

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO - CTC
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL
CURSO ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

Fabiola de Fátima Rizzon

MONITORAMENTO DE DESEMPENHO DE LONGO PERÍODO
DE UM SISTEMA DE TRATAMENTO UNIFAMILIAR DE
ÁGUA CINZA EMPREGANDO *WETLAND* CONSTRUÍDO

Florianópolis

2020

Fabiola de Fátima Rizzon

MONITORAMENTO DE DESEMPENHO DE LONGO PERÍODO
DE UM SISTEMA DE TRATAMENTO UNIFAMILIAR DE
ÁGUA CINZA EMPREGANDO *WETLAND* CONSTRUÍDO

Trabalho Conclusão do Curso de Graduação em Eng.
Sanitária e Ambiental do Centro Tecnológico da
Universidade Federal de Santa Catarina como requisito
para a obtenção do título de Bacharel em Eng. Sanitária
e Ambiental

Orientadora: Prof. Maria Elisa Magri

Co-orientadora: Luiza Jofily Miranda Cruz

Florianópolis

2020

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Rizzon, Fabiola de Fátima
MONITORAMENTO DE DESEMPENHO DE LONGO PERÍODO DE UM
SISTEMA DE TRATAMENTO UNIFAMILIAR DE ÁGUA CINZA
EMPREGANDO WETLAND CONSTRUÍDO / Fabiola de Fátima Rizzon
; orientadora, Maria Elisa Magri, coorientadora, Luiza
Jofily Miranda Cruz, 2020.
70 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico,
Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental,
Florianópolis, 2020.

Inclui referências.

1. Engenharia Sanitária e Ambiental. 2. Saneamento
Descentralizado. 3. Wetlands Construídos. 4. Reuso de Águas
cinzas. 5. Ecosan. I. Magri, Maria Elisa . II. Cruz, Luiza
Jofily Miranda . III. Universidade Federal de Santa
Catarina. Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental.
IV. Título.

Fabiola de Fátima Rizzon

**MONITORAMENTO DE DESEMPENHO DE LONGO PERÍODO
DE UM SISTEMA DE TRATAMENTO UNIFAMILIAR DE
ÁGUA CINZA EMPREGANDO *WETLAND* CONSTRUÍDO**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Engenheira Sanitarista e Ambiental e aprovado em sua forma final pelo Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental.

Florianópolis, 14 de agosto de 2020.

Prof.^a, Maria Elisa Magri, Dr.^a
Coordenadora do Curso
Universidade Federal de Santa Catarina

Banca Examinadora:

Prof.^a, Maria Elisa Magri, Dr.^a
Orientadora
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof.^o Pablo Heleno Sezerino, Dr.^o
Avaliador
Universidade Federal de Santa Catarina

Eng.^a Luiza Jofily Miranda Cruz, Mestranda.
Avaliadora
Universidade Federal de Santa Catarina

Dedico este trabalho a minha amada família, principalmente aos meus pais, meu refúgio e fonte de incentivo sempre.

AGRADECIMENTOS

Acima de tudo, agradeço as oportunidades que me foram dadas. A oportunidade de concluir o ensino superior em uma universidade classificada entre as melhores do Brasil, instituição pública, gratuita, plural e de qualidade. As inúmeras vivências e convivências, aprendizados e evolução pessoal ocorrida ao decorrer desse processo de formação acadêmica.

A todo o Corpo Docente da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) e em especial professores do Centro tecnológico e Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental.

Em especial, a Prof.^a Maria Elisa Magri, que cativou seus alunos como pessoa e profissional, agradeço sua dedicação à profissão e pelos ensinamentos compartilhados, assim como pela sua orientação e enriquecimento deste trabalho.

Agradeço imensamente a co-orientadora e banca examinadora, a Mestranda Luiza Jofily, por sua disponibilidade e por toda ajuda prestada a construção deste trabalho. Obrigada Lu!

Ao Prof.^o Pablo Heleno Sezerino, componente da banca examinadora, pela disponibilidade e por todos os ensinamentos compartilhados.

Agradeço também a família do Sr. Zezinho e Dona Ilza, residentes da propriedade piloto, que acolheram e cederam seu espaço para a realização desta pesquisa.

Aos meus queridos pais, Zoleide e Eduardo, agradeço pela coragem, dedicação e incentivo incondicional que sempre me inspiraram a sonhar alto e acreditar em mim. Aos meus irmãos, Felipe e Fabiele, pelo companheirismo, apoio e crescimento mútuo. Obrigada Família!

Ao meu melhor amigo e companheiro André, que me apoia e incentiva na busca pelos meus sonhos, agradeço pela paciência, amor e conforto nas horas necessárias.

Aos meus queridos colegas de curso, em especial a Silvana, Fernanda, Paulo, Ayumi e Helena, serei sempre grata pela sua amizade, companheirismo, ajuda e incentivo durante todo o período da faculdade e pelos muito momentos que virão.

Contudo, a todos que de maneira direta ou indireta fizeram parte da minha formação, sou grata!

“You cannot get through a single day without having an impact on the world around you. What you do makes a difference, and you have to decide what kind of difference you want to make.”

Jane Goodall

RESUMO

Na busca pela universalização do saneamento básico, uma das áreas mais desafiadoras é a zona rural, onde a caracterização heterogênea da população juntamente com poucos recursos financeiros normalmente alocados para o setor são fatores que dificultam as soluções. Experiências mostram para a etapa do tratamento, que soluções alternativas, naturais, sustentáveis e descentralizadas, com o conceito Ecosan, são possibilidades para a manutenção da saúde da população rural e preservação do meio ambiente. Esses modelos buscam preencher as lacunas do saneamento tradicional por meio da promoção da economia circular, racionalização do uso de água potável e a separação de efluentes. Neste contexto, este trabalho busca avaliar a eficiência de desempenho de tratamento de efluente proveniente da lavanderia de uma residência unifamiliar rural promovido por um sistema de saneamento ecológico ao longo de um período de 10 anos de operação. Foram avaliados dados históricos e realizadas análises qualitativas objetivando caracterizar os efluentes gerados e tratados, que servem para fins de reuso não potável. O sistema de tratamento em questão, localizado no bairro Três Barras, área rural do município de Palhoça, estado de Santa Catarina, é constituído de tanque séptico seguido por um *wetland* construído (WC) de escoamento subsuperficial e fluxo horizontal, trata as águas cinzas claras provenientes do tanque e da máquina de lavar roupas. Este efluente caracterizou-se por altas concentrações de poluentes, destacando-se, N-NH₄ (5,5 mg/L), P-PO₄³⁻ (87,4 mg/L), SST (131,2 mg/L) e DQO total (835,8 mg/L). O WC apresentou elevadas eficiências de remoção de poluentes, apresentando baixos desvios padrões ao longo do tempo, destacam-se a remoção de DQO total (83%), P-PO₄³⁻ (89%) e SST (94%), de modo que a eficiência global destes parâmetros foram de 88%, 93% e 97%, respectivamente, sendo o sistema considerado efetivo mesmo depois de 10 anos de funcionamento. Os parâmetros SST e N-NH₄ apresentaram valores finais de concentração média de 4 e 3,9 mg/L, respectivamente, enquanto os valores médios finais de concentração de DQO total e P-PO₄³⁻ foram de 101,7 mg/L e 5,7 mg/L, respectivamente.

Palavras-chave: Saneamento descentralizado. Wetlands construídos. Águas cinzas. Ecosan. Reuso.

ABSTRACT

To achieve universal basic sanitation, one of the most challenging areas is the rural area, where the heterogeneous characteristics of the population together with the few financial resources normally allocated to the sector are factors that hinder solutions. Experiences show for the treatment stage that alternative, natural, sustainable and decentralized solutions, with the Ecosan concept, are possibilities for maintaining the health of the rural population and preserving the environment. These models seek to fill the gaps in traditional sanitation through the promotion of circular economy, rational use of drinking water and the separation of effluents. In this context, this work seeks to evaluate the efficiency of effluent treatment performance from the laundry of a rural single household promoted by an ecological sanitation system over a 10-year period of operation. Historical data were evaluated and qualitative analyses were performed in order to characterize the effluents generated and treated for non-potable reuse purposes. The treatment system in question, located in the Três Barras neighborhood, in the rural area of the municipality of Palhoça, state of Santa Catarina, consists of a septic tank followed by a constructed wetland (CW) with subsurface drainage and horizontal flow, treating light gray waters from the tank and the washing machine. This effluent was characterized by high concentrations of pollutants, especially N-NH₄ (5.5 mg / L), P-PO₄³⁻ (87.4 mg / L), TSS (131.2 mg / L) and Total COD (835.8 mg / L). The CW showed high pollutant removal efficiencies, presenting low standard deviations over time, the removal of total COD (83%), P-PO₄³⁻ (89%) and SST (94%) stands out, so that the overall efficiency of these parameters were 88%, 93% and 97%, respectively, the system being considered effective even after 10 years of operation. The parameters TSS and N-NH₄ showed final values of average concentration of 4 and 3.9 mg / L, respectively, while the final average values of concentration of total COD and P-PO₄³⁻ were 101.7 mg / L and 5.7 mg / L, respectively.

Keywords: Decentralized sanitation. Constructed wetlands. Grey Waters. Ecosan. Reuse.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ciclo Urbano da Água.	24
Figura 2. Formas de abastecimento de água e escoadouro de esgotos.....	25
Figura 3. Ciclo tradicional aberto/interrompido de descarte dos dejetos humanos....	28
Figura 4. Ciclo orgânico fechado.	30
Figura 5. Classificação dos tipos de reuso.	32
Figura 6. <i>Wetland</i> construída.....	39
Figura 7. <i>Wetland</i> natural.	39
Figura 8. Classificação dos wetlands construídos	40
Figura 9. Localização espacial da propriedade piloto – Palhoça, SC.....	43
Figura 10. Tanque Séptico seguido de Filtro plantado Horizontal após implantação.	44
Figura 11. Representação esquemática do sistema avaliado.	45
Figura 12. WC com macrófitas (10 meses de operação) e a moradora da propriedade.	46
Figura 13. Sistema de tratamento de águas cinzas (TS ao meio e WC à esquerda)...	46
Figura 14. Distribuição dos componentes do sistema	46
Figura 15. Registro da aparência do sistema em outubro de 2019.....	46

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Classificação, reuso e padrões de qualidade previstos.	33
Quadro 2. Composição das águas cinzas de acordo com a fonte.	36
Quadro 3. Mecanismos de remoção de poluentes dos WC.	40
Quadro 4. Parâmetros analisados e respectivos procedimentos metodológicos.	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Critérios de qualidade da água de reuso para atividades domiciliares.	34
Tabela 2. Caracterização qualitativa das águas cinzas de acordo com a fonte.	37
Tabela 3. Principais características do sistema avaliado.....	45
Tabela 4. Caracterização qualitativa da água cinza bruta (AC1) monitorada.	49
Tabela 5. Parâmetros de qualidade da água cinza em cada etapa do tratamento empregado.	53
Tabela 6. Parâmetros analisados da água cinza tratada e relação com as normas de qualidade.....	54
Tabela 7. Compilado dos resultados do Projeto Piloto em Três Barras ao decorrer dos anos.....	57

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas

AC Água Cinza

AC1 Água Cinza Bruta

AC2 Efluente TS

AC3 Efluente WC

ANA Agência Nacional de Águas

CNRH Conselho Nacional de Recursos Hídricos

WC Wetlands Construídos

WC -FH Wetland construído de fluxo horizontal

WC -FV Wetland construído de fluxo vertical

DQO Demanda Química de Oxigênio

DV Desvio padrão

E.coli Escherichia coli (NMP/100mL)

ECOSAN Saneamento Ecológico

EPAGRI Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina

ETAC Estação de Tratamento de Águas Cinzas

FIESP Federação das Indústrias do Estado de São Paulo

FUNASA Fundação Nacional de Saúde

GESAD Grupo de Estudos em Saneamento Descentralizado

IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INCRA Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária

NBR Norma Brasileira da ABNT

NH⁴ Nitrogênio Amoniaco (mg/L)

NO³ Nitrogênio Nitrato (mg/L)

OMS Organização Mundial de Saúde

pH Potencial Hidrogeniônico

PLANSAB Plano Nacional de Saneamento Básico

PNSR Programa Nacional de Saneamento Rural

PO₄ Fósforo ortofosfato

PROSAB Programa de Pesquisas em Saneamento Básico

R Reservatório

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS (Continuação)

R_G Remoção Geral

R_{TS} Remoção no Tanque Séptico

R_{wc} Remoção no Wetland Construído

SNIS Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

SST Sólidos Suspensos totais

TS Tanque Séptico

UFSC Universidade Federal de Santa Catarina

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	21
2	OBJETIVOS	23
2.1	OBJETIVO GERAL.....	23
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	23
3	REVISAO BIBLIOGRÁFICA	24
3.1	SANEAMENTO NAS ÁREAS RURAIS	24
3.2	SANEAMENTO CONVENCIONAL VS ECOLÓGICO	27
3.2.1	Águas de Reuso e Regulamentação Brasileira	31
3.2.2	Águas Cinzas	35
3.3	<i>WETLANDS</i> CONSTRUÍDOS	38
3.3.1	<i>Wetlands</i> Construídos para Tratamento de Águas Cinzas	42
4	METODOLOGIA.....	43
4.1	LOCALIZAÇÃO DO SISTEMA AVALIADO.....	43
4.2	CARACTERÍSTICAS E CONFIGURAÇÃO DO SISTEMA AVALIADO.....	44
4.3	CARACTERIZAÇÃO QUALITATIVA DAS ÁGUAS CINZAS	46
4.3.1	Monitoramento e Análises laboratoriais	46
4.4	DESEMPENHO DO SISTEMA EM 10 ANOS DE FUNCIONAMENTO	48
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	49
5.1	CARACTERIZAÇÃO QUALITATIVA.....	49
5.1.1	Características Físicas	50
5.1.2	Características Químicas	50
5.1.3	Características microbiológicas.....	52
5.2	AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DO SISTEMA DE TRATAMENTO.....	52
5.2.1	Remoção de Poluentes das Águas Cinzas e Adequação do Efluente às Normativas	53
5.2.2	Eficiência a longo prazo de funcionamento.....	56

6	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	58
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60

1 INTRODUÇÃO

A universalização do saneamento é um dos desafios a serem vencidos na busca por uma melhor qualidade de vida da população e por um desenvolvimento consciente e sustentável. Fatores como a falta de planejamento adequado, insuficiência de investimentos e até mesmo a falta de conscientização dos usuários e gestores de sua importância dificultam a implementação e desenvolvimentos de projetos nessa área, como consequência, cerca de 45% da população não possui acesso a tratamento de esgoto adequado (ANA, 2017). Na zona rural do país, os dados apresentam um descaso ainda maior, 28,6% são considerados sem atendimento e 54,2% dos domicílios possuem atendimento precário (IBGE, 2010). Quando existentes, os sistemas de saneamento básico nas áreas rurais são constituídos normalmente por tanque séptico ou por tanque séptico integrado com filtro anaeróbio. Esses sistemas, quando não passam por manutenção adequada, contribuem para a contaminação das águas de superfície e subterrâneas (COSTA *et al.*, 2014).

Neste contexto, soluções alternativas, naturais, sustentáveis e descentralizadas, com o conceito Ecosan são vistas como uma possibilidade de manutenção da saúde da população rural e da preservação do meio ambiente. Os *wetlands* construídos são sistemas de tratamento capazes de produzir efluente com características adequadas ao reuso não potável, promovendo a conservação dos recursos hídricos. Exemplos que demonstram a segurança desse método de tratamento para o reuso já foram apresentados, por exemplo, por Magri *et al.* (2011) e Figa (2017), os quais reforçam a importância de uma nova abordagem em relação ao saneamento, não só objetivando preservação do meio ambiente, mas também a otimização dos usos da água.

