



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS

DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL

GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

CONSTRUÇÃO E APLICABILIDADE DO SISTEMA *WETLAND* CONSTRUÍDO DE  
FLUXO SUBSUPERFICIAL HORIZONTAL NO TRATAMENTO DE ÁGUA CINZA  
PARA REÚSO NÃO POTÁVEL

JÚNIA PEREIRA TEIXEIRA

BELO HORIZONTE

2018

JÚNIA PEREIRA TEIXEIRA

CONSTRUÇÃO E APLICABILIDADE DO SISTEMA *WETLAND* CONSTRUÍDO DE  
FLUXO SUBSUPERFICIAL HORIZONTAL NO TRATAMENTO DE ÁGUA CINZA  
PARA REÚSO NÃO POTÁVEL

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao  
Centro Federal de Educação Tecnológica de  
Minas Gerais como requisito parcial para  
obtenção do título de Engenheiro Ambiental e  
Sanitarista.

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Sc. Beatriz de Souza Missagia

BELO HORIZONTE

2018

CONSTRUÇÃO E APLICABILIDADE DO SISTEMA *WETLAND* CONSTRUÍDO DE  
FLUXO SUBSUPERFICIAL HORIZONTAL NO TRATAMENTO DE ÁGUA CINZA  
PARA REÚSO NÃO POTÁVEL

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao  
Centro Federal de Educação Tecnológica de  
Minas Gerais como requisito parcial para  
obtenção do título de Engenheiro Ambiental e  
Sanitarista.

Data de aprovação: 04/07/2018

Banca Examinadora:

Beatriz de S. Missagia

Beatriz de Souza Missagia – Presidente da Banca Examinadora, Bióloga, Mestrado em  
Microbiologia e Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos.  
Professora do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – Orientadora.

Marcos Veloso de Menezes

Marcos Veloso de Menezes – Engenheiro Civil, Mestrado em Engenharia Civil.  
Professor do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais.

Thiago C. M. Ribeiro

Thiago Cotta Ribeiro – Biólogo, Mestrado em Biologia pela Universidade da Costa Rica  
e Doutorado em Ecologia Conservação e Manejo da Vida Silvestre. Professor do Centro  
Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço aos meus pais e irmãos pelo amor, incentivo e apoio incondicional.

Aos meus amigos Camila Arantes, Camila França, Lucas Soares e Tatyane De Marco, por sempre me incentivarem a nunca desistir e por sempre estarem dispostos a me ajudar.

Aos professores Beatriz Missagia e Marcos Veloso, pelos conselhos sempre úteis e precisos com que, sabiamente, contribuíram para este trabalho.

E a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigada.

## RESUMO

O aumento da consciência em relação à busca de uma gestão racional dos recursos hídricos permitirá alcançar uma cultura de reúso de água na sociedade. Para tal, é preciso que haja mudanças no modo como as pessoas pensam e agem em relação aos resíduos por elas gerados. A reutilização das águas cinzas propicia benefícios ambientais e econômicos, como a economia de água potável e energia elétrica, menor produção de esgoto sanitário, além da preservação dos mananciais. Em residências, muitas vezes o volume de água não potável é suprido pela produção de água cinza, necessitando de tratamento para que o uso não ofereça riscos aos usuários. Sendo assim, a utilização das águas servidas para propósitos de uso não potável, representa um potencial a ser explorado em substituição à utilização de água tratada e potável. Os *wetlands* construídos são uma opção viável para tratamentos de efluentes, pois são sistemas de baixo custo de implantação e operação, possuem eficiência na desinfecção dos esgotos e não há necessidade de aditivos químicos. O presente trabalho teve como objetivo a implantação do projeto, para a redução das perdas e consumo de água potável para usos com demanda de água com qualidade menos restritiva, como por exemplo irrigação de frutíferas e aquicultura, numa residência. O trabalho foi dividido em quatro etapas distintas sendo, dimensionamento e construção da caixa de gordura e do sistema *wetland* construído com fluxo subsuperficial horizontal; levantamento das espécies de macrófitas aquáticas; implantação do projeto, monitoramento do sistema de *wetlands* construído e da qualidade da água para atender à Classe 2 da Resolução CONAMA nº 430/2011. Para o monitoramento do sistema foram coletadas amostras na saída do efluente da caixa de gordura (antes de entrar no sistema *wetland* construído) e na saída da estação de tratamento e foram analisados os parâmetros físicos, químicos e microbiológico: sólidos totais (ST), pH, temperatura, demanda química de oxigênio (DQO), Nitrogênio Amoniacal, Fósforo Total e *Escherichia coli* (*E. coli*). Foi possível verificar resultados de pH de 8,4 para afluente e 7,06 para efluente, temperatura de 24° C, eficiências de remoção de DQO Bruta de 30%, de Fósforo Total de 35%, Nitrogênio Amoniacal de 17% e *E. coli* de 20%. Dessa forma, sua construção foi satisfatória, assim como a eficiência em alguns parâmetros apesar do pouco tempo de funcionamento, pois corresponderam à Classe 2 da Resolução CONAMA 430/2011.

Palavras chave: reúso não potável, água cinza, *wetland* construído.

## ABSTRACT

Raising awareness of the quest for rational management of water resources will lead to a culture of water reuse in society. To do this, there must be changes in the way people think and act on the waste they generate. The reuse of gray water provides environmental and economic benefits, such as the saving of drinking water and electricity, less sanitary sewage production, and the preservation of water sources. In homes, the volume of non-potable water is often supplied by the production of gray water, requiring treatment so that the use does not pose risks to users. Therefore, the use of wastewater for purposes of non-potable use represents a potential to be exploited instead of the use of treated and potable water. Constructed wetlands are a viable option for effluent treatment, since they are systems of low cost of implantation and operation, they have efficiency in the disinfection of the sewers and there is no need of chemical additives. The present work aimed at the implementation of the project to reduce losses and consumption of drinking water for uses with less restrictive water demand, such as irrigation of fruit and aquaculture, in a residence. The work was divided into four distinct stages: sizing and construction of the grease box and the wetland system constructed with horizontal subsurface flow; survey of aquatic macrophyte species; implementation of the project, monitoring of the built wetlands system and water quality to meet Class 2 of CONAMA Resolution No. 430/2011. For the monitoring of the system, samples were collected at the exit of the effluent from the fat box (before entering the built wetland system) and at the exit of the treatment plant and the physical, chemical and microbiological parameters were analyzed: total solids (ST), pH, temperature, chemical oxygen demand (COD), Ammonia Nitrogen, Total Phosphorus and Escherichia coli (E. coli). It was possible to verify pH values of 8.4 for tributary and 7.06 for effluent, temperature of 24° C, removal efficiencies of 30% COD, Total Phosphorus of 35%, Ammonia Nitrogen of 17% and E. coli of 20%. Thus, its construction was satisfactory, as well as the efficiency in some parameters despite the short time of operation, as they corresponded to Class 2 of CONAMA Resolution 430/2011.

Keywords: non-potable reuse, gray water, constructed wetland.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: Residência onde será implantado o sistema wetland construído.....	29
FIGURA 2: Tubulação de saída da pia da cozinha (A) e do tanque externo (B) encaminhados para a caixa de gordura. Vista superior da caixa de gordura em fase de construção (C) e vista lateral da caixa de gordura em fase de acabamento (D).....	32
FIGURA 3: Fluxograma do sistema wetland construído na residência.....	33
FIGURA 4: Chegada da tubulação da caixa de gordura para a wetland (A). Escavação para a armação das formas de madeira (B) e posterior concretagem da estação (C). Impermeabilização da wetland construída (D) .....	34
FIGURA 5: Configuração do sistema de distribuição da água da wetland construída.....	36
Figura 6: Caixa de gordura com a peneira .....	44
FIGURA 7: Wetland construída em funcionamento. Vista de frente (A) e vista lateral (B) ...	48

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1: Classificação das águas segundo a Resolução CONAMA nº 430/2011 .....	27
TABELA 2: Etapas da construção da caixa de gordura, conforme manual da COPASA .....	30
TABELA 3: Dados para os cálculos da vazão .....	37
TABELA 4: Taxa de aplicação hidráulica superficial (TCH).....	38
TABELA 5: Volume útil do leito filtrante da wetland construída de fluxo horizontal ( $V_u$ ) ...	38
TABELA 6: Tempo de detenção hidráulica na wetland construída de fluxo horizontal ( $TDH_{FH}$ ) .....	39
TABELA 7: Ensaios de Parâmetros Físicos e Químicos .....	41
TABELA 8: Faixa de valores para parâmetros físico-químicos e microbiológicos encontrados na água cinza .....	42



## LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1: Valores de pH obtidos nas análises físico químicas .....	43
GRÁFICO 2: Valores de Sólidos Totais (uT) obtidos nas análises físico químicas .....	43
GRÁFICO 3: Valores de DQO Bruta (mg/L) obtidos nas análises físico químicas .....	45
GRÁFICO 4: Valores de Nitrogênio Amoniacal (mg/L) obtidos nas análises físico químicas .....	46
GRÁFICO 5: Valores de Fósforo Total (mg/L) obtidos nas análises físico químicas .....	47
GRÁFICO 6: Valores de E. coli (NMP/100 mL) obtidos nas análises físico químicas .....	48

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	v
LISTA DE TABELAS .....	vi
LISTA DE GRÁFICOS .....	vii
1 INTRODUÇÃO .....	12
2 OBJETIVOS .....	13
2.1 Objetivo Geral.....	13
2.2 Objetivos Específicos .....	13
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	14
3.1 Reúso de Água .....	14
3.2 Águas Cinzas .....	16
3.3 <i>Wetlands</i> construídos.....	19
3.3.1 Material de enchimento .....	22
3.3.2 Macrófitas .....	23
3.3.3 Biofilme .....	25
3.4 Legislação Relativa ao Reúso de Água no Brasil .....	26
4 METODOLOGIA .....	28
4.1 Local .....	28
4.2 Dimensionamento e construção .....	29
4.2.1 Caixa de Gordura .....	29
4.2.2 Unidade experimental.....	33
4.3 Macrófitas .....	40
4.4 Análises Físico-Químicas e Microbiológicas .....	41
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	42
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	49
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	49

## 1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos houve um aumento da consciência da população em relação à busca de uma gestão racional dos recursos hídricos, devido à escassez que muitas regiões do mundo já enfrentam, ocasionada pelo crescimento acelerado das populações e das atividades econômicas associadas ao aumento da demanda por água. Para alcançar uma cultura de reúso de água na sociedade, é preciso que haja mudanças no modo como as pessoas pensam e agem em relação aos resíduos por elas gerados.

Neste contexto, a prática de reúso é um eficiente instrumento de gestão dos recursos hídricos no qual abrange o controle de perdas e desperdícios, além de ocasionar uma diminuição da produção de resíduos e do consumo de água. Na maioria das vezes, o volume de água não potável nas residências, poderia ser suprido pela produção de água cinza, necessitando de tratamento para eliminar possíveis riscos ao usuário. Dessa forma, a utilização das águas servidas para propósitos menos nobres, representa um potencial a ser explorado em substituição à utilização de água tratada e potável.

Para preservar a água, é necessário buscar opções para o tratamento dos efluentes que priorizem a manutenção, a qualidade ambiental, a qualidade de vida do ser humano e o uso racional dos recursos naturais, fundamentados nos princípios e conceitos da sustentabilidade (FAGUNDES e SCHERER, 2009). Novas tecnologias são continuamente desenvolvidas, visando a redução do impacto de lançamentos de efluentes domésticos sem tratamento nos corpos hídricos e como medida da racionalização do uso de água.

Dentre os sistemas alternativos de tratamento de efluentes, os *wetlands* construídos são uma opção viável, pois consistem em sistemas com baixo custo de implantação e operação, possuem eficiência no tratamento dos esgotos, não há necessidade de aditivos químicos e existe a possibilidade de reúso do efluente tratado (PHILIPPI et al., 2007 e SEZERINO, 2006). Além disso, os *wetlands* construídos possuem um apelo sustentável, beleza estética e harmonização com o ambiente em que é inserido.

Segundo Beda 2011, os *wetlands* construídos são sistemas projetados que utilizam tecnologia com o objetivo de reproduzir os sistemas de *wetlands* naturais (pântanos, brejos e áreas similares) e se diferem destes pela interferência humana, tal como drenagem, alteração de escoamento e das propriedades físicas. No processo de tratamento dos *wetlands* construídos, são levados em consideração elementos tais como os critérios de dimensionamento e operação (carga orgânica, taxa hidráulica e regime de alimentação), a composição do material de

enchimento e as macrófitas empregadas, possuem particularidades vinculadas à localidade do estudo e/ou aplicação da unidade de tratamento (SEZERINO et al., 2015).

Para se obter maior eficiência do tratamento torna-se necessário o conhecimento efetivo da variedade de plantas disponível, das características de colonização dos grupos de microrganismos, dos contaminantes existentes nas águas a serem tratadas e da interação destes fatores com o material de enchimento (STOTTMESISTER et al., 2003). Por apresentar considerável capacidade de absorção de contaminantes, a utilização da fitorremediação com macrófitas é uma boa alternativa para a recuperação de ambientes contaminados com efluentes. (PEREIRA, 2010).

Embora no Brasil já se esteja realizando a prática de reúso em alguns estados, não existe nenhuma legislação específica tratando da temática. Os estudos e pesquisas sobre a eficiência e aplicabilidade de sistemas de tratamento de águas residuárias por meio de *wetlands* construídas, iniciados no Brasil entre os anos 1980 e 1990 (PHILIPPI e SEZERINO, 2004), vêm se intensificando a partir dos anos 2000 (PHILIPPI e col., 2007), sendo que, em 2013, foi realizado o 1º simpósio nacional para tratar especificamente sobre esse tema e apresentar os resultados de algumas dessas experiências concluídas e em desenvolvimento, em escala real e de bancada.

A realização desse projeto teve como propósito a redução das perdas e consumo de água potável numa residência para usos com demanda de água com qualidade menos restritiva. Neste sentido, o presente estudo experimental pretende utilizar as águas servidas da pia da cozinha e de um tanque de uso geral para propósitos de uso não potável, como aquicultura e irrigação de frutíferas, através da construção de uma *wetland* e do comparativo das análises físico-químicas e microbiológicas dos efluentes na entrada e na saída do sistema.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Construir e avaliar a eficiência do sistema *wetland* construído com fluxo subsuperficial horizontal no tratamento de água cinza para reúso não potável em uma residência.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Dimensionar a caixa de gordura e a estação de tratamento;
- Construir a caixa de gordura e a estação de tratamento;

- Avaliar a eficiência de tratamento do sistema por meio de análises físico-químicas e microbiológicas;

### **3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1 Reúso de Água**

A problemática da escassez de água é uma realidade em diversas regiões do mundo e se deve principalmente, ao somatório de atividades humanas associado ao crescimento populacional e aos problemas de qualidade da água. O desordenamento na gestão e utilização dos recursos hídricos tornou-se, nos dias atuais, uma preocupante problemática social, requerendo da comunidade científica e dos órgãos gestores e fiscalizadores, além de soluções, direcionamento técnico e científico para amenização da escassez e todo desequilíbrio que ela acarreta (SOUZA et al., 2015).

