

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E
AMBIENTAL

FELIPE VENSKE

ALAGADOS CONSTRUÍDOS PARA TRATAMENTO DE ÁGUAS CINZAS COM
MEIO SUPORTE DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO

PONTA GROSSA
2017

FELIPE VENSKE

ALAGADOS CONSTRUÍDOS PARA TRATAMENTO DE ÁGUAS CINZAS COM
MEIO SUPORTE DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO

Dissertação apresentada à Universidade
Estadual de Ponta Grossa como requisito
para obtenção do título de Mestre pelo
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Sanitária e Ambiental,
Associação ampla entre UEPG/Unicentro.

Orientador: Prof. Dr. Marcos Rogério Szeliga

Área: Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos

Linha de Pesquisa: Recursos Hídricos e Meio Ambiente

PONTA GROSSA

2017

Ficha Catalográfica
Elaborada pelo Setor de Tratamento da Informação BICEN/UEPG

Venske, Felipe

V464 Alagados construídos para tratamento de
 águas cinzas com meio suporte de resíduos
 de construção e demolição/ Felipe Venske.
 Ponta Grossa, 2017.
 99f.

 Dissertação (Mestrado em Engenharia
 Sanitária e Ambiental - Área de
 Concentração: Saneamento Ambiental e
 Recursos Hídricos), Universidade Estadual
 de Ponta Grossa.

 Orientador: Prof. Dr. Marcos Rogério
 Szeliga.

 1.Zona de raízes. 2.Resíduos sólidos.
 3.Água residuárias. 4.Reuso da água.
 I.Szeliga, Marcos Rogério. II.
 Universidade Estadual de Ponta Grossa.
 Mestrado em Engenharia Sanitária e
 Ambiental. III. T.

CDD: 628.16



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título da Dissertação: "Alagados Construídos para Tratamento de Águas Cinzas
com Meio Suporte de Resíduos de Construção e Demolição"

Nome: Felipe Venske

Orientador: Prof. Dr. Marcos Rogério Széliga

Aprovado pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. Marcos Rogério Széliga
Universidade Estadual de Ponta Grossa - UEPG

Prof. Dr. Giâne Gonçalves Lenzi
Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR

Prof. Dr. Eduardo Augusto Agnellos Barbosa
Universidade Estadual de Ponta Grossa - UEPG

Prof. Dr. Ana Carolina Barbosa Kummer
Universidade Estadual de Ponta Grossa - UEPG

Ponta Grossa, 1º de junho de 2017.

AGRADECIMENTOS

A Deus por estar presente em todos os momentos da minha vida.

Aos meus pais Eduardo Venske Júnior e Odete Martins Venske, irmãos(as) e sobrinhos(as) pelo apoio irrestrito.

Ao Prof. Dr. Marcos Rogério Szeliga principalmente pela confiança no meu trabalho, pela contribuição de seus conhecimentos e orientações desta dissertação.

À Prof^a. Dra. Maria Magdalena Ribas Döll, Prof^a. M.Sc. Patrícia Kruger, Prof. Dr. Eduardo Pereira, Prof. M.Sc Helenton Carlos da Silva, Prof^a. Dra. Ana Carolina Kummer pelo auxílio para que este trabalho pudesse ser realizado.

Aos laboratoristas Paulo Ubirajara dos Santos e Cícero Wislei Fernandes Guerellus pela ajuda nos laboratórios de Materiais de Construção e Saneamento.

A todos os colegas do mestrado, principalmente Ana Wendling, Juliano Penteado de Almeida, Rafael Jansen Mikami, Marina Gadens Berton Zaika e Gustavo Forastiel Simoneli que de uma forma ou outra auxiliaram no desenvolvimento desse trabalho.

Aos professores do programa de Mestrado da UEPG e da Unicentro pelos conhecimentos divididos nas aulas e nos corredores das instituições.

Ao Prof. M.Sc Rodrigo Scoczynski Ribeiro pela amizade, auxílio e incentivo.

À empresa Zero Resíduos pelo apoio com o fornecimento do RCD.

À SANEPAR pelas portas sempre abertas e principalmente ao Diogo Zarpellon e ao José Geraldo Machado Filho pelo auxílio.

Ao Prof. Vinícius Chemim pelo auxílio com línguas estrangeiras.

A todos os meus familiares, amigos e colegas que direta ou indiretamente contribuíram para a conclusão deste trabalho.