Por sua vez, o tratamento e reuso das águas residuárias promove a economia circular e permite que haja a preservação dos mananciais ao utilizar águas de reuso para fins menos nobres como irrigação, lavagem de carros e calçadas, descarga em vaso sanitário, entre outros (MASI *et al.*, 2018). A separação do efluente facilita a implementação de alternativas de tratamento e o reuso, a exemplo das águas cinzas, fração das águas residuais provinda de lavatório, chuveiro, tanque e máquina de lavar roupas, as quais normalmente apresentam concentração de poluentes baixa exigindo assim um tratamento mais simplificado, menos dispendioso (SUTHERLAND, 2008) e que ainda possui um grande potencial de reuso para fins não potáveis na própria residência (MAGRI, 2011).

Sobre este contexto, este trabalho objetivou a realização da avaliação da eficiência de um sistema de saneamento ecológico implementado em uma residência rural de base familiar. O sistema é composto por um tanque séptico seguido por *wetland* construído de escoamento

sub superficial e com fluxo horizontal, sendo destinado a tratar as águas cinzas produzidas pelos moradores da residência para posterior reuso no vaso sanitário e na agricultura. O sistema foi avaliado em relação às características qualitativas e ao desempenho ao longo dos seus 10 anos de operação.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Promover a análise de desempenho de longo período de um sistema de saneamento ecológico implantado em uma residência rural composto por tanque séptico seguido de *wetland* construído para tratamento e reuso de águas cinzas em fins não potáveis.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar qualitativamente as águas cinzas no sistema de tratamento composto por tanque séptico seguido de *wetland* construído de fluxo horizontal.
- Avaliar a eficiência do sistema de tratamento ao longo de 10 anos de operação, comparando dados atuais com dados históricos obtidos a partir de monitoramento precedentes neste sistema.

3 REVISAO BIBLIOGRÁFICA

3.1 SANEAMENTO NAS ÁREAS RURAIS

Tema que engloba a saúde da população e do ecossistema, o saneamento é uma das preocupações inerentes ao desenvolvimento de qualquer sociedade. A este tema foram atribuídas noções que variaram ao decorrer da história em função das relações entre o homem e o meio ambiente, da cultura, do acesso a informação e ao conhecimento, e também de acordo com a classe social (FUNASA, 2015).

Atualmente a Organização Mundial de Saúde (OMS) define como saneamento “o controle de todos os fatores do meio físico do homem, que exercem ou podem exercer efeitos deletérios sobre seu estado de bem-estar físico, mental ou social” (OMS, 2000), já a Lei brasileira Nº 11.445 de 2007, intitulada a Lei do Saneamento, dispõe saneamento como o conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais de: a) abastecimento de água potável, b) esgotamento sanitário, c) limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos d) drenagem e manejo das águas pluviais urbanas.

Apesar dos itens pontuados na lei abordarem águas pluviais e resíduos, o entendimento de saneamento mais comum é o sobre gerenciamento do ciclo urbano da água (Figura 1), que engloba desde a captação do recurso até a sua reinserção aos corpos hídricos (INSTITUTO TRATA BRASIL, 2017).

Figura 1. Ciclo Urbano da Água.

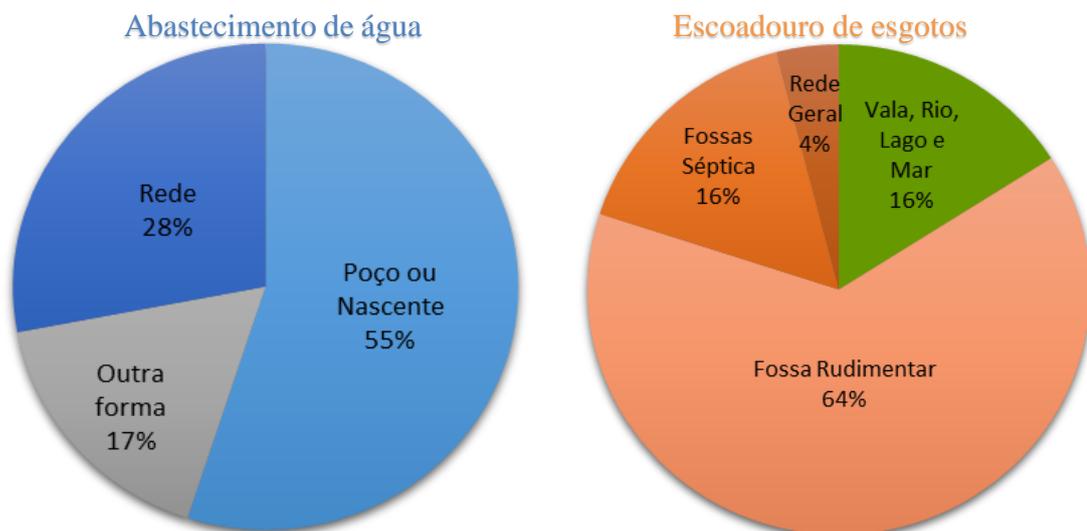


Fonte: Águas de Portugal.

O panorama deste setor no Brasil, em 2018, apresenta que 92,8% da população urbana do país recebe abastecimento de água; 60,9% é atendida por redes de coleta de esgoto e apenas 46,3% do esgoto urbano gerado é tratado (SNIS, 2019).

Na área rural, o déficit em saneamento é ainda maior, dados do Censo 2010 (IBGE, 2011) revelam que apenas 28% da população é abastecida por rede e cerca de 4% recebe coleta de esgoto, ou seja, 72% da população rural possui como fonte de abastecimento poços, nascentes ou outras formas de abastecimento. Por falta de opção e conhecimento, as águas residuais geradas são dispostas à céu aberto em valas, rios, lagos e marés (16%), fossas rudimentares (64%) e fossas sépticas (16%) (Figura 2), as quais geralmente não respeitam a distância mínima entre a disposição e a captação de água, facilitando assim doenças de transmissão hídrica, parasitoses intestinais e diarreias, as quais são responsáveis por elevar a taxa de mortalidade infantil nessas áreas e comprometer o meio ambiente (IBGE, 2011).

Figura 2. Formas de abastecimento de água e escoadouro de esgotos



Fonte: IBGE 2011- Censo Demográfico 2010. Adaptado de Funasa (2019).

Estudos denotam a influência dos serviços de esgotamento sanitário e do aporte adequado de água sobre as condições ambientais, as quais interferem diretamente na determinação das condições de vida e possuem um grande impacto na proteção à saúde (TAVARES e MONTEIRO, 1994). Teixeira e Guilhermino (2006) demonstram em seu trabalho que a mortalidade infantil, a mortalidade proporcional por doença diarreica aguda em menores de cinco anos de idade e a mortalidade proporcional por doenças infecciosas e parasitárias para

todas as idades, nos estados brasileiros, ainda se encontram associadas com a inexistência ou precariedade dos serviços de saneamento.

Apesar do descaso exposto nos dados supracitados, a preocupação com a saúde da população das áreas rurais e também com a manutenção e preservação do meio ambiente, motiva projetos e programas governamentais e não-governamentais ao decorrer dos anos que visam promover avanços no contexto do saneamento rural. Mais recentemente foi lançado o Programa Nacional de Saneamento Rural (PNSR, 2019), proposto pelo Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB) e gerenciado pela Fundação Nacional de Saúde (FUNASA) buscando “universalizar o acesso às ações de saneamento básico nas áreas rurais” (FUNASA, 2019).

Prevendo horizontes de curto, médio e longo prazos, em um período de 20 anos, de 2019 a 2038, o programa pretende beneficiar 39,73 milhões de habitantes, o que corresponde a 21% da população residente. Meta audaz visto o histórico e o cenário atual do saneamento rural no país, o que já é pressuposto e inclusive apresentado pelo próprio documento do PNSR quando expõe “a universalização do acesso não será alcançada no horizonte do PNSR, pelo fato de existirem obstáculos que dificultam o avanço na gestão do saneamento e, conseqüentemente, no atendimento a todas as demandas”, de modo que, as metas estabelecidas deverão ser refletidas nos próximos Planos Plurianuais (FUNASA, 2019).

E neste ponto, entram a caracterização heterogênea da população do meio rural juntamente com a escassez de recursos financeiros para o setor como fatores que dificultam as soluções. O meio rural é constituído por comunidades quilombolas, povos da floresta (agroextrativistas e seringueiros), povos dos biomas brasileiros e comunidades ribeirinhas. Também fazem parte da população rural os moradores de áreas de fundo de pasto e famílias assentadas pelo programa de reforma agrária do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (Incra) (FUNASA, 2011). Logo, diferentemente dos setores urbanos, a área rural exige soluções particulares e alternativas que se moldem as peculiaridades, necessidades e realidades encontradas em cada comunidade.

As abordagens referentes às questões ambientais, tecnológicas e educativas, assim como de gestão e sustentabilidade devem possuir maleabilidade e aprofundamento de acordo com cada situação, requerendo assim recursos para que todos esses fatores sejam alimentados e executados.

Neste contexto, o Projeto Microbacias da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI), por exemplo, atuou em áreas descentralizadas

buscando socializar o saneamento básico a partir da implantação de sistemas de tanque séptico seguido por filtro biológico e valas de infiltração. Projetos como a fossa séptica biodigestora, o clorador e a implementação de jardins filtrantes foram viabilizados pela Embrapa também em comunidades rurais. Contudo, a demanda nessas áreas abre espaço para que novas práticas sejam exploradas, de modo que a abordagem fornecida pelo Saneamento Ecológico, por exemplo, que promove a seguridade alimentar e hídrica e a manutenção da saúde humana e ambiental a partir da ciclagem de nutrientes, apresente ferramentas assertivas no intuito de fortalecer a conexão e o entendimento dos povos rurais com o seu entorno, com o meio ambiente e seus recursos.

3.2 SANEAMENTO CONVENCIONAL VS ECOLÓGICO

As tecnologias convencionais em saneamento são constituídas de sistemas abertos baseados no uso intensivo de recursos energéticos e ambientais além de emissão de poluentes (FONSECA, 2008). Promovem a exaustão do meio devido à sobrecarga de nutrientes e patógenos, resultando em aumento de riscos à saúde, poluição ambiental e da água, degradação constante dos recursos naturais e também a perda permanente de nutrientes e orgânicos do solo (WERNER, 2003).

As soluções tradicionais de saneamento utilizam conceitos das técnicas chamadas de “fim de tubo”, baseados na lógica de afastamento e da transferência de responsabilidade (MAGRI, 2013) O design destas tecnologias considera que as excretas são resíduos, são adequadas apenas para o descarte e que o meio ambiente é capaz de acolher e assimilá-los (ESREY, 2000). Podem ser sistemas convencionais e formais de saneamento, como a rede de ligação de esgotos e seu tratamento, sistemas “*flush and forget*”, que retiram o esgoto dos locais de produção por meio de canalização ou ainda sistemas “*drop and store*” como latrinas ou fossas, sistemas esses muito usados (OLIVEIRA, 2013).

Deste modo, quando não são sistemas extremamente precários, como as latrinas, o saneamento convencional prioriza técnicas em que a implementação necessita de grandes investimentos, consumo de energia e água, tanto na operação quanto na manutenção, sendo inviável muitas vezes a aplicação em áreas menos favorecidas (OLIVEIRA, 2013). Ainda, a centralização de efluentes para tratamento ou despejo produzem padrões insatisfatórios de purificação e/ou fazem lançamentos descontrolados e irregulares – mais de 90% das águas residuárias em todo o mundo – induzindo o desperdício de um bem valiosíssimo, a água potável, que será utilizada para o transporte das águas servidas. Como consequência, temos a geração

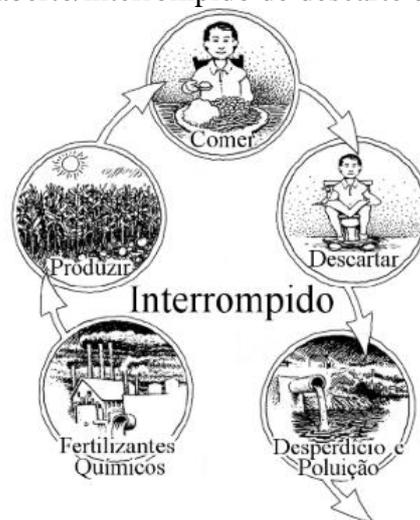
de lodo contaminado e a poluição dos corpos hídricos por nutrientes, substâncias perigosas, patógenos, produtos farmacêuticos, hormônios, etc., causando danos ambientais e eutrofização do ciclo da água (WERNER, 2008).

A Figura 3 apresenta a dinâmica convencional de descarte das águas residuárias, a qual interrompe a ciclagem de nutrientes produzidos nas atividades humanas, enquanto Fonseca (2008, p.80) expõe o quanto esses sistemas lineares promovem o desperdício de energia e recursos:

Por exemplo, o tratamento de esgoto (aeróbio) remove os nutrientes (amônio e fosfato) com gasto de energia e de material, para finalmente liberar o nitrogênio gasoso para a atmosfera, e fixar o fosfato via processo biológico ou químico, no lodo. Ao mesmo tempo a indústria de adubo artificial produz fertilizantes com mais gasto de energia ainda, retirando o nitrogênio do ar e fosfatos de minerais naturais (FONSECA, 2008, p.80).

Segundo Jenkins (2005), a Agricultura Sustentável defende que após o cultivo os resíduos orgânicos resultantes dessas culturas, incluindo excrementos de animais, sejam devolvidos ao solo de onde as culturas se originaram, porém, em controvérsia, existe uma lacuna em relação ao uso dos resíduos humanos para fins agrícolas. O ciclo natural de nutrientes humanos é negligenciado e abre brechas, gerando poluição, perda de fertilidade do solo, abuso e escassez de nossos recursos hídricos. Esrey (2000) afirma que esses problemas irão somente piorar enquanto não priorizarmos soluções que visem uma sociedade que recicla, os problemas que possuímos atualmente não serão resolvidos com o mesmo viés de pensamento que os criaram.

Figura 3. Ciclo tradicional aberto/interrompido de descarte dos dejetos humanos.



Fonte: Adaptado de Jenkins (2005).

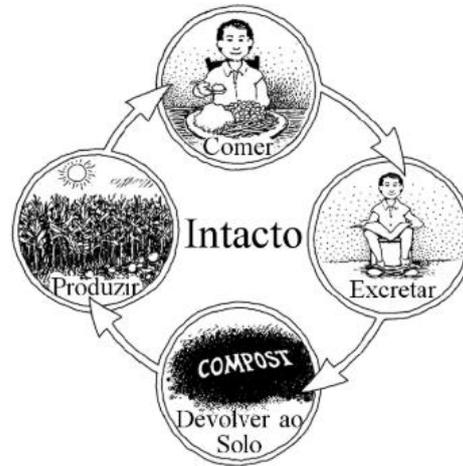
O Saneamento focado em recursos ou saneamento ecológico (em inglês, *Ecological Sanitation* - Ecosan) surge como abordagem alternativa, ecológica e economicamente sustentável às soluções convencionais de saneamento. O Ecosan introduz como estratégia a visão holística e interdisciplinar em relação a gestão de águas servidas, despertando assim uma nova filosofia na qual o efluente gerado é visto não mais como resíduo, mas sim como uma fonte de recursos. Suas práticas são flexíveis, adaptadas as necessidades de cada localidade e defendem a implementação sistemática do reuso e da reciclagem de nutrientes e água como alternativa higienicamente segura (ESREY, 2001).

A racionalização do uso de água potável, a separação de efluentes e o reuso de águas residuárias, são medidas que visam garantir a ciclagem de nutrientes humanos. Evitar a diluição desnecessária das excretas e águas de uso doméstico além de minimizar o consumo de água potável ainda melhora as condições de saúde, evitando que patógenos de excrementos humanos entrem no ciclo da água, preservando assim esse recurso (WERNER, 2008).

A separação na origem das diferentes frações de esgotos, como águas provenientes do vaso sanitário (patógenos), da pia (matéria orgânica), chuveiro e máquina de lavar (detergentes), permite a aplicação de processos de tratamento específicos, valoriza cada uma das frações e otimiza a reutilização e reintrodução das águas e dos nutrientes em seus ciclos naturais, figura 4 (OTTERPOHL, 2001). Magri *et al.*, (2011) afirmam que as águas provenientes dos chuveiros e máquina de lavar roupas possuem grande potencial de reuso na própria residência, enquanto Gonçalves (2006) expõem que o gerenciamento racional da urina na origem propicia a reciclagem de importantes quantidades de nutrientes (N, P, K e S) para a agricultura, além de reduzir os riscos de eutrofização de corpos de água.

A recuperação e reciclagem para fins agrícolas de nutrientes e água presentes nas águas residuárias garantem a utilização de forma econômica, reciclada e segura da água para fins como irrigação ou recarga de águas subterrâneas. Os nutrientes presentes ajudam a preservar a fertilidade e saúde do solo inibindo a necessidade do uso de fertilizantes químicos prejudiciais e evitando erosões, conseqüentemente melhoram a produtividade das culturas e recuperam bioenergia, trazendo assim benefícios e garantindo a segurança alimentar das gerações futuras (WERNER, 2003).

Figura 4. Ciclo orgânico fechado.



Fonte: Adaptado de Jenkins (2005).

Uma ampla gama de tecnologias pode ser aplicada dentro do contexto do saneamento ecológico, de forma que não existe uma solução técnica específica, mas sim adaptações dos sistemas sanitários para atender às necessidades sociais, econômicas e ambientais em determinado contexto (WERNER, 2008). Os sistemas variam em simples de baixa tecnologia a soluções sofisticadas de alta tecnologia e são aplicáveis em ambos os hemisférios, norte e sul, em áreas rurais e urbanas, independente da condição socioeconômica (ESREY, 2001).

Nos sistemas de baixa tecnologia, as fezes e a urina são mais frequentemente coletadas e tratadas no local, com os reusos de água e nutrientes sendo aplicados localmente. Nesta abordagem é comum o uso de banheiros secos (com ou sem separação de urina), dispositivos que não utilizam água para o descarte ou transporte das excretas (MAGRI, 2013). Os sistemas de alta tecnologia dentro do contexto do Ecosan incluem o uso da tecnologia de vácuo para coletar águas residuárias com menor consumo de água, precipitação de estruvita para a recuperação de nutrientes e tecnologia de membrana para a recuperação de água para irrigação, industrial ou fins domésticos (WERNER, 2008).

3.2.1 Águas de Reuso e Regulamentação Brasileira

O tratamento e reuso das águas residuárias é primordial para manutenção da qualidade do ambiente e de saúde das populações (RAMOS, 2009). Além disso, o efluente separado tratado apresenta papel fundamental como substituto no uso de águas destinadas a fins não potáveis (irrigação, lavagem de carros e calçadas, vaso sanitário, entre outros) (CUNHA et al. 2011) possibilitando, assim, a redução da quantidade de água retirada de mananciais e a contaminação de corpos d'água pela deposição de esgotos (ANDRADE FILHO et al. 2013).

A Resolução nº 54/2005 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH que estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reuso direto não potável de água define em seu artigo 2º:

- I - Água residuária: esgoto, água descartada, efluentes líquidos de edificações, indústrias, agroindústrias e agropecuária, tratados ou não;
- II - Reuso de água: utilização de água residuária;
- III - Água de reuso: água residuária, que se encontra dentro dos padrões exigidos para sua utilização nas modalidades pretendidas; (BRASIL, 2005, p. 1)

Na escala residencial, a separação de águas residuárias permite soluções especializadas para o gerenciamento dos efluentes, aumentando a eficiência da reciclagem de água e de nutrientes, permitindo ao mesmo tempo uma redução no consumo de energia em atividades de saneamento (OTTERPOHL, 2001). Posto isso, a separação ocorre da seguinte forma, de acordo com a Gonçalves (2006):

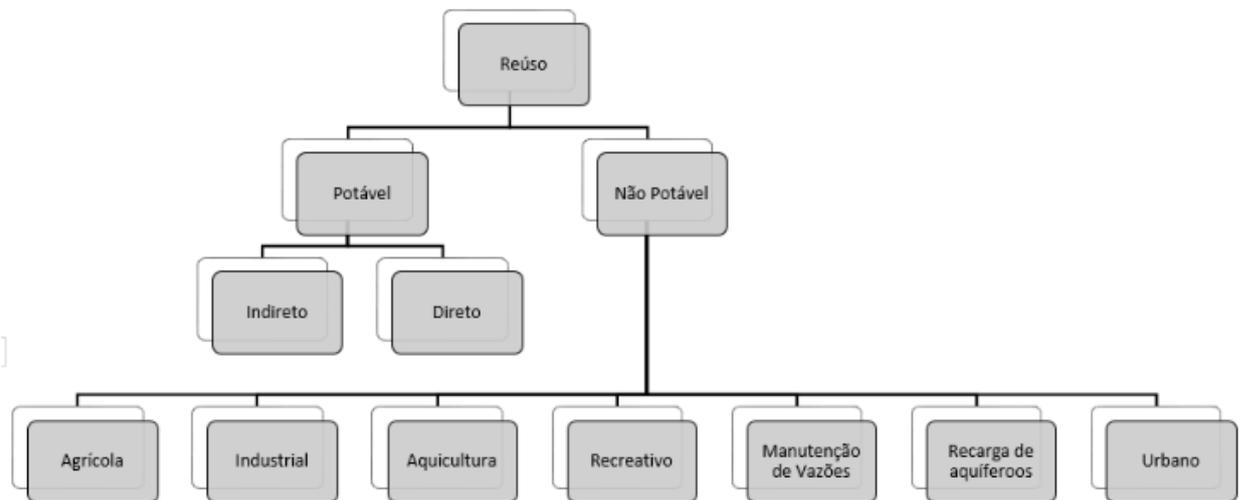
- Águas Marrons: água residuária contendo material fecal e papel higiênico, proveniente de dispositivos separadores de fezes e urina;
- Águas Amarelas: água residuária contendo principalmente urina também proveniente de dispositivos separadores de fezes e urina;
- Águas Negras: água residuária provenientes dos vasos sanitários; contém fezes e urina e pode conter papel higiênico e água residuária de cozinhas;
- Águas Cinzas: água residuária produzida em banheiras, chuveiros, lavatórios, máquinas de lavar, tanques, podendo ou não incluir pias de cozinha (ERIKSSON et al., 2002)

Visto que essas categorias possuem composições muito diferentes e, portanto, concentrações de poluentes também diferentes, de modo a requerer níveis de tratamento de acordo a sua caracterização e aos requisitos de qualidade exigidos para o tipo de reuso escolhido.

Como exposto na Figura 5, o reuso de água pode ser classificado em potável e não-potável, de forma que o reuso potável subdivide-se em direto e indireto, onde ambos recebem

tratamento, porém, respectivamente, um é reintroduzido diretamente no sistema de reutilização enquanto outro é disposto em águas superficiais ou subterrâneas para diluição, purificação natural e subsequente captação, tratamento e finalmente utilizado como água potável. As subcategorias do reuso não-potável são divididas de acordo com sua finalidade, como por exemplo: para usos agrícolas, industriais, domésticos, recreacionais, em manutenções de vazões, na aquicultura e na recarga de aquíferos subterrâneos (MANCUSO & SANTOS, 2003).

Figura 5. Classificação dos tipos de reuso.



Fonte: Rezende, 2016.

Ainda que exista exemplos de aplicação prática bem-sucedidas, o reuso potável direto não tem sido recomendado devido à dificuldade de caracterização detalhada das águas residuárias, o que é determinante para a definição do seu nível de tratamento e pode representar risco à saúde humana (FLORENCIO *et al.*, 2006). De uma maneira mais abrangente, a prática do reuso só pode ser implantada se as características do efluente forem compatíveis com a aplicação. No que tange a esgotos domésticos urbanos, usos para fins não potáveis devem prevalecer, já que nesse caso as necessidades de qualidade da água são mais flexíveis (HESPANHOL, 2003).

Neste tópico, a Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (1997), em sua norma NBR 13969, que aborda sobre reuso, afirma que:

No caso do esgoto de origem essencialmente doméstica ou com características similares, o esgoto tratado deve ser reutilizado para fins que exigem qualidade de água não potável, mas sanitariamente segura, tais como irrigação dos jardins, lavagem dos pisos e dos veículos automotivos, na descarga dos vasos sanitários, na manutenção

paisagística dos lagos e canais com água, na irrigação dos campos agrícolas e pastagens etc. (ABNT, 1997 pg. 21).

A norma NBR 13.969/97 ainda prevê a classificação, os reusos e seus respectivos padrões de qualidade como é apresentado no Quadro 1 a seguir.

Quadro 1. Classificação, reuso e padrões de qualidade previstos.

Água de Reuso	Aplicações	Padrões de Qualidade
Classe 1	Lavagem de carros e outros usos com contato direto com o usuário.	Turbidez < 5 uT Coliformes Termotolerantes < 200 NMP/100 ml Sólidos Dissolvidos Totais < 200 mg/L pH entre 6 e 8 Cloro residual entre 0,5 mg/L a 1,5 mg/L
Classe 2	Lavagem de pisos, calçadas e irrigação de jardins, manutenção de lagos e canais paisagísticos, exceto chafarizes	Turbidez < 5 uT; Coliformes Termotolerantes < 500 NMP/100 mL; Cloro residual superior a 0,5 mg/L
Classe 3	Descargas em vasos sanitários.	Turbidez < 10 uT; Coliformes Termotolerantes < 500 NMP/100 mL
Classe 4	Irrigação de pomares, cereais, forragens, pastagem para gados e outros cultivos através de escoamento superficial ou por sistema de irrigação pontual.	Coliformes Termotolerantes < 5000 NMP/100 ml Oxigênio dissolvido > 2,0 mg/L

FONTE: (FONSECA, A. R. 2008) - Adaptado de: NBR 13969/1997.

A legislação sobre o reuso de águas residuárias possuem duas vertentes específicas, de modo a estabelecer limites de qualidade para a água a ser reutilizada e regulamentar a aplicação da prática (GONÇALVES, 2006). Atualmente, o Brasil carece de ambas, não havendo legislação federal específicas sobre o reuso, as ações neste contexto são guiadas a partir da Norma Técnica NBR 13.969/97, da Resolução nº 54 de 28 de novembro de 2005 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH, apresentadas anteriormente, e outros instrumentos como o Manual de Conservação e Reuso de água em Edificações da FIESP (2005), PROSAB, Normas internacionais ou diretrizes da Organização Mundial de Saúde – OMS. Alguns estados e municípios brasileiros buscam incentivar a prática promovendo resoluções e legislações próprias, entretanto ou são brandas ou restritivas.

Ainda que o reuso de água possa ter inúmeras destinações finais, todas convergem para a condição que restringe a exposição ao contato com a água visando a saúde do usuário. Como visto, o reuso mais indicado para as águas cinzas é o domiciliar para fins não potáveis, como descargas sanitárias, lavagem de superfícies e irrigação de jardins. A seguir são apresentados os limites exigidos para estas atividades na Tabela 1.

Tabela 1. Critérios de qualidade da água de reuso para atividades domiciliares.

Parâmetros	FIESP (2005)			NBR 13.969/97		
	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 1	Classe 2	Classe 3
CF (NMP/100 mL)	ND	≤ 1.000	≤ 200	< 200	< 500	< 5.000
pH	6,0 - 9,0	6,0 - 9,0	6,0 - 9,0	6,0 - 8,0	-	-
Cor (UH)	≤ 10	-	≤ 30	-	-	-
Turbidez (UT)	≤ 2	-	≤ 5	≤ 5	≤ 5	≤ 10
Odor e aparência	ND	ND	-	-	-	-
Óleos e graxas (mg/L)	≤ 1	≤ 1	-	-	-	-
DBO (mg/L)	≤ 10	≤ 30	≤ 20	-	-	-
COV	A	A	-	-	-	-
Nitrato (mg/L)	< 10	-	-	-	-	-
Nitrogênio amoniacal (mg/L)	≤ 20	-	-	-	-	-
Nitrito (mg/L)	≤ 1	-	-	-	-	-
Fósforo total (mg/L)	≤ 0,1	-	-	-	-	-
SST (mg/L)	≤ 5	30	≤ 20	-	-	-
SDT (mg/L)	≤ 500	-	-	≤ 200	-	-
CR (mg/L)	-	-	-	0,5 - 1,5	≥ 0,5	-

Legenda: CF – Coliformes fecais, COV – Carbono orgânico Volátil, CRT - Cloro residual total, SST - Sólido suspenso total, SDT- Sólido dissolvido tota, ND – Não detectáveis, A- Ausentes.

Fonte: Elaborada pela autora.

A classes na NBR 13.969/97 são dispostas de modo que a Classe 1 corresponde a atividades como lavagem de carros e outros usos que requerem o contato direto do usuário com a água e chafarizes; Classe 2: Lavagem de pisos, calçadas e irrigação dos jardins e fins paisagísticos; Classe 3: Descargas sanitárias. Já no Manual da Fiesp (2005), Classe 1: Descarga de bacias sanitárias, lavagem de pisos, roupas e veículos; Classe 2: construção civil; Classe 3: Irrigação superficial de áreas verdes e rega de jardim.

Os aspectos estéticos da água de reuso são um fator determinante do sucesso desta prática (Gonçalves, 2006), a Fiesp (p. 51, 2005) ainda apresenta exigências mínimas:

A- Água para irrigação, rega de jardim, lavagem de pisos:

- Não deve apresentar mau-cheiro;
- Não deve conter componentes que agridam as plantas ou que estimulem o crescimento de pragas;
- Não deve ser abrasiva;
- Não deve manchar superfícies;
- Não deve propiciar infecções ou a contaminação por vírus ou bactérias prejudiciais à saúde humana.

B- Água para descarga em bacias sanitárias:

- Não deve apresentar mau-cheiro;
- Não deve ser abrasiva;
- Não deve manchar superfícies;
- Não deve deteriorar os metais sanitários;
- Não deve propiciar infecções ou a contaminação por vírus ou bactérias prejudiciais à saúde humana.

É válido ressaltar que tanto no Manual produzido pela Fiesp quanto na NBR13.969/97, a quantificação do risco não foi levada em consideração, adotando ambos um caráter conservador e restritivo apresentando recomendações que não são aplicáveis a grande parte das situações de reuso na escala descentralizada doméstica no Brasil e no mundo. Assim como é exposto em seu conteúdo, com o propósito da implementação de sistemas alternativos de oferta de água, os conceitos e exigências contidos no manual devem ser aprimorados e adaptados a cada situação de projeto (FIESP, 2005).

Em nível internacional, as diretrizes da organização mundial de saúde (OMS) apresentam níveis máximos de contaminação bacteriológica para reuso de água cinza. Em irrigações restritas o valor recomendado de *E. coli* é inferior a 10^5 NMP/100 mL, enquanto que para irrigações irrestritas deve ser inferior a 10^3 NMP/100 mL (WHO, 2006). NSWHEALTH (2002) recomenda evitar o contato direto com a água cinza, humano e animal; tratamento prévio com etapa de desinfecção para o reuso de águas cinzas em descarga sanitária; evitar a irrigação de culturas agrícolas cujo produto possa ser ingerido cru; evitar a interconexão das redes de água potável e de água de reuso, não estocar água cinza bruta (sem tratamento prévio com desinfecção) além de identificar criteriosamente as redes de água potável e de água de reuso.

3.2.2 Águas Cinzas

A fração do esgoto quando separação proveniente de uso de lavatórios, chuveiros, banheiras, pias de cozinha, máquina de lavar roupa e tanque é denominada água cinza (AC), ou seja, é todo o efluente gerado em uma residência nas atividades de higiene pessoal e limpeza domiciliar, excluindo-se a contribuição das bacias sanitárias (ERIKSSON, 2002; JEFFERSON et al., 2004; OTTOSON e STENSTRÖM, 2003). Esta fração ainda pode ser classificada como águas cinzas claras ou águas cinzas escuras, sendo a diferença entre elas o fato de que a água cinza escura abrange, além dos efluentes do chuveiro, lavatório e máquina de lavar, as águas residuais da cozinha, oriundas de pias e máquinas de lavar louças (NIZ e PAULO, 2013). Esta última, é desconsiderada por alguns autores como água cinza em decorrência de sua alta carga orgânica, o que a torna altamente poluída e putrescível, além de apresentar inúmeros compostos indesejáveis, como óleos e gorduras (NOLDE, 1999 e CHRISTOVA-BOAL et al., 1996).

Estudos evidenciam que o consumo de água por lavatórios, chuveiros, banheiras, pias de cozinha, máquina de lavar roupa e tanque, representa entre 50-80% do uso doméstico de água (FRIEDLER e HADARI, 2006; GONÇALVES, 2006; JAMRAH et al., 2008; NIZ e

PAULO, 2013). Ainda, estes usos são responsáveis por gerar cerca de 75% do volume de águas residuais produzido pelas famílias, podendo aumentar para até 90% caso sejam utilizados banheiros secos (HERNANDEZ LEAL *et al.* 2010), ou seja, do total de águas residuárias geradas em uma residência, a fração de água cinzas corresponde entre 75-90%.

As AC apresentam variações significativas em sua composição, de acordo com o local, tempo ou até volume de água que é consumido, podendo o efluente ser menos ou mais concentrado (MAGRI, 2009). Em função do ponto de amostragem, por exemplo, águas oriundas do lavatório, da máquina de lavar roupas ou ainda de chuveiros apresentam composição e concentrações de contaminantes diferentes (MAY, 2009), exposto no Quadro 2 e Tabela 2, assim como, sua caracterização pode ser afetada pelas degradações químicas e biológicas de alguns compostos na rede de transporte e durante o armazenamento (OTENG-PEPRAH, 2018).

Quadro 2. Composição das águas cinzas de acordo com a fonte.

Fonte das águas cinzas	Possíveis conteúdos
Máquinas de lavar roupa	Sólidos Suspensos (sujeira e fibras de algodão), matéria orgânica, óleos e graxas, sódio, nitratos e fosfatos (detergentes), sais dissolvidos e pH alterado, alvejantes;
Máquinas de lavar louça	Matéria orgânica e sólidos suspensos (partículas de comida), bactérias, sais dissolvidos e pH alterado, óleos e graxas, detergentes, água quente;
Lavatórios e chuveiros	Bactérias, cabelos, matéria orgânica e sólidos suspensos (pele, células), óleos e graxas, resíduos de sabão e detergente, água quente;
Pias, inclusive de cozinhas	Bactérias, matéria orgânica e sólidos suspensos (partículas de comida), óleos e graxas, resíduos de sabão e detergente.

Fonte: Rampelotto (2014)

Em geral, a água cinza contém, variando de acordo com a fonte geradora, altas concentrações de materiais orgânicos facilmente biodegradáveis, sais e detergentes, e cargas excessivas de determinados nutrientes como fósforo e seus derivados. Pode ocorrer também a presença de compostos orgânicos xenobióticos (FATTA-KASSINOS *et al.* 2011) e microrganismos patogênicos, como coliformes fecais e salmonelas. Na literatura, produtos farmacêuticos, de saúde e beleza, aerossóis, pigmentos (ERIKSSON *et al.* 2003) e metais

pesados tóxicos como Pb, Ni Cd, Cu, Hg e Cr (AONGHUSA e GRAY 2002; ERIKSSON *et al.* 2010) também foram encontrados em concentrações consideráveis em águas cinzas. Essa grande variabilidade qualitativa pode ser discriminada em três frentes: físicas, químicas e microbiológicas.

Tabela 2. Caracterização qualitativa das águas cinzas de acordo com a fonte.

Parâmetro	Chuveiro	Lavatório	Máquina de lavar
pH	8,9	7,3	9,0
Turbidez (NTU)	305,3	164,0	148,4
DQO total (mg/L)	1.145,1	423,3	831,0
Sólidos totais (mg/L)	784,2	413,1	1.353,8
Nitrogênio amoniacal (mg/L)	1,20	0,36	2,53
Nitrogênio nitrato (mg/L)	1,66	1,84	2,15
Fósforo total (mg/L)	18,6	4,9	23,9
Coliformes totais (NMP/100mL)	1,4E+06	1,8E+05	2,4E+06
Escherichia coli (NMP/100mL)	5,5E+04	1,3E+04	1,4E+05

Fonte: Elaborada pela autora. Adaptado de Magri (2009).

As características físicas são associadas a aparência física das águas cinzas onde estão incluídos parâmetros como temperatura, turbidez e sólidos suspensos, entre outros. Resíduos de alimentos, partículas de terra e areia, cabelos e fibras de tecidos são alguns exemplos de material sólido encontrados, de forma a conferir aspecto desagradável as águas cinzas, além de servirem de abrigo para microrganismos (GONÇALVES, 2006) que podem ter seu crescimento estimulados por altas temperaturas do efluente (GREY e BECKER, 2002). Os parâmetros de turbidez e sólidos suspensos devem ser observados pois podem causar o entupimento de instalações de passagem e afetar o tratamento do efluente (ERIKSSON *et al.*, 2002).

A constituição química das águas cinzas é diretamente influenciada pelos produtos químicos utilizados para fins de limpeza, cozimento e banho. Apesar de não possuir contribuições dos vasos sanitários, o conteúdo de matéria orgânica e inorgânica presente na água cinza é bastante significativo devido aos resíduos corporais, sabão, resíduos de alimento, etc. A utilização de detergentes e sabões resultam em concentrações de fósforo e derivados, enquanto, quando admitida a contribuição da cozinha (água cinza escura), os resíduos de alimentos são a principal fonte de nitrogênio e suas formas (GONÇALVES, 2006). O pH,

apesar de também influenciado pelos produtos químicos utilizados, depende diretamente das características da água de abastecimento (ERIKSSON et al., 2002).

Segundo Gonçalves (2006), a limpeza das mãos após o uso da toalete, lavagem de roupas e alimentos com contaminação fecal ou o próprio banho são algumas das possíveis fontes de contaminação por microrganismos patogênicos nas águas cinzas. Mesmo que a concentração de indicadores de contaminação fecal, como coliforme total, coliforme termotolerantes e *E. coli*, seja menor na água cinza do que a encontrada na água negra, elas não são desprezíveis e evidenciam a necessidade de estudos voltados à análise de risco microbiológico a fim de garantir o reuso seguro.

Considerando a realidade brasileira, a implantação de sistemas de captação, tratamento e distribuição de águas cinzas a nível municipal é inviável, sendo assim, esse tipo de reuso é mais indicado a nível doméstico e condominial – usos locais (REZENDE, 2016). Os riscos de contaminação e risco a saúde humana ficam sujeitos a eficiência do tratamento aplicado nas águas cinzas e ao nível de exposição do indivíduo a esta água de reuso.

Posto isso, os reusos mais viáveis para as águas cinzas em uma residência são os não-potáveis como a descarga de vasos sanitários e irrigação de jardins. Eriksson et al. (2002) propõem ainda usos como lavagem de vidros, lavagem de automóveis, combate a incêndios, preparo de concreto e água para caldeira.

Mendonça (2004) descreve que, para sistemas de reuso de águas cinzas possam ser projetados e construídos de forma sustentável, ecoeficiente e segura, um conjunto de fatores precisa ser atendido e deve ser verificados por análises socioeconômicas e ambientais a fim de atender aos requisitos mínimos exigidos para o uso proposto.

3.3 WETLANDS CONSTRUÍDOS

Os *wetlands* construídos (WC) (Figura 6) são sistemas de tratamento manejáveis que foram projetados e construídos para simular, em ambiente controlado, os processos ocorridos em *wetlands* naturais (Figura 7) (VYMAZAL, 2008). O termo *wetlands* (inglês) ou áreas alagáveis caracteriza ecossistemas naturais que ficam parcial ou totalmente inundados durante o ano. Estes sistemas possuem alta potencialidade em controlar o fluxo de nutrientes e poluentes, e durante séculos foram utilizados para disposição final ou tratamento de efluentes (SALATI, 2003; VYMAZAL, 2010).

Figura 6. *Wetland* construída.



Figura 7. *Wetland* natural.



Fonte: (<https://www.worldatlas.com>, 2019).

Esforços conservacionistas inibiram o uso destas áreas naturais para propósito aplicado, o que acarretou o desenvolvimento de pesquisas em *wetlands* construídos. A partir da década de 1950, na Alemanha, foram iniciadas as primeiras experiências na utilização de áreas alagadas construídas para tratamento de águas residuárias pelo Dr. ^a Kaëthe Seidel, e em 1960 foram postos em operação os primeiros sistemas em larga escala (HAMMER, 1989; VYMAZAL, 2010). No Brasil o primeiro projeto foi realizado por SALATI *et al.* (1984) e desde então estão sendo desenvolvidas novas tecnologias, procurando-se especialmente aumentar a eficiência do sistema e diminuir os investimentos. (SALATI, 2003; SEZERINO *et al.* 2015).

Esses sistemas são módulos escavados no terreno com o fundo e as laterais impermeabilizados, preenchido usualmente com areia e brita, aonde as macrófitas do tipo emergentes são plantadas diretamente no material filtrante (PHILIPPI e SEZERINO, 2004) proporcionando condições para que seja estimulado a formação de biofilme, o qual agrega uma população variada de microrganismos na rizosfera (HOUSE e BROOME, 1990).

Os elementos do sistema – material suporte, plantas e microrganismos – participam diretamente nos processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem nos WC, promovendo a depuração das águas residuárias. A remoção de parcela dos principais poluentes do esgoto - sólidos suspensos, compostos orgânicos solúveis, nitrogênio, fósforo, microrganismos, e eventualmente metais pesados - é facilitada pelos diversos mecanismos que ocorrem simultaneamente, nas diferentes configurações de WC (PHILIPPI e SEZERINO, 2004), como é sintetizado no Quadro 3. Os microrganismos possuem o papel de promover a degradação aeróbia ou anaeróbia e também a transformação da matéria nitrogenada; o material filtrante

promove principalmente a filtração e a adsorção; as plantas, por sua vez, assimilam nitrogênio e fósforo (MONTEIRO, 2014)

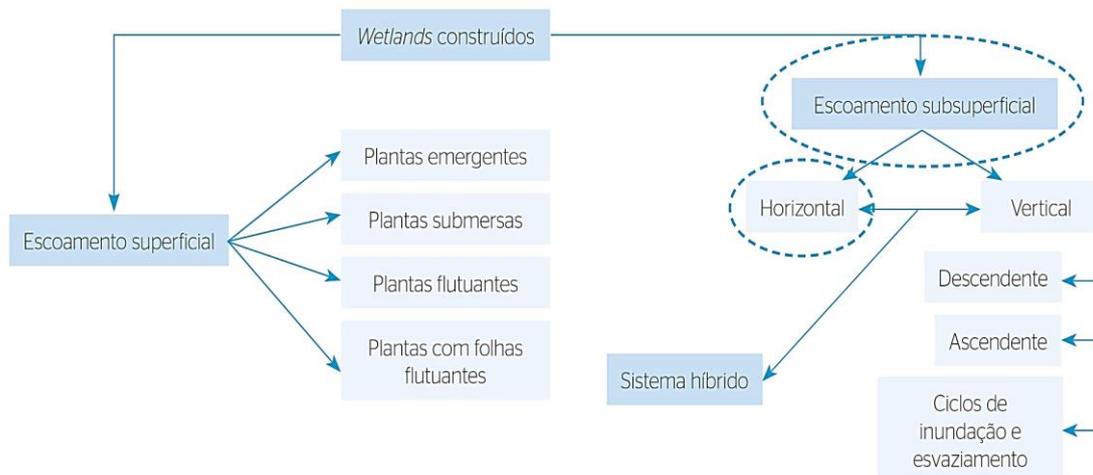
Quadro 3. Mecanismos de remoção de poluentes dos WC.

Constituintes dos Esgotos	Mecanismos de Remoção
Sólidos Suspensos	- Sedimentação – Filtração
Compostos Orgânicos Solúveis	- Degradação microbiana aeróbia - Degradação microbiana anaeróbia
Nitrogênio	- Amonificação seguida de nitrificação - Assimilação pelas plantas - Desnitrificação – Adsorção - Volatilização de amônia
Fósforo	- Absorção e Adsorção - Assimilação pelas plantas
Metais	- Adsorção e troca catiônica - Complexação - Precipitação - Assimilação pelas plantas - Oxidação/redução microbiana
Patogênicos	- Sedimentação – Filtração - Morte natural - Predação

Fonte: (Adaptado de MONTEIRO, 2014 *apud* COOPER *et al.*,1996).

Os principais parâmetros de projeto que categorizam os sistemas construídos atualmente são a hidrologia, o tipo do crescimento da planta macrófita e a trajetória do fluxo, apresentados na Figura 8. Além disso, diferentes tipos de *wetlands* construídos podem ser combinados entre si, explorando assim as vantagens de cada sistema para um melhor resultado. (VYMAZAL, 2008)

Figura 8. Classificação dos wetlands construídos



Fonte: (SEZERINO *et al.*, 2015 - adaptado de VYMAZAL e KROEPFELOVÁ, 2008).

Dentre as variações, os *wetlands* são classificados em dois grandes grupos: escoamento superficial ou lâmina livre e escoamento subsuperficial. Este último ainda é subdividido pela direção do fluxo hidráulico: horizontal e vertical. Os sistemas de fluxos de lamina livre são os que mais se assemelham a *wetlands* naturais, possuindo um fluxo superficial e livre, características que estimulam a geração de odores e proliferação de mosquitos, motivando assim a preferência pelo escoamento subsuperficial nos projetos (MONTEIRO, 2014).

No *wetland* construído de fluxo vertical (WC -FV) o afluente é disposto sobre a superfície do filtro de forma intermitente, de modo a ocorrer a percolação ao longo de todo o perfil vertical do módulo até o efluente tratado ser coletado no fundo por meio de tubulações de drenagem (fluxo descendente), ou ainda, pode ocorrer a variação de fluxo a qual o afluente é introduzido na parte inferior e coletado na superfície (fluxo ascendente) (PHILLIPI e SEZERINO, 2004). Além da filtração, o biofilme aderido ao meio suporte promove o tratamento do afluente (HOFFMANN et al., 2011). A alimentação intermitente provoca uma maior oxigenação, também favorecendo a degradação aeróbia e a nitrificação (MACHADO *et al.*, 2017). Este modelo pode ser aplicado para qualquer tipo de efluente, sejam águas negras ou cinzas, efluentes sanitários ou industriais degradáveis (PLATZER, 2007)

O fluxo horizontal dos *wetlands* construídos nesta configuração (WC-FH) é impulsionado devido a uma declividade no fundo de forma que o efluente a ser tratado é disposto na porção inicial e percola vagorosamente através do leito filtrante, tendo contato com regiões aeróbias, anóxicas e anaeróbias, até atingir a porção final, a qual assim como a porção inicial, geralmente é composta por brita (SEZERINO *et al.*, 2015). A camada aeróbia ocorre ao redor das raízes das macrófitas (rizosfera), pois estas tendem a transportar oxigênio da parte aérea para a parte submersa, ocasionando assim a depuração através de processos físicos, químicos e, mais efetivamente, devido à degradação microbiológica. As demais regiões – anóxicas e anaeróbias – ocorrem nas camadas mais profundas do leito (PHILLIPI e SEZERINO, 2004). Como vantagem, o sistema dispensa a utilização de bomba em terrenos onde a declividade é favorável. Contudo, o emprego deste tipo de sistema limita-se ao tratamento de efluentes com baixa carga orgânica, como água cinza (PLATZER *et al.*, 2007a) ou impõem a necessidade de recirculação dentro do sistema visando melhorar o desempenho para cargas mais elevadas e desnitrificação (BRIX, 1994).

Segundo Kivaisi (2001), comparado aos sistemas convencionais de tratamento, *wetlands* construídos são de baixo custo, fácil operação e manutenção, e suas características denotam grande potencial para aplicação em países em desenvolvimento, especialmente em pequenas comunidades rurais.

3.3.1 *Wetlands* Construídos para Tratamento de Águas Cinzas

O tratamento adequado da água cinza antes da reutilização é importante para reduzir os riscos da transmissão de patógenos (CARROLL et al, 2006). A escolha do sistema ideal deve ser balizada pela qualidade exigida para o reuso da água, fato relacionado diretamente com os usos propostos, e pelas características qualitativas da água cinza, as quais variam em função dos usos geradores e da cultura dos residentes, resultando assim em uma série de alternativas de sistemas de tratamento aptos (MAGRI *et al*, 2011), variando desde sistemas simples em residências até séries de tratamentos avançados para reuso em larga escala (JEFFERSON et al., 1999).

Gonçalves (2006) aponta que uma estação de tratamento de águas cinzas (ETAC) deve possuir níveis primário e secundário, afim de garantir uma água de reuso inodora, com baixa turbidez e baixa densidade de coliforme termotolerante. Assim, as tecnologias aplicadas aos tratamentos de águas cinzas incluem sistemas físicos, químicos e biológicos, os quais, para evitar o entupimento dos sistemas e atender aos requisitos microbiológicos são precedidos por uma etapa de separação sólido-líquido como pré-tratamento (LI et al. 2009).

Os sistemas físico-químicos adotam métodos de tratamento como filtração, adsorção e osmose reversa. Já os biológicos, adotam uma combinação de microrganismos, luz solar e manipulação de oxigênio; Exemplos de tais sistemas incluem sistemas de lodo ativado, filtros biológicos e lagoas de estabilização. Os sistemas amplamente utilizados têm sido principalmente filtração, biorreatores de membrana, *wetlands* construídos e reatores UASB (OTENG-PEPRAH, 2018). Dentre as opções de tratamento de água cinzas, levando em consideração o desempenho do tratamento e os custos com operação e manutenção, os *wetlands* construídos são considerados, quando há disponibilidade de área, como a tecnologia mais ecológica e econômica para tratamento e reutilização de águas cinzas. (LI et al. 2009).

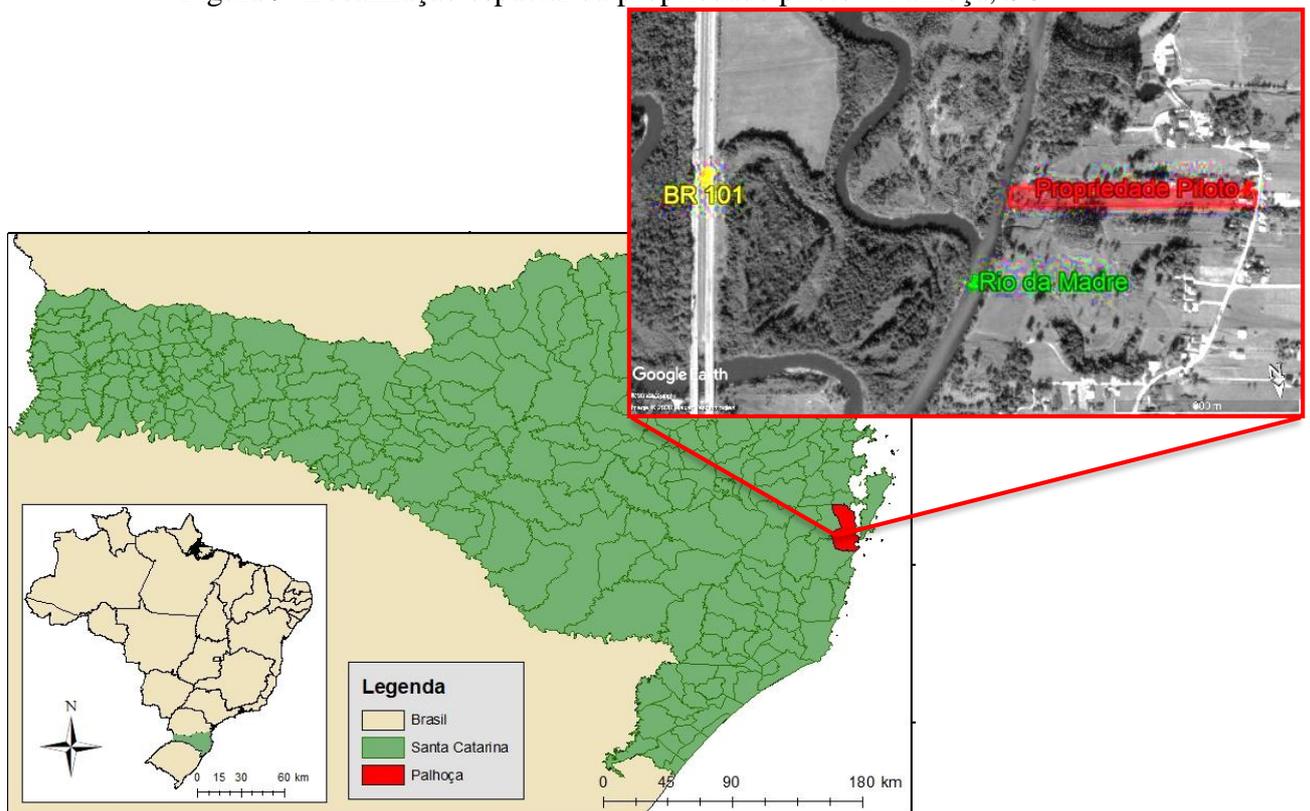
De fácil construção e operação, em seus variados *layouts*, o sistema de *wetlands* pode atingir mais de 90% de eficiência para remoção de sólidos em suspensão e demanda biológica de oxigênio, mais 80% para remoção de demanda química de oxigênio (GROSS et al., 2007) e dependendo das condições, podem atingir mais 50% da eficiência na remoção de fósforo (CHANG, 2015). Foi observado também que aplicando um pré-tratamento da água cinza, como tanques sépticos, peneira ou filtros, para reduzir a quantidade de partículas, óleo e graxa, é possível apresentar uma eficiência e qualidade do efluente ainda melhor (NOLDE, 1996; LI et al., 2009; GROSS, 2008).

4 METODOLOGIA

4.1 LOCALIZAÇÃO DO SISTEMA AVALIADO

O presente trabalho foi conduzido junto a um arranjo tecnológico com sistema de *wetland* construído para o tratamento de águas cinzas claras em uma residência localizada no bairro Três Barras, área rural do município de Palhoça, estado de Santa Catarina. O acesso a propriedade fica no km 244 da rodovia BR 101, próximo às margens do Rio da Madre (Figura 9). O estudo piloto implantado dista cerca de 45 km do centro da capital, Florianópolis, e 53 km da Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC.

Figura 9. Localização espacial da propriedade piloto – Palhoça, SC.



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

A região em que a propriedade se encontra é caracterizada pela agricultura familiar de subsistência, de modo que os 3 moradores fixos da residência atendida pelo sistema avaliado atuam na criação de gado, aves, plantio de milho, mandioca, horta de verduras e hortaliças e plantas frutíferas. A casa composta por dois banheiros, três quartos, duas pias de cozinha, e uma

área de serviço, onde há um tanque e uma máquina de lavar roupas, recebeu adaptações nas instalações hidrossanitárias de forma que o esgoto produzido fosse separado em águas cinzas e negras, além de também possuir um sistema de aproveitamento de água da chuva.

4.2 CARACTERÍSTICAS E CONFIGURAÇÃO DO SISTEMA AVALIADO

O projeto piloto avaliado foi implantado em 2010 como parte de um projeto de pesquisa pelo Grupo de Estudos em Saneamento Descentralizado (GESAD), do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFSC, e funciona e é operado desde então pelos moradores da residência. O sistema recebe e trata a contribuição de água cinza do tanque e da máquina de lavar roupas (águas cinzas claras) para reaproveitamento em fins não potáveis, como irrigação e vaso sanitário. É composto por tratamentos primário e secundário, respectivamente, tanque séptico e *wetland* construído (figura 10) onde ocorrem processos físicos e biológicos para a remoção dos poluentes. É válido ressaltar que na definição da configuração do sistema foi levado em consideração, além da finalidade do uso do efluente tratado, aspectos econômicos, ambientais e culturais do local, de modo a se optar por sistemas de fácil operação, manutenção e que se adaptassem ao meio, além da redução do uso de equipamentos tais como bombas, escolhendo assim um *wetland* de fluxo horizontal sub superficial (plantado com *Cyperus papiros*) operando por gravidade.

Figura 10. Tanque Séptico seguido de Filtro plantado Horizontal após implantação.



Fonte: Magri *et al.*, (2011).

De acordo com Magri (2011) e Pires (2012), o tanque séptico foi dimensionado de acordo com a norma técnica (ABNT, 1993) considerando temperatura média do mês mais frio do ano entre 10°C e 20°C e uma taxa de acumulação (K) prevendo a limpeza do tanque a cada dois anos. O tempo de detenção (T) no tanque séptico foi de um dia e o valor adotado para a geração de lodo fresco foi igual ao indicado para esgotos domésticos ($L_f=1,0$). Para o *wetland* construído foi simulando um fluxo pistão e cinética de primeira ordem, resultando em uma área superficial de 8 m², 4 m de comprimento, 2 m de largura e 1 m de altura. A camada de material filtrante é composta por 0,7 m de areia grossa, sendo o volume útil de 5,6 m³. A vazão foi estimada em 0,45 m³. d⁻¹ e a taxa de aplicação na seção transversal 320 L.m⁻².d⁻¹.

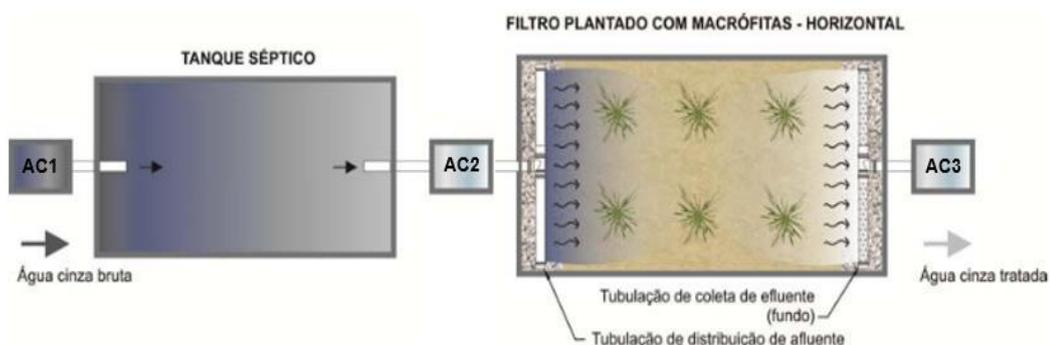
Na Tabela 3 e Figura 11, são expostas a representação esquemática do sistema avaliado e suas principais características. A caixa de inspeção AC1 recebe contribuição direta de água cinza bruta da residência que é encaminhada para o tratamento primário no tanque séptico (TS), e segue para a caixa de inspeção AC2, que faz a ligação entre o tanque séptico e o tratamento secundário do WC, a AC3 recebe e encaminha para o reservatório o efluente tratado, o qual será armazenado para a utilização na descarga no vaso sanitário e irrigação, sendo o excedente infiltrado no solo.

Tabela 3. Principais características do sistema avaliado.

Parâmetro	Tanque séptico	Wetland Construído
Vazão de projeto	450 L.dia ⁻¹	450 L.dia ⁻¹
Volume Útil	1,70 m ³	-
Taxa de aplicação da seção transversal	-	320 L.m ⁻² .dia ⁻¹
Dimensão	0,75:1,5:0,70 (m)	2:4:1 (m)
Área superficial	1,13 m ²	8 m ²
Material filtrante	-	Areia grossa (d ₁₀) = 0,4mm;
Altura meio filtrante	-	0,70 m
Macrófita	-	Cyperus papiros

Fonte: Adaptado de Magri *et al.*, (2011).

Figura 11. Representação esquemática do sistema avaliado.



Fonte: Magri *et al.*, (2011).

4.3 CARACTERIZAÇÃO QUALITATIVA DAS ÁGUAS CINZAS

4.3.1 Monitoramento e Análises laboratoriais

O sistema em questão, como já foi mencionado, está em operação desde 2010 e foi objeto de estudos publicados por Magri *et al.* (2011) (figura 12), Pires (2012), Magri *et al.* (2012) (figura 13) e Monteiro (2014) (figura 14), sendo conduzido monitoramento em diferentes períodos do seu funcionamento. O atual estudo (figura 15) realizou a coleta de amostras e análises laboratoriais em conformidade com os estudos precedentes, propiciando assim a avaliação e comparação do sistema a longo prazo. A seguir são expostos os registros obtidos das distru

Figura 12. WC com macrófitas (10 meses de operação) e a moradora da propriedade.



Fonte: Magri (2011)

Figura 13. Sistema de tratamento de águas cinzas (TS ao meio e WC à esquerda)



Fonte: Magri (2012)

Figura 14. Distribuição dos componentes do sistema



Fonte: Monteiro (2014)

Figura 15. Registro da aparência do sistema em outubro de 2019.



Fonte: Acervo da autora (2020).

Os pontos de coleta são nas três caixas de inspeção do sistema (Figura 11), de modo a possibilitar a amostragem da água cinza bruta (AC1), do efluente após tratamento primário (AC2) e do efluente após tratamento secundário (AC3). Assim foi possível investigar as características da água cinza gerada pela residência proveniente da máquina e do tanque de lavar roupas e a eficiência de tratamento de cada elemento do sistema, tanque séptico e *wetland* construído.

O monitoramento para as análises qualitativas foi realizado durante os meses de janeiro a março de 2020 de modo a ser feita uma coleta em cada mês. Após o recolhimento e a devida identificação das amostras pela equipe do projeto, com a utilização de equipamentos de segurança e minimizando a probabilidade de contaminação, estas eram armazenadas e direcionadas ao Laboratório Integrado de Meio Ambiente da UFSC (LIMA) para a realização das análises que foram feitas em duplicata para cada parâmetro. A seguir é apresentado o Quadro 4 contendo os parâmetros físico-químicos analisados e metodologia utilizada.

Todos os resultados utilizados e obtidos, tanto quanti como qualitativos foram tratados por meio do software *Microsoft Excel* e são expostos e discutidos a seguir.

Quadro 4. Parâmetros analisados e respectivos procedimentos metodológicos.

Parâmetro	Metodologia analítica
Potencial hidrogeniônico	Método eletrométrico - Standard Methods 4500-H ⁺ (APHA, 1998). Leitura em pHmetro digital, modelo B474 - MICRONAL [®]
Turbidez (NTU)	Turbidímetro HACH, modelo 2100P (APHA, 1995)
Sólidos em suspensão totais (mg/L)	Método gravimétrico - filtração em membrana de fibra de vidro e secagem a 105°C - Standard Methods 2130B (APHA, 1998)
DQO total (mg/L)	Digestão em refluxo fechado - método colorimétrico - Standard Methods 5220D (APHA, 1998). Leitura em espectrofotômetro HACH [®]
Nitrogênio amoniacal (mg/L)	Método colorimétrico de Nessler (VOGEL, 1981). Leitura em espectrofotômetro HACH [®]
Nitrogênio nitrato (mg/L)	Método colorimétrico com brucina - Standard Methods (APHA, 1972). Leitura em espectrofotômetro HACH [®]
Fósforo ortofosfato (m/L)	Método do ácido Vanadomolybdato (APHA, 1998). Leitura em espectrofotômetro HACH [®]
Escherichia coli (CFU/100mL)	Método de contagem de Unidades Formadoras de colônias.

Fonte: Elaborado da autora (2020).

4.4 DESEMPENHO DO SISTEMA EM 10 ANOS DE FUNCIONAMENTO

A partir das análises qualitativas supracitadas e dos estudos precedentes realizados sobre o sistema de tratamento em questão, foi possível parametrizar a eficiência atual de remoção de poluentes do sistema de tanque séptico seguido por *wetland* construído horizontal e por fim, realizar a avaliação do desempenho a longo prazo comparando os dados obtidos com as análises precedentes.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 CARACTERIZAÇÃO QUALITATIVA

As águas cinzas claras, provenientes da mistura dos efluentes do tanque e da máquina de lavar roupas da residência, foram submetidas ao monitoramento por meio de 3 campanhas para amostragem durante o período de janeiro a março de 2020, sendo essas amostras avaliadas qualitativamente através de análises laboratoriais, apresentadas na tabela 4.

Tabela 4. Caracterização qualitativa da água cinza bruta (AC1) monitorada.

Parâmetros	(unidade)	Média	Máx.	Min.	DP
Turbidez (3)	NTU	232,3	352,0	167,0	103,8
SST(3)	mg/L	131,2	150,0	118,0	16,7
pH(3)	-	7,8	9,2	6,9	1,2
DQO total(3)	mg/L	835,7	1002,7	631,2	188,6
N Amoniacal(3)	mg/L	5,5	9,8	3,1	3,7
N Nitratado(3)	mg/L	0,9	2,9	0,0	1,7
Ortofosfato(3)	mg/L	87,4	102,3	71,8	15,3
<i>Escherichia coli</i> (3)	UFC/mL	3,6x10 ⁶	7,7 x10 ⁶	9,4 x10 ⁵	3,6 x10 ⁶

Legenda:(n) = número de amostras analisadas; DP = desvio padrão da média; SST = Sólidos suspensos totais

Fonte: Elaborada da autora (2020).

Assim como observado por Eriksson *et al.* (2002) e Magri *et al.* (2009) em seus trabalhos, nos resultados obtidos referidos na Tabela 4 são notáveis os altos índices de desvio padrão quando comparados a suas respectivas médias, apontando assim, a ampla variação em concentrações e constituintes das águas cinzas que se dá devido as diferentes fontes, produtos utilizados e rotinas de cada residência.

As águas provenientes de lavanderias, quando comparadas com outras fontes mostram-se menos contaminadas por microrganismos e com menor presença de nitrogênio (LI *et al.*, 2009), entretanto apresentam maiores índices para poluentes orgânicos e parâmetros físicos como turbidez e sólidos totais, devido a presença de fibras, pelos, detergentes, partículas de sujeira etc. (EDWIN *et al.* 2014). O poluente mais significativo nas águas cinzas são os detergentes utilizados na lavanderia, os quais contêm altas concentrações de sais, e em muitos casos ainda possuem em sua constituição fósforos e ainda alta alcalinidade (DE GISI, 2016).

5.1.1 Características Físicas

Os aspectos físicos analisados neste estudo foram a turbidez e os sólidos em suspensão totais. O acompanhamento desses parâmetros permite entender a natureza das partículas e coloides presentes nas águas cinzas sendo algo essencial para a definição e avaliação do sistema de tratamento escolhido em caso de reuso (MAGRI, 2009) pois, a interação destes componentes com surfactantes, provenientes dos detergentes, pode causar entupimento nas instalações de passagem e afetar o tratamento dos efluentes (ERIKSSON *et al.*, 2002) impedindo que sejam usados para os fins propostos.

Analisando um compilado de 12 estudos distintos, Shaikh *et al* (2020) apresenta um intervalo de 34-510 NTU para turbidez em águas cinzas de lavadeiras. Ainda, o estudo aponta uma variação considerável nesses efluentes, possuindo casos de valores de desvio padrão de mesma proporção que as próprias médias (195 ± 155 NTU). O mesmo ocorre nos resultados obtidos para turbidez nesta pesquisa, o valor médio encontrado está dentro do intervalo apresentado na bibliografia e é de 232,3 NTU possuindo uma variação de desvio padrão igual a 103,8 NTU, a qual pode estar ligada a ampla variação de turbidez nos diferentes ciclos de lavagem de roupas, de modo que os ciclos de enxágue apresentam valores menores (14-29 NTU) quando comparados aos ciclos de lavagem (39-296 NTU) (ERIKSSON *et al.*, 2002).

O valor médio obtido para sólidos totais em suspensão foi de $131,2 \pm 16,7$ mg/L, ao passo que, publicações incluindo efluentes de lavanderia mostram uma variação entre 68-465 mg/L. Junto com as águas cinzas provindas de cozinhas, os efluentes da lavagem de roupa apresentam faixas de valores altas para este parâmetro podendo inclusive comparar-se com o esgoto doméstico tradicional, o qual apresenta concentração de sólidos suspensos na ordem de 120-450 mg/L (HENZE *et al.*, 2001), essa característica, como já mencionado é influenciada pelos produtos utilizados na lavagem bem como os resíduos liberados das roupas.

5.1.2 Características Químicas

Os parâmetros químicos analisados foram o Potencial Hidrogeniônico (pH), Demanda química de Oxigênio (DQO) total, Nitrogênio amoniacal (NH_4), Nitrogênio nitrato (NO_3) e Fósforo ortofosfato (PO_4). O valor médio obtido para o pH nesta pesquisa foi de $7,8 \pm 1,2$ sugerindo um caráter mais neutro-alcalino das águas cinzas da lavanderia, de acordo com o que

é exposto na literatura. De Gisi (2016) apresenta um intervalo de 7,1-10 para pH de efluentes da lavagem de roupas. Esses resultados recebem forte influência do pH da água de abastecimento assim como dos produtos químicos utilizados nas atividades, os quais possuem presença de materiais alcalinos presentes em detergentes. É notável também um desvio padrão considerável no resultado obtido, o que segundo Noah (2002) é justificável devido ao uso de máquinas de lavar roupas.

No geral, todos os tipos de águas cinzas apresentam boa biodegradabilidade em termos de DQO, no entanto, efluentes provenientes de lavanderias, assim como da cozinha, apresentam maior presença de matéria orgânica carbonácea resultando em um intervalo de valores para DQO total de 231-2.950 mg/L (DE GISI, 2016). O valor encontrado neste trabalho foi de $835,7 \pm 188,6$ mg/L e deriva dos produtos químicos domésticos utilizados, podendo inclusive ser comparado com a concentração de DQO total nos esgotos domésticos tradicionais (ERIKSSON *et al.*, 2002). SHAIKH *et al.* (2020) aponta que a quantidade de água utilizada nas atividades de cada residência também influencia os resultados de concentração de DQO, de modo que, residências com menor disponibilidade ou uso de água geram efluentes com maiores concentrações.

Os valores obtidos para nitrogênio amoniacal, nitrogênio nitrato e ortofosfato foram, respectivamente, de $5,5 \pm 3,7$ mg/L; $0,9 \pm 1,6$ mg/L e $87,4 \pm 15,3$ mg/L. O nitrogênio nitrato é analisado a fim de verificação da ocorrência de nitrificação, processo incomum em wetlands horizontais, o que justifica os baixos valores. A fonte destes nutrientes nas águas cinzas se deve pela presença de resíduos de alimentos, urina e detergentes (COUTO *et al.* 2013) de forma que, nas águas cinzas provindas de lavanderias, especificamente, a presença de fósforo e nitrogênio se dá quase exclusivamente pelo uso de produtos de limpeza ricos nestes constituintes.

Em relação ao nitrogênio, o efluente de lavanderia quando comparado as outras fontes de águas cinzas e também ao efluente doméstico, possui concentração muito inferior devido à ausência de urina (GONÇALVES, 2006). O oposto ocorre com a presença de fósforo, de modo que dentre as fontes de águas cinzas, a lavanderia apresenta maior concentração, inclusive quando comparada ao esgoto doméstico que apresenta valores típicos em torno de 10mg/L (JORDÃO E PESSÔA, 2005). Em função da utilização de produtos com diferentes composições assim como da quantidade de água, os valores discutidos na literatura para esses nutrientes são bem variáveis. Magri *et al.* (2009) apresenta valores médios para N. Amoniacal e N. Nitrato iguais a 2,5 mg/L e 2,2 mg/L, respectivamente, enquanto Eriksson *et al.* (2002) traz um intervalo de valores médios variando de 14-171mg/L para Ortofosfato.

5.1.3 Características microbiológicas

Podem ser encontrados em águas cinzas microrganismos como bactérias, protozoários e helmintos. O estudo guiado por O'Toole *et al.* (2012), em um programa de monitoramento microbiano em águas cinzas, apontou que a maior parte de *Escherichia coli* e vírus entéricos detectados foram provenientes das águas cinzas de lavanderias. Nesta pesquisa foi monitorado o indicador *E. coli*, e os valores médios obtidos foram de $3,6 \times 10^6$ (CFU/mL) chegando a valores máximos de $7,7 \times 10^6$ (CFU/mL) indicando que existe contaminação fecal. A presença desse microrganismo pode ser proveniente da lavagem das mãos após o uso da toalete, da urina, lavagem de fraldas, bem como de vegetais não cozidos e carne crua (DELHIRAJA e PHILIP, 2020). A literatura apresenta uma ampla faixa de valores de contaminação de águas cinzas, variando de não detectáveis até 1×10^7 CFU/100mL, podendo se assemelhar com a concentração em esgotos domésticos tradicionais (JEFFERSON e JEFFREY, 2013). Uma explicação para esse comportamento seria a maior diluição, pouca presença de fezes e uso ou não de produtos de limpeza (desinfetantes, água sanitária e sabões), os quais contribuiriam para diminuir ou eliminar a presença de microrganismos (FIGUEIREDO, 2019).

5.2 AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DO SISTEMA DE TRATAMENTO

A seguir, na Tabela 5, são expostos os valores médios para os parâmetros analisados em cada etapa do tratamento, assim como a eficiência global obtida. Em primeiro momento, é analisado a eficiência atual do sistema e o atendimento do efluente final as normativas vigentes para reuso não potável (ANA, FIESP e SINDUSCON, 2005; ABNT, 1997 e outros) (Tabela 6). Em seguida, com fundamentação pautada nos trabalhos precedentes realizados no Projeto piloto de Três Barras publicados por Magri *et al.* (2011), Pires (2012), Magri *et al.* (2012) e Monteiro (2014), buscou-se avaliar globalmente os resultados obtidos neste trabalho com o histórico de dados construído ao longo desses 10 anos de operação do sistema (Tabela 7).

Tabela 5. Parâmetros de qualidade da água cinza em cada etapa do tratamento empregado.

Parâmetros	(unidade)	Água Cinza Bruta		Saída Tanque Séptico			Água Cinza Tratada		
		Média	DP	Média	DP	R _{TS} (%)	Média	DP	R(%)
pH	-	7,8	1,2	7,2	0,2	-	7,2	0,1	-
Turbidez	NTU	232,3	103,8	153,3	71,1	34	11,5	15,2	95
DQO total	mg/L	835,7	188,6	584,1	61,7	30	101,7	22,8	88
N Amoniacal	mg/L	5,5	3,7	9,0	12,7	-	3,9	2,8	57*
N Nitrato	mg/L	1,0	1,7	0,0	0,0	-	0,5	0,9	-
Ortofosfato	mg/L	87,4	15,3	50,1	25,9	43	5,7	2,7	93
SST	mg/L	131,2	16,7	63,3	22,7	52	4,0	2,0	97
Escherichia coli	CFU/100mL	3,6x10 ⁶	3,6x10 ⁶	4,8x10 ⁵	7,2x10 ⁵	<1log ₁₀	2,2 x10 ⁵	2,1 x10 ⁵	<1log ₁₀

Legenda: n = número de amostragens; DP = desvio padrão da média; R_{TS} = Remoção no Tanque séptico; R = Remoção Global; * = Remoção no *wetland*.

Fonte: Elaborado pela autora (2020)

5.2.1 Remoção de Poluentes das Águas Cinzas e Adequação do Efluente às Normativas

As águas cinzas brutas providas da lavanderia, como já foi mencionado, apresentam uma propensão alcalina, alcançando pH de 9 unidades e desvio padrão de $\pm 1,2$ enquanto o efluente de saída do tanque séptico possui baixo desvio padrão ($\pm 0,2$) e pH próximo ao neutro (7,2), o mesmo ocorre no efluente do *wetland* construído. O pH possui influência sobre os processos biogeoquímicos de remoção ocorridos no sistema de tratamento, de forma que condições de neutralidade do meio são ideais para crescimento de microrganismos e decomposição da matéria orgânica (VENSKE, 2017), indicando também boas condições de tamponamento da solução aquosa (DE MENDONÇA, 2015). O intervalo de valores obtidos para o efluente final (saída do *wetland* construído), $7,2 \pm 0,1$ é compatível com os critérios de qualidade para reuso não-potável da FIESP (2005) e NBR 13.969/97 (Tabela 6).

Os parâmetros turbidez e os sólidos suspensos totais (SST) possuem uma relação direta, quanto maior o valor da turbidez maior será a quantidade de sólidos suspensos presentes nas águas cinzas (ZANELLA, 2008), sendo o contrário também verdadeiro, como observa-se nos resultados obtidos. As taxas de remoção global do sistema para turbidez e SST foram, respectivamente, 95 e 97% resultando em 11,5 NTU e 4 mg/L. O valor médio final de turbidez, apesar de muito baixo, não atende a nenhuma das classes de reuso de FIESP (2005) e NBR 13.969/97, porém a média de SST é abrangida por todas as classes, o que indica uma fragilidade e incoerência das normativas, que são consideradas muito restritivas e não adequadas à

realidade no Brasil e no mundo, no que tange a prática do reuso doméstico de efluentes separados (Magri *et al.*, 2019).

Tabela 6. Parâmetros analisados da água cinza tratada e relação com as normas de qualidade.

Parâmetros	FIESP (2005)			NBR 13.969/97			Água Cinza Tratada
	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Média
CF (NMP/100 mL)	ND	≤ 1.000	≤ 200	< 200	< 500	< 5.000	2,17x10⁵(1)
pH	6,0 - 9,0	6,0 - 9,0	6,0 - 9,0	6,0 - 8,0	-	-	7,2
Turbidez (UT)	≤ 2	-	≤ 5	≤ 5	≤ 5	≤ 10	11,5
Nitrogênio amoniacal (mg/L)	≤ 20	-	-	-	-	-	3,9
Nitrato (mg/L)	≤ 10	-	-	-	-	-	0,5
Fósforo total (mg/L)	≤ 0,1	-	-	-	-	-	5,7⁽²⁾
SST (mg/L)	≤ 5	30	≤ 20	-	-	-	4,0

Legenda: CF – Coliformes fecais, SST - Sólido suspenso total, ND – Não detectáveis, ⁽¹⁾ Concentração de E. coli (UFC/mL); ⁽²⁾ Concentração de Ortofosfato (mg/L).

Fonte: Elaborada pela Autora (2020).

A concentração inicial média de DQO total da água cinza bruta foi de 835,7 mg/L e chegou a 101,7 mg/L no final do tratamento, alcançando 88% de remoção, o valor, como apresentado por Oliveira (2019), representa uma boa eficiência para águas cinzas, contudo, a concentração encontrada na saída do sistema indica que o efluente ainda poderá degradar-se com o tempo podendo dessa forma, quando armazenado por longos períodos, causar odores indesejáveis e perda de qualidade da água. Para evitar este problema recomenda-se que as águas cinzas sejam reservadas por um período máximo de 24 horas, o que é feito por meio do dimensionamento dos reservatórios considerando este critério.

Além das baixas concentrações apresentadas, destaca-se na relação dos compostos nitrogenados com o sistema, a elevação de concentração média de nitrogênio amoniacal ocorrida no efluente do tanque séptico, que possui condições favoráveis para que nitrogênio orgânico encontrado nos efluentes sofra transformações por compostos orgânicos presente no meio, levando a formação de nitrogênio amoniacal (VON SPERLING, 2005). Concentrações de nitrogênio nitrato não foram detectáveis na passagem pelo tanque séptico e WC, o que denota a não ocorrência do processo de remoção de amônia por nitrificação. As baixas concentrações destes parâmetros na etapa final do tratamento também sugerem que a remoção final obtida de N Amoniacal (57%) se deve a adsorção pelo material filtrante e à assimilação pelas plantas (VYMAZAL, 2005).

Por outro lado, na água cinza bruta foi analisada altas concentração de fósforo ortofosfato e também ótima eficiência global de remoção (93%). Contudo, dentre as concentrações remanescentes desses nutrientes, fósforo ortofosfato (5,7 mg/L), nitrogênio nitrato (0,5 mg/L) e nitrogênio amoniacal (3,9 mg/L) a única que não alcançou os critérios mínimos de qualidade, expostos por ANA, FIESP e SINDUSCON (2005); ABNT, (1997), para reuso não-potável foi a de ortofosfato, apesar da ótima eficiência. Ainda assim, ressalta-se que a presença de nitrogênio e fósforo não interfere nas atividades de descarga de vaso sanitário e afins, e ainda, é benéfica quando se trata de reuso agrícola seja para irrigação ou fertilização. A OMS, em seu guia para o uso seguro de águas residuais, excrementos e águas cinzas, ainda aponta que esses elementos essenciais para o crescimento das plantas são potenciais poluidores em corpos hídrico, podendo causar eutrofização, sendo a sua aplicação no solo muito menos impactante do que a descarga direta em corpos d'água (WHO, 2006). Estas questões apontam novamente a provável defasagem dos documentos brasileiros com as recomendações de reuso citados.

Em seu trabalho Oteng-Peprah *et al.* (2018) afirma que o sistema de WC é ineficiente na remoção microrganismos como *E. coli* e ovos de helmintos, necessitando assim de um tratamento adicional caso o objetivo seja reuso. Assim como na literatura consultada o sistema de WC em questão não apresentou remoções significativas para o indicador *E. coli* sendo o valor de remoção média $<1 \log_{10}$ obtendo uma concentração de efluente final de $2,2 \times 10^5$ UFC/mL. Normas internacionais (CANADIAN GUIDELINES, 2010; ENVIRONMENT AGENCY, 2011), indicam como critérios de reuso para irrigação e limpeza de áreas externas concentrações menores que 200 CFU/100mL, enquanto no Brasil, o PROSAB indica para reuso predial, incluindo descarga de vaso sanitário, o valor de $<10^3$ CFU/100mL, não ocorrendo o enquadramento do efluente final do sistema em nenhum dos critérios supracitados. Ressalta-se que é provável que ocorra o recrescimento de bactérias no sistema, em função de condições ambientais favoráveis, como presença de matéria orgânica e pH neutro, o que pode influenciar também as elevadas concentrações de saída. Observa-se também que, uma vez conhecida as condições de saúde dos residentes geradores das águas cinzas, e sendo estas boas condições, é muito pouco provável a presença de cepas de bactérias patogênicas, mesmo com elevadas concentrações de bactérias indicadoras, o que reduz muito o risco à saúde em função do reuso não potável.

5.2.2 Eficiência a longo prazo de funcionamento

O parâmetro pH apresentou constância nos seus valores médios ao decorrer dos anos tanto na água cinza bruta quanto para o efluente final do sistema. Em relação aos anos anteriores pode-se aferir uma diminuição da DQO total das águas cinzas brutas da lavanderia, havendo uma redução de 32% da primeira publicação de monitoramento (2011) e a atual (2020), o que pode ser justificado pela mudança na constituição dos produtos de limpeza utilizados. O tanque séptico, com exceção do ano de 2014, manteve sua eficiência de remoção para DQO total na faixa de 30-39% apresentando um decaimento gradativo, mas ainda realizando uma remoção regular de DQO. O *wetland* construído apresentou o mesmo padrão de comportamento, variando sua eficiência de 87 para 83%, resultando na eficiência global do sistema de 92 para 88% em 2020.

Quanto à remoção de nutrientes, o processo de amonificação ocorre no tanque séptico durante todo o período de monitoramento aumentando a concentração de N amoniacal na saída desta etapa em cerca de 62% da entrada, de forma que o WC é o responsável pela remoção desse parâmetro no efluente final, o qual excetuando o ano de 2014, apresentou valores médios entre 3,4 e 3,9 (mg/L) mesmo que a eficiência desta etapa tenha apresentado as menores porcentagens para o sistema e tenha decaído de 75 para 57% atualmente. A ótima remoção de ortofosfato mostrou-se estável em todas as etapas de tratamento durante o período.

Assim como ocorreu com a DQO, a concentração nas águas cinzas brutas dos sólidos suspensos totais reduziu consideravelmente, 48% da concentração de 2011, podendo ser um dos motivos para a manutenção da eficiência global de 97%. Ainda para esses parâmetros, DQO e SST, é notável um grande decaimento de eficiência do tanque séptico em 2014, que assim como colocado por Monteiro (2014) indica a necessidade de limpeza desta etapa, condizendo com as especificações de projeto que previam a manutenção a cada 2 anos. Contudo, é notável que o tanque séptico cumpre seu papel de tratamento primário do efluente ao apresentar remoção de 52% de SST, contribuindo com a manutenção da eficiência do WC. Quanto à remoção de *E. coli*, a mesma possuiu em todos os anos de monitoramento valores $<1\log_{10}$.

Tabela 7. Compilado dos resultados do Projeto Piloto em Três Barras ao decorrer dos anos

Parâmetros	Ano	Água Cinza Bruta	Saída Tanque Séptico		Água Cinza Tratada		R _G (%)
		Média	Média	R _{TS} (%)	Média	R _{WC} (%)	
pH	2011	8,2	7,2	-	7,2	-	-
	2012 ^a	8,0	7,1	-	6,9	-	-
	2012 ^b	8,0	-	-	7,1	-	-
	2014	8,3	7,1	-	6,8	-	-
	2020	7,8	7,2	-	7,2	-	-
DQO total (mg/L)	2011	1227,9	753,1	39%	97,3	87%	92%
	2012 ^a	1199,5	787,4	34%	105,2	87%	91%
	2012 ^b	1236,3	-	-	97,3	-	92%
	2014	1025,3	962,5	6%	166,3	83%	84%
	2020	835,7	584,1	30%	101,7	83%	88%
N Amoniacal (mg/L)	2011	6,7	13,6	-	3,4	75%	49%
	2012 ^a	5,6	11,9	-	3,9	67%	30%
	2012 ^b	6,8	-	-	3,8	-	44%
	2014	2,8	11,3	-	5,1	55%	-
	2020	5,5	8,9	-	3,9	57%	30%
Ortofosfato (mg/L)	2011	90,6	50,4	44%	3,8	92%	96%
	2012 ^a	82,9	43,2	48%	4,6	89%	94%
	2012 ^b	73,9	-	-	4,4	-	94%
	2014	62,4	31,9	49%	8,4	74%	87%
	2020	87,4	50,1	43%	5,7	89%	93%
Sólidos suspensos totais (mg/L)	2011	252,4	91,0	64%	8,8	90%	97%
	2012 ^a	234,0	108,5	54%	13,9	87%	94%
	2012 ^b	239,9	-	-	13,4	-	94%
	2014	104,5	102,7	2%	6,6	94%	94%
	2020	131,2	63,3	52%	4,0	94%	97%
<i>Escherichia coli</i> (NMP/100mL)	2011	1,5x10 ²	5,0 x10 ¹	-	7,0 x10 ¹	-	<1log ₁₀
	2012 ^a	2,4x10 ²	2,0 x10 ²	-	1,7 x10 ²	-	<1log ₁₀
	2012 ^b	2,4 x10 ³	-	-	2,1 x10 ³	-	<1log ₁₀
	2014	5,2 x10 ¹	9,9 x10 ¹	-	1,3 x10 ²	-	-
	2020*	3,6 x10⁶	4,8 x10⁵	-	2,2 x10⁵	-	<1log₁₀

Legenda: R_{TS} = Remoção no Tanque séptico; R_{WC} = Remoção no *Wetland* Construído; R_G= Remoção Geral. 2012^a = Fonte Pires (2012); 2012^b = Fonte Magri *et al.* (2012); (*)= valores em UFC/mL.

Fonte: Elaborada pela autora (2020).

Por fim, o sistema possui e mantém uma boa eficiência geral, destacando-se a remoção de DQO total, turbidez, SST e Ortofosfato, acima de 88%, apesar das concentrações relativamente altas para esses parâmetros na entrada do sistema. É válido relacionar o bom desempenho do sistema também com as condições em que ele está inserido, propriedade unifamiliar, rural e com os hábitos dos seus residentes, que como foi apresentado, geraram uma diminuição de concentração de alguns poluentes das águas cinzas brutas. Vale ressaltar que

poucos estudos foram encontrados monitorando a eficiência de *wetlands* em uma escala de tempo como o estudo presente, sendo ainda mais escassa literatura envolvendo o reúso de águas cinzas.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A água cinza bruta provinda da lavanderia, ainda que a concentração dos parâmetros DQO e SST tenham diminuído consideravelmente 32% e 48%, respectivamente, em relação aos anos iniciais de monitoramento, apresenta elevados índices de contaminação, como constatado também nos trabalhos anteriores e de acordo a regulamentação vigente, podendo gerar riscos à saúde dos usuários e ao meio ambiente caso seu reúso seja feito sem passar por tratamento adequado.

No sistema de tratamento, o tanque séptico cumpre com seu papel no tratamento primário do efluente sendo responsável por 30%, 43% e 52% de remoção de DQO total, Ortofosfato e SST, respectivamente, corroborando com a manutenção da eficiência da etapa seguinte. O *wetland* construído, apresenta ótimas eficiências possuindo baixas variações destas ao longo do tempo, destacando-se a remoção de DQO total (83%), Ortofosfato (89%) e SST (94%) para esta etapa, de modo que a eficiência global do sistema para estes parâmetros foram de 88%, 93% e 97%, respectivamente, sendo o sistema considerado efetivo mesmo depois de 10 anos de funcionamento.

Apesar de não atender todos os critérios de qualidade para reúso não potável, verificou-se uma grande melhora na qualidade da água após o tratamento, fortalecendo assim a discussão sobre as recomendações restritivas vigentes e a viabilidade de serem aplicadas em escala real. O pH se mostrou constante e próximo a neutralidade entre as etapas do tratamento favorecendo os processos de remoção de poluentes. Os parâmetros SST e N amoniacal apresentam consonância com as normativas consultadas (ANA, FIESP e SINDUSCON, 2005; ABNT, 1997), possuindo valores finais de concentração média de 4 e 3,9 mg/L enquanto a DQO total (101,7 mg/L) e o Ortofosfato (5,7 mg/L), a despeito da boa eficiência de remoção não atenderam as restrições. Como característica de sistemas de tratamento de *wetlands* não houve uma remoção efetiva de *E. coli*.

Para os trabalhos futuros, sugere-se:

- Documentar a aceitabilidade do sistema de reuso na residência, relacionando os hábitos e condições de vida dos usuários, a eficiência do sistema e os usos proposto para o reuso, a fim de avaliar a aplicabilidade em outras regiões.

- Ampliar o monitoramento de qualidade de água em relação a outros parâmetros citados nas normativas internacionais de reuso de água, complementados por estudos de avaliação de risco.

- Monitoramento quantitativo visando a atualização da verificação de gerações e consumo da água de reuso na atualidade, fazendo um comparativo entre o que foi estimado em projeto e o que está sendo realmente feito.

- Avaliação de soluções para a desinfecção do efluente final, caso necessário.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

ANDRADE FILHO, J.; DA SILVA DIAS, N.; DE SOUSA NETO; O. N.; DO NASCIMENTO, I. B.; DE MEDEIROS, J. F.; COSME, C. R. **Atributos químicos de solo fertirrigado com água residuária no semiárido brasileiro.** Irriga, 18 (4): 661-674. 2013.

AONGHUSA, C. N., & GRAY, N. F. **Laundry detergents as a source of heavy metals in Irish domestic wastewater.** Journal of Environmental Science and Health. Part A, Toxic/Hazardous Substances & Environmental Engineering, 37, 1–6, 2002.

BRASIL. Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. **Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico;** altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. Brasília, DF: Brasil,

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. **Programa Nacional de Saneamento Rural** / Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde. – Brasília: Funasa, 2019

BRASIL. MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL. SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO – SNS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: **24º Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos** – 2018. Brasília: SNS/MDR, 2019.

BRASIL. Resolução CNRH. Nº 54, de 28 de novembro de 2005. **Estabelece critérios gerais para reuso de água potável.** Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Diário Oficial da União de 09 de março de 2006. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br>. Acesso em 17 de abril de 2020.

BRIX, H. Do Macrophytes Play a Role in Constructed Treatment Wetlands? Water Science and Technology, v. 35, n. n°5, p. 11– 17, 1997

CANTUARIA, G. A. C.; DA CUNHA FORTE, Joana. Saneamento Urbano Sustentável-Referências Projetuais - Ecosan. Universitas: Arquitetura e Comunicação Social, v. 10, n. 2, 2013.

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

COUTO, E. D., Calijuri, M. L., Assemany, P. P., da Fonseca Santiago, A., & de Castro Carvalho, I. Greywater production in airports: qualitative and quantitative assessment. Resources, Conservation and Recycling, 77,44–51. 2013.

CUNHA, A. H. N.; OLIVEIRA, T. H. de; FERREIRA, R. B.; MILHARDES, A. L. M.; SILVA, S. M. da C.O reuso de água no Brasil: a importância da reutilização de água no país. Enciclopédia Biosfera, 7 (13): 1225-1248. 2011.

DE GISI, S.; CASELLA, P.; NOTARNICOLA, M.; FARINA, R. Grey water in buildings: a mini-review of guidelines, technologies and case studies. Civil Engineering and Environmental Systems, v. 33, n. 1, p. 35-54, 2016.

DE MENDONÇA, A. A. J.; NOLASCO, M. A. II-219–Avaliação de um Sistema Descentralizado de Tratamento de Esgotos Domésticos em Escala Real Composto por Tanque Séptico e Wetland Construída Híbrida. 2015

DE REZENDE, A. T. Reuso Urbano de Água Para Fins não Potáveis no Brasil. 2016.

DELHIRAJA, KRITHIKA; PHILIP, LIGY. Characterization of segregated greywater from Indian households: part A— Physico-chemical and microbial parameters. Environmental Monitoring and Assessment, v. 192, n. 7, p. 1-23, 2020

EDWIN, G. A., GOPALSAMY, P.; MUTHU, N. **Characterization of domestic grey water from point source to determine the potential for urban residential reuse: a short review.** Applied Water Science, 4(1), 39–49. 2014

ERIKSSON, E.; AUFFARTH, K.; EILERSEN, A. M.; HENZE, M.; LEDIN, A. **Household chemicals and personal care products as sources for xenobiotic organic compounds in grey wastewater.** Water SA, 29,135–146, 2003.

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

ERIKSSON, E.; SRIGIRISETTY, S.; EILERSEN, A. M. **Organic matter and heavy metals in grey-water sludge.** Water SA, 36, 139–142, 2010.

ESREY, S. A. **Closing the loop.** Ecological sanitation for food supply, SIDA, UNDP, Mexico, 2001.

F. LI, K. WICHMANN, R. OTTERPOHL, **Review of the technological approaches for grey water treatment and reuses,** Sci. Total Environ., 2009.

FATTA-KASSINOS, D., KALAVROUZIOS, I. K., KOUKOULAKIS, P. H., e VASQUEZ, M. I. **The risks associated with wastewater reuse and xenobiotics in the agroecological environment.** Sci Total Environ, 409, 3555–3563, 2011.

FIGA, B. J. **Tratamento de efluente de wetlands construídos para reúso em fins não potáveis.** 2017.

FIGUEIREDO, I. C. S. **Águas cinzas em domicílios rurais: separação na fonte, tratamento e caracterização.** EDIÇÃO ESPECIAL SANEAMENTO RURAL, p. 141, 2019.

FLORENCIO, L.; BASTOS, R. K. X. & AISSE, M. M. (Coord.). **Tratamento e utilização de esgotos sanitários.** Rio de Janeiro: ABES 2006. 427 p: il Projeto PROSAB

FONSECA, A. R. **Tecnologias sociais e ecológicas aplicadas ao tratamento de esgotos no Brasil**. Tese de Doutorado. 2008.

FRIEDLER, E., HADARI, M. **Economic feasibility of on-site greywater reuse in multi-storey buildings**. *Desalination* 190 (1–3), 221–234, 2006.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE (FUNASA). Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de Saneamento**. 4. ed. Brasília, 2015.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE (FUNASA). **Saneamento rural: o desafio de universalizar o saneamento rural**. Boletim Informativo. Ed. 10, 2011. Disponível em: <http://www.funasa.gov.br/site/wp-content/files_mf/blt_san_rural.pdf>. Acesso em: 01 mar. 2020.

GONÇALVES, R. F. (Coord.). **Uso Racional da Água em Edificações**. Projeto Programa de Pesquisa e Saneamento Básico (PROSAB). 4º ed. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária (ABES). 352 p., 2006.

GONÇALVES, R. F.; REBOUÇAS, T. C.; MIRAVAL, D. O., BIANCHI, G. BAZZARELLA, B. B. **Caracterização e Tratamento de diferentes tipos de águas residuárias de origem residencial após segregação**. AIDIS-Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y ambiental. SecciónUruguay. Rescatando Antiguos Principios para os Nuevos Desafíos Del Milenio. Montevideo, p. 1-10, 2006.

GREY, S. R.; BECKER, N. S. C. **Contaminant flows in urban residential water system**. *Urban Water*. v. 4, n. 4, p. 331-346, 2002.

GROSS, A. **Reliability of small scale greywater treatment systems and the impact of its effluent on soil properties**. *International Journal of Environmental Studies*, 65,41–50. 2008.

GROSS, A.; SHMUELI, O.; RONEN, Z.; RAVEH, E. **Recycled vertical flow constructed wetland (RVFCW)—a novel method of recycling greywater for irrigation in small communities and households**, *Chemosphere*, 2007.

HAMMER, D. A. **Constructed Wetlands for Wastewater Treatment: Municipal, Industrial and Agricultural**. Lewis Publishers, INC, p. 831. 1989.

HENZE, M.; HARREMO HEES, P.; LA COUR JANSEN, J.; ARVIN, E. Wastewater treatment biological and chemical processes (3rd ed.). Berlin: Springer. 2001.

HERNANDEZ LEAL, L.; TEMMINK, H.; ZEEMAN, G.; BUISMAN, C. **Comparison of three systems for biological greywater treatment**. *Water*, 2,155–169, 2010.

HESPANHOL, I. **Potencial de reuso de água no Brasil: agricultura, indústria, municípios, recarga de aquíferos**.

HOFFMANN, H. PLATZER, C., WINKER, M., VON MUENCH, E. **Technology review of constructed wetlands** - Subsurface flow constructed wetlands for greywater and domestic wastewater treatment. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH Sustainable sanitation - ecosan program, 2011.

HOUSE, C. H., BROOME, S. W. **Constructed upland-wetland wastewater treatment system**. In: Cooper, P. F., Findlater, B. C. (Eds.). *Constructed Wetlands in Water Pollution Control*. Proceedings of the International Conference on the Use of Constructed Wetlands in Water Pollution Control, Cambridge: U. K Pergamon Press. 1990

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Classificação e caracterização dos espaços rurais e urbanos do Brasil: uma primeira aproximação**. IBGE, Coordenação de Geografia. Rio de Janeiro: IBGE, 2017

J.-J. CHANG, S.-Q. WU, S.-Y. ZHANG, S.-H. ZHANG, W. LIANG. **Comparative evaluation of total phosphorus removal performances for treatment of domestic and secondary wastewater using integrated vertical-flow constructed wetlands: two years' experience**, *Desal. Wat. Treat.*, 2015.

JAMRAH, A., AL-FUTAISI, A., PRATHAPAR, S., e HARRASI, A. A. **Evaluating greywater reuse potential for sustainable water resources management in Oman.** Environmental Monitoring and Assessment, 137,315–327, 2008.

JENKINS, J., **Humanure Handbook** .3ª Edição. Editora Chelsea Green, 2005.

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

KIVAIISI, A. K. **The potential for constructed wetlands for wastewater treatment and reuse in developing countries:** a review. Ecological engineering, v. 16, n. 4, p. 545-560, 2001.

MAGRI, M. E., FRANCISCO, J.G.Z., SEZERINO, P. H., MONTEIRO, V.R.C., PHILIPPI, L. S. **Gestão da Água e Efluentes em Pequenas Propriedades Rurais Segundo Modelo de Saneamento Sustentável.** In: Conferência Latino-Americana em Saneamento Sustentável. Anais...2012

MAGRI, M. E., LEMOS, E., KLAUS, G., FRANCISCO, J.G.Z., PHILIPPI, L. S. **Desempenho de um Sistema Tipo Tanque Séptico Seguido de Filtro Plantado com Macrófitas no Tratamento de Águas Cinzas.** In: 26º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Anais...ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2011.

MAGRI. M. E; SUNTTI C; SERGIO D. Z; JOUSSEF K. L; PHILIPPI L. S. **Caracterização Quali- Quantitativa das Águas Cinzas nos seus Diferentes Pontos Geradores em uma Residência Unifamiliar, e Alternativas de Reuso.** 25º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Recife, 2009. 10p

MAGRI. M. E; FONGARO G.; KUNZ, A.; VIANCELLI, A.; LANNA MC. da S.; BARADI C. R. M.; TREICHEL, H. **Produção animal e recursos hídricos:** tecnologias para manejo de resíduos e uso eficiente dos insumos. Embrapa Pecuária Sudeste-Livro científica, 2019.

MANCUSO, P, C. S.; SANTOS, H. F. **A escassez e o reuso de água em âmbito mundial.** São Paulo: Manole, 2003, p. 12

MASI, F.; B. EL HAMOURI; H. ABDEL SHAFI; A. BABAN; A. GHRABI; M. REGELSBERGE **Treatment of segregated black/grey domestic wastewater using constructed wetlands in the Mediterranean basin: the zero-m experience.** *Water Science and Technology*, v. 61, n. 1, p. 97-105, 2010.

MASI, F., RIZZO, A., REGELSBERGER, M., **The role of constructed wetlands in a new circular economy, resource oriented, and ecosystem services paradigm.** *J. Environ. Manage.*, p 275–284, 2018.

MAY, SIMONE. **Caracterização, tratamento e reuso de águas cinzas e aproveitamento de águas pluviais em edificações.** Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2009.

MENDONÇA, P. A. O. **Reuso de água em edifícios públicos.** O caso da escola politécnica. Dissertação (Mestrado em gerenciamento e Tecnologias ambientais no processo produtivo) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2004.

MONTEIRO, V.R.C.; SEZERINO, P.H.; PHILIPPI, L.S. **Caracterização e tratamento de água cinza residencial empregando a ecotecnologia dos wetlands construídos.** *Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia*, v. 12, n. 2, 2015.

MONTEIRO, V. R. C. **Wetlands construídos empregados no tratamento descentralizado de águas cinzas residencial e de escritório.** 2014.

NIZ, M. Y. K.; PAULO, P. L. **Reaproveitamento de águas cinza e pluviais.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS. 20., Bento Gonçalves, 2013.

NOLDE, E. **Greywater Reuse in Households** - Experience from Germany. *Environmental Research Forum. Anais...Switzerland: Transtec Publications*, 1996

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

NSW HEALTH (2002) - **Greywater reuse in Sewered single domestic premises**, Sidney, 2002

OLIVEIRA JÚNIOR, J.L. **Tratamento descentralizado de águas residuárias domésticas: uma estratégia de inclusão social**. In: LIRA, WS., and CÂNDIDO, GA., orgs. *Gestão sustentável dos recursos naturais: uma abordagem participativa*. Campina Grande: EDUEPB, 2013

OLIVEIRA, Pedro Carrascosa Amaral de *et al.* **Sistema compacto de wetland construído para tratamento de águas cinzas de chuveiros para reuso em bacias sanitárias**. 2019. **operation of technologies for urban reuse**. *Water Sci. Technol.* 50 (2), 157– 164, 2004.

OTENG-PEPRAH, M., DE VRIES, N. K., e ACHEAMPONG, M. A. **Greywater characterization and generation rates in a peri urban municipality of a developing country**. *Journal of Environmental Management*, 206,498–506, 2018.

OTENG-PEPRAH, M.; ACHEAMPONG, M.; DEVRIES, N K. **Greywater characteristics, treatment systems, reuse strategies and user perception—a review**. *Water, Air, & Soil Pollution*, v. 229, n. 8, p. 255, 2018

OTTERPOHL, R. **Black, brown, yellow, grey – the new colors of sanitation**. *Water* 21, p. 31-41, out. 2001

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

O'TOOLE, J., Sinclair, M., MALAWARAARACHCHI, M., Hamilton, A., BARKER, S. F., & LEDER, K. **Microbial quality assessment of household greywater**. *Water Research*, 46,4301– 4313. (2012).

PHILIPPI, L. S. E SEZERINO, P. H., **Aplicação de sistemas tipo wetlands no tratamento de águas residuárias: utilização de filtros plantados com macrófitas (Application constructed wetlands for wastewater treatment)**. 1st Ed., Florianópolis. Editora do Autor. 2004

PIRES, J. D. T. S. **Reuso de Água Cinza e Aproveitamento da Água de Chuva Como Fontes Alternativas em Propriedades Rurais** [Reuse of Greywater and Use of Rainwater as Alternative Sources in Rural Properties]. Environmental Engineering. Federal University of Santa Catarina. Florianópolis, 2012.

PLATZER, C.; HOFFMANN, H.; CARDIA, W. **O wetland como componente de Ecosan** - Experiências com o uso e dimensionamento no clima subtropical. International Conference on Sustainable Sanitation - Ecosan. Anais.Fortaleza: 2007.

RAMOS, Samantha Avance Pereira *Et Al.* (2009) **Ii-415-Avaliação Da Eficiência De Um Filtro Anaeróbio No Processo De Tratamento De Águas Cinza.**2009, p. 6.

RAMPELOTTO, G. **Caracterização e tratamento de águas cinzas visando reuso doméstico.** Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2014.

S. CARROLL, A. GOONETILLEKE, E. THOMAS, M. HARGREAVES, R. FROST, L. DAWES. **Integrated risk framework for onsite wastewater treatment systems**, J. Environ. Manage., 38. 2006.

SALATI, E., *et al* **“Método fitopedológico de despolição de águas”** São Paulo: Fundação Salim Farah Maluf, 1984.

SALATI, E., **Utilização de sistemas de wetlands construídas para tratamento de águas.** São Paulo, Biológico 65 (1-2), 113-116. 2003

SALL, O., Takahashi, Y., **Physical, chemical and biological characteristics of stored greywater and unsewered suburban Dakar in Senegal.** Urban Water. 2006.

SEZERINO, P.H., MAGRI, M.E.; BENTO, A. P.; DECEZARO, S. T. PHILIPPI, L. S. **Experiências brasileiras com wetlands construídos aplicados ao tratamento de águas residuárias: parâmetros de projeto para sistemas horizontais.** Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 20, n. 1, p. 151-158, 2015.

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. (2005) – Conservação e reúso da água em edificações – Manual da FIESP. São Paulo. 151 p.

SHAIKH, Irshad N.; AHAMMED, M. Mansoor. Quantity and quality characteristics of greywater: A review. **Journal of Environmental Management**, v. 261, p. 110266, 2020.

TAVARES, R.; MONTEIRO, M.F.G. **População e condições de vida**. In: GUIMARÃES, R.A.; TAVARES, R. (ORGANIZADORES). Saúde e Sociedade. No Brasil – anos 80. Rio de Janeiro: Relume Dumará, 1994.

TEIXEIRA, J. C.; GUILHERMINO, R. L. **Análise da associação entre saneamento e saúde nos estados brasileiros, empregando dados secundários do banco de dados Indicadores e Dados Básicos para a Saúde – IDB 2003**. Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 11, n. 3, p. 277-282, 2006.

VENSKE, Felipe *et al.* **Alagados construídos para tratamento de águas cinzas com meio suporte de resíduos de construção e demolição**. 2017.

VON SPERLING, M. **Wastewater characteristics, treatment and disposal**. IWA publishing, 2007.

VYMAZAL, J. **Constructed Wetlands for Wastewater Treatment**. Water, v. 2, p. 530-549, 2010.

VYMAZAL, J.; KRÖFELOVÁ, L. **Wastewater Treatment in Constructed Wetlands with Horizontal Sub-Surface Flow**. Czech Republic: Editora Springer, 2008. p. 566

WERNER, C. *et al.* **Ecological sanitation: Principles, technologies and project examples for sustainable wastewater and excreta management**. **Desalination**, v. 248, n. 1-3, p. 392-401, 2009.

WERNER, C. **Reasons for and principles of ecological sanitation**. In: IWA 2nd international symposium on ecological sanitation. 2003. p. 23-30.

WHO (World Health Organization). “**Considerations in Evaluating the Cost-effectiveness of Environmental Health Interventions**”. WHO/ Protection of the Human Environment; Geneva, 2000.

WHO (World Health Organization). **Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater**.v.1. Policy and regulatory aspects; v.2.Waster use in agriculture-v.3.Wastewater and excreta use in equaculture-v.4. Excreta and greywater use in agriculture, 2006.