR 13969/1997

Fernandes (2006) destacou que os riscos associados às práticas de reuso têm relação com os contaminantes presentes na água recuperada, visto que esta água, muitas vezes, possui compostos químicos tóxicos e microrganismos patogênicos em níveis muito acima do suportado pelo homem. Além disso, a autora destacou que o reuso de águas cinzas para fins não potáveis oferece riscos à saúde por contaminação direta, por conexão cruzada entre sistemas de água potável e de reuso e por contato, como a água utilizada para irrigação de parques e jardins ou lavagem de ruas e carros.

Os riscos à saúde humana do reuso de águas cinzas estão relacionados às contaminações químicas e microbiológicas. Normalmente as concentrações de microrganismos patogênicos são mais altas que os contaminantes químicos e, por isso, os modelos de avaliação de risco para o reuso não potável são fundamentados nos riscos microbiológicos (GREGORY, J. D., LUGG, R., SANDERS, B, 1996).

Para minimizar os riscos do reuso de águas cinzas à saúde humana, alguns cuidados são recomendados (NSW HEALTH, 2000):

- Evitar o contato humano com a água cinza não tratada.
- O sistema de reuso da água cinza deve ser concebido para que não ocorra contato humano e animal com a água.
- Em caso de reuso em descargas sanitárias, deve ser realizado uma etapa de desinfecção;
- Sinalizar devidamente a área do sistema, evitando o acesso de pessoas ao local;
- Encanamento distinto que contém água cinza reciclada e para impedir a conexão cruzada com o abastecimento de água potável;
- Não utilizar a água cinza para lavagem de alimentos que possam ser ingeridos cru.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

O desenvolvimento do sistema de tratamento de águas cinzas geradas em uma residência unifamiliar, foi realizado visando o reuso da água em atividades que não exijam potabilidade, a possibilidade de replicação em diferentes localidades, bem como, o incentivo à adoção de práticas sustentáveis na utilização de recursos hídricos.

O projeto foi fundamentado tecnicamente e cientificamente na revisão bibliográfica, sendo considerados artigos nacionais e internacionais publicados em periódicos indexados. Para a proposição de um sistema de tratamento de águas cinzas eficaz e adequado à realidade brasileira, foram analisados os resultados obtidos por diferentes autores, considerando as vantagens e desvantagens e, principalmente, a disponibilidade dos materiais utilizados no mercado e a viabilidade técnica e econômica.

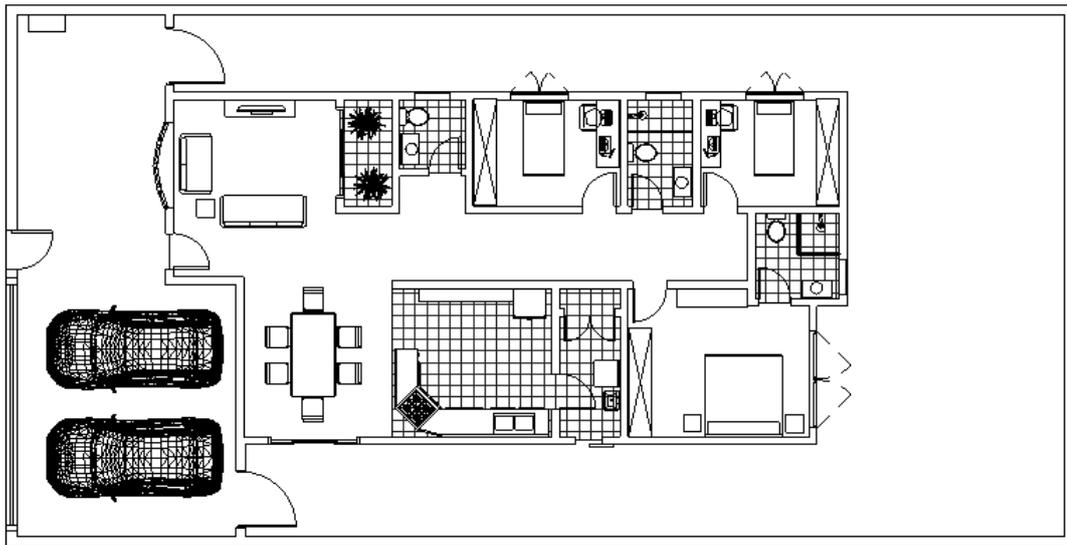
Para a projeção do sistema de tratamento de água em uma residência unifamiliar foi necessário quantificar a água a ser utilizada pelos moradores e dimensionar o sistema, visando a separação das águas cinzas e negras por meio de tubulações independentes, para a captação das águas cinzas, sua filtração, tratamento, reserva e posterior distribuição da água de reuso nos pontos de utilização.

Para que a água residual tratada respeitasse os parâmetros de qualidade da água de reuso para fins não potáveis, foram utilizados os documentos que balizam a prática no território nacional, NBR 13969 (ABNT, 1997) e o manual da ANA/FIESP/SINDUSCON (SAUTCHUK *et al.*, 2005), foram analisados diferentes produtos disponíveis no mercado e técnicas de desinfecção, bem como seu custo-benefício.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA DE TRATAMENTO

Para que o projeto seja replicado em diversas residências em todo o território nacional, o sistema de tratamento e reutilização da água cinza foi elaborado com o objetivo de atender uma habitação com quatro moradores. Para o efeito desta pesquisa, foi utilizado como base uma residência com três quartos, dois banheiros, um lavabo, cozinha, sala de jantar integrada à de estar, área de serviços e garagem para dois carros, como pode ser observado na Figura 4. Além disso, é de extrema importância evidenciar que o terreno da residência deve possuir uma área externa, para que o sistema de tratamento seja implantado.

Figura 4 – Planta baixa de uma residência unifamiliar com quatro usuários



Fonte: Produção do próprio autor.

Os levantamentos realizados pela ANA e pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), indicaram que em 2020 a média nacional de consumo *per capita* de água foi de 152 L hab⁻¹dia⁻¹. Portanto, uma família de quatro pessoas utilizou cerca de 608 L dia⁻¹. Correspondendo a, aproximadamente, 19 m³ mês⁻¹.

O sistema de tratamento de água cinza projetado deverá captar as águas originadas do chuveiro, lavatório, tanque, lavadora de roupas e louças. Assim, considerando as porcentagens de estimativa de consumo de água potável residencial presentes na Tabela 3 e a média nacional de consumo *per capita* de água, a residência contendo quatro usuários terá uma geração de, aproximadamente, 328 L dia⁻¹ de água de reuso, correspondendo a 10.178 L em 31 dias, e 9.850 L em 30 dias. Em um ano serão gerados, aproximadamente, 119.837 L.

Tabela 3 – Volume de água cinza gerada em uma residência com quatro usuários

Consumo residencial de água potável	% consumo de água segundo PURA (1999) ¹	Volume de água cinza gerado em uma residência de 4 pessoas (L dia ⁻¹). Autora ²
Descarga sanitária*	29	176,32
Chuveiro	28	170,24
Lavatório	6	36,48
Pia de cozinha*	17	103,36
Tanque	6	36,48
Lavadora de roupas	5	30,40
Lavadora de louças	9	54,72
Total	100	608

* Desconsiderados na somatória do volume de água cinza gerado na residência.

Fontes: ¹Universidade de São Paulo – USP. Programa de uso racional da água – PURA (1999). Produção do próprio autor.

O sistema de tratamento projetado tem como objetivo o reuso da água para fins não potáveis, como descarga sanitária nos três sanitários, lavagem dos dois carros uma vez ao mês e a lavagem da área externa uma vez por semana, evitando a utilização em áreas verdes.

De acordo com a Tabela 1, a porcentagem de consumo de água em descargas sanitárias é de 29% do total utilizado em residência unifamiliar, sendo necessários cerca de 135 L dia⁻¹ para este fim. Para a lavagem de um carro de médio porte são utilizados cerca de 258 litros de água (MIRANDA, 2013). Para a lavagem das áreas externas, será considerada a média de 200 litros de água por semana. Considerando este cenário, serão necessários 5.900 L mês⁻¹ de água de reuso para atender estas demandas, como pode ser observado na Tabela 4.

Tabela 4 - Estimativa do consumo de água de reuso em uma residência de quatro pessoas

Demanda de água	Consumo de água de reuso - L mês⁻¹
Descarga sanitária	4.185
Lavagem de carro	516
Lavagem de área externa	1.200
Total	5.901

Fonte: Produção do próprio autor.

4.2 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE TRATAMENTO DE ÁGUA DE REUSO

A princípio, para a instalação do sistema de tratamento de águas cinzas na residência, foi necessário promover a separação dos sistemas de captação das águas das bacias sanitárias e das águas para o reuso. Esta alteração deve ser realizada na fase de construção da habitação, permitindo a duplicação das tubulações para que as águas negras sejam destinadas à disposição do esgoto pelos serviços públicos de coleta e tratamento e as águas cinzas sigam para o sistema de tratamento proposto.

No projeto da edificação, os pontos de coleta de águas cinzas foram localizados na área de serviço e banheiros. O dimensionamento dos equipamentos hidrossanitários foi realizado com base na norma NBR 8160/1999 - Sistemas prediais de esgoto sanitário - Projeto e execução.

Para promover o tratamento preliminar da água cinza, o filtro separador de sólidos foi utilizado na primeira etapa do sistema. A presença desta fase se dá devido à necessidade de reter as partículas grosseiras existentes na água de reuso, provenientes dos pontos de coleta. O material é composto por um elemento filtrante de poliéster, que após 6 meses de uso pode ser

substituído por um refil. A dimensão do filtro utilizado foi correspondente à dimensão da tubulação do sistema de tratamento.

Para a filtragem da água cinza visando o reuso em atividades que não exijam potabilidade, optou-se por um filtro misto composto de areia e carvão ativado. A combinação destes elementos promove a adsorção de contaminantes no efluente, além de ser de simples operação, exigir pouca manutenção e baixo custo de operação (ALLEN, CHRISTIAN-SMITH; PALANIAPPAN, 2010). O dimensionamento do filtro utilizado foi realizado com base na norma NBR 13969/1997.

A etapa de desinfecção do fluido tem por objetivo remover os poluentes que não foram retirados pelos processos anteriores, bem como inativar organismos patogênicos que oferecem riscos à saúde humana. Para isso, o processo químico de cloração foi utilizado no sistema de tratamento da água cinza, aplicando o cloro em pastilhas para tal. Esse método é muito utilizado por ser econômico e eficiente. A correta dosagem do produto para que cumpra as especificações necessárias foi definida pela norma NBR 13969/1997.

Para que a água cinza tratada fique armazenada até seu reuso na residência, foi utilizado um reservatório do tipo cisterna de polietileno. Este equipamento é indicado para o uso no subsolo e para reservar água para o uso não potável. Seu dimensionamento foi correlacionado ao volume de água proveniente do tratamento, e foi projetado de modo a atender à norma NBR 12217/1994 - Projeto de reservatório de distribuição de água para abastecimento público.

Uma bomba d'água do tipo periférica foi utilizada para o transporte do fluido tratado, da cisterna para a caixa de distribuição na residência. Este equipamento é indicado para cisternas por ser econômico, possuir alta durabilidade e baixo consumo energético. Seu dimensionamento foi relacionado à espessura da tubulação, volume de água tratada e altura de elevação. A instalação da bomba d'água foi baseada na norma técnica NBR 5410/2008 - Instalações elétricas de baixa tensão.

Para o reservatório elevado que armazenará a água cinza tratada até o momento de uso pelos residentes, optou-se por utilizar uma caixa d'água acoplada à tubulação responsável pela distribuição da água tratada para os pontos de consumo na residência. Seu dimensionamento teve como base o padrão de consumo dos moradores, bem como a oferta de água proveniente do tratamento. Além disso, seguiu-se as especificações contidas na norma NBR 5626/1998 - Instalação predial de água fria.

4.3 TARIFA DE ÁGUA

Para efeitos comparativos de valores antes e depois da implementação do sistema de tratamento, considerou-se que a residência está localizada na cidade de Guaratinguetá (SP). A empresa responsável pelos sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário do município é o Serviço de Água, Esgoto e Resíduos de Guaratinguetá (SAEG). De acordo com a entidade administrativa, a tarifa de água e esgoto é dividida em 6 categorias:

- I – Categoria social ou popular (residência social, instituto assistencial, entidade religiosa, ponto de carroça e ponto de taxi);
- II – Categoria residencial;
- III – Categoria comercial e pública;
- IV – Categoria industrial;
- V – Contrato demanda firme – Grande consumidor comercial;
- VI – Contrato demanda firme – Grande consumidor industrial.

A residência unifamiliar com quatro usuários, objeto deste estudo, se enquadra na categoria II. Sob a portaria administrativa, as tarifas para esta categoria estão apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5 – Tarifa cobrada pela SAEG para a categoria II, no município de Guaratinguetá (SP)

Consumo (m³)	Água (R\$)	Esgoto (R\$)
00 a 10 m ³	22,351	17,881
11 a 20 m ³	3,064	2,451
21 a 50 m ³	5,139	4,112
Acima de 50 m ³	8,409	6,728

Fonte: SAEG (2022)

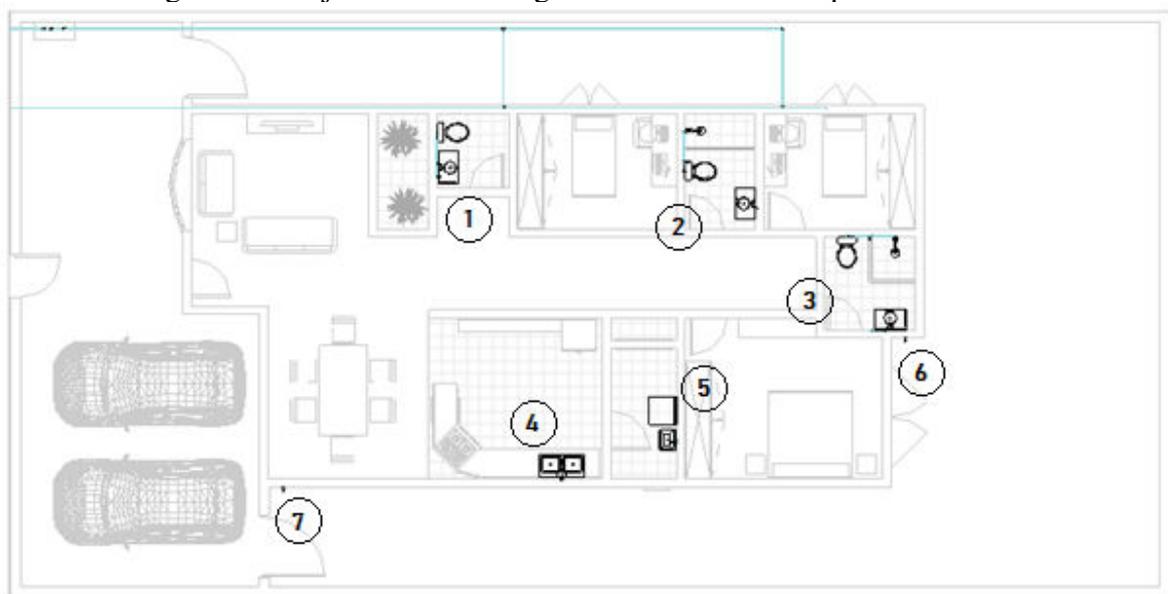
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir será apresentado o projeto de sistema de tratamento de águas cinzas para uma residência unifamiliar, bem como sua análise de viabilidade técnica e econômica.

5.1 SISTEMA DE TRATAMENTO DE ÁGUAS CINZAS PROPOSTO

O projeto de reuso de águas cinzas foi implantado em uma residência unifamiliar, localizada no município de Guaratinguetá, no estado de São Paulo. Para o efeito desta pesquisa, foi utilizada como base, uma residência com três quartos, dois banheiros, um lavabo, cozinha, sala de jantar integrada à sala de estar, área de serviços e garagem para dois carros. Após a criação da planta baixa da residência, foi necessário desenvolver a rede de água fria, como pode ser observado na Figura 5 e Figura 6, e de esgoto convencional, ilustrado na Figura 7, para em seguida, realizar a adaptação do sistema de reuso de águas cinzas.

Figura 5 – Projeto da rede de água fria convencional: pavimento térreo

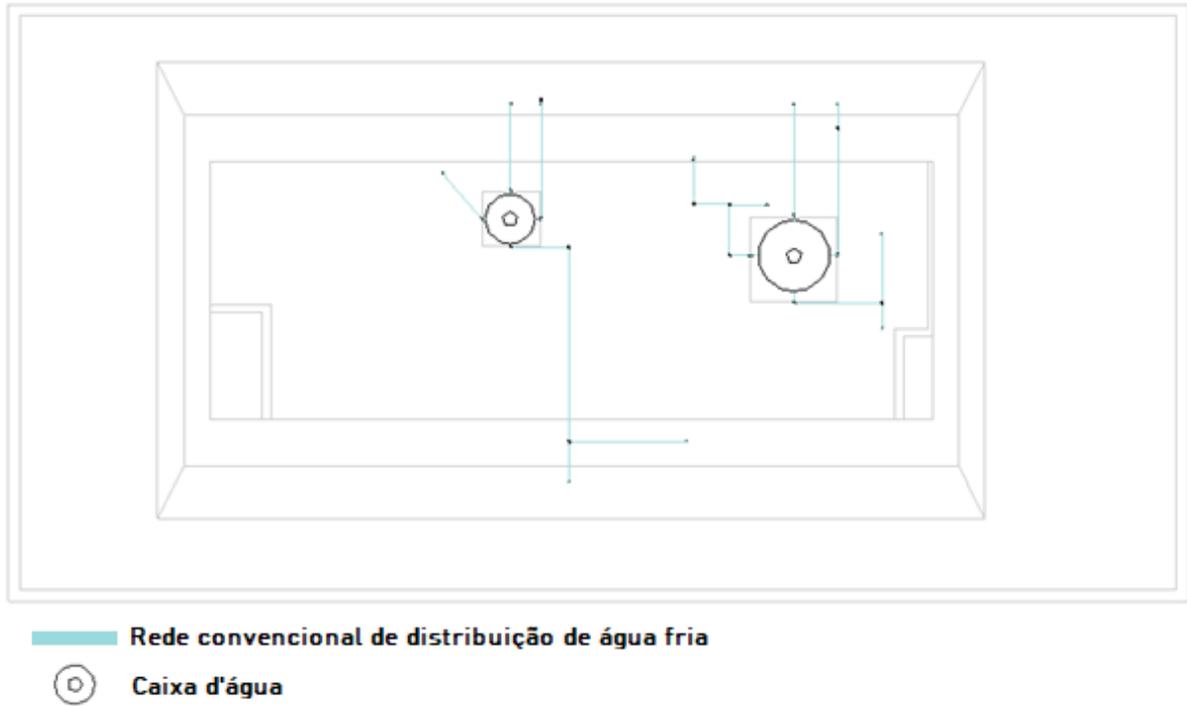


Rede convencional de distribuição de água fria

- 1 Lavabo
- 2 Banheiro em comum
- 3 Banheiro da suíte
- 4 Cozinha
- 5 Área de serviço
- 6 Torneira para o quintal
- 7 Torneira para a garagem

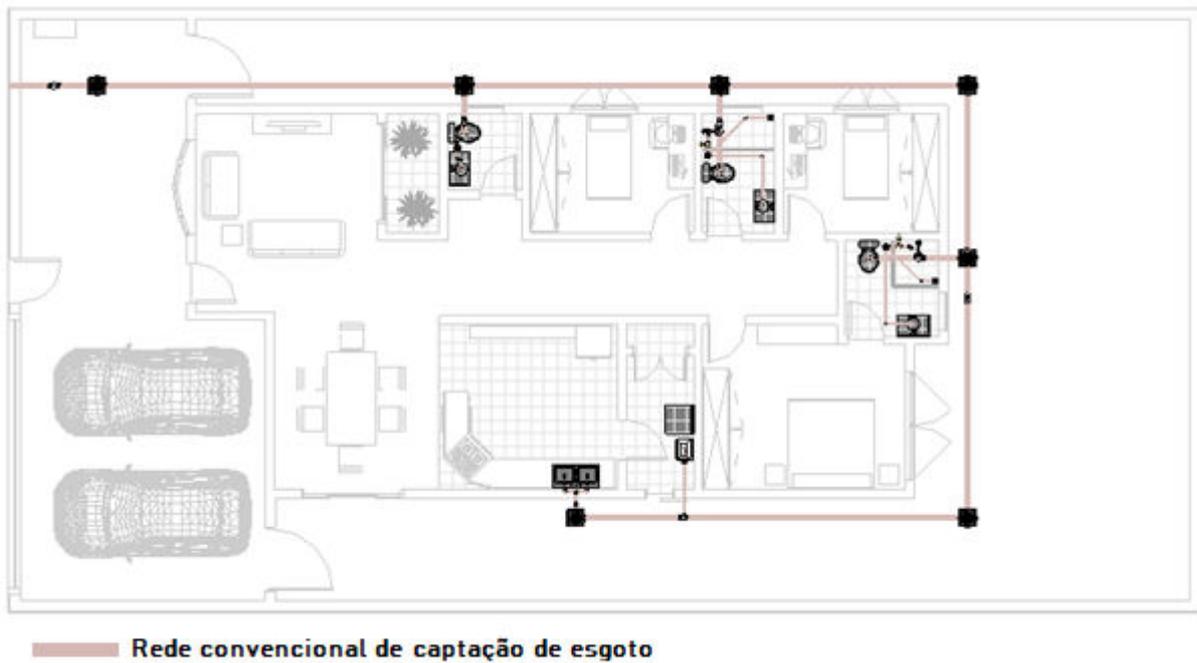
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 6 – Projeto da rede de água fria convencional: laje



Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 7 – Projeto da rede de esgoto convencional



Fonte: Produção do próprio autor.

Após a criação da rede hidráulica convencional, foi necessário duplicar a tubulação do sistema de captação de águas de reuso. Assim, foi desenvolvido uma rede que separasse as águas negras, provenientes das bacias sanitárias, dos demais pontos de coleta, apresentado na Figura 8. Esta outra rede de tubulação coleta as águas cinzas originadas da lavadora de roupa, de tanques, lavatórios e chuveiros e transporta para a área externa da casa, onde passará pelo sistema de tratamento. O dimensionamento do sistema de reuso de águas cinzas foi realizado com base na norma NBR 8160/1999.

Figura 8 – Adaptação do projeto da rede hidráulica convencional para captação da água residuária



Fonte: Produção do próprio autor.

Na adaptação do projeto da rede de esgoto para a captação das águas residuárias provenientes dos pontos de coleta, foi necessário adicionar mais 45 metros de tubulação, além do projetado inicialmente, um joelho, dois tês e uma junção, resultando em um acréscimo de R\$ 841,14 ao valor do projeto inicial da rede hidráulica. A Tabela 6 estratifica os materiais e seus valores de mercado.

Tabela 6 – Materiais utilizados na rede de captação de águas cinzas e respectivos valores.

Material	Quantidade	Valor unitário (R\$)	Valor total (R\$)
Cano PVC 50mm	45 m	17,90	805,50
Joelho 90° 50 mm	1	5,09	5,09
Tê 50mm	2	10,90	21,80
Junção simples 50mm x 50mm	1	8,75	8,75
Total			841,14

Fonte: Produção do próprio autor.

Após a separação das águas cinzas e negras por meio da adaptação da rede hidráulica, as águas cinzas seguem para o tratamento preliminar, que consiste em reter as impurezas que podem estar presentes. Para isso, foi utilizado um filtro separador de sólidos, comercializado para uso em poço artesiano. Este material, apresentado na Figura 9, é facilmente encontrado no mercado, possui simples instalação e manutenção. Apresenta um preço médio de R\$100,00 e, de acordo com o fabricante, sua vazão de trabalho é de até 1.200 L h⁻¹. O filtro foi instalado ao final da tubulação adaptada, que coleta as águas cinzas dos pontos de captação, na área externa da residência.

Figura 9 – Filtro separador de sólidos



Fonte: Planeta Água (2022)

Os efluentes seguem para o processo de filtração, caracterizado como tratamento secundário. Nesta etapa o fluxo de água passa por um filtro misto composto de areia e carvão ativado granular. A junção destes dois elementos proporciona uma maior eficiência no processo, gerando uma água de reuso com baixo teor de impurezas.

Os filtros compostos somente de areia como ferramenta de filtragem são muito utilizados no tratamento de água. Conforme a norma NBR 13969/1997, a depuração das águas cinzas é promovida pelo meio físico (retenção) e bioquímico (oxidação), por meio de microrganismos fixos nos grãos de areia e sua operação e manutenção é simples (ABNT, 1997). Entretanto, de acordo com Li *et al.* (2010), os filtros de areia possuem um efeito limitado sobre a remoção dos poluentes presentes nas águas cinzas. Segundo Brandão (2003), o efeito de colmatação superficial destes tipos de equipamento é rápida, podendo reduzir o fluxo de filtração da água residuária.

As águas resultantes deste sistema de tratamento poderão ser utilizadas para fins não potáveis, desde que atendam aos padrões de qualidade estabelecidos pelo Manual da ANA/FIESP/SINDUSCON (SAUTCHUK *et al.*, .2005) e pela NBR 13969/1997. Por esta razão, visando aumentar a eficácia do tratamento das águas cinzas, neste projeto, além da areia foi adicionado o carvão ativado granular, que é o material filtrante mais utilizado para remover contaminantes da água. O carvão ativado é um material carbonáceo, caracterizado por possuir elevada superfície específica e porosidade altamente desenvolvida, apresentando elevada capacidade de adsorção de contaminantes da água, promovendo a degradação microbológica de compostos orgânicos, concentrando substratos, nutrientes e oxigênio na superfície do carvão (DUSSERT; STONE, 1994).

O filtro misto de areia e carvão ativado granular, observado na Figura 10, é facilmente encontrado no mercado, com um preço médio de R\$1600,00.

Figura 10 – Filtro misto de areia e carvão ativado granular



Fonte: Nautilus (2022)

Após essa filtragem, a água segue para um reservatório do tipo cisterna instalado no subsolo, onde ficará armazenada e passará por desinfecção antes de seguir para a distribuição.

A cisterna de polietileno possui uma elevada resistência, fácil instalação e manutenção, baixo custo e grande diversidade de tamanhos no mercado.

Com base na norma NBR 5626/1998, para atender a demanda diária de 328 litros de águas cinzas, foi necessário utilizar dois reservatórios de 200 litros; sendo um submerso para reservar a água após o processo de filtração, destinada à captação, armazenamento e desinfecção; e um elevado para realizar a distribuição das águas de reuso nos pontos hidráulicos. Da mesma forma que os demais materiais utilizados no projeto, o reservatório de polietileno de 200 litros, ilustrado na Figura 11, é facilmente encontrado no mercado pelo preço médio de R\$ 600,00.

Figura 11 – Reservatório do tipo cisterna de 200 litros



Fonte: Grupo Damek (2022)

As águas filtradas e armazenadas no reservatório de distribuição, passam pelo processo de tratamento terciário, a desinfecção com cloro, que tem como objetivo a inativação de organismos patogênicos, que oferecem riscos à saúde humana. O tratamento de desinfecção da água com cloro é o mais utilizado em todo o mundo, por permitir a inativação de diferentes patógenos, ter a concentração facilmente controlada, além de ser de custo reduzido e de fácil implementação e manutenção (GONÇALVES, 2003). No entanto, os compostos à base de cloro quando adicionados à água, reagem com uma grande variedade de substâncias orgânicas e inorgânicas. A presença de compostos orgânicos em águas que passam pelo processo de

cloração resulta na formação dos trihalometanos, formados por um átomo de carbono, um de hidrogênio e três de halogênio (cloro, bromo, iodo), que são considerados compostos carcinogênicos e, por isso a dosagem do cloro deve ser feita de forma criteriosa.

Neste projeto foi adotado o cloro em pastilha para o processo de desinfecção das águas de reuso para fins não potáveis, tendo em vista que Soethe (2013) verificou que em águas que possuem uma baixa carga orgânica, como as águas cinzas tratadas por filtragem preliminar e mista, a desinfecção por pastilhas de cloro apresentou elevada eficácia. Como as fontes de captação de águas cinzas utilizadas neste o projeto de tratamento foram a lavadora de roupa, os tanques, os lavatórios e os chuveiros, a concentração de matéria orgânica é muito baixa. E, de acordo com Soethe (2013), em águas cinzas as concentrações de cloro de 15 mg L^{-1} podem ser utilizadas para a inativação de diferentes matérias orgânicas. O tempo mínimo para a desinfecção por cloro deve ser de 1h36min, resultando em uma concentração de cloro residual dentro do exigido pela NBR 13969/1997, norma que baliza esta prática.

De acordo com o fabricante, o cloro em pastilha utilizado neste projeto, observado na Figura 12, apresenta 94,4% de princípio ativo, com 86,6% de cloro ativo, e o pacote de 200 gramas é comercializado pelo preço médio de R\$12,00.

Figura 12 – Pastilha de cloro estabilizado



Fonte: Pace (2022)

Após a desinfecção por cloração, a água cinza tratada segue para o reservatório elevado com o auxílio de uma bomba d'água periférica. Este modelo de bomba d'água, apresentado na Figura 13, foi selecionado por possuir alta capacidade de pressão de fluídos e ótimo desempenho para o transporte vertical de água, sendo a opção ideal para transportar volumes

de água de reservatórios submersos para elevados, com uma potência de $\frac{1}{2}$ CV, cujo preço médio no mercado é de R\$ 180,00.

Figura 13 – Bomba d'água do tipo periférica



Fonte: Ferrari (2022)

Para atender a demanda diária de 328 litros da residência unifamiliar, o reservatório elevado utilizado foi uma caixa d'água de 250 litros acoplada à alimentação proveniente do reservatório submerso e à tubulação de distribuição nos pontos de águas de reuso. Caixas d'água de polietileno, exemplificada na Figura 14, são facilmente encontradas no mercado por um preço médio de R\$220,00.

Figura 14 – Caixa d'água de 250 litros

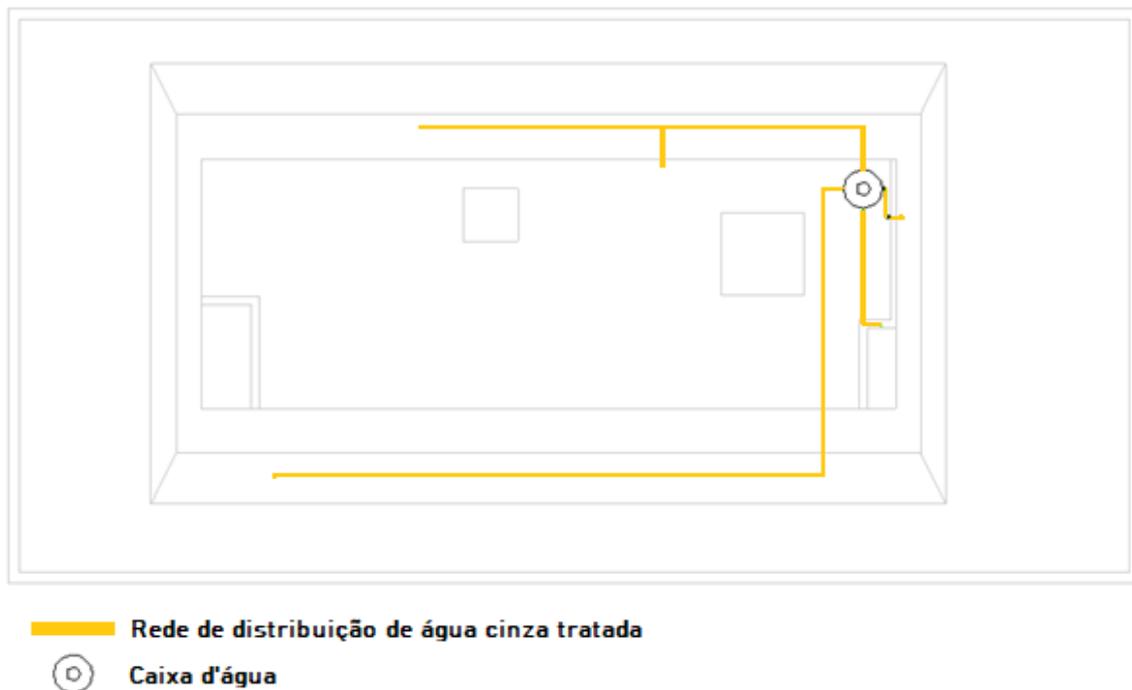


Fonte: Fortlev (2022)

As águas tratadas acondicionadas no reservatório elevado serão direcionadas para os pontos de utilização, de acordo com a demanda, a partir de uma rede de 60,23 metros de

tubulação, contendo 17 joelhos e 2 tê. A rede distribuição está ilustrada na Figura 15. Como pode ser observado a Tabela 7, a rede de distribuição gera um custo adicional de R\$1.186,45 ao orçamento do projeto inicial

Figura 15 – Rede de distribuição da água cinza tratada nos pontos de utilização



Fonte: Produção do próprio autor.

Tabela 7 – Materiais utilizados na rede de distribuição de águas de reuso e respectivos valores

Material	Quantidade	Valor unitário (R\$)	Valor total (R\$)
Cano PVC 50 mm	60,23 m	17,90	1078,12
Joelho 90° 50 mm	17	5,09	86,53
Tê 50 mm	2	10,90	21,80
Total			1186,45

Fonte: Produção do próprio autor.

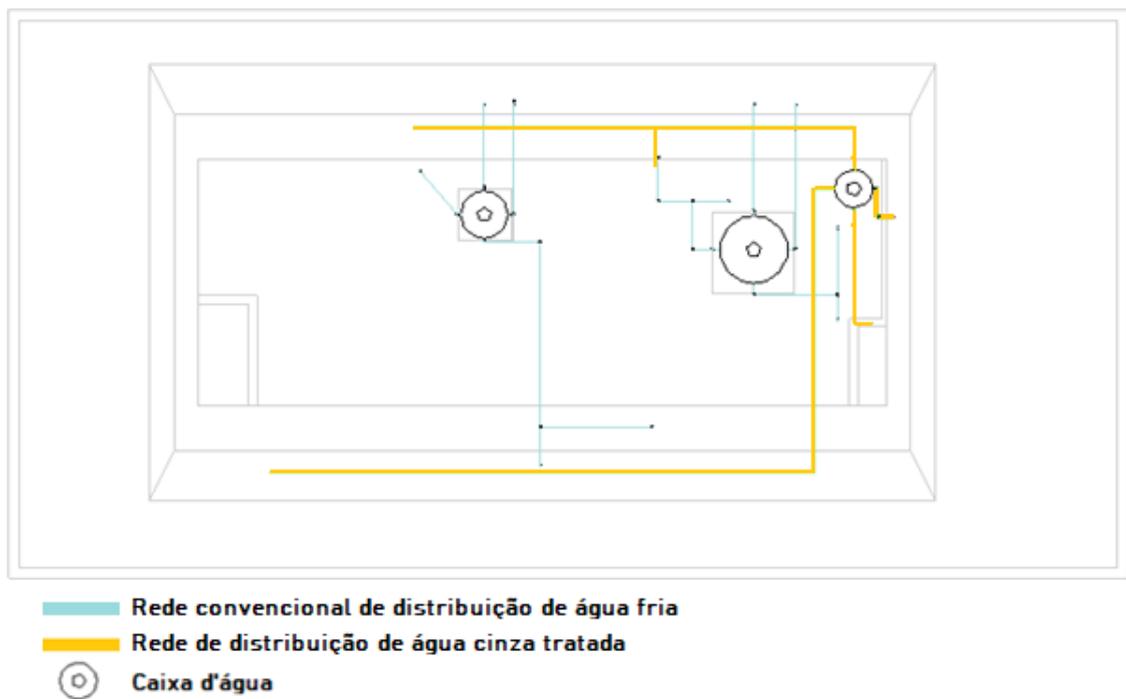
As Figura 16 e Figura 17 apresentam o projeto hidrossanitário após a conclusão do sistema de tratamento de águas cinzas da residência unifamiliar. A Figura 18 apresenta parte do sistema projetado, após a rede de captação e antes da rede de distribuição. Sequenciando o filtro separador de sólidos, tanque séptico, filtro misto de areia e carvão ativado granular, reservatório do tipo cisterna de 200 litros e a bomba d'água do tipo periférica.

Figura 16 – Sistema de tratamento de água cinza do pavimento térreo



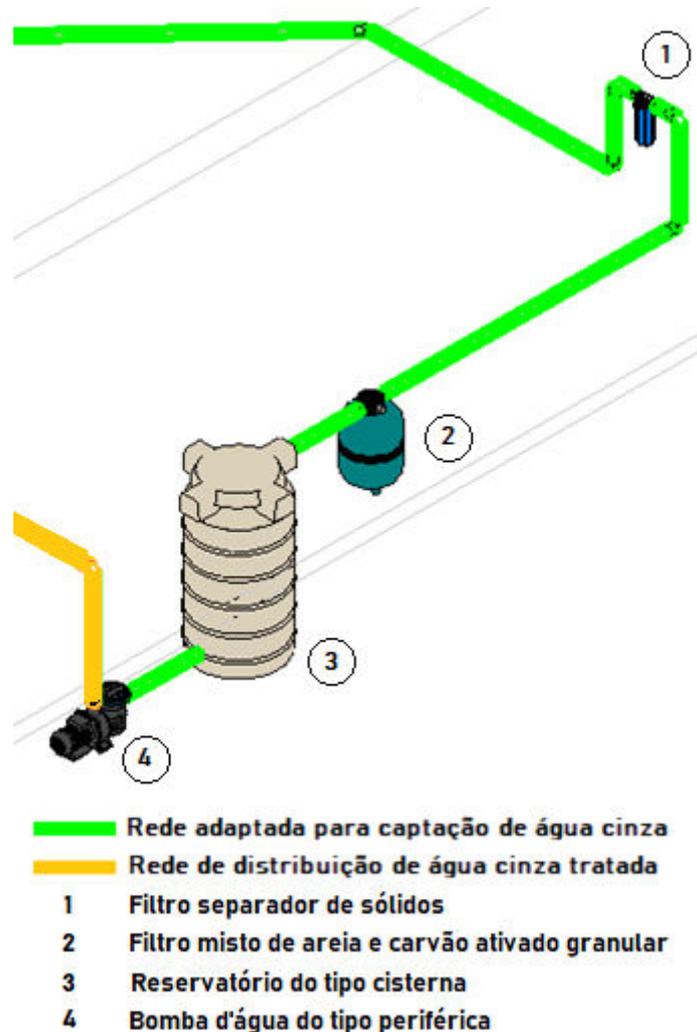
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 17 – Sistema de tratamento de águas cinzas na laje



Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 18 – Filtro separador de sólidos, filtro misto, reservatório submerso e bomba de distribuição de águas de reuso



Fonte: Produção do próprio autor.

5.2 VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DO TRATAMENTO PROPOSTO

O consumo total de água na residência unifamiliar com quatro usuários, objeto deste estudo, foi estimado em 19 m³ ao mês. Considerando as tarifas do sistema de abastecimento de água e esgotamento sanitário do município (SAEG), tal quantidade consumida resulta em R\$ 49,93 de tarifa de água e R\$ 39,94 de esgoto, ao mês, totalizando R\$ 89,87 de tarifas mensais. Ao final de 12 meses, resultam em R\$ 1.078,44 pagos ao sistema de abastecimento municipal.

Considerando que a residência produz, aproximadamente, 10 m³ de água de reuso ao mês, com a implementação do sistema de tratamento de águas cinzas, o consumo mensal de água reduzirá em 52%. Sendo assim, o consumo de água fornecida pela SAEG será de 9 m³.

Considerando que a tarifa de água é de R\$ 22,35 e R\$17,88 de esgoto, totaliza-se R\$ 40,23 de tarifas mensais, que ao final de 12 meses, resultará em R\$ 482,76 pagos ao serviço de abastecimento municipal.

O projeto do sistema de tratamento e reuso de água cinzas em uma residência unifamiliar, considerando os materiais de construção utilizados, totalizou um custo inicial de, aproximadamente, R\$ 4.739,59, como pode ser observado na Tabela 8. Além disso, a execução do sistema na área externa pode ser realizada em um dia, gerando um custo de R\$ 180,00, média do valor pago pela mão de obra em Guaratinguetá (SP). Resultando em R\$ 4.919,59 de custos gerais.

Tabela 8 – Valor total do sistema de tratamento de águas cinzas

Material	Valor total (R\$)
Rede de captação de água residuária	R\$ 841,14
Filtro separador de sólidos	R\$ 100,00
Filtro de carvão ativado e areia	R\$ 1.600,00
Reservatório cisterna 200 L	R\$ 600,00
Pastilhas de cloro estabilizado	R\$ 12,00
Bomba d'água do tipo periférica	R\$ 180,00
Caixa d'água de 250 L	R\$ 220,00
Rede de distribuição nos pontos de reuso	R\$ 1.186,45
Mão de obra (uma diária)	R\$ 180,00
Total	R\$ 4.919,59

Fonte: Produção do próprio autor.

Ao implementar o sistema, deve-se considerar que certos materiais utilizados possuem uma vida útil longa. Como pode ser observado na Tabela 9. Alguns dos elementos do sistema podem possuir até 60 anos de duração após implantado, se instalado corretamente e sua manutenção realizada periodicamente. O filtro separador de sólidos e as pastilhas de cloro são considerados bens de manutenção, uma vez que sua substituição ocorre mais de uma vez dentro de um ano. Sendo assim, para o cálculo do tempo de retorno do investimento, estes não serão adicionados. Assim, têm-se um total de R\$ 4.807,59.

Antes da implementação do sistema de tratamento, o valor anual pago ao sistema de abastecimento municipal era de R\$ 1.078,44. Após a implementação, a tarifa passou a ser R\$ 482,76 ao ano. Sendo assim, foi economizado R\$ 595,68 após a instalação do sistema. Considerando o valor de investimento de R\$ 4.807,59, têm-se um período de retorno de 8 anos.

Tabela 9 – Vida útil dos materiais utilizados no projeto do sistema de tratamento de água cinza.

Material	Vida útil
<i>Bens de manutenção</i>	
Filtro separador de sólidos	12 meses ¹
Pastilhas de cloro estabilizado	2 meses ²
<i>Bens duráveis</i>	
Rede de captação de água residuária	60 anos ³
Filtro de carvão ativado e areia	5 anos ⁵
Reservatório cisterna 200 L	30 anos ⁴
Bomba d'água do tipo periférica	10 anos ⁶
Caixa d'água de 250 L	30 anos ⁴
Rede de distribuição nos pontos de reuso	60 anos ³

Fontes: ¹ Planeta Água (2022). ² Pace (2022). ³ Instituto Brasileiro do PVC (2020).

⁴ Michelin (2018). ⁵ Nautilus (2022). ⁶ Ferrari (2022). Adaptado pela autora (2022)

Para analisar o período de *payback* resultante, deve-se considerar, além do tempo de vida útil dos materiais, o valor total da rede de tubulação que irá captar a água dos pontos de coleta (lavadora de roupa, de tanques, lavatórios e chuveiros) e a rede de tubulação de distribuição nos pontos de utilização (descarga sanitária e torneiras de jardim). Juntas, as redes de tubulação constituem o maior gasto no projeto: R\$ 2.027,59 (43% do custo total do sistema). Tal valor é variável, depende de cada construção.

Considerando os benefícios da implementação do sistema de tratamento, como a redução do consumo de águas de mananciais, menor geração de esgoto e, conseqüentemente, redução de custos na conta de água, o sistema mostrou-se viável técnica e economicamente. Todos os materiais utilizados para sua construção possuem valores acessíveis, são facilmente encontrados no mercado e possuem instalação e manutenção simples.

6 CONCLUSÕES

- As águas cinzas são originadas de atividades domésticas, como lavagem de roupa em lavadoras e tanques, usadas em lavatórios e banhos. Elas possuem um elevado potencial de reutilização. Entretanto, podem conter componentes orgânicos e outros contaminantes. Por isso, devem passar por um processo de tratamento antes do reuso.
- Considerando os sistemas de tratamento de água cinza estudados, o sistema *two-stage* possui o melhor custo benefício para o projeto proposto. Ele consiste na filtração da água de reuso, seguida de desinfecção. Esse tratamento apresenta elevada eficácia e é de simples implementação e manutenção.
- O projeto do sistema de tratamento de água cinza desenvolvido foi dividido em captação, filtração, desinfecção, reserva e distribuição da água de reuso.
- Os materiais utilizados são facilmente encontrados no mercado. Além disso, possuem um valor acessível, permitindo a replicação do modelo.
- O sistema de tratamento se mostrou eficiente ao reduzir o consumo mensal de água de abastecimento em 52%. Gerando uma economia de R\$ 595,68 ao ano.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **Conjuntura dos recursos hídricos: relatório pleno**. 1. ed. Brasília: ANA, 2019. 169p.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **Conservação e reuso da água em edificações**. 1. ed. São Paulo: ANA, 2002. 152p.
- ALLEN, L.; CHRISTIAN-SMITH, J.; & PALANIAPPAN, M. Overview of greywater reuse: the potential of greywater systems to aid sustainable water management. **Pacific Institute**, Oakland. 2010.
- ALVES, W. C.; KIPERSTOK, A.; ZANELLA, L., PHILIPPI, L. S.; SANTOS, M. F. L.; VALENTINA, R.S.D.; OLIVEIRA, L. V.; GONÇALVES, R. F. **Tecnologias de conservação em sistemas prediais**. In: GONÇALVES, R. F. (coord.). *Conservação de água e energia em sistemas prediais públicos de abastecimento de água*, Rio de Janeiro: ABES, 2009. p. 219-294.
- ANDERSON, J. Prospect for international guidelines for water recycling. **Water 21**, London. p. 16-21, 2001.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12217**: projeto de reservatório de distribuição de água para abastecimento público. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13969**: tanques sépticos: unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos: projeto, construção e operação. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5410**: instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5626**: instalação predial de água fria. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 8160**: Sistemas prediais de esgoto sanitário: projeto e execução. Rio de Janeiro: ABNT, 1999.
- BAZZARELLA, B. B. **Caracterização e aproveitamento de água cinza para uso não potável em edificações**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2005. Disponível em: <http://repositorio.ufes.br/jspui/handle/10/6149>. Acesso em: 20 out. 2020.
- BRANDÃO, V. S.; MATOS, A. T.; FONTES, M. P. F.; MARTINEZ, M. A. Retenção de poluentes em filtros orgânicos operando com águas residuárias 56 da suinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, p. 329- 334, 2003. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/dBZqLjwWNH58XBPHYXx4pGG/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 23 out. 2020.

BUSICO, R. M. **Projeto para reuso de águas cinzas em uma residência unifamiliar**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2019. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/235395>. Acesso em: 20 out. 2020.

DUSSERT, B.W; E VAN STONE, G.R. The biological activated carbon process for water purification, **Water Engineering & Management**, v. 141, p. 22-24, 1994.

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

FERNANDES, V. M. C. **Padrões para reuso de águas residuárias em ambientes urbanos**. In: SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE O USO DA ÁGUA NA AGRICULTURA, 2., 2006, Passo Fundo: Universidade de Passo Fundo, 2006. Disponível em: <http://cbhpf.upf.br/phocadownload/2seminario/padroesreusoaguaii.pdf>. Acesso em: 20 set. 2021.

FERRARI. **Bombas d'água periférica Acquapump**. Goiania: Comercial Ferrari, 2022. Disponível em: <https://ferrarinet.com.br/bombas-dagua/>. Acesso em: 01 jul. 2022.

FORTLEV. **Reservatórios do tipo caixa d'água**. Cajamar: Fortlev, 2022. Disponível em: <https://www.fortlev.com.br/categorias/reservatorios/>. Acesso em: 09 out. 2022.

GONÇALVES, R. F. **Uso racional da água em edificações**. Rio de Janeiro: ABES Projeto PROSAB, 2006, 332 p.

GREGORY, J. D.; LUGG, R.; SANDERS, B. Revision of the national reclaimed water guidelines. **Desalination**, Western, v. 106, n. 1-3, p. 263-268, 1996.

GRUPO DAMEK. **Cisterna compacta**. Carapicuíba: Grupo Damek, 2022. Disponível em: <https://www.grupodamek.com.br/reservatorios-cisternas/cisternas-compactas/cisterna-compacta-capacidade-200-l-completa-atoxico>. Acesso em: 25 jun. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DO PVC. **Vida útil dos tubos PVC**. São Paulo: Instituto Brasileiro do PVC, 2022. Disponível em: <https://pvc.org.br/2020/01/estudos-revelam-que-os-tubos-de-pvc-possuem-vida-util-de-aproximadamente-100-anos/>. Acesso em: 09 out. 2022.

INSTITUTO TRATA BRASIL; WATER.ORG. **Perdas de água 2020 (ano base 2018)** – desafios à disponibilidade hídrica e necessidade de avanço na eficiência do saneamento. São Paulo: Instituto Trata Brasil, 2020. Disponível em: <http://www.tratabrasil.org.br/blog/2020/06/08/instituto-trata-brasil-lanca-mais-um-estudo-de-perdas-de-agua/>. Acesso em: 20 ago. 2020.

JEFFERSON, B.; LAINE, A.; PARSONS, S.; STEPHENSON, T.; JUDD, S. Technologies for domestic wastewater recycling. **Urban Water**, Cranfield, v. 1, n. 1, p. 285-292, 1999. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/222684646_Technologies_for_Domestic_Wastewater_Recycling. Acesso em: 16 jan.2021.

JOÃO, J. J.; EMERICK, T.; FILHO, U. S.; NISHIHORA, R. K. Processo de eletrocoagulação-flotação: investigação dos parâmetros operacionais para o tratamento de

águas residuais da indústria de pescados. **Química Nova**, Florianópolis, v. 41, n. 2, p.163-168, 2018. Disponível em: http://quimicanova.s bq.org.br/detalhe_artigo.asp?id=6718. Acesso em 15 jan. 2021.

LI, F.; WICHMANN, K.; OTTERPOHL, R. Review of the technological approaches for grey water treatment and reuses. **Elsevier**, Hamburg, v. 407, p. 3439-3449. 2009. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/24145844_Review_of_the_technological_approaches_for_grey_water_treatment_and_reuses. Acesso em: 12 dez. 2020.

LI, Z. Rainwater harvesting and greywater treatment systems for domestic application in Ireland. **Desalination**, Dublin, v. 260, n. 1-3, p. 1-8. 2010. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0011916410003504#:~:text=The%20use%20of%20domestic%20rainwater,are%20due%20to%20be%20reintroduced>. Acesso em: 23 nov. 2020.

MACHADO, G. C. **Caminhos e cuidados com as águas**: faça você mesmo seu sistema de saneamento ecológico. Rio de Janeiro: Fiocruz, 2019. 13p.

MACHADO, L; TRANNIN, I. Agricultural potential of an industrial sewage sludge in compliance with CONAMA Resolution no. 375/2006. **Ciências Agrárias**, Londrina, v. 36, n. 6, p. 4177-4184, 2015. Disponível em: <https://ojs.uel.br/revistas/uel/index.php/semagrarias/article/view/19001>. Acesso em: 22 nov. 2020.

MAY, S. **Caracterização, tratamento e reuso de águas cinzas e aproveitamento de águas pluviais em edificações**. 2009. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-17082009-082126/pt-br.php>. Acesso em: 26 nov. 2020.

MICHELON. **7 vantagens da caixa d'água em polipropileno**. Caxias do Sul: Michelon, 2018. Disponível em: <https://www.michelon.ind.br/blog/br/>. Acesso em: 09 out. 2022.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento**: diagnóstico dos serviços de água e esgotos – 2014. Brasília: SNSA/MCIDADES, 2016. 212 p.

MIRANDA, G. O. D.; MAIA, J. C. T. Desperdício de água na lavagem de automóveis. **Revista Ciências do Ambiente On-Line**, Campinas, v. 9, n. 1, p 53-59, 2013. Disponível em: <http://sistemas.ib.unicamp.br/be310/nova/index.php/be310/article/view/355/281>. Acesso em: 20 out. 2020.

NAUTILUS. **Filtros de Água Potável**. Nazaré Paulista: Nautilus, 2022. Disponível em: <https://nautilusbr.com/categoria-produto/tratamento/filtros-agua-potavel-tratamento/>. Acesso em: 22 jun. 2022.

NSW HEALTH. **Greywater reuse in sewerred single domestic premises**. Sidney, 2000. Disponível em: <https://www.health.nsw.gov.au/environment/domesticwastewater/Documents/greywater-reuse-policy.pdf>. Acesso em: 13 ago. 2021.

PACE. **Pace tripla ação cloro estabilizado**. Ria de Janeiro: Pace, 2022. Disponível em: <https://www.cloropace.com.br/>. Aceso em: 26 set. 2022.

PLANETA ÁGUA. **Filtro poço artesiano cisterna areia impureza sólida**. Goiania: Planeta Água Purificadores, 2022. Disponível em: <https://www.planetaagua.ind.br/>. Acesso em: 09 out. 2022.

PAULA, H. M.; FERNANDES, C. E. Otimização do tratamento de água cinza a partir do uso combinado de coagulantes químicos. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 23, n. 5, p. 951-961, 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/mvMZXXkkKwZTLXt9zM3NzGYk/?lang=pt>. Acesso em: 16 jul. 2021.

PIDOU, M.; MEMON, F. A.; STEPHENSON, T; JEFFERSON, B.; JEFFREY, P. Greywater recycling: a review of treatment options and applications. **Engineering Sustainability**, Cranfield, v. 160, p. 119-131, 2008. Disponível em: https://dspace.lib.cranfield.ac.uk/bitstream/handle/1826/4385/Greywater_recycling-A_review_of_treatment_options-2007.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 16 maio 2021.

RAČEK, J. Gray water reuse in urban areas. In: ZELENÁKOVÁ, Martina (ed.). **Management of water quality and quantity**. Cham, Switzerland: Springer International Publishing, 2019. cap. 8, p. 195-217. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/334845955_Gray_Water_Reuse_in_Urban_Areas. Acesso em: 24 ago. 2021.

RAMPELOTTO, G. **Caracterização e tratamento de águas cinzas visando reuso doméstico**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/7863/RAMPELOTTO%2c%20GERALDO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 23 nov. 2020.

SISTEMA DE ABASTECIMENTO E ESGOTO DE GUARATINGUETÁ. **Tarifas**. Guaratinguetá: SAEG, 2022. Disponível em: <https://saeg.net.br/tarifas/>. Acesso em: 09 out. 2022.

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: <https://seer.ufrgs.br/index.php/ambienteconstruido/article/view/3429>. Acesso em: 13 jan. 2022.

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 reuso da água em edificações**. Manual. ANA/FIESP/SINDUSCON. São Paulo: Prol Editora Gráfica. 2005. 152p.

SELLA, M. B. **Reuso de águas cinzas**: avaliação da viabilidade da implantação do sistema em residências. 2011. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/34521>. Acesso em: 25 jul. 2021.

SOETHE, G. C. **Desinfecção de águas cinzas pelos métodos de cloração e radiação ultravioleta para fins de reuso não potável**. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/126172>. Acesso em: 15 jul. 2021.

SURENDRAN, S.; WHEATLEY, A. D. **Grey water reclamation for non-potable reuse.** Journal of the Chartered Institution of Water and Environmental Management, Kandy, v. 12, p. 406-413, 1998. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/315705246_Grey_water_reclamation_for_urban_non-potable_reuse_-_challenges_and_solutions_a_review. Acesso em: 2 jul. 2021.

TELLES, D. D.; COSTA, P. R. **Reuso da água:** Conceitos, teorias e práticas. 2 ed. São Paulo: Blucher, 2010. 408 p.

TEODORO, A.; BONCZ, M. A.; PAULO, P. L.; JUNIOR, A. M. Desinfecção de água cinza por fotocatalise heterogênea. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.22, n.5, p. 1017-1026. 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/XtrM5CQC4cSV6JHccMLTy9s/?lang=pt&format=pdf#:~:text=A%20%C3%A1gua%20cinza%20utilizada%20nos%20experimentos%20%C3%A9%20composta%20pela%20mistura,banhado%20constru%C3%ADdo%20de%20fluxo%20horizontal>. Acesso em: 17 jan. 2021.

TUNDISI, J. G. Recursos hídricos no Brasil: uma síntese. In: TUNDISI, J. G. (coord.) **Recursos hídricos no Brasil:** problemas, desafios e estratégias para o futuro. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 2014. v. 1, cap;5, p. 4-7.

VAKIL, K. A.; SHARMA, M. K.; BHATIA, A.; KAZMI, A. A.; SARKAR, S. Characterization of greywater in an Indian middle-class household and investigation of physicochemical treatment using electrocoagulation. **Separation and Purification Technology**, Netherlands, v. 130, p. 160-166, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1383586614002299>. Acesso em: 24 jan. 2021.