Nesse contexto, a reutilização de água torna-se uma alternativa potencial para a gestão dos recursos hídricos e muitos países têm adotado essa medida visando o uso racional desse bem. Mas, de acordo com Telles e Costa (2007) a reutilização da água é uma questão limitada por contextos políticos, culturais, sociais, geográficos e econômicos. Segundo eles, o Brasil caminha lentamente na direção da sustentabilidade, uma vez que o uso racional da água, é uma realidade que esbarra em contextos políticos e na dificuldade de integração das organizações públicas e privadas.

Entretanto, percebe-se que há uma tendência de fortalecimento e expansão da prática de reúso de água no Brasil para fins diversos, apesar de que a cultura de reúso de água precisa ser trabalhada socialmente de forma contínua, pois ainda há uma resistência da população quanto à essa prática. É nesse âmbito que se inserem as políticas de conscientização da sociedade e investimentos em estudos que possam revelar alternativas de reaproveitamento de água. O reúso certamente será uma ferramenta bastante apropriada, mas para isto depende de incentivos econômicos em larga escala (LUIZ, 2007).

A prática de reúso é uma alternativa interessante, uma vez que possibilita a substituição de fontes para satisfazer as demandas menos restritivas, disponibilizando água de melhor qualidade para usos mais nobres, como o abastecimento doméstico (HESPANHOL, 2006). Os benefícios inerentes à utilização de água recuperada para usos benéficos, ao contrário de disposição ou descarga, incluem preservação de fontes de qualidade elevada, proteção ambiental e benefícios econômicos e sociais (ASANO et al., 2007).

Segundo Lavrador (1987), o reúso da água consiste em aproveitar a água que já foi utilizada em alguma atividade humana ou em outras aplicações, para suprir as necessidades de outros usos benéficos. De acordo com a WHO (1973b), o reúso de água pode ser indireto, aquele que ocorre quando as águas já usadas, uma ou mais vezes no uso doméstico ou industrial, são descarregadas nas águas superficiais ou subterrâneas e utilizadas novamente à jusante, de forma diluída ou pode ser reúso direto, aquele que é o uso planejado e deliberado de esgotos tratados para certas finalidades, sem lançamento ou diluição prévia em corpos superficiais ou subterrâneos;

Ainda segundo Lavrador (1987), os termos “reúso planejado” e “reúso não planejado” referem-se ao fato do reúso ser resultante de uma ação consciente, subsequente à descarga do efluente, ou do reúso ser apenas um subproduto não intencional dessa descarga. Dessa forma, ele é classificado como planejado, quando o reúso é resultado de uma ação humana consciente, com isso, cuidados necessários para a sua prática são previstos e em reúso não planejado, quando a água utilizada em alguma atividade humana, é descarregada no meio ambiente e novamente utilizada a jusante, em sua forma diluída, de maneira não intencional e não controlada.

Mancuso & Santos (2003) classificam ainda o reúso de água em potável e não potável. O reúso potável direto ocorre quando o esgoto é munido de tratamento avançado e reutilizado diretamente no sistema e, o indireto ocorre quando o esgoto, após tratamento, é disposto nas coleções de águas superficiais ou subterrâneas para diluição, purificação natural e subsequente captação, tratamento e depois utilizado como água potável. Já o reúso não potável é destinado para atividades tais como usos agrícolas, industriais, domésticos, recreacionais, em manutenções de vazões, na aquicultura e na recarga de aquíferos subterrâneos.

Qualquer que seja a forma de reúso empregada, é fundamental observar que os princípios básicos estão relacionados à preservação da saúde dos usuários, à preservação do meio ambiente, ao atendimento às exigências de qualidade, ao uso pretendido e à proteção dos materiais e equipamentos utilizados nos sistemas de reúso (HESPANHOL, 2002). Segundo Eriksson et al (2002), as águas cinzas devidamente tratadas apresentam um grande potencial de reúso para fins não potáveis, porém, o tipo de tratamento aplicado e o uso final são fatores determinantes para o sucesso do empreendimento.

### 3.2 Águas Cinzas

As águas cinza são definidas como sendo efluentes domésticos sem a contribuição de bacias sanitárias (ELMITWALLI & OTTERPOHL, 2007; SANTOS et al., 2011). São as águas residuárias provenientes do uso de lavatórios, chuveiros, banheiras, pias de cozinha, máquina de lavar roupa e tanque (JEFFERSON et al., 1999; ERIKSSON et al., 2002; OTTOSON & STENSTRÖM, 2003; FIORI, 2006; NIYONZIMA, 2007).

Segundo Hespanhol (2008), a água cinza pode ser diferenciada em água cinza escura e água cinza clara. A água cinza clara, além da segregação do efluente do vaso sanitário, não contém a água proveniente da pia da cozinha, devido à quantidade de material flutuante (óleos e gorduras), conferindo maior carga orgânica. Já a água cinza escura, apresenta a separação apenas do efluente do vaso sanitário, coletando a água proveniente da pia da cozinha.

Considera-se o reúso da água cinza como não potável quando pode ser empregado em casa para regar jardins, aquicultura, lavagem de veículos e de áreas impermeáveis, descarga de vasos sanitários, entre outros. Sendo necessário uso de medidas de proteção à saúde pública e ao meio ambiente e devem ser técnica e economicamente viáveis (COHIM, 2007). Segundo Eriksson et al. (2002), diferentes tipos de água cinza podem ser adequados para diferentes tipos de reúso e irá requerer diferentes tipos de tratamento, dependendo do reúso que se pretende dar a ela.

As águas cinzas são uma das opções mais adequadas para reúso, pois apresentam alto volume, baixa concentração de nutrientes e matéria orgânica de fácil degradação. Sendo assim, a água cinza deverá passar por algum tipo de tratamento antes de ser reutilizada, pois, ela pode conter microrganismos patogênicos, sólidos suspensos, compostos orgânicos, principalmente se o efluente vem de pia de cozinha, e substâncias, tal como, óleos e graxas, detergentes e outros compostos químicos presentes em produtos de uso domésticos (MOREL e DIENER, 2006).

Quanto à qualidade, as águas cinzas variam de acordo com o local e nível de ocupação da residência, faixa etária, estilo de vida, classe social e costumes dos moradores (NSW HEALTH, 2007) e com a origem das águas cinza como: lavatório, chuveiro, máquina de lavar, etc. (NOLDE, 1999). Outro fator que, segundo Eriksson et al. (2002), também contribui para as características da água cinza é a qualidade da água de abastecimento.

A temperatura ambiente também é importante na composição das águas cinza, pois em locais de temperaturas elevadas as pessoas tomam mais banhos, ou os banhos são mais longos, ocorrendo a diluição dos componentes orgânicos e inorgânicos presentes. Além disso, a degradação dos compostos químicos e biológicos nos reservatórios de acumulação tende a ser

mais rápida. Segundo Jordão e Pessoa (2005), temperaturas entre 18 a 38°C são consideradas ótimas para o balanço entre o oxigênio dissolvido e a atividade biológica.

As águas cinza, de maneira geral, apresentam uma quantidade de sólidos em suspensão bastante elevada, evidenciada tanto pelos resultados de turbidez quanto pela concentração de sólidos suspensos totais. Esses materiais em suspensão como resíduos de alimentos e fibras de tecidos, conferem um aspecto desagradável ao efluente, além de servirem de abrigo para microrganismos, podendo ocasionar rejeição por parte dos usuários no caso de um reúso sem tratamento (BAZZARELLA, 2005). A presença de sólidos na água pode levar a problemas de entupimento da tubulação e esse problema pode ser agravado com o lançamento de detergentes na água, pois esses coloides, combinados com os surfactantes (oriundo dos detergentes), causam estabilização da fase sólida devido à adsorção do surfactante na superfície do sólido (ERIKSSON et al., 2002).

As características químicas das águas cinza são derivadas dos compostos orgânicos e de produtos químicos presentes nas mesmas. Os valores de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e de Demanda Química de Oxigênio (DQO) do esgoto doméstico indicam o risco de depleção de oxigênio na água devido à degradação da matéria orgânica. A maior parte da DQO é derivada dos produtos químicos utilizados nas residências, como produtos de limpeza e detergentes. Espera-se, então, que os níveis de DQO sejam próximos aos encontrados para o esgoto doméstico convencional, enquanto que para as concentrações de DBO esperam-se valores mais baixos (ERIKSSON et al., 2002).

O ponto de coleta do efluente e o pH da água de abastecimento vão determinar o pH das águas cinza. O pH alcalino ocorre quando há contato com produtos químicos como sabão. As concentrações de fósforo total e de fosfato são provenientes da máquina de lavar roupas e chuveiro. O fósforo nas águas cinzas vem de detergentes e sabões contendo fosfatos. O nitrogênio provém do efluente da pia da cozinha no caso das águas cinzas escuras. Nas águas cinzas claras, ele pode estar presente no efluente proveniente do chuveiro, onde pode haver presença de urina.

A matéria orgânica e inorgânica presente nas águas cinzas é bastante significativa, mesmo não havendo contribuição dos vasos sanitários. A matéria inorgânica provém de produtos químicos e detergentes usado para limpeza. Já a matéria orgânica encontrada nas águas cinzas vem de resíduos corporais, cabelo, sabão, óleos e graxas, etc. A principal fonte dos óleos e graxas das águas cinza é o efluente de cozinha, porque diversos recipientes gordurosos são lavados neste local. Sendo assim, é de suma importância instalar uma caixa de gordura antes da



entrada de qualquer sistema de tratamento de água cinza, pois ela terá a função de reter grande parte dos óleos e graxas presentes nesse efluente.

Quanto às características microbiológicas, embora a água cinza não possua contribuição dos vasos sanitários, de onde provém a maior parte dos microrganismos patogênicos, algumas atividades, como limpeza das mãos após o uso do banheiro, lavagem de roupas contaminadas com fezes ou o próprio banho, são algumas das possíveis fontes desses agentes na água cinza (OTTOSON & STENSTRÖM, 2003). Além disso, as concentrações destes seres vivos podem variar em função da origem desta água e da presença ou ausência de animais e de crianças na residência (ZABROCKI et al., 2005).

Segundo Ottoson & Stenström (2003), os riscos à saúde humana dependem do tipo de patógenos, do tratamento aplicado e da rota de exposição. A presença de *Escherichia coli* ou outros organismos entéricos indica a contaminação fecal e a possibilidade de presença de patógenos intestinais, como salmonela ou vírus entéricos (vírus da poliomielite, rotavírus, vírus da hepatite tipo A e alguns tipos de adenovírus) na água cinza. Grandes quantidades de coliformes fecais são indesejáveis e implicam uma maior chance de contágio em humanos durante o contato com a água cinza reutilizada. Entretanto, esse indicador pode, em alguns casos, superestimar os riscos devido ao seu potencial de crescimento dentro do sistema.

Dessa forma, apesar de possuírem uma menor carga poluidora em relação ao esgoto doméstico, ainda devem passar por algum tipo de tratamento para que estejam aptas a serem reutilizadas pelo homem. Por conta disso, uma ampla variedade de tecnologias tem sido utilizada ou está sendo desenvolvida para o seu tratamento, compreendendo sistemas naturais, processos químicos, físicos, físico-químicos e biológicos.

O tratamento para água cinza pode variar de uma simples e grosseira filtração (MARCH et al., 2004) até um tratamento biológico avançado (NOLDE, 2005). Estudos prévios sugerem que se dê preferência aos processos biológicos, devido aos altos níveis de matéria orgânica da água cinza (NOLDE, 1999; JEFFERSON et al., 2004). Opções tecnológicas de tratamento biológico para o reúso de água cinza incluem biorreator de membrana (JEFFERSON et al., 2000; LESJEAN e GNIRSS, 2006), filtros rotacionais biológicos de contato (NOLDE, 2005; FRIEDLER et al., 2005), grupo de reatores sequenciais (LAMINE et al., 2007) ou *wetlands* construído (sendo sua denominação em inglês, *constructed wetlands*) (DALLAS e HO, 2005; GROSS et al., 2006; LI et al., 2003).

A água cinza tratada junto à fonte geradora, para uso no próprio local, apresenta grandes vantagens do ponto de vista energético, pois evita longos transportes de condução a uma unidade de tratamento para o seu posterior retorno aos pontos de consumo. Por isso, é

interessante a possibilidade de um sistema de tratamento de fácil operação e manutenção, o qual o usuário possa fazê-lo sem grandes dificuldades e custos.

Grande parte da água que sai das estações de tratamento ou de um manancial e chega a uma residência é utilizada para atender uma demanda que não exige, necessariamente, uma água potável, assim como o objeto de estudo desse trabalho, que visa a utilização da água cinza tratada pelo sistema de *wetland* construído em um lago ornamental e irrigação de frutíferas, atividades essas que demandam água não potável. É neste contexto que a água cinza surge como uma alternativa interessante na substituição da água potável, proporcionando redução do seu consumo (COUTO, 2012).

### **3.3 Wetlands construídos**

Para se definir qual processo de tratamento de esgoto utilizar, deve ser levado em conta vários critérios, pois cada tratamento possui suas vantagens e desvantagens. As características dos tratamentos são relacionadas com a área necessária, eficiência obtida no tratamento, utilização ou não de equipamentos mecanizados com conseqüente consumo ou não de energia e sofisticação ou simplicidade de operação e implantação (NUVOLARI et al., 2003).

Existem sistemas de tratamento que possibilitam a adequação da qualidade da água às exigências dos usos não potáveis, sem a utilização de energia elétrica ou produtos químicos. A utilização de *wetlands* construídos como sistemas de tratamento de águas residuárias têm se intensificado nestas últimas décadas. O Brasil é um dos países que oferecem excelentes condições climáticas e ambientais para a implantação deste tipo de sistema, além de apresentar uma enorme carência de tratamento de águas residuárias, especialmente nos pequenos e médios municípios (VALENTIM, 2003). O sistema *wetlands* construídos possui outras denominações como sistema de zona de raízes, leitos cultivados, alagados construídos, banhados artificiais, leitos plantados, leitos com macrófitas, terras úmidas construídas, entre outros, além da denominação internacional de *constructed wetlands*.

Quando comparados aos sistemas convencionais de tratamento, os *wetlands* construídos apresentam vantagens como por exemplo as possibilidades de baixo custo de construção, operação e manutenção, o pouco ou nenhum uso de energia elétrica, o fato de poderem ser implementados no próprio local onde a água residuária é gerada, a flexibilidade e, resistência às variações de carga sem muito comprometimento de sua eficiência (HAMMER, 1989; BRIX, 1993; KADLEC e KNIGHT, 1996; MOSHIRI, 1998; NERALLA et al., 2000; PLATZER et al., 2007A; SHUTES, 2001). Além disso, podem ser integrados perfeitamente à paisagem

natural (PLATZER et al., 2007A) e o apelo estético da presença de vegetação colabora para a redução nos índices de rejeição ao sistema de tratamento de águas residuárias por parte da população (ZANELLA et al., 2007).

Os *wetlands* construídos são ecossistemas artificiais com diferentes tecnologias, utilizando os princípios básicos de modificação da qualidade da água das *wetlands* naturais e que diferem dessas, principalmente, pelo seu regime hidrológico, o qual é controlado. *Wetlands* naturais são áreas de transição entre um sistema terrestre e um aquático, são conhecidos como terras úmidas, brejos, várzeas, pântanos, manguezais ou lagos rasos. Esse sistema se destaca entre os processos de autodepuração por serem áreas inundadas constantes ou intermitentes, que desenvolveram uma vegetação adaptada à vida em solos alagados. Neles a água, o solo e os vegetais formam um ecossistema equilibrado, degradando a matéria orgânica, reciclando os nutrientes e conseqüentemente, melhorando a qualidade da água (ANJOS, 2003).

O objetivo dos *wetlands* construídos consiste em formar ecossistemas artificiais com base nos processos naturais de tratamento, abrangendo assim uma complexa variedade de processos físicos, químicos e biológicos, que são promovidos pelos elementos constituintes do sistema, ou seja, o solo, os microrganismos e as plantas. A estação de tratamento é projetada sob critérios de engenharia e as técnicas de construção variam de acordo com a característica do efluente a ser tratado, da eficiência final desejada na remoção de poluentes, da área disponível e do interesse paisagístico (SALATI et al., 2009; SEZERINO, 2006). Os elementos que compõem a estação de tratamento são o substrato (suporte físico e fixação microbiana), as plantas (suporte de microrganismos e transporte de oxigênio), o regime hidráulico (tipo de escoamento) e a fauna (micro e macro organismos).

Quando aplicados no tratamento de efluentes, o sistema pode ser utilizado como uma alternativa secundária ou terciária, realizando a remoção de nutrientes e reduzindo taxas de DQO e DBO do efluente (SALATI, 2011). As remoções ocorrem principalmente através da filtração e da depuração da matéria orgânica por microrganismos formadores do biofilme aderido ao substrato presente no sistema (SEZERINO, 2006; OLIJNYK et al., 2007).

A caracterização do esgoto a ser tratado é essencial, pois o processo é filtrante e a ausência de um tratamento primário pode vir a causar colmatação do material suporte em curto prazo (OLIVEIRA; VIDAL 2008). Para o tratamento preliminar presente no sistema de *wetland* construída pode ser utilizada a caixa de gordura, que visa a remoção parcial da carga poluidora, assim melhora a eficiência das outras unidades de tratamento (REZENDE, 2010).

Os *wetlands* construídos são classificados de acordo com a literatura, em sistemas de lâmina livre ou de escoamento superficial e em sistemas de escoamento subsuperficial

(PHILIPPI e SEZERINO, 2004). Além disso, são também divididos com relação à direção do escoamento do líquido em escoamento horizontal e escoamento vertical.

Nas *wetlands* construídas de escoamento superficial, o efluente corre sobre base rasa em contato com o sedimento subjacente, que fornece condições de desenvolvimento para as plantas que podem ser flutuantes e/ou enraizadas (emergentes e submersas), sendo que a água flui superficialmente a uma pequena profundidade (0,1 a 0,3m). Melhores resultados são obtidos como tratamento terciário. Por apresentarem lâmina de água aparente e exposta ao ar livre; a incorporação de oxigênio é maior quando se compara ao subsuperficial (MONTEIRO, 2009).

Já as *wetlands* construídas de escoamento subsuperficial, são essencialmente filtros horizontais preenchidos com pequenas pedras, cascalho ou areia como meio suporte, onde as raízes das plantas se desenvolvem. O efluente é mantido abaixo da superfície do substrato, geralmente granular e os esgotos fluem em contato com as raízes e os rizomas das plantas (onde se desenvolve o biofilme bacteriano). A altura total do sistema situa-se entre 0,4 e 0,6 m, e a da água, dentro do leito, entre 0,3 e 0,5 m. Este sistema mostrou-se eficiente no tratamento secundário de águas residuárias (ROSTON, 1994; SOUZA e BERNARDES, 1996; MANSOR, 1998; VALENTIM, 1999), porém com baixa taxa de nitrificação. Segundo Von Sperling (2013), pelo fato de não se ter lâmina d'água livre, há menor potencial de geração de maus odores e de surgimento de mosquitos e ratos.

Nos *wetlands* construídos de fluxo horizontal, o oxigênio requerido é suprido pelas macrófitas e pela convecção e difusão atmosférica (PHILIPPI e SEZERINO, 2004). A oxigenação está muito mais limitada, sendo que dominam os processos anóxicos. Como vantagem principal deste está a possibilidade de permitir sua alimentação sem o uso de bomba em locais que apresentem condições de declividade de terreno favoráveis. O uso deste tipo de sistema limita-se ao tratamento de efluentes com baixa carga orgânica, como água cinza (PLATZER et al., 2007a), por exemplo, ou implica na necessidade de recirculação dentro do sistema, que, segundo Brix (1994), melhora o desempenho geral do sistema e aumenta 50% a remoção de nitrogênio por desnitrificação.

No *wetland* construído de fluxo vertical, a forma de aplicação intermitente promove um grande arraste de oxigênio atmosférico para o substrato tornando-se, assim, suficiente para a degradação da matéria orgânica e a oxidação da amônia (COOPER et al., 1996). A distribuição do efluente ocorre numa área maior de entrada e o uso de volume de filtro é mais eficiente, resultando em uma necessidade de área muito menor. O modelo pode ser aplicado para qualquer tipo de efluente, sejam águas negras ou cinzas, efluentes sanitários ou industriais (PLATZER

et al., 2007a). Nele o efluente é direcionado para a superfície plantada e percola através do substrato (usualmente areia) até o sistema de drenagem localizado na base inferior do canteiro.

Considerando que ainda não existem normas técnicas brasileiras definindo uma uniformização dos parâmetros e critérios de dimensionamento, este pode ser feito de acordo com o tipo de efluente, a quantidade de efluente que será tratado (vazão) e a eficiência desejada, entretanto, deve-se sempre projetar a estação a fim de manter a facilidade de operação e manutenção do sistema (BEGOSSO, 2009; SALATI, 2011).

Dados encontrados na literatura sugerem uma área de 0,5-3 m<sup>2</sup> por pessoa quando a escala é reduzida para uso domiciliar (BUENFIL, 2004; SHRESTHA et al., 2001; JENSSEN et al., 2005). Em relação à profundidade e à geometria são adotados, na grande maioria dos estudos, valores máximos de 1,50 m de profundidade e uma geometria retangular, com comprimento bem superior à largura, a fim de promover uma tendência de escoamento tal qual fluxo pistão (COSTA et al. 2013).

Uma das formas de verificar a viabilidade do sistema *wetland* construído no tratamento da água cinza é a realização de análises físico-químicas e biológicas no afluente e no efluente tratado. Os parâmetros usualmente explorados para a implementação de uma *wetland* construída são: Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO); Demanda Química de Oxigênio (DQO); potencial hidrogeniônico (pH); Oxigênio Dissolvido; Nitrogênio Total; Fósforo Total; Turbidez; Sólidos Suspensos Totais, Coliformes Totais (CT) e *Escherichia coli* (*E.coli*) (SEZERINO, 2006; PHILIPPI et al., 2007). Estes parâmetros são considerados importantes para que se defina o nível de eficiência do pré-tratamento de modo que não comprometa o funcionamento do sistema, principalmente no que se refere à concentração de sólidos no afluente.

### 3.3.1 Material de enchimento

A escolha do material de enchimento é referente ao objetivo do sistema e depende das características do efluente, mas o uso de material com maiores espaços intersticiais formados pela disposição do mesmo é de suma importância, uma vez que favorecerá a distribuição uniforme do líquido, assim como apresentará menor possibilidade de colmatção pré-matura. O substrato apresenta diversas funções como: distribuição uniforme do afluente; condutividade hidráulica; área superficial para crescimento de biofilme; efeito de filtração; armazenamento de fósforo; sorção de poluentes; sustentação para macrófitas; entre outras.

Segundo Langergraber (2003), a colmatção é um fenômeno induzido pela deposição de sólidos orgânicos e inorgânicos na superfície das *wetlands*, pela produção de biomassa em excesso devido ao crescimento de microrganismos, pelo crescimento demasiado das raízes das macrófitas e pela compactação do maciço filtrante. A utilização de um material com granulometria e condutividade hidráulica inadequada é um dos principais fatores que influenciam no processo de colmatção (STEVENSON, 1997), ou seja, uma má escolha do material a ser empregado na *wetland* pode resultar na redução da capacidade de infiltração.

O uso do material de enchimento é variável, podendo utilizar material reciclável (garrafas pet amassada), conchas de ostras (KAICK, 2003), pneu picado (COLLAÇO, 2006), caco de telha (MONTEIRO, 2005), bambu (ZANELLA, 2008), solo, areia, brita (METCALF e EDDY, 1991), silte, cascalho, pedrisco (COSTA et al., 2003), casca de arroz (LEOPOLDO et al., 1999), palha de café ou qualquer outro material que seja inerte. É preferível a utilização de material com formato próximo à esfera, uma vez que essa forma apresenta uma melhor condutividade hidráulica, além de maior área superficial em relação ao volume. O substrato deverá ser colocado sobre uma proteção impermeável para evitar a contaminação do solo e eventual infiltração até o lençol freático (MOTTA MARQUES, 1999; SALATI FILHO et al., 1999).

### 3.3.2 Macrófitas

As plantas cultivadas no sistema de *wetlands* construídas são chamadas de macrófitas aquáticas, hidrófitas, hidrófitas vasculares, plantas aquáticas ou plantas aquáticas vasculares. O termo macrófitas é o mais utilizado nas *wetlands* construídas. As macrófitas são plantas que crescem em ambientes de transição entre sistemas aquáticos e terrestres e produzem quantidades expressivas de matéria seca, com elevado teor de nutrientes (GUNTENSPERGEN et al., 1988).

O esgoto a ser tratado passará no sistema de *wetland* construído que é composto pela área plantada, local em que o terreno é preparado com o cultivo de determinada planta, isso faz com que se tenha contato entre o esgoto e as raízes. As plantas possuem capacidade de permitir que o oxigênio atmosférico entre e interaja com o sistema radicular através de espaços internos ocos (aerênquimas), estabelece-se então quantidades de bactérias aeróbias hospedeiras em torno da área da raiz. Elas fornecem condições para a planta sobreviver e reduz a carga orgânica do efluente (SILVA, 2007).

A eficiência do tratamento da água em sistemas tipo *wetland* construídos é intensificada com o uso de macrófitas, uma vez que estas recriam e realçam o ciclo equilibrado aeróbio/anaeróbio do solo, o que possibilita a existência de todo tipo de bactérias (aeróbias, anaeróbias e facultativas), imprescindíveis para os processos (TANNER et al., 1997 e EPA, 2000 apud DUARTE, 2002; SHUTES, 2001). Segundo Duarte (2002), os processos realizados pelas macrófitas são: sedimentação dos sólidos suspensos; liberação do oxigênio na zona das raízes; fornecimento de superfície para o desenvolvimento de biofilmes; proteção da superfície da água para reduzir o crescimento de algas; remoção e ciclagem de nutrientes; e promoção da vida selvagem e dos valores estéticos.

Segundo Tundisi e Tundisi (2008), as macrófitas podem ser classificadas em plantas emergentes, que são firmemente enraizadas em solo submerso; macrófitas flutuantes com folhas e as totalmente submersas. Esses três tipos de macrófitas possuem características de adaptação como um aerênquima que facilita o transporte de oxigênio para as raízes das plantas emergentes, ou folhas finas com película superficial pouco espessa para auxiliar na fixação de nutrientes e dióxido de carbono no meio líquido, como ocorre nas submersas.

Para a escolha das macrófitas aquáticas que serão utilizadas em sistemas *wetlands* construídos devem ser levados em consideração alguns critérios. As espécies escolhidas devem apresentar tolerância a ambientes eutrofizados, ter crescimento acelerado, incorporação de nutrientes, valor econômico, estética agradável, floração, entre outros (MONTEIRO, 2009).

As macrófitas utilizadas necessitam de um período para se adaptarem as condições do novo habitat. Ansola et al (2003) constataram que a eficiência na remoção de 99% da matéria orgânica de seu sistema só foi atingida quando as macrófitas estavam adaptadas e começaram a emitir novos brotos. No mesmo experimento, verificaram diferença na remoção de nutrientes e matéria orgânica entre o inverno e o período de crescimento das plantas.

Existem vários tipos de macrófitas que podem ser empregados nesses sistemas, desde plantas vasculares (ex.: *Typha spp.*), até algas (PHILIPPI e SEZERINO, 2004). As macrófitas mais amplamente empregadas em *wetlands* construídas nas regiões de clima subtropical como América do Sul, África, Índia e Ásia Oriental são: *Phragmites australis*, *Typha spp.*, *Juncus spp.* e *Cyperus papyrus spp.* (SEZERINO, 2006; HOFFMANN et al., 2011). A espécie escolhida deve estar relacionada com a capacidade da planta tolerar ambientes saturados de efluente, o seu potencial de crescimento e a presença das mesmas próximas do local de implantação do filtro, garantindo assim melhores condições de adaptação ao clima da região (IWA, 2000).

A utilização de plantas no tratamento de esgoto representa uma tecnologia emergente, eficiente, estética e de baixos custos energéticos, que está se revelando como boa alternativa aos sistemas convencionais (VICZNEVSKI e MARCHESINI, 2002, PRESZNHUK et al., 2003, ALMEIDA et al., 2005). Trabalhos com sistemas horizontais subsuperficiais mostram que as macrófitas melhoram a qualidade da água, enquanto outros indicam que o tratamento secundário é igual em leitos vegetados ou não (VALENTIM, 2003), sendo que as plantas não seria fator crítico, mas apenas um lado estético. Em pesquisas realizadas no Brasil, Valentim (1999) e (2000) e Souza et al. (2000) apud Valentim, (2003) constataram que o uso da macrófita apresenta efluente com melhor qualidade quanto a SST e DQO.

O tratamento do efluente ocorre em razão da associação do material de enchimento com as plantas. As raízes das plantas se fixam no substrato e retiram os elementos essenciais ao seu desenvolvimento, oxigenam e criam ambiente biológico e químico favorável para o desenvolvimento dos microrganismos que degradam a matéria orgânica e excretam substâncias bactericidas, eliminando parte dos coliformes fecais (HUSSAR, 2001).

### 3.3.3 Biofilme

O biofilme pode ser definido como um conjunto de microrganismos e de produtos extracelulares que se aderem sobre um suporte sólido, formando uma camada volumosa e espessa, com uma estrutura externa não totalmente regular e uniforme (PHILIPPI et al., 1999). O biofilme é composto por  $91 \pm 5\%$  de água,  $2,5 \pm 0,5\%$  de matéria volátil e de  $6,7 \pm 4,8\%$  de matérias não voláteis (COSTA, 1989; TRINET, 1988).

*Wetlands* construídos proporcionam um ambiente adequado para o crescimento e reprodução de microrganismos. Bactérias, fungos e algas são organismos comuns em áreas úmidas, sendo o grupo das bactérias os mais representativos e os mais importantes na remoção de poluentes (SAEED e SUN, 2012). De acordo com Philippi e Sezerino (2004), as bactérias crescem nas raízes submersas e caules das plantas aquáticas e são as principais responsáveis pelo tratamento biológico de efluentes por desempenhar três funções básicas: a oxidação da matéria carbonácea, a nitrificação e a desnitrificação. Portanto, são os microrganismos presentes no biofilme que irão promover as ações de depuração do esgoto nas *wetlands*.

Segundo Sant'anna (2010), os compostos necessários para o desenvolvimento bacteriano, como matéria orgânica, oxigênio e micronutrientes, são adsorvidos à superfície e transportados através do biofilme por mecanismos de difusão, onde são metabolizados pelos microrganismos. A matéria orgânica presente no esgoto será digerida pela população de



microrganismos presentes no biofilme formado sobre o meio suporte. Enquanto os microrganismos crescem, a espessura da camada biológica aumenta e o oxigênio disponível é consumido antes que possa penetrar a uma profundidade maior desta camada, formando um ambiente anaeróbio perto da superfície do meio suporte (OLIJNYK, 2008).

### **3.4 Legislação Relativa ao Reúso de Água no Brasil**

No Brasil, o reúso é uma prática que está sendo cada vez mais necessária e difundida, pois além de ser impulsionada pelos reflexos financeiros está associada aos instrumentos trazidos pela Lei 9.433 de 1997, que visam a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos. As regulamentações específicas sobre o assunto ainda são precárias e seria necessária a criação de leis específicas e adequadas para promover a prática do reúso de forma a ampliar os benefícios à toda população, minimizando os riscos associados à esta técnica e possibilitando o equacionamento dos conflitos potencialmente existentes (RODRIGUES, 2005).

O reúso de água é regulado pelas instruções contidas na Norma ABNT 13.969/1997 e da Resolução do Conselho Nacional de Recursos Hídricos - CNRH n. 54/05, a qual estabelece regras para o reúso direto não potável de água. A normatização dos padrões de qualidade da água e o seu uso no Brasil é regulamentada pela resolução n° 430/2011 (Complementa e altera a Resolução n° 357/2005) (CONAMA, 2011). Esta Resolução estabelece, por meio de vários artigos, uma série de limites e condições, sob os pontos de vista físico, químico e bioquímico, para as águas das diversas classes. São estabelecidos padrões mínimos para os efluentes serem aceitos como descartes em corpos dá água. Para que eles possam ser lançados, direta ou indiretamente, nos corpos d´água, devem obedecer às condições preestabelecidas, conforme a Tabela 1.

**TABELA 1:** Classificação das águas segundo a Resolução CONAMA nº 430/2011

<b>Classificação</b>	<b>Usos e destinação</b>
Classe Especial	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ao abastecimento para o consumo humano, com desinfecção.</li> <li>• À preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas.</li> <li>• À preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.</li> </ul>
Classe 1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ao abastecimento para o consumo humano, após tratamento simplificado.</li> <li>• À proteção das comunidades aquáticas.</li> <li>• À recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA nº 274/2000.</li> <li>• À irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película.</li> <li>• À proteção das comunidades aquáticas em terras indígenas.</li> </ul>
Classe 2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional.</li> <li>• À proteção das comunidades aquáticas.</li> <li>• À recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA nº 274/2000.</li> <li>• À irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto.</li> <li>• À aquicultura e à atividade de pesca.</li> </ul>
Classe 3	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado.</li> <li>• À irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras.</li> <li>• À pesca amadora.</li> <li>• À recreação de contato secundário.</li> <li>• À dessedentação de animais.</li> </ul>

Fonte: Adaptada de Resolução CONAMA nº 430/2011 (BRASIL, 2011).

Além do estabelecimento de regras para a utilização do reúso de água necessita-se de uma política de educação ambiental voltada para a prática do uso racional da água. As ações que promovem o conhecimento da sociedade no que diz respeito aos benefícios do reúso no dia a dia da população e na proteção ao meio ambiente e saúde pública são de suma importância, já que a conscientização e participação da população que deve ser levado em conta durante todo o planejamento e implantação de programas do uso racional da água. (RODRIGUES, 2005).

A existência de leis e normas é de fundamental importância para o possível uso de efluentes tratados, servindo como diretrizes e determinando parâmetros a serem seguidos. Atualmente, os países desenvolvidos encontram-se mais avançados quanto a esse aspecto, porém, o Brasil vem estimulando a prática de reúso e seu estudo no país.

Os danos causados à saúde humana, relacionados com os tratamentos inadequados dos efluentes, de uma forma geral, têm provocado o surgimento de leis de proteção ao meio ambiente, cada vez mais rígidas, e conseqüentemente uma procura por técnicas de tratamento de efluentes mais eficazes e de custos aceitáveis. Contudo, essas novas técnicas são “refêns” de uma série de fatores como: legislação, cultura, investimentos, informações, entre outros (VON SPERLING, 2005).

Atualmente, além de empresas de engenharia que já estão aplicando estes sistemas, em escala real, para o tratamento de esgotos sanitários, efluentes industriais e percolados de aterro sanitário, em várias regiões do território nacional, há grupos de pesquisas distribuídos pelas diversas universidades do Brasil que aplicam sistemas de *wetlands* construídas com as mais diversas configurações e arranjos, especialmente, no tratamento de águas residuárias visando o controle da poluição hídrica.

## **4 METODOLOGIA**

O trabalho foi dividido em quatro etapas distintas, sendo: dimensionamento e construção da caixa de gordura e do sistema *wetland* construído com fluxo subsuperficial horizontal; levantamento das espécies de macrófitas aquáticas; implantação do projeto, monitoramento do sistema de *wetland* construído e da qualidade da água para atender à Classe 2 da Resolução CONAMA nº 430/2011.

### **4.1 Local**

A propriedade residencial na qual será implantado o sistema é localizado na cidade de Belo Horizonte (Figura 1), situado no estado de Minas Gerais.

**FIGURA 1:** Local de implantação do sistema *wetland* construído



Fonte: Google Maps.


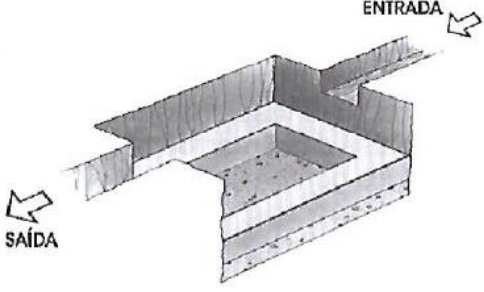
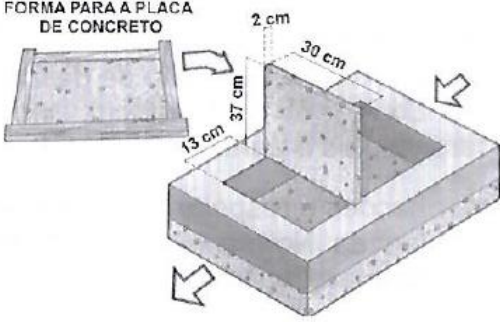
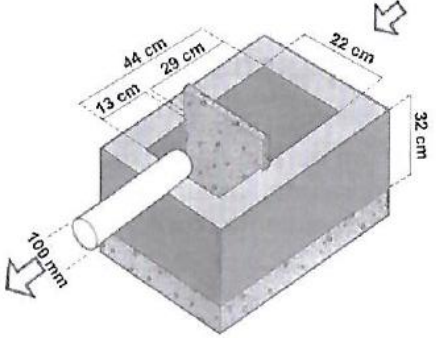
## **4.2 Dimensionamento e construção**

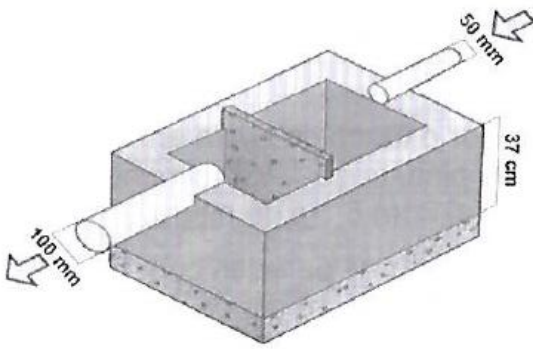
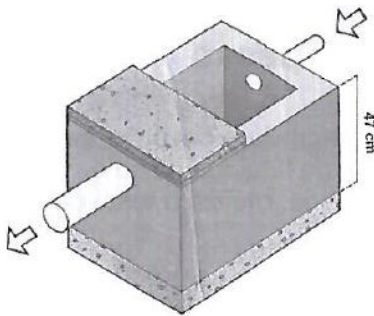
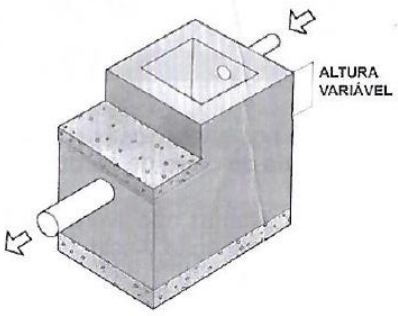
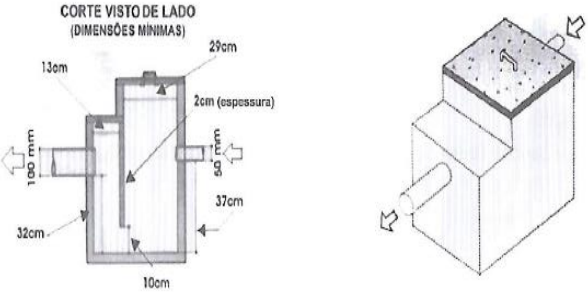
### **4.2.1 Caixa de Gordura**

A caixa de gordura foi dimensionada e construída de acordo com o manual da COPASA (2016). No projeto em questão, o efluente da pia da cozinha passará pela caixa de gordura para reter o máximo de partículas sólidas antes de chegar até a estação de tratamento da água.

Conforme Norma da COPASA, para uma cozinha, as dimensões internas da caixa de gordura recomendadas são 60 cm de comprimento, 30 cm de largura, 61 cm de altura e 46 cm de altura da saída, sendo a capacidade da caixa de 83 litros. A caixa de gordura foi construída em concreto vibrado para evitar vazamento e sua construção foi dividida em oito etapas (Tabela 2).

**TABELA 2:** Etapas da construção da caixa de gordura, conforme manual da COPASA

 <p>ENTRADA DA ÁGUA UTILIZADA NA LAVAGEM DAS VASILHAS DE COZINHA</p> <p>80 cm</p> <p>60 cm</p> <p>SAÍDA PARA A CAIXA DE INSPEÇÃO</p>	<p>Abrir um buraco de (80x60x80), comprimento largura e profundidade, respectivamente.</p>
 <p>ENTRADA</p> <p>SAÍDA</p>	<p>Fazer o fundo da caixa em concreto simples, traço 1:3:3 (cimento, areia, brita nº1) com 8 cm de altura.</p>
 <p>FORMA PARA A PLACA DE CONCRETO</p> <p>2 cm</p> <p>30 cm</p> <p>37 cm</p> <p>13 cm</p>	<p>Fazer uma placa de concreto simples, com 30 cm x 37 cm x 2 cm, que será a parede de sifão. Assentar a placa sobre as paredes a 13 cm acabados (revestimento interno da caixa) da saída da caixa.</p>
 <p>44 cm</p> <p>29 cm</p> <p>22 cm</p> <p>32 cm</p> <p>13 cm</p> <p>100 mm</p>	<p>Subir as paredes da caixa até 32 cm de altura, a partir do fundo. Assentar o tubo de 100 mm, saindo para a caixa de inspeção.</p>

	<p>Subir as paredes mais 5 cm, assentando a 37 cm do fundo da caixa o tubo de 50 mm, para a entrada de água provenientes das áreas de lançamentos de resíduos gordurosos.</p>
	<p>Subir as paredes mais 10 cm e chumbar uma tampa de concreto ou de pedra sobre a parte menor da caixa.</p>
	<p>Continuar subindo as paredes do lado maior da caixa até o nível do terreno.</p>
	<p>Aterrar as laterais da caixa e encaixar no lado maior, uma tampa móvel para permitir a limpeza da caixa.</p>

As adaptações necessárias da tubulação que conduz as águas da pia da cozinha e do tanque externo para a caixa de gordura e posteriormente para a *wetland* construída são apresentadas na Figura 2.

**FIGURA 2:** Tubulação de saída da pia da cozinha (A) e do tanque externo (B) encaminhados para a caixa de gordura. Vista superior da caixa de gordura em fase de construção (C) e vista lateral da caixa de gordura em fase de acabamento (D)



(A)



(B)



(C)



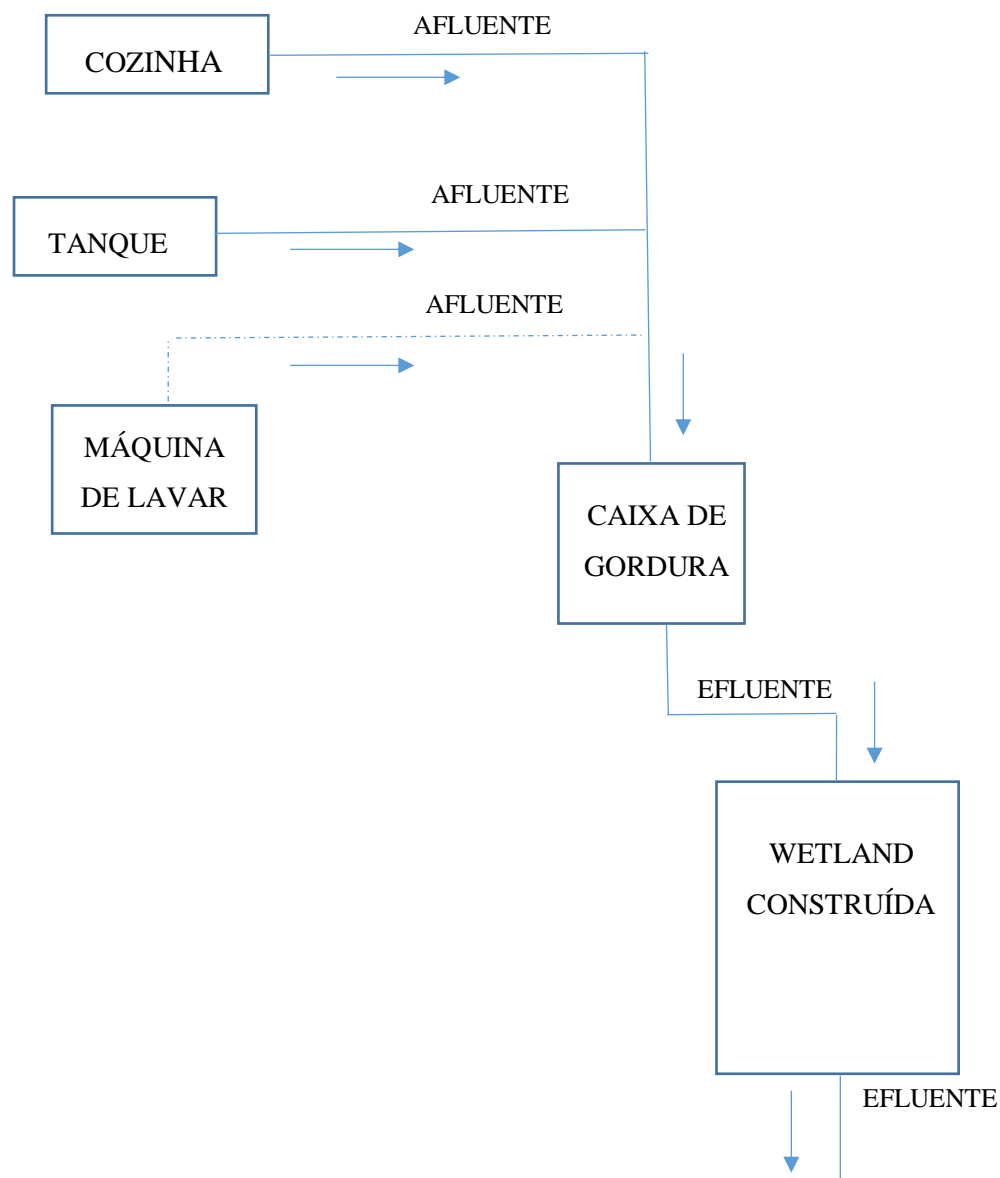
(D)

Fonte: Autoria própria.

#### 4.2.2 Unidade experimental

A população de projeto utilizada no dimensionamento da *wetland* construída com fluxo subsuperficial horizontal foi de 6 habitantes e a vazão aplicada em regime contínuo foi estimada em 80 L/hab x dia, pois foi levado em consideração a ampliação futura do projeto que além de abranger a água da pia de cozinha e de um tanque externo, será acrescentado a água da máquina de lavar roupa. Para o cálculo da vazão, foi feita uma média dos volumes diários do efluente coletado em um tambor durante uma semana. O fluxograma do sistema *wetland* construída está representado abaixo (Figura 3).

**FIGURA 3:** Fluxograma do sistema *wetland* construído na residência



Fonte: Autoria própria.



A estação foi construída em formato retangular, abaixo do nível do solo, em concreto, com dimensões de 4 m de comprimento, 1 m de largura e 0,6 m de altura. Sua alimentação é feita por gravidade pelo efluente da caixa de gordura e foi adotado declividade de fundo correspondente a 1% em direção à saída da estação, para favorecer a manutenção do escoamento laminar e uniforme da água cinza pelo meio filtrante da *wetland* construída. As paredes laterais e o piso da estação foram impermeabilizados com aplicação de revestimento impermeabilizante semi-flexível da marca Wapulus. A Figura 4 apresenta a vista interna da estação de fluxo horizontal durante o processo de construção.

**FIGURA 4:** Tubulação de entrada da caixa de gordura para a *wetland* (A). Escavação para a armação das formas de madeira (B) e posterior concretagem da estação (C). Impermeabilização da *wetland* construída (D)



(A)



(B)



(C)



(D)

Fonte: Autoria própria.

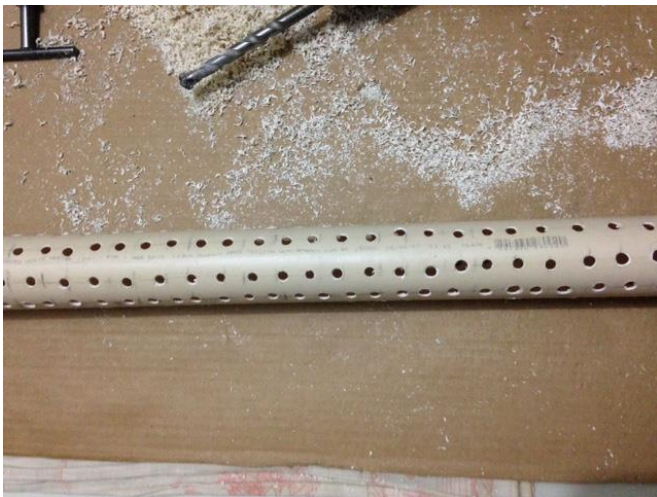
Como o sistema tem fluxo horizontal, cada material de enchimento é disposto em camadas verticais. O meio filtrante da estação possui 0,5 m de altura útil e é composto por camadas de britas nº 0 e nº 1 dispostas no seu interior. Essa escolha baseou-se no fato da brita possuir maior heterogeneidade de tamanho, menor preço unitário e maior facilidade para aquisição comercial. Ambos os tipos de brita foram lavadas antes de serem utilizadas na estação e adquiridos junto ao mesmo fornecedor, entregue na residência a granel em caminhão.

A região de entrada da água cinza da estação é preenchida por uma camada de brita nº 1, com 1,0 m de largura, 0,5 m de comprimento medidos a partir da face interna da estação e 0,15 m de altura, medidos a partir do fundo da câmara de fluxo horizontal. A outra camada de brita nº 1 está situada na região de saída da água cinza da estação, com 1,0 m de largura, 0,5 m de comprimento medidos a partir da face interna da parede da estação e 0,5 m de altura medidos a partir do fundo da mesma. A camada de brita nº 0 está situada no centro da estação (entre as camadas de brita nº 1 mencionadas), com 1,0 m de largura, 3,0 m de comprimento medidos a partir da face interna da estação e 0,5 m de altura medidos a partir do fundo da estação. Durante

o enchimento do meio filtrante da estação foram utilizadas placas de madeira como suporte para o preenchimento.

O sistema de distribuição do afluente da *wetland* construída é composto por dois tubos de PVC perfurados, de DN 50 mm, com furos laterais diametralmente opostos de diâmetro 6 mm espaçados a cada 20 mm, unidos por uma conexão “tê” posicionada na entrada da estação que está interligada à tubulação da caixa de gordura. A água cinza percolada pelo meio filtrante da estação é recolhida por dois tubos de PVC perfurados, de DN 50 mm, interligadas e dispostas na base da estação, com furos laterais de diâmetro 6 mm espaçados a cada 20 mm e voltados à parede de saída da estação, também unidos por uma conexão “tê” posicionada na saída da estação. A configuração da tubulação no leito filtrante da *wetland* é apresentada na Figura 5.

**FIGURA 5:** Configuração do sistema de distribuição da água da *wetland* construída



(A)



(B)

Fonte: Autoria própria.

Os cálculos para o dimensionamento hidráulico da estação de tratamento da água cinza da pia da cozinha e do tanque externo incluíram a vazão da água cinza, a área superficial do leito filtrante, a taxa de carregamento hidráulico (TCH) e o tempo de detenção hidráulica na

*wetland* construída de fluxo horizontal ( $TDH_{FH}$ ) (MENDONÇA, 2015). Para o cálculo da vazão da água cinza, adotou-se os dados contidos na Tabela 3 e os critérios técnicos de projeto baseados na NBR 13969/1997 – Tanques sépticos, adaptado para *wetlands* construídos, conforme a revisão da literatura.

**TABELA 3:** Dados para os cálculos da vazão

População de projeto (P)	6 habitantes
Contribuição per capita água cinza (q)	80L/hab x dia
Coefficiente de pico (k) – NBR 13969/1997	1,8

Fonte: Adaptado de Mendonça (2015).

Para o cálculo da vazão média ( $Q_m$ ), multiplicou-se a população de projeto (P) pela contribuição per capita da água cinza (q):

$$\begin{aligned}
 Q_m &= P \times q \\
 \text{(Equação 1)} \quad Q_m &= 6 \text{ hab} \times 80 \text{ L/hab} \times \text{dia} \\
 Q_m &= 480 \text{ L/dia} \\
 Q_m &= 20 \text{ L/h}
 \end{aligned}$$

Para o cálculo da vazão máxima ou de pico ( $Q_{m\acute{a}x}$ ), multiplicou-se a vazão média encontrada pelo coeficiente de pico (k):

$$\begin{aligned}
 Q_{m\acute{a}x} &= Q_m \times k \\
 \text{(Equação 2)} \quad Q_{m\acute{a}x} &= 480 \times 1,8 \\
 Q_{m\acute{a}x} &= 864 \text{ L/dia} \\
 Q_{m\acute{a}x} &= 36 \text{ L/h}
 \end{aligned}$$

Para o cálculo da área superficial da *wetland* construída (câmara de fluxo horizontal), foi utilizado o comprimento do leito filtrante (L) e a largura (W) correspondente respectivamente a 4 metros e 1 metro. Dessa forma, a razão entre comprimento (L) e largura (W) na *wetland* construída de fluxo horizontal equivale a  $L:W = 4:1$  (4 para 1).

Para o cálculo da área superficial do leito filtrante ( $A_s$ ), multiplicou-se o comprimento do leito filtrante (L) pela sua largura (W):

$$\begin{aligned}
 A_s &= L \times W \\
 \text{(Equação 3)} \quad A_s &= 4 \text{ m} \times 1,0 \text{ m} \\
 A_s &= 4,0 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

Para a taxa de carregamento hidráulico ou taxa de aplicação hidráulica superficial (TCH) foi utilizado a relação entre vazão e área superficial, conforme Tabela 4:

**TABELA 4:** Taxa de aplicação hidráulica superficial (TCH)

$TCH = Q / A_s$	$Q = \text{vazão de água cinza}$
	$A_s = \text{área superficial do leito filtrante}$

Fonte: Adaptado de Mendonça (2015).

Para o cálculo da taxa de carregamento hidráulico superficial (TCH) foi utilizado a relação entre a vazão média ( $Q_m$ ) e a área superficial do leito filtrante ( $A_s$ ):

(Equação 4)

$$TCH_m = (0,480 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \times \text{dia}) / (4,0 \text{ m}^2)$$

$$TCH_m = 0,12 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \times \text{dia}$$

$$TCH_m = 120 \text{ mm/dia}$$

Para o cálculo da taxa de aplicação hidráulica superficial (TCH) foi utilizado a relação entre a vazão máxima ou de pico ( $Q_{m\acute{a}x}$ ) e a área superficial do leito filtrante ( $A_s$ ):

(Equação 5)

$$TCH_{m\acute{a}x} = (0,864 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \times \text{dia}) / (4,0 \text{ m}^2)$$

$$TCH_{m\acute{a}x} = 0,216 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \times \text{dia}$$

$$TCH_{m\acute{a}x} = 216 \text{ mm/dia}$$

Para o cálculo do tempo de detenção hidráulica na *wetland* construída de fluxo horizontal ( $TDH_{FH}$ ), foi calculado o volume útil do leito filtrante da *wetland* construída de fluxo horizontal ( $V_u$ ), conforme Tabela 5:

**TABELA 5:** Volume útil do leito filtrante da *wetland* construída de fluxo horizontal ( $V_u$ )

$V_u = V_{UB0} + V_{UB1}$	$V_{UB0} = \text{Volume útil da brita nº 0}$
	$V_{UB1} = \text{Volume útil da brita nº 1}$
$V_{UB0} = V_{B0} \times \eta_{B0}$	$V_{B0} = \text{Volume da brita nº 0}$
	$\eta_{B0} = \text{Porosidade da brita nº 0}$
$V_{UB1} = V_{B1} \times \eta_{B1}$	$V_{B1} = \text{Volume da brita nº 1}$
	$\eta_{B1} = \text{Porosidade da brita nº 1}$

Fonte: Adaptado de Mendonça (2015).

Para isso, foram utilizados os dados da porosidade das britas informados pelo fornecedor, sendo a porosidade da brita nº 0 correspondente a 35% e da brita nº 1 correspondente a 40%. Assim, levando em consideração o comprimento, a largura e a profundidade das camadas de cada tipo de brita, é calculado o volume das britas e o volume útil do leito filtrante ( $V_u$ ).

Cálculo do volume de  $B_0$ :

$$\begin{aligned} \text{(Equação 6)} \quad V_{B_0} &= (3,0 \text{ m} \times 1,0 \text{ m} \times 0,5 \text{ m}) \\ V_{B_0} &= 1,5 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Cálculo do volume de  $B_1$ :

$$\begin{aligned} \text{(Equação 7)} \quad V_{B_1} &= (0,5 \text{ m} \times 1,0 \text{ m} \times 0,15 \text{ m}) + (0,5 \text{ m} \times 1,0 \text{ m} \times 0,5 \text{ m}) \\ V_{B_1} &= 0,325 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Cálculo do volume útil do leito filtrante ( $V_u$ ):

$$\begin{aligned} \text{(Equação 8)} \quad V_u &= V_{UB_0} + V_{UB_1} \\ V_u &= V_{B_0} \times \eta_{B_0} + V_{B_1} \times \eta_{B_1} \\ V_u &= (1,5 \text{ m}^3 \times 0,35) + (0,325 \text{ m}^3 \times 0,40) \\ V_u &= 0,655 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Para o cálculo do tempo de detenção hidráulica na *wetland* construída de fluxo horizontal ( $TDH_{FH}$ ), foi utilizado a relação entre o volume útil do leito filtrante ( $V_u$ ), a vazão média ( $Q_m$ ) e a vazão máxima ou de pico ( $Q_{m\acute{a}x}$ ), conforme Tabela 6.

**TABELA 6:** Tempo de detenção hidráulica na *wetland* construída de fluxo horizontal ( $TDH_{FH}$ )

	$V_u =$ Volume útil do leito filtrante
	$Q =$ Vazão de água cinza ( $Q_m$ ou $Q_{m\acute{a}x}$ )
$TDH_{FH} = V_u/Q$	$L =$ Comprimento do leito filtrante, paralelo à direção do fluxo
$TDH_{FH} = (L \times W \times d \times \eta) / Q$	$W =$ Largura do leito filtrante, perpendicular à direção do fluxo
	$D =$ Profundidade submersa do leito filtrante
	$\eta =$ Porosidade do leito filtrante, em porcentagem

Cálculo para a vazão média ( $Q_m$ ):

$$\begin{aligned} \text{TDH}_{\text{FH}} &= Vu/Q_m \\ \text{(Equação 9)} \quad \text{TDH}_{\text{FH}} &= 0,655 \text{ m}^3 / 0,480 \text{ m}^3 \\ \text{TDH}_{\text{FH}} &\cong 1,36 \text{ dia} \end{aligned}$$

Cálculo para a vazão máxima ou de pico ( $Q_{\text{máx}}$ ):

$$\begin{aligned} \text{TDH}_{\text{FH}} &= Vu/Q_{\text{máx}} \\ \text{(Equação 10)} \quad \text{TDH}_{\text{FH}} &= 0,655 \text{ m}^3 / 0,864 \text{ m}^3 \\ \text{TDH}_{\text{FH}} &\cong 0,75 \text{ dia} \end{aligned}$$

O tempo de detenção hidráulica da *wetland* construída é o tempo em que o efluente permanece no sistema para ser tratado e que leva em consideração a vazão do efluente que entra no sistema, o volume da unidade e a porosidade do meio. A eficácia na melhoria da qualidade da água é diretamente proporcional ao tempo de detenção do efluente a ser tratado dentro do sistema. O tempo de detenção é representado em dias e tem grande variabilidade de acordo com o projeto. Nos estudos realizados no Brasil este tempo se manteve em sua maioria entre 1 e 2 dias (DORNELAS, 2008).

### 4.3 Macrófitas

Com a finalidade de se obter um sistema mais resistente e resiliente, foi adotada a técnica de policultura no leito de sustentação da *wetland* construída. As espécies utilizadas foram escolhidas por apresentarem um bom potencial de crescimento em ambientes com elevada carga orgânica e por possuírem características funcionais pertinentes ao sistema experimental, além disso, foi levado em conta o apelo estético.

As espécies empregadas foram a Taboa (*Typha domingensis*), a cavalinha (*Equisetum sp*), a Lírio do Brejo (*Hedychium coronarium*) e o aguapé (*Eichhornia crassipes*). São espécies morfológicamente adaptadas para se desenvolverem em sedimentos inundados, apresentam alta capacidade depuradora para águas poluídas, (CUNHA 2006; SEZERINO, 2006; SILVA, 2007; OLIJNYK, 2007; SALATI 2009; LIMA, 2011) e foram obtidas com facilidade.

As mudas foram coletadas no dia 04 de maio de 2018, por escavação manual e acondicionadas separadamente em sacos plásticos, com a finalidade de preservar suas condições naturais mantendo o biofilme nas raízes. A fim de otimizar o tempo de adaptação e reduzir as ações de manejo, as macrófitas não foram limpas em água corrente.

#### 4.4 Análises Físico-Químicas e Microbiológicas

Para o monitoramento do sistema foram coletadas amostras na saída do efluente da caixa de gordura (antes de entrar no sistema *wetland* construído) e na saída da estação de tratamento, para posterior comparação com o enquadramento da Classe 2 da Resolução CONAMA 430/2011. Foram analisados os parâmetros físicos, químicos e microbiológico: sólidos totais (ST), pH, temperatura, demanda química de oxigênio (DQO), Nitrogênio Amoniacal, Fósforo Total e *Escherichia coli* (*E. coli*). Os métodos de amostragem analíticos foram referenciados pela publicação “*Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*”, 22ª edição (APHA, 2005), conforme Tabela 7.

**TABELA 7:** Ensaios de Parâmetros Físicos e Químicos

		Tipo do Frasco	Volume do Frasco	Preservação da Amostra em Campo	Armazenamento da Amostra
Ensaios de Parâmetros Físicos e Químicos	DQO (Demanda química de oxigênio)	- Plástico descartável de polímero inerte	100 mL	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 1+1 até pH<2 Resfriamento (gelo)	Refrigeração ≤6°C
	ST (Sólidos totais)	- Plástico descartável de polímero inerte	500 mL	Resfriamento (gelo)	Refrigeração ≤6°C
	N-NH <sub>4</sub> (Nitrogênio amoniacal)	- Plástico descartável de polímero inerte	250 mL	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 1+1 até pH<2 Resfriamento (gelo)	Refrigeração ≤6°C
	P-total (Fósforo total)	- Plástico descartável de polímero inerte	100 mL	HNO <sub>3</sub> 1+1 até pH<2 Resfriamento (gelo)	Refrigeração ≤6°C
Ensaios de Parâmetros Microbiológicos	<i>Escherichia Coli</i>	- Plástico descartável de polímero inerte - Lavagem especial	[P1]500 mL [P2]500 mL	Resfriamento (gelo)	Refrigeração entre 2°C e 8°C

Fonte: Adaptado do “*Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*” – APHA – AWWA – WEF, 22ª edição.

As análises dos parâmetros físicos, químicos e microbiológicos foram feitas em laboratório particular e realizadas durante os meses de maio e junho de 2018, semanalmente, com amostragens do experimento em dois pontos da *wetland* construída, na saída do efluente da caixa de gordura (antes de entrar no sistema *wetland* construído) e na saída da estação de tratamento.



## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados representam a avaliação da eficiência do sistema *wetlands* construído com fluxo subsuperficial horizontal no tratamento de água cinza provenientes da pia de cozinha e de um tanque externo para reuso não potável em uma residência. As amostragens feitas correspondem ao Ponto 1 – Afluente e Ponto 2 – Efluente, ambos referentes à *wetland* construída.

Na primeira semana de operação da *wetland* construída foi constatado um odor característico, por isso acrescentou-se uma camada de areia lavada com o objetivo de fornecer maior sustentação às raízes das plantas e aumentar a absorção do efluente. Já na segunda semana notou-se a minimização da liberação de odores desagradáveis pelo sistema.

Os resultados dos parâmetros físicos, químicos e microbiológicos da água cinza variam de acordo com a rotina da casa, pois um dia da semana a utilização do tanque externo é maior, assim como a da pia da cozinha que varia de acordo com o horário do dia. Além disso, a variação dos produtos utilizados e suas respectivas quantidades vão interferir diretamente na qualidade da água. Os resultados das análises do afluente e efluente da *wetland* construído foram comparados com os dados fornecidos pela Resolução CONAMA 430/2011 para amostras de água cinza bruta, apresentados pela Tabela 8.

**TABELA 8:** Faixa de valores para parâmetros físico-químicos e microbiológicos encontrados na água cinza

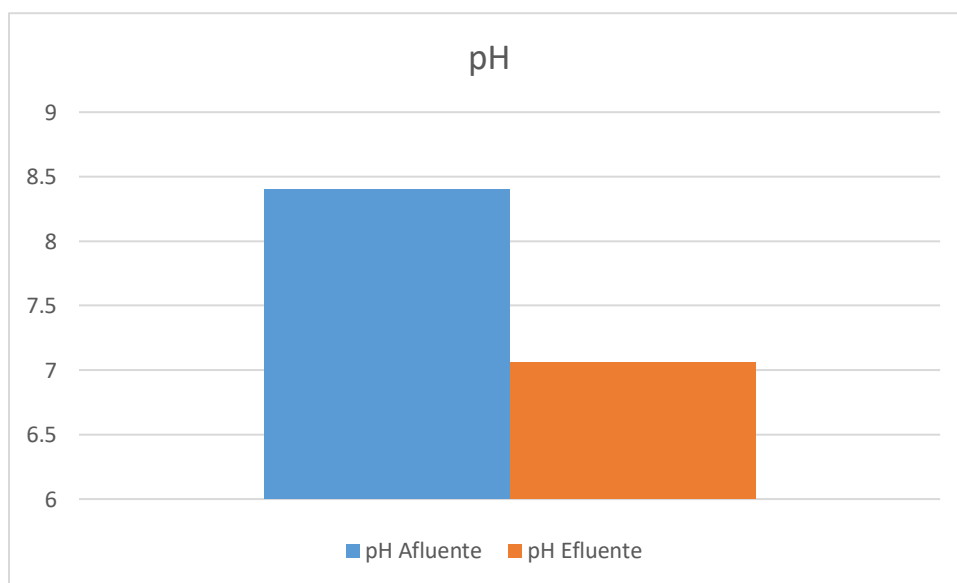
Faixa de Valores da Água Cinza				
Parâmetros	Ponto 1 – Afluente	Ponto 2 – Efluente	Eficiência	Resolução CONAMA 430/2011 – Classe 2
Temperatura (°C)	24,55	24,03	-	-
pH	8,4	7,06	-	6 a 9
Sólidos Totais (uT)	656	550	-	≤500
DQO Bruta (mg/L)	117	82	30%	-
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	8,9	7,4	17%	3,7-pH ≤ 7,5 2,0-7,5 < pH ≥ 8,0
Fósforo Total (mg/L)	1,3	0,84	35%	≤0,05
E.Coli (NMP/100 ml)	170	137	20%	2000

Fonte: Autoria própria.

As temperaturas observadas não apresentaram variação significativa, ficando em torno de 24 °C, o que se justifica devido ao sistema ser abaixo do nível do solo, evitando oscilações térmicas. Essa temperatura constante contribui para o desenvolvimento dos microrganismos e das macrófitas presentes no sistema favorecendo a velocidade das reações na depuração do efluente. Segundo Jordão e Pessoa (2005), temperaturas entre 18 a 38°C são consideradas ótimas para o balanço entre o oxigênio dissolvido e a atividade biológica.

Os valores de pH não apresentaram oscilações significativas e se encontraram dentro do estabelecido pela Resolução CONAMA 430/2011. O afluente apresentou uma média de valores em torno de 8,4 e o efluente apresentou valores em torno de 7,06 (Gráfico 1). O caráter básico do afluente se justifica devido à presença de sabão, proveniente principalmente da pia da cozinha. O valor do pH não foi fator determinante para o desenvolvimento das macrófitas aquáticas, já que as plantas são capazes de suportar variações de 4,4 a 9,9 (SCHENHALA, OLIVEIRA E FOLLADOR, 2009).

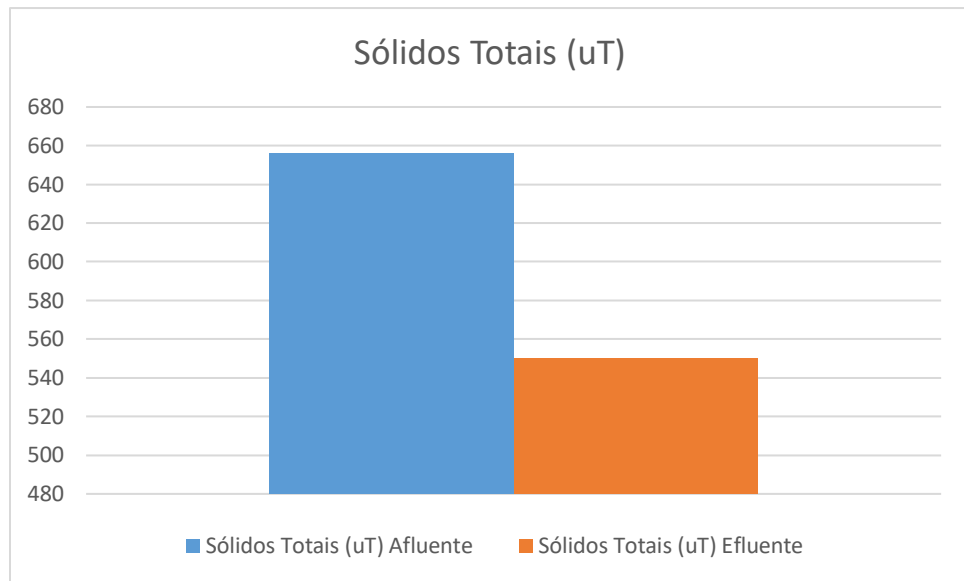
**GRÁFICO 1:** Valores de pH obtidos nas análises físico químicas



Fonte: Autoria própria

Para sólidos totais foram obtidos uma média de 656 uT no afluente e 550 uT no efluente (Gráfico 2), não alcançando o padrão da Resolução CONAMA 430/2011 que determina valores menores ou iguais a 500 uT. Esse fato pode ter sido influenciado pelo acréscimo da areia no leito filtrante durante o início das análises. Assim, a colmatção provavelmente é um fenômeno inevitável ao longo do tempo de operação de sistemas com meios filtrantes.

**GRÁFICO 2:** Valores de Sólidos Totais (uT) obtidos nas análises físico químicas



Fonte: Aatoria própria

A presença de sólidos na água pode levar a problemas de entupimento da tubulação e esse problema pode ser agravado com o lançamento de detergentes na água, pois esses colóides, combinados com os surfactantes (oriundo dos detergentes), causam estabilização da fase sólida devido à adsorção do surfactante na superfície do sólido (ERIKSSON et al., 2002). Para minimizar o risco de entupimento da tubulação foi colocado uma peneira na caixa de gordura (Figura 6) para reter o máximo de partículas sólidas provenientes da pia da cozinha, como restos de comida e do tanque externo, como fibras de tecido.

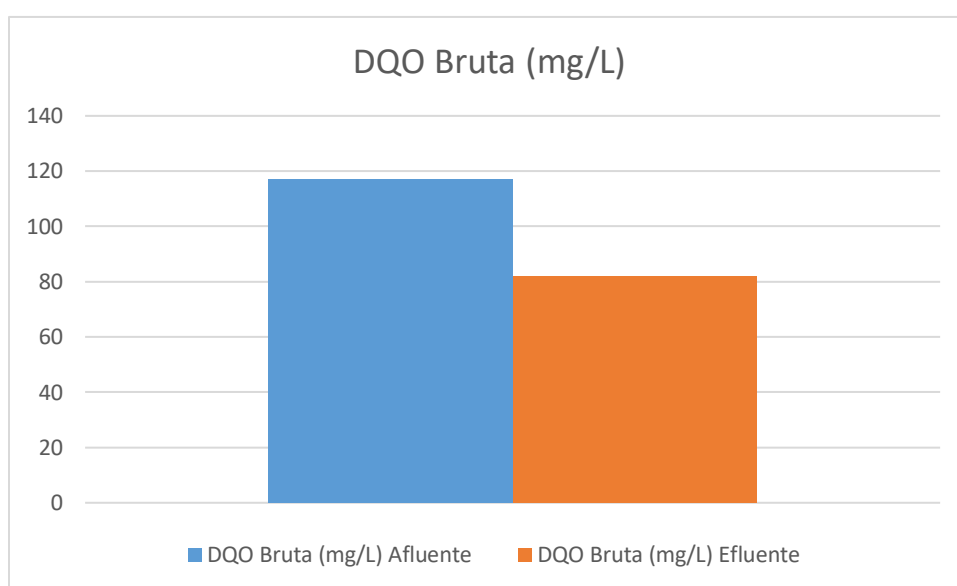
**Figura 6:** Caixa de gordura com a peneira



Fonte: Aatoria própria.

A média de valores de DQO Bruta para o afluente foi 117 mg/L e para o efluente foi obtido 82 mg/L (Gráfico 3), o que representou uma eficiência de remoção da matéria orgânica equivalente a 30%. Essa eficiência pode estar relacionada à presença do meio suporte, que atua como uma barreira física e possibilita a retenção de sólidos tanto no biofilme que tende a crescer aderido à superfície do material filtrante (brita) e dos rizomas e raízes das macrófitas quanto nos interstícios do material filtrante, permitindo o acúmulo de biomassa e o consequente aumento do tempo de residência celular (VON SPERLING, 2007).

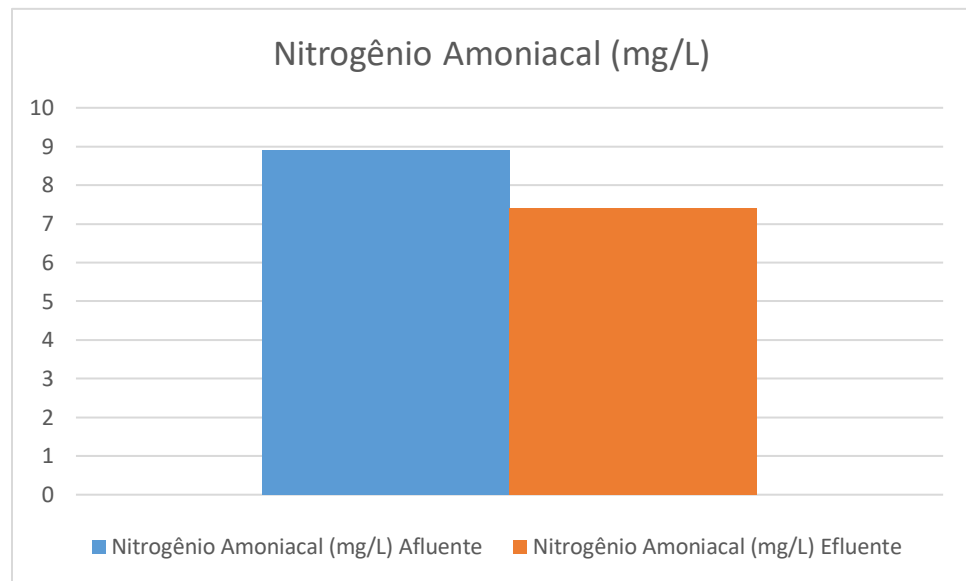
**GRÁFICO 3:** Valores de DQO Bruta (mg/L) obtidos nas análises físico químicas



Fonte: Autoria própria.

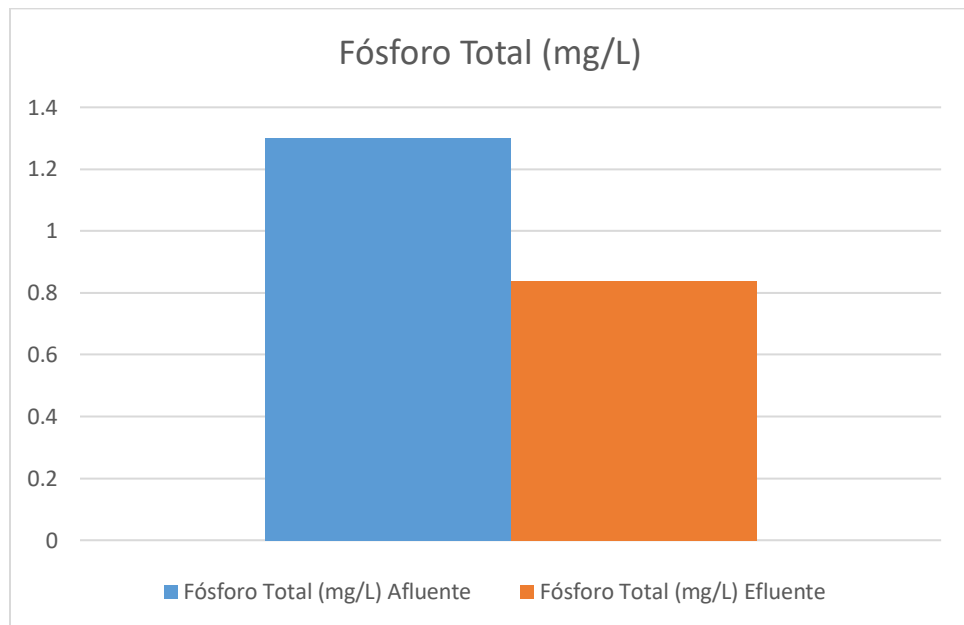
O parâmetro Nitrogênio Amoniacal apresentou valor de 8,9 mg/L no afluente e 7,4 mg/L no efluente (Gráfico 4), tendo uma eficiência correspondente a 17% e não atendendo à Resolução CONAMA 430/2011 que estipula valor de 3,5 para efluente com pH menor ou igual a 7,5. Segundo Mendonça (2015), a baixa ou inexistente concentração de oxigênio dissolvido no interior do meio filtrante das câmaras limita a redução da concentração do N-amoniaco no efluente tratado. Outro fator que de acordo com o autor podem ter contribuído para essa situação foram o tempo insuficiente de monitoramento do experimento para o crescimento total e a penetração das raízes das macrófitas até o fundo dos leitos, minimizando a quantidade de N-amoniaco passível de ser retirado pelas macrófitas durante sua fase de crescimento.

**GRÁFICO 4:** Valores de Nitrogênio Amoniacal (mg/L) obtidos nas análises físico químicas



Fonte: Autoria própria.

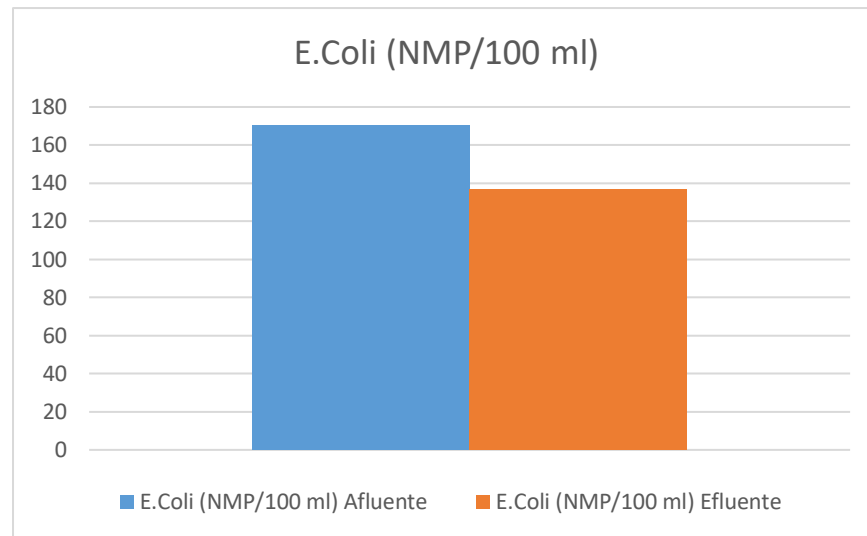
Os valores obtidos de Fósforo Total apresentaram uma média de 1,3 mg/L no afluente e 0,84 mg/L no efluente (Gráfico 5), o que não correspondeu à Resolução CONAMA 430/2011 que estabelece valor menor ou igual a 0,05 mg/L. A eficiência apresentada foi considerada baixa de acordo com trabalhos de LACASTRO et al (2012) e GANSKE e ZATONELLI (2003) que apresentaram uma média de 60% na remoção do Fósforo Total. Fato que pode ter sido influenciado pelos processos relacionados ao curto tempo com a incorporação à biomassa (tanto macrófitas como biofilme e microrganismos) e armazenamento no material de enchimento.

**GRÁFICO 5:** Valores de Fósforo Total (mg/L) obtidos nas análises físico químicas

Fonte: Autoria própria.

A média de valores de *E.coli* obtidas corresponde a 170 NMP/100 mL a afluente e 137 NMP/100 mL a efluente (Gráfico 6), o que está dentro do estabelecido pela Resolução CONAMA 430/2011 que é de 2000 NMP/100 mL. A eficiência correspondeu a apenas 20%, pois segundo Mendonça (2015) as baixas remoções podem ser explicadas pela introdução de novas bactérias, uma vez que o sistema é visitado por animais homeotérmicos, como pássaros e roedores. Outro fator que pode ter contribuído com a redução da eficiência quanto à remoção de *E. coli* é a elevação da vazão aplicada ao sistema, já que o aumento da taxa de aplicação hidráulica superficial na *wetland* construída e redução do tempo de detenção hidráulica são determinantes. Além disso, a concentração de *E. coli* pode ter sido alta em virtude de algo que foi lavado no tanque externo.

**GRÁFICO 6:** Valores de *E. coli* (NMP/100 mL) obtidos nas análises físico químicas



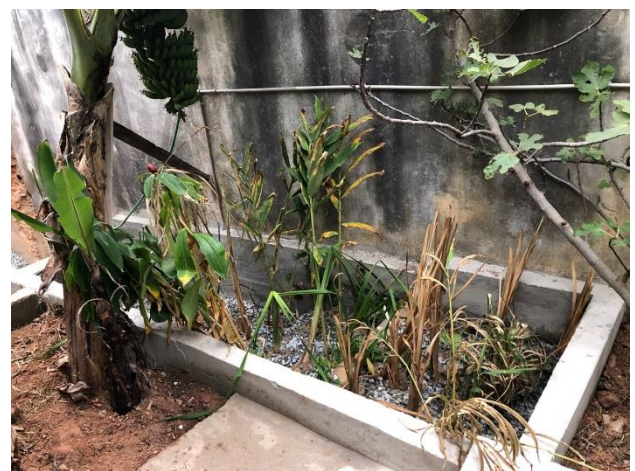
Fonte: Autorial própria.

O sistema *wetland* construído em operação, após todas as etapas de dimensionamento, implantação, plantio das macrófitas e monitoramento é apresentado na Figura 7. Sua construção foi satisfatória, assim como a eficiência em alguns parâmetros apesar do pouco tempo de funcionamento, pois corresponderam à Classe 2 da Resolução CONAMA 430/2011.

**FIGURA 7:** *Wetland* construída em funcionamento. Vista de frente (A) e vista lateral (B)



(A)



(B)

Fonte: Autorial própria.

Espera-se que com o transcorrer dos meses a estabilização das macrófitas e do biofilme possibilite maior eficiência da *wetland* construída tornando-a ainda mais satisfatória. Dessa forma, o monitoramento continuará visando o prosseguimento ao projeto que inclui o reúso da água cinza para alimentação do lago ornamental e irrigação de frutíferas.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O reúso da água surge como uma solução necessária para a questão da escassez que pode auxiliar a minimizar os problemas de racionalização através da utilização de água de qualidade inferior para usos não potáveis. É importante investir em uma política de educação ambiental voltada para a prática do reúso e em projetos que visam a redução das perdas e consumo de água potável para usos com demanda de água com qualidade menos restritiva.

O fato de que a avaliação do funcionamento da *wetland* construída foi realizada somente durante o período inicial de operação do sistema experimental de tratamento, provavelmente antes de sua plena estabilização, foi possível constatar o bom potencial da tecnologia, colocando-a como uma alternativa a ser considerada diante de tecnologias convencionais usuais.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13969: Tanques sépticos – Unidades de tratamento complementar disposição final dos efluentes líquidos – *Projeto, construção e operação*. Rio de Janeiro, 1997.

ALMEIDA, R. A; OLIVEIRA, L. F. C.; KLIEMANN, H. J. Eficiência de espécies vegetais na purificação de esgoto sanitário. *Pesquisa Agropecária Tropical*. Goiânia, v. 37, n.1: p. 1-9, 2005

ANJOS, J. A. S. A. *Avaliação da eficiência de uma zona alagadiça (wetland no controle da poluição por metais pesados): O caso da Plumbum em Santo Amaro da Purificação/Ba*. Tese de Doutorado – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2003. P. 328.

ANSOLA, G.; GONZÁLEZ, J. M.; CORTIJO, R.; LUIS, E. *Experimental and full-scale pilot plant constructed wetlands for municipal wastewaters treatment*. *Ecological Engineering*, León n. 21, p. 43-52, 2003.

APHA (2005) *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 22st Edition, American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation, Washington DC.

ASANO, T. et al. *Water reuse, issues, technologies, and applications*. New York: Metcalf & Eddy/AECOM, eds., McGraw Hill, 2007.



- BAZZARELLA, B.B. *Caracterização e aproveitamento de água cinza para uso não-potável em edificações*. 2005. 165 f. Dissertação (mestrado em Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico). Vitória, 2005.
- BEDA, J. N. *Determinação do coeficiente de decaimento bacteriano em Wetland (Alagado construído)*. 2011. 50 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.
- BEGOSSO, LARISSA. *Determinação de parâmetros de projeto e critérios para dimensionamento e configuração de wetlands construídas para o tratamento de águas*. Trabalho de Conclusão de Curso defendido junto à Faculdade de Engenharia Ambiental da UniRV em junho de 2017 cinzas. Centro de ciências exatas e tecnologia. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Campo Grande, 2009.
- BRIX, H., 1993. Wastewater treatment in constructed wetlands: system design, removal processes, and treatment performance. In: Moshiri, G. A. (Ed.), *Constructed Wetlands for Water Quality Improvement*. CRC Press, Boca Raton, Flórida, 9-22.
- COHIM, E.; PEIXOTO, A. C.; PASSOS, V.; KIPERSTOK, A. *Comportamento de águas cinza sintéticas durante armazenamento*. In: Conferência Internacional em Saneamento Sustentável: Segurança alimente e hídrica para a América Latina, 2007, Fortaleza. Resumos... Fortaleza: Saneamento Ecológico em Latinoamérica y Caribe (ECOSAN), 2007. 9P.
- COLLAÇO, A. B.. *Uso de pneu "picado" como meio suporte de leitos cultivados para o tratamento de esgoto sanitário oriundo de uma E.T.E. convencional*. 2006. 65p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.
- CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente (Brasil). Resolução nº 430, de 13 de março de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente, Brasília, DF, n. 92. Seção 1, p. 89, 16 de maio de 2011.
- COOPER, P. F., Job, G. D., Green, M. B., Shutes, R. B. E., 1996. *Reed Beds and Constructed Wetlands for Wastewater Treatment*. Swindon: WRc plc, 184pp.
- COSTA, R.H.R *Etude du Contrôle du Biofilm Développé Dans un Lit Fluidisé Triphasique en Epuration Carbonée Aérobie*. Thèse de Doctorat, Institut National des Sciences Appliquées (INSA). Toulouse, 1989. 256p.
- COSTA, S. M. et al. Referência e contrarreferência na saúde da família: percepção dos profissionais de saúde. Rev APS, Juiz de Fora, v. 16, n. 3, p. 287-293, set. 2013.
- COUTO, E. A. *Avaliação do reúso de águas cinza em ambientes aeroportuários*. 2012. 115 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
- CUNHA, A. G. C.. *Análise da eficiência de um sistema combinado de alagados construídos na melhoria da qualidade das águas*. 2006, 157p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

DALLAS, S. e Ho, G., 2005. Subsurface flow reedbeds using alternative media for the treatment of domestic greywater in Monteverde, Costa Rica, Central America. *Water Science and Technology* 51 (10), 119-128.

DORNELAS, Filipe Lima. *Avaliação do desempenho de Wetlands horizontais subsuperficiais como pós-tratamento de efluentes de reatores UASB, 2008*. Dissertação (Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – UFMG, Belo Horizonte, 2008.

DUARTE, S. *Estudo das potencialidades das zonas húmidas artificiais no tratamento de efluentes aquícolas*. 2002. 44f. Trabalho de Conclusão de Curso - Instituto Superior Técnico, 2002.

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

ERIKSSON, E. et al. Characteristics of grey wastewater. *Urban Water*, v.4, n.1, p.58-104, 2002.

FAGUNDES, R.M.; SCHERER, M. J. (2009). *Sistemas alternativos para o tratamento local dos efluentes sanitários*. Série: Ciências Naturais e Tecnológicas, S. Maria, v. 10, n. 1, p. 53-65, 2009.

FIORI, S.; FERNANDES, V. M. C.; PIZZO, H. S. *Avaliação qualitativa e quantitativa do reúso de águas cinzas em edificações*. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 6, n. 1, p. 19-30, 2006.

FRIEDLER, E.; KOVALIO, R.; GALIL, N.I. On-site greywater treatment and reuse in multi-storey buildings. *Water Science & Technology*. Áustria, v. 51, n. 10, p. 187-194. 2005.

GANSKE, CATIA C. F.; ZANOTELLI, CLAIR T. Estudo de filtro de zonas de raízes como tratamento complementar de esgoto doméstico para comunidades rurais. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 24, 2007, Belo Horizonte.

GROSS, A., SHMUELI, O., RONEN, Z., RAVEH, E., 2006. *Recycled vertical flow constructed wetland (RVFCW) - a novel method of recycling greywater for irrigation in small communities and households*. Chemosphere 66 (5), 916-923.

GUNTENSPERGEN, G. R., STEARNS, F. e KADLEC, J. A. Wetland vegetation. *Anais: 1<sup>st</sup> International Conference on Constructed Wetlands for Wastewater Treatment*. Chattanooga – Tennessee/USA, v. 1, n. 5, pp. 73-88, jun. 1988.

HAMMER, D. A. *Constructed wetlands for wastewater treatment: municipal, industrial and agricultura*. Chelsea: Lewis, 350p, 1989.

HESPANHOL, I. Água e Saneamento Básico. In: Rebouças, A. C.; Braga, B.; Tundisi, J. G.. (Org.). *Águas doces no Brasil*. São Paulo: Escrituras, 2006, v. 3, p. 269-324.

HESPANHOL, I. *Um Novo Paradigma para a Gestão de Recursos Hídricos*. Estudos Avançados, v. 22, p. 131-158, 2008.

HUSSAR, G. J. *Avaliação do desempenho de leitos cultivados no tratamento de águas residuárias de suinocultura*, Campinas: FEAGRI, UNICAMP, 1998, Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Agrícola – Universidade Estadual de Campinas, 2001, 118 p.

IWA – International Water Association. *Constructed Wetlands for Pollution Control: Processes, Performance, Design and Operation*. Scientific and Technical Report No. 8. London, England: IWA Publishing, 2000. 156 p.

JEFFERSON, B.; PALMER, A.; JEFFREY, P.; STUETZ, R., JUDD, S., 2004. Grey water characterisation and its impact on the selection and operation of technologies for urban reuse. *Water Science and Technology* 50 (2), 157-164.

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

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

KADLEC, R. H. E KNIGHT, R. L. *Treatment wetlands*. Boca Raton, Fl. 893 pp. 1996.

KAICK, T. S. V. *Estação de tratamento de esgoto por meio de zona de raízes: uma proposta de tecnologia apropriada para saneamento básico no litoral do Paraná*. 2003. 116p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Tecnologia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2003.

LACASTRO, J. K. et al. Tratamento dos esgotos sanitários gerados na Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Mourão – por zonas de raízes. Anais: Simpósio Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2012, 1 CD – ROM.

LAMINE, M.; BOUSSELMI, L.; GHRABI, A., 2007. Biological treatment of grey water using sequencing batch reactor. *Desalination* 215, 127-132.

LANGERGRABER, G.; HABERL, R.; LABER, J.; PRESSL, A. Evaluation of substrate clogging process in vertical flow constructed wetlands. *Water Science Technology*, v. 48, n. 5, p. 25-34, 2003.

LAVRADOR FILHO, J. *Contribuição para o Entendimento do Reúso Planejado da Água e algumas Considerações Sobre suas Possibilidades no Brasil*. São Paulo, 1987. 191 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

LI, Z., GULYAS, H., JAHN, M., GAJUREL, D. R., OTTERPOHL, R., 2003. Greywater treatment by constructed wetlands in combination with TiO<sub>2</sub>-based photocatalytic oxidation for suburban and rural areas without sewer system. *Wat. Sci. Tech.*, 48 (11-12), 101-106.

LUIZ, F. A. R. *Desempenho de reatores anaeróbios de leito fixo no tratamento de águas residuárias da lavagem e descascamento/despolpa do fruto cafeeiro*. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, 2007.

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

MANUAL DA COMPANHIA DE SANEAMENTO DE MINAS GERAIS (COPASA) - 2016. Disponível em: [www.copasa.com.br](http://www.copasa.com.br), acesso em 13 de outubro de 2017.

MARCH, J. G.; GUAL, M.; OROZCO, F. Experiences on graywater reuse for toilet flushing in a hotel (Mallorca Island, Spain). *Desalination*. V. 164, n. 3, p. 241-247, 2004.

MENDONÇA, A. A. J. *Avaliação de um sistema descentralizado de tratamento de esgotos domésticos em escala real composto por tanque séptico e wetland construída híbrida* – São Paulo, 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Programa Pós-Graduação em Saúde Pública da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2015.

METCALF & EDDY. *Wastewater engineering: treatment, disposal and reuse*. 3 ed., Metcalf & Eddy Inc., 1991. 1334 p.

MONTEIRO, R. C. M.. *Protótipos para sistemas construídos de áreas alagadas para tratamento de efluentes de piscicultura - redução de bactérias e nutrientes*. 2005, 44p. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2005.

MONTEIRO, RODRIGO.C.M. *Viabilidade Técnica do Emprego de Sistemas Tipo “Wetlands” para Tratamento da Água Cinza Visando o Reúso Não Potável*. 2009.84f. Dissertação (Mestrado); Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

MOREL, A.; DIENER, S. *Greywater Management in Low and Middle-Income Countries, Review of different treatment systems for households or neighbourhoods*. Sandec (Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag), Dübendorf, Switzerland. 2006.

MOSHIRI, G.A., 1998. *Potentials for uses of treatment wetlands in South América applicability water pollution problems in Brazil*. In: International Conference on Wetlands Systems for Water Pollution Control, 6. Águas de São Pedro. Proceedings. Águas de São Pedro: UNESP, IWA, 28- 35.

NERALLA, S., WEAVER, R.W., LESIKAR, B.J., PERSYN, R. A., 2000. Improvement of domestic wastewater quality by subsurface flow constructed wetlands. *Bioresource Technology* 75, 19-25.

NIYONZIMA, S. *Grey water treatment using constructed wetland*. 2007. 113 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade de Ciência e Tecnologia de Kwame Nkrumah, Kumasi, Gana.

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.

NOLDE, E., 2005. *Greywater recycling systems in Germany* – results, experiences and guidelines. *Water Science and Technology* 51 (10), 203-210.

NSW HEALTH. *Greywater reuse in sewerred, single domestic premises* – Sidney (2007).

NUVOLARI, A. *Esgoto Sanitário: coleta, transporte, tratamento e reúso agrícola*. São Paulo, Edgard Blucher, 2003.

OLIJNYK, D. P. *Avaliação da nitrificação e desnitrificação de esgoto doméstico empregando filtros plantados com macrófitas (wetlands) de fluxos vertical e horizontal – Sistemas Híbridos*. Dissertação de Mestrado. Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC, 111p. 2008.

OLIJNYK, D. SEZERINO, P.H., SOARES, A.S., PHILIPPI, L.S., LAPOLLI, F.R. *Análise da viabilidade de nitrificação e desnitrificação em sistemas híbridos de filtros plantados com macrófitas (Wetlands)*. 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2007.

OTTOSON, J.; STENSTROM, T.A. Faecal contamination of greywater and associated microbial risks. *Water Research*, Solna, Sweden, n. 37, p. 645-655, 2003.

PEREIRA, F. J. *Características anatômicas e fisiológicas de aguapé e índice de fitorremediação de alface d'água cultivados na presença de arsênio, cádmio e chumbo*. 2010. 116 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal de Lavras.

PHILIPPI L. S., coordenador, SEZERINO P.H., colaborador, OLIJNYK D.P., KOSSATZ, B. *Eficácia dos sistemas de tratamento de esgoto doméstico e de água para consumo humano utilizando wetlands considerando períodos diferentes de instalação e diferentes substratos e plantas utilizados – Relatório Final*. Florianópolis, Santa Catarina; 2007.

PHILIPPI, L., S.; SEZERINO, P. H.. *Aplicação de sistemas tipo wetlands no tratamento de águas residuárias: utilização de filtros plantados com macrófitas*. 1. ed. Florianópolis/SC: Edição do Autor, 2004. v. 1. 144 p.

PHILIPPI, L.; COSTA, R. H. R.; SEZERINO, P. H. Domestic effluent treatment through integrated system of septic tank and root zone. *Water Science Technology*, v. 40, n. 3, p. 125-131, 1999.

PLATZER, C., HOFFMANN, H., CARDIA, W., 2007a. *O wetland como componente de ecosan – experiências com o uso e dimensionamento no clima subtropical*. In: Proceedings of the International conference on sustainable sanitation: Food and water security for Latin America. Fortaleza, Brazil. CD-ROM.

REZENDE. CARLOS C. S. *Reúso potável de esgoto sanitário: possibilidades e riscos*. 2010. 259 f. Dissertação (Mestrado em Ciências), Universidade de São Paulo. São Carlos, 2010.

RODRIGUES, L. C. S. *Avaliação da eficiência de dispositivos economizadores de água em edifícios residenciais em Vitória – Espírito Santo*, 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo. Espírito Santo, 2005.

SAEED, T.; SUN, G., 2012. *A review on nitrogen and organics removal mechanisms in subsurface flow constructed wetlands: dependency on environmental parameters, operating conditions and supporting media*. J. Environ. Manage. 112, 429–448.

SALATI, E. *Controle de Qualidade da água através de Sistemas de Wetlands Contruídos*. 2011. 19 f. FBDS - Fundação Brasileira Para O Desenvolvimento Sustentável, Rio de Janeiro, 2011.

SALATI, E; SALATI FILHO, E; SALATI, E. *Utilização de sistemas de Wetlands Construídas para tratamento de águas*. 2009. 23 f. Instituto Terramax - Consultoria e Projetos Ambientais Ltda, Piracicaba, 2009.

SANT'ANNA J.; LIPPEL, G.. Tratamento biológico de efluentes: fundamentos e aplicações. Rio de Janeiro: Interciência, 39-53, 2010. 418 p.

SANTOS, C., TAVEIRA-PINTO, F., Cheng, C. Y., Leite, D. *Development of an experimental system for greywater reuse*, Desalination (2011).

SEZERINO, P. H. et al. *Wetlands construídos horizontais aplicados no tratamento descentralizado de esgotos*. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE WETLANDS CONSTRUIDOS, 2., 2015, Curitiba, Anais... Curitiba, 2015.

SEZERINO, P. H. *Potencialidade dos filtros plantados com macrófitas (constructed wetlands) no pós-tratamento de lagoas de estabilização sob condições de clima subtropical*. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, UFSC. Florianópolis, 2006. 171 f.

SHUTES, R. B. E., *Artificial wetlands and water quality improvement*. Environment International, London, n. 26, p. 441- 447, 2001.

SILVA, S. C. *Wetlands Contruídos de fluxo vertical com meio suporte de solo natural modificado no tratamento de esgotos domésticos*. 2007. 205 f. Tese (Doutorado em Tecnologia Ambiental em Recursos Hídricos, Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

SOUZA, C. F. et al. *Eficiência de estação de tratamento de esgoto doméstico visando reuso agrícola*. Revista Ambiente & Água, Taubaté, v. 10, n. 3, jul. / set. 2015.

STEVENSON, D. G. Flow and filtration through granular media – the effect of grain size and particle size distribution. *Water Research.*, v. 31, n. 2, p. 310-322, Feb. 1997.

STOTTMEISTER, U.; WIEBNER, A.; KUSCHK, P.; KAPPELMEYER, U.; KASTNER, M.; BEDERSKI, O.; MÜLLER, R., A.; MOORMANN., H.. Effets of plants and microorganisms in constructed wetlands treatment. *Biotechnology Advances*, Leipzig-Halle n. 22, p. 93-117, 2003.

TANNER, C. C. *Plants for constructed wetland treatment systems: A comparison of the growth and nutrient uptake of eight emergent species*. Ecological Engineering, Hamilton, v. 7, p. 59-83, 1997.

TELLES, A.D; COSTA, G.P.H.R. *Reúso da água: Conceitos, teorias e práticas*. 1.ed. São Paulo: Blucher, 2007. Wetlands for pollution control— Processes, performance, design and operation. IWA Scientific and Technical Report no. 8, IWA Publishing, London, UK.

TRINET, F. *Etude du biofilm d'un réacteur à lit fluidisé triphasique en épuration d'une pollution carbonée*. D.E.A. Université de Technologie de Compiègne et Société Lyonnaise des Eaux, Compiègne, France, 1988. 71p.

TUNDISI, J.G. & MATSUMURA-TUNDISI, T. 2008. *Limnologia*. Oficina de Textos, 632p.

VALENTIM, M.A.A. *Desempenho de leitos cultivados para tratamento de esgoto: contribuição para concepção e operação*. Tese de doutorado. Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, SP, 208 p. 2003.

VON SPERLING, M. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. 3ed. Belo Horizonte, MG, ed UFMG, 452p. 2005. V.7. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental /UFMG, 2007. 588p.

VON SPERLING, MARCOS. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. 4. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2013. 470 p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias; v.1). ISBN 9788542300536.

WHO – WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Reuse of effluents: methods of wastewater treatment and health safeguards*. Of a WHO meeting of experts. Technical report series n° 517. Genebra, 1973.

ZABROCKI, L.; SANTOS, D. C. *Caracterização da água cinza em edifícios residenciais*. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 23, 2005, Campo Grande. Anais... Campo Grande: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES), 2005. p. 112 - 112.

ZANELLA, L.. *Plantas ornamentais no pós-tratamento de efluentes sanitários: wetlands-construídos utilizando brita e bambu como suporte*. 2008. 189p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.