“E não vos conformeis com este século, mas transformai-vos pela renovação da vossa mente, para que experimenteis qual seja a boa, agradável e perfeita vontade de Deus.”

(Romanos 12:2)

RESUMO

O aumento da população, excesso de uso e a má gestão dos recursos naturais colaboram para a escassez de água potável e o aumento dos resíduos sólidos nos centros urbanos. Este problema é amenizado com a reutilização da água cinza e dos resíduos da construção e demolição. Neste trabalho, um sistema de alagados construídos foi considerado como alternativa para reuso de águas servidas e utilização de resíduos, devido a baixa manutenção, operação simplificada, utilização dos resíduos sólidos, e com tratamento de qualidade. Desta forma, o trabalho objetivou estudar a viabilidade técnica da utilização de um sistema de alagados construídos com meio suporte de resíduos da construção e demolição para tratamento de água cinza sintética em escala piloto de fluxo horizontal subsuperficial com a utilização da planta ornamental Copo-de-Leite (*Zantedeschia aethiopica*). O experimento teve dois estudos principais (sistema estático e sistema dinâmico) com alteração do tempo de detenção hidráulica, de dois, quatro e seis dias para o estático e de um e dois dias para o sistema dinâmico. Os resultados indicaram que o alagado construído obteve para o sistema estático uma redução de 86% para a DQO e de 20% para Fósforo Total. Verificou-se um aumento de 117% para Sólidos Totais, 112% para Condutividade elétrica e pH máximo de 9,6. Já para o sistema dinâmico houve redução de 86% para a DQO, 8% para Fósforo Total, e aumento de 1100% de Sólidos Totais, 327% de Condutividade e pH máximo de 7,7. A planta ornamental adaptou-se bem ao experimento, com uma grande densidade de raízes, que englobaram todo o sistema, provando a sua eficácia na remoção de matéria orgânica, além do enriquecimento estético e o aumento de aceitação do público. Assim, conclui-se que o SAC estudado é um sistema viável para a reutilização de água cinza para fins não potáveis, porém a utilização do resíduo de construção e demolição como meio suporte não é o mais adequado, devido a interferências no efluente, sendo preferível encontrar outra destinação para este material.

Palavras – Chave: zona de raízes, resíduos sólidos, água residuárias, reuso da água

ABSTRACT

The increase in population and the mismanagement of natural resources cause the scarcity of drinkable water and increase in solid waste in urban areas. These problems can be mitigated with the reutilization of greywater and construction and demolition waste. In this work, the constructed wetlands was considered as an alternative for solid waste use ad wastewater reutilization, due to its quality of treatment, low maintenance, simplified operation and employment of solid waste. Thus, this work aimed to assess the technical feasibility of a pilot-scale horizontal subsurface flow constructed wetlands system with solid waste as substrate for the treatment of synthetic greywater using the ornamental plant *Zantedeschia Aethiopica*. The experiment presented two main studys (static system and dynamic system) with the alteration of the hydraulic retention time – two, four and six days for the static system; one and two days for the dynamic system. Results showed that the constructed wetlands obtained, for the static system, a reduction of 86% in COD and 20% in total phosphorus, but an increase of 117% in total solids and 112% in conductivity as well as a maximum pH of 9.6. For the dynamic system, there was a reduction of 86% in COD and 8% in total phosphorus, and an increase of 1100% in total solids and 327% in conductivity as well as a maximum pH of 7.7. The ornamental plant resisted well to the experiment. It presented a high density of roots, which involved the whole system, what shows its efficiency in the removal of organic matter besides esthetically enhancing the system and increasing the public's acceptance. Therefore, it can be concluded that the constructed wetlands studied is feasible for the reutilization of greywater for non-drinkable purposes, however, the use of construction and demolition waste as support medium is not the most suitable due to the interferences on wastewater. It is recommended to find another destination for this material.

Keywords: rootzone, solid waste, wastewater, water reutilization

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 – Fluxograma das etapas realizadas no estudo.....	33
Figura 02 – Esquema do sistema de tratamento em escala de bancada. Vista em perfil.....	34
Figura 03 – Detalhe superior entrada e saída SAC.....	35
Figura 04 – SAC em funcionamento.....	36
Figura 05 – Agregado Reciclado – RCD.....	36
Figura 06 – Eficiência de remoção de DQO sistema estático.....	41
Figura 07 – Remoção de fósforo total sistema estático.....	43
Figura 08 – Análise de fósforo inorgânico sistema estático.....	45
Figura 09 – Valores do pH sistema estático.....	46
Figura 10 – Valores da condutividade sistema estático.....	48
Figura 11 – Valores obtidos de OD sistema estático.....	49
Figura 12 – Valores obtidos para o parâmetro alcalinidade sistema estático.....	51
Figura 13 – Valores obtidos para o parâmetro acidez sistema estático.....	52
Figura 14 – Valores encontrados para sólidos totais sistema estático.....	54
Figura 15 – Valores obtidos para o parâmetro sólidos fixos sistema estático.....	56
Figura 16 – Valores obtidos para o parâmetro sólidos voláteis sistema estático.....	56
Figura 17 – Eficiência de remoção de DQO sistema dinâmico.....	58
Figura 18 – Remoção de fósforo total sistema dinâmico.....	59
Figura 19 – Análise fósforo inorgânico sistema dinâmico.....	61
Figura 20 – Valores do pH sistema dinâmico.....	62
Figura 21 – Valores da condutividade sistema dinâmico.....	64
Figura 22 – Valores obtidos de OD sistema dinâmico.....	65
Figura 23 – Valores obtidos para o parâmetro alcalinidade sistema dinâmico.....	67
Figura 24 – Valores obtidos para o parâmetro acidez sistema dinâmico.....	68
Figura 25 – Valores encontrados para sólidos totais sistema dinâmico.....	69
Figura 26 – Valores encontrados para sólidos fixos sistema dinâmico.....	70
Figura 27 – Valores encontrados para sólidos voláteis sistema dinâmico.....	71
Figura 28 – Raízes extraídas.....	72
Figura 29 – Pragas observadas no SAC.....	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Variação das propriedades físicas da água cinza.....	18
Tabela 02 – Propriedades físicas, químicas e biológicas da água cinza.....	21
Tabela 03 – Geração de efluente e água cinza na residência.....	23
Tabela 04 – Consumo de água estimado em residências em Israel.....	23
Tabela 05 – Composição da água cinza sintética original.....	24
Tabela 06 – Composição da água cinza sintética final.....	25
Tabela 07 – Parâmetros para reuso de águas cinzas.....	28
Tabela 08 – Parâmetros uso final da água (Inglaterra).....	30
Tabela 09 – Análises físico-químicas do monitoramento do efluente tratado.....	39

LISTA DE SIGLAS

ABNT	ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS
CNRH	CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS
CONAMA	CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE
COT	CARBONO ORGÂNICO TOTAL
DBO	DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO
DMC	DIMENSÃO MÁXIMA CARACTERÍSTICA
DQO	DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO
IAP	INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ
MBR	BIORREATORES COM MEMBRANA
MF	MÓDULO DE FINURA
MO	MATÉRIA ORGÂNICA
NBR	NORMA BRASILEIRA REGULAMENTADORA
NM	NORMA MERCOSUL
NSF	NATIONAL SANITATION FOUNDATION
OD	OXIGÊNIO DISSOLVIDO
pH	POTENCIAL HIDROGENIÔNICO
SST	SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS
ST	SÓLIDOS TOTAIS
TDH	TEMPO DE DETENÇÃO HIDRÁULICA
UEPG	UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	11
2 OBJETIVO GERAL	13
2.1 Objetivos específicos.....	13
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
3.1 Sistema de alagados construídos como tratamento de água cinza	14
3.2 Características da água cinza.....	16
3.3 Utilizações para a água cinza	22
3.4 Resíduos da Construção e Demolição (RCD).....	25
3.5 Reuso de águas cinzas e construção de SACs	27
3.6 Normas para construção de sistemas alagados construídos	31
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	33
4.1 Reservatório superior (afluente) e reservatório inferior (efluente)	35
4.2 Sistema de alagados construídos de fluxo vertical	35
4.4 Água cinza sintética.....	37
4.5 Condução operacional do experimento.....	38
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
5.1 Resultados experimentais estáticos.....	41
5.2 Resultados experimentais dinâmicos	57
5.3 Observações visuais sobre a planta <i>Zantedeschia aethiopica</i>	71
5.4 Análise granulométrica.....	73
6. CONCLUSÃO	74
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	76

1. INTRODUÇÃO

Em relação a história humana, a água sempre foi notada com abundância, onde a maioria dos povos, tratavam a água como um bem infinito, tendo apenas algumas populações, devido a região em que moravam o cuidado em não desperdiçar este recurso natural.

De acordo com a Unesco (2015), a rápida urbanização, o aumento do número de indústrias e a melhoria do padrão de vida das famílias, fazem com que exista uma procura cada vez maior por água potável nos centros urbanos, sendo que até o ano de 2050 a previsão é para que haja um aumento no consumo de água potável de 55%, causados principalmente pela crescente demanda de produção das indústrias, geração de energia e uso doméstico resultado da crescente urbanização dos países em desenvolvimento, onde a demanda por água potável acaba sendo maior do que o serviço público pode oferecer.

E este problema não atinge apenas o abastecimento de água, Christofidis (2003) em seu estudo explica que em todo o mundo mais de 700 milhões de pessoas estão tendo problemas devido a falta de alimentos, onde se nos próximos 50 anos a população aumentar para 10 bilhões de habitantes, cerca de três quartos dos habitantes estarão enfrentando problemas com a falta de água e cerca de um quinto da população não terá água para obter alimentação básica.

A preservação dos corpos hídricos e do uso correto da água é fundamental para a existência da raça humana pelos próximos séculos, e um modo de preservar as fontes naturais, é fazendo a reutilização das águas cinzas e das águas das chuvas, onde um dos motivos importantes da reutilização da água cinza para fins não potáveis é sua ligação com a sustentabilidade e com a conservação dos corpos hídricos.

Segundo este conceito May (2009) relata que sistemas de reuso de água cinza e de aproveitamento de águas da chuva devem seguir alguns padrões, que são: higiene, segurança, estética, proteção ambiental e viabilidade técnica e econômica. Segundo o mesmo autor tratamento adequado das águas cinzas e também das águas pluviais, podem ser reutilizados de diversas formas, onde esta água reciclada poderá ser utilizada para descarga de vasos sanitários, torneiras de jardim, limpeza de calçadas, compactação de solos, produção de concretos, entre

outros, sempre lembrando que sua utilização não pode oferecer riscos a saúde dos usuários.

Sharma (2014) comenta que o uso de sistema de alagados construídos (SAC) para tratamento de águas residuárias tem sido praticado desde a década de 1950, e continuam sendo utilizados nos tempos atuais como uma forma eficaz de tratamento.

Como forma de auxiliar no tratamento sanitário das regiões afastadas e também com os problemas da falta de água potável dos centros urbanos, encontra-se o SAC para tratamento de águas residuárias, onde de acordo com Abou-Elela et al. (2013), sistemas de alagados construídos provaram ser uma alternativa adequada para tratamento de águas residuárias em lugares afastados dos centros urbanos, o mesmo autor comenta que este sistema oferece baixo custo de operação e manutenção, pois não há componentes mecânicos ou alimentação de energia externa.

Este trabalho tem como justificativa o intuito de diminuir a utilização de águas potáveis para fins de uso não nobres (lavagem de carros e calçadas por exemplo) e também dar uma destinação ao resíduo da construção e demolição (RCD) que são grande parte de todo o resíduo sólido urbano, desta maneira, diminuindo o RCD que é despejado em aterros sanitários e lixões, assim como também a preservação da água potável, com pequenas estações de tratamento em cada residência para a reutilização das águas cinzas.

Segundo Shamabadi et al. (2015) a água cinza é uma água residuária originada de chuveiros, banheiras, pias de banheiros, pias de cozinha e lavanderias, não incluindo a água dos vasos sanitários, porém o autor inclui o fato de que pode existir uma mistura complexa de matéria orgânica, sólidos suspensos, bactérias e produtos químicos domésticos comuns, também ressalta que se usado sabiamente e de uma forma que proteja a saúde pública e ambiental, a reutilização de água cinza ajuda a preservar o abastecimento de água.

2 OBJETIVO GERAL

Estudar a viabilidade técnica de um sistema alagado construído como tratamento de águas cinzas residuárias que utiliza como meio suporte resíduos de construção e demolição.

2.1 Objetivos específicos

- Projetar e executar um SAC em escala piloto;
- Estimar o desgaste e dissolução do uso de RCD como meio de suporte e sua influência na água circulada no SAC;
- Analisar as características da água cinza sintética residuária afluenta e efluente ao SAC;
- Recomendar e indicar restrições de reuso do efluente após tratamento pelo SAC de acordo com as normas vigentes.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Sistema de alagados construídos como tratamento de água cinza

A carência de água doce surge como um dos problemas mais iminentes no século XXI. Este transtorno poderia ser minimizado com a coleta, tratamento e reutilização das águas cinzas. De acordo com o mesmo autor o SAC é uma solução atraente para este fim, devido a sua simplicidade de funcionamento, eficácia no tratamento e a sua facilidade de aplicação em pequenas propriedades e em níveis de comunidade (ARUNBABU et al., 2015).

O SAC recebe forte influência das chuvas, em períodos com elevados índices pluviométricos e de maior fluxo hidráulico, há uma redução no desempenho do SAC, desta maneira afeta as comunidades microbianas, interferindo nos processos, de adsorção, sedimentação e absorção. As chuvas combinadas com elevadas temperaturas, promovem maior decomposição de matéria orgânica e menores níveis de oxigênio dissolvido, diminuindo a capacidade de nitrificação, além disto, as chuvas e a temperatura também causam influências nas plantas do estudo (LIMA, 2011).

A eficiência de remoção dos SAC depende das concentrações de poluentes aplicadas no sistema e do design do SAC, além disto também os parâmetros de manutenção do sistema e as condições de funcionamento (VERGELES et al., 2015).

Em comparação com instalações normais de residências domésticas, os SACs apresentaram desempenho semelhante em grande parte dos parâmetros controlados (DBO, DQO, sólidos suspensos, nitrogênio, ortofosfatos e surfactantes), porém os custos com a construção, manutenção e operação das *wetlands* são significativamente inferiores quando comparados com as instalações para tratamento de águas residuais comuns com capacidades semelhantes, tornando desta maneira uma solução viável e atraente para pequenas comunidades em áreas mais afastadas de centros urbanos (VERGELES et al., 2015).

Nos tempos atuais, surgiram novos desafios em relação aos recursos hídricos, água potável cada vez mais escassa, dificuldades no tratamento de águas residuais, espaços limitados e também a preservação ecológica. Esta questão deve ser resolvida visando a sustentabilidade, utilizando estratégias inovadoras que

combinem tecnologia de gestão de água unidos ao projeto de paisagismo, valorizando desta maneira a todos os elementos do ecossistema. Encontra-se uma maneira de combater este problema com a utilização de SACs, uma alternativa de baixo custo ao tratamento convencional de águas, porém não só como tratamento primário, mas também como tratamento secundário e terciário.

Os resultados encontrados por Semeraro et al. (2015), demonstram a capacidade que este sistema possui de trazer benefícios auxiliares, muito além de apenas o objetivo principal que é a purificação da água, entre eles estão a manutenção de habitats dos animais selvagens e de toda a biodiversidade, não só em escala local, mas como também global, além disto de forma educativa, trazendo oportunidades recreativas e educativas.

De acordo com Semeraro et al. (2015) um projeto adequado de um SAC requer uma abordagem multidisciplinar, onde as habilidades de projeto de engenharia devem estar incorporadas a sustentabilidade, conectadas com o paisagismo e o planejamento urbano. O mesmo autor também relata que o projetista deve pensar a longo prazo, em como este sistema poderá evoluir ao longo do tempo, mesmo que a estação de tratamento não esteja mais sendo utilizada para este propósito. Garante-se desta maneira que o tratamento por zona de raízes apoie a biodiversidade e outras questões mesmo na ausência do trabalho humano que é a realidade hoje.

Segundo Revitt et al. (2011) a partir desta crescente pressão em função do abastecimento de água potável, a utilização de águas cinzas tem grande potencial para salvar grandes volumes de água potável, porém também comenta que para a remoção de poluentes da água cinza, existe uma grande dependência em relação as suas propriedades físicas, químicas e biológicas.

Laaffat et al. (2015) comenta que o SAC por eles estudado, com as dimensões de 5,0 m de comprimento por 2,5 m de largura, tendo um escoamento horizontal subsuperficial, com uma densidade de plantio de 4 mudas.m⁻² da planta *Typha latifolia* apresentou resultados satisfatórios em relação ao desempenho bacteriológico e também ao tratamento físico-químico, com exceção ao fósforo e nitrogênio, sendo assim o sistema de tratamento por zona de raízes pode não excluir totalmente estes poluentes, mas de forma geral este sistema pode ser utilizado para melhorar a qualidade das águas cinzas para um nível aceitável.

3.2 Características da água cinza

As águas cinzas podem ser repartidas em dois segmentos, as águas cinzas claras e as águas cinzas escuras, dentro do grupo das águas cinzas claras estão as águas residuárias de banheiros e lavanderias, onde se encontram, banheiras, lavatórios, máquinas de lavar roupas e chuveiros. Dentro do grupo das águas cinzas escuras estão todas as comentadas anteriormente com o acréscimo das águas residuais da cozinha, oriundas de pias e máquinas de lavar pratos. Segundo o mesmo autor a composição das águas cinzas recebe grande influência do comportamento humano, tendo variações proporcionadas também pela região onde diferenças culturais, costumes, instalações e diferentes tipos de produtos químicos alteram a composição da água cinza (MAY, 2009).

Segundo Mah et al. (2009) a água cinza é produzida a partir de duchas, banheiras, máquinas de lavar roupas, pias de cozinha e de lavanderia, excluindo apenas as águas de vasos sanitários e mictórios, que são consideradas águas negras, devido a grande carga orgânica. Estes autores afirmam que na água cinza existem bactérias patogênicas que podem causar doenças se utilizadas sem tratamento prévio.

Além das bactérias, as águas residuárias contém um grande número de poluentes, onde entre eles estão a matéria orgânica, sais e detergentes e cargas excessivas de determinados nutrientes. Porém mesmo com toda esta variabilidade é possível recolher e reutilizar estas águas cinzas para fins não potáveis, ou seja, que tenha um padrão menor de qualidade, porém que não traga males a saúde, visto que a água cinza é gerada diretamente em cada casa, em volumes aproximadamente padrões todos os dias independente do tempo, ele é recurso constante no dia a dia nas residências (MAH et al., 2009).

Como relatado anteriormente, nessas águas podem ser encontrados microrganismos patogênicos, entre elas a *Escherichia coli*, sendo geralmente ligada a contaminação fecal, desta maneira o tratamento destas águas deve ter por objetivo extinguir a matéria orgânica ou reduzir os microrganismos patogênicos que estão presentes nesta água, desta maneira evita-se a transmissão de doenças devido ao contato humano. Deve-se também adotar alguns cuidados em relação aos sistemas de reuso de águas cinzas, como por exemplo, verificações da qualidade da água tratada, manutenções adequadas do sistema, sistema e operação não só

eficaz, mas também seguro a quem estiver operando, utilizar de avisos que indiquem que a água não é potável, utilizar tubulações de cores diferentes para que desta forma ofereça segurança a quem estiver operando, assim como também evitar o cruzamento com tubulações de água potável (MAY, 2009).

Existem inúmeras utilizações para as águas cinzas tratadas, como por exemplo a irrigação de jardins, lavagem de calçadas, utilização em vasos sanitários, porém estas dependerão da qualidade alcançada pelo tratamento e também da quantidade de efluente que for produzido.

Estas características que a água cinza necessita obter podem ser subdivididas em três classes que são:

- Características físicas;
- Características químicas;
- Características biológicas.

3.2.1 Características físicas

Entre as fontes de materiais sólidos encontrados nas águas cinzas, destacam-se partículas de terra, cabelos, areia e também fibras de roupas. Este conteúdo de partículas e colóides ocasionam o entupimento no sistema de coleta, tratamento e distribuição das águas cinzas que são indicados pelos ensaios de turbidez e sólidos suspensos (MAY, 2009).

Existe uma grande variação na turbidez das águas cinzas devido a lavagem de roupas, que variam consideravelmente entre os ciclos da máquina de lavar roupas, pois o primeiro ciclo da lavagem é o que retém a maior parte da sujeira, apresentando assim valores significativamente maiores de turbidez comparados aos ciclos posteriores de enxague (MAY, 2009).

Comparativo das variações das propriedades físicas encontradas na lavanderia, banheiro, pia de cozinha e lava-louças, foram descritos por Oron et al. (2014) e estão ilustrados na Tabela 1.

Tabela 1 – Variação das propriedades físicas da água cinza.

Parâmetro	Lavanderia	Banheiro	Pia da cozinha	Lava-louças
Cor	50-70	60-100	-	-
ST (Sólidos totais)	380-430	220-280	2500-3900	1300-1700
SST (Sólidos suspensos totais)	70-250	40-120	130-1300	100-440
Turbidez	50-210	60-250	-	-
Temperatura, °C	25-35	15-35	27-38	35-42
pH	8,1-10,0	6,7-7,4	6,5	8,2
DQO	1300-1800	95-650	650-1100	1300
Coliformes fecais (CF/100 ml)	$1,0-2,5 \times 10^5$	$<1-2,5 \times 10^6$	$1,5 \times 10^5-4,0 \times 10^7$	-

Fonte: Adaptado de Oron et al. (2014).

Nota-se na Tabela 1, a quantidade de sólidos totais e sólidos suspensos totais na pia de cozinha, motivo pelo qual autores como May (2009) fazem uma subdivisão dentro das águas cinzas. Devido a grande carga orgânica as águas advindas da cozinha, são chamadas de águas cinzas escuras, e as demais águas cinzas, vindas do banheiro e lavanderia são chamadas de águas cinzas claras, devido a baixa carga orgânica.

Abdel-Shafy et al. (2014) orienta para que as águas da pia da cozinha e de lava-louças não sejam ligadas juntamente com a água cinza oriundas dos banheiros, pois como é esperado, as taxas de óleos e graxas são bastante elevadas nas águas cinzas da cozinha, que por sua vez, aumentam consideravelmente os níveis de DQO e DBO.

3.2.2 Características químicas

Alexandre et al. (2013) encontraram um alto teor de alcalinidade total, advinda da amostra retirada da água de banhos, o autor conclui que estes altos valores para alcalinidade foram ocasionados pela grande quantidade de sabão e creme dental utilizados no banho. Em relação a máquina de lavar foi encontrado um maior teor de cloretos em relação a amostras de chuveiros e pias, de acordo com o autor o alto teor de cloretos é obtido da dissolução de sais, podendo também indicar, dependendo de quantidade encontrada, águas residuárias e presença de urina.

Na água cinza há grande variação na carga orgânica de um regime para outro, porém encontra-se em torno de 50 até 300 mg.L⁻¹ de DBO. Esta variação, provavelmente está ligada a combinação de produtos utilizados e ao tempo de

permanência das pessoas no banho. Também é relatado pelo autor que a relação entre a DQO e a DBO foi de 3,5, na bibliografia encontra-se valores em torno de 2,2 para esgotos domésticos, sugerindo que este efluente contém maior concentração de materiais não bio-degradáveis do que o esgoto (PIDOU et al., 2008).

Oxigênio Dissolvido nos leitos dos SAC tem correlação com a remoção da matéria orgânica e também de nitrogênio, podendo ser utilizado este parâmetro para prever as taxas de remoção da DQO e também de nitrogênio total. (CHANG et al., 2012).

Alcalinidade é um parâmetro químico importante em relação as águas, o aumento deste parâmetro pode estar ligado a presença de vários íons, entre eles os carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos no meio suporte (SAUMYA et al. 2014).

A alcalinidade é o que mede a quantidade de íons constituintes na água que reagirão e consequentemente neutralizarão os íons de hidrogênio, é originado pela reação entre CO_2 (decomposição da matéria orgânica) e água. Os processos oxidativos, como por exemplo a nitrificação, tendem a utilizar a alcalinidade, e obtendo valores muito baixos de alcalinidade, o pH tende a diminuir também (VALENTIM, 2003).

Valentim (2003) também apresenta a seguinte relação:

- pH > 9,4: presença de hidróxidos e carbonatos;
- pH entre 8,3 e 9,4: carbonatos e bicarbonatos;
- pH entre 4,4 e 8,3: apenas bicarbonatos.

A acidez é a eficiência com que a água resiste as mudanças de pH, que é ocasionada pelas bases, principalmente devido a presença de gás carbônico livre, quando o pH se encontra entre 4,5 e 8,2. Além disso, influencia no equilíbrio das formas de ácidos e também de bases, além de controlar a solubilidade de vários gases e sólidos. (VALENTIM, 2003)

Também de acordo com o mesmo autor, tem-se:

- pH > 8,2: CO_2 : livre/ausente;
- pH entre 4,5 e 8,2: acidez carbônica;
- pH < 4,5: acidez por ácidos minerais fortes.

As características químicas podem ser observadas com maior clareza através da Tabela 2.

3.2.3 Características biológicas

Existe uma gama de microrganismos patogênicos encontrados nas águas cinzas, como vírus, bactérias, protozoários, helmintos. Assim cuidados especiais devem ser tomados no manejo das águas cinzas.

Na amostra coletada por Alexandre et al. (2013), encontrou-se menor quantidade de coliformes em amostras retiradas do banho, tendo maior quantidade de coliformes totais no lavatório, o autor ressalta que isto não indica, com certeza, que existe bactérias patogênicas nesta água. Nestas análises encontrou-se, na amostra do banho e do lavatório, nitrogênio amoniacal, não sendo encontrado nas demais amostras, estes são referentes a urina e suor encontrados na água.

Pesquisa feita por Blanky et al. (2015), em relação ao patógeno conhecido como Legionella, foi encontrada uma diferença insignificante nas concentrações entre a água potável e a água cinza tratada com cloro, isso indica que em relação a Legionella a reutilização desta água cinza tratada, traria um risco muito semelhante ao risco que está associado com a utilização da água potável para os mesmos fins não potáveis. Desta forma concluíram que a água cinza é uma boa alternativa para aliviar a pressão sobre os recursos hídricos. As melhores opções para utilização desta água cinza em vasos sanitários e também para a irrigação de jardins.

Demais cuidados devem ser tomados, como por exemplo, com o tempo de conservação desta água cinza, Saumya et al. (2015) comparou a água cinza antes do tratamento, a água cinza tratada e a água cinza tratada estocada, houve um claro decréscimo na contagem de coliformes fecais depois de três semanas de tratamento destas águas cinzas, porém houve um aumento na contagem dos coliformes fecais mesmo com a água tratada, depois destas três semanas devido ao seu estado de repouso.

Tabela 2 – Propriedades físicas, químicas e biológicas da água cinza.

Análises	Banho	Máquina de Lavar	Lavatório Banheiro	Composta	Unidade	V.M.P
Temperatura da amostra	56	25	24	-	°C	40
Dureza	24	12	20	18	mg.L ⁻¹ CaCO ₃	-
Oxigênio consumido	5	0	3,4	3,2	mg.L ⁻¹ O ₂	-
Alcalinidade total	55	23	71	56	mg.L ⁻¹ CaCO ₃	NR
Cloretos	12,5	37,5	20	20	mg.L ⁻¹ Cl ⁻	-
pH	8,06	9,12	9,37	8,8	-	5,0 a 9,0
Turbidez	283	19	355	182	uT	NR
DBO	59	25	65	37	mg.L ⁻¹ O ₂	60
Oxigênio Dissolvido	6	7	8	9	mg.L ⁻¹ O ₂	NR
DQO	539,5	72	427,6	330,3	mg.L ⁻¹ O ₂	80
Sólidos Totais	284	137	405	254	mg.L ⁻¹	NR
Sólidos Suspensos	135	41	325	111	mg.L ⁻¹	NR
Óleos e graxas	163,8	<10	136	95,5	mg.L ⁻¹	100,0*
Sulfeto	1,9	<0,2	2,5	0,8	mg.L ⁻¹ S	1
Sulfato Total	41	15	<2	11	mg.L ⁻¹ SO ₄	NR
Fósforo Total	1,1	0,61	1,5	1,2	mg.L ⁻¹ P	NR
Condutividade elétrica	168,7	91,7	113,6	128,6	µS.cm ⁻¹	NR
Índice de coliformes termotolerantes	23	43	43	43	N.M.P/100mL	NR
Índice de coliformes totais	150	1100	>2400	1100	N.M.P/100mL	NR

Legenda: DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio, DQO - Demanda Química de Oxigênio, V.M.P - Valor Máximo Permitido, NR - Não Regulamentado

Notas: 1) Os métodos determinados para os parâmetros de referência seguem as recomendações do " STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTERWATER" da APHA /AWWA e os resultados devem ser interpretados como representando parte da composição da amostra no momento da análise

2) Resolução CONAMA 357/2005 art. 34 estabelece padrões de lançamento do efluente de qualquer natureza em águas interiores, superficiais e subterrâneas

Fonte: Adaptado de Alexandre et al. (2013)

3.3 Utilizações para a água cinza

O uso da água cinza em residências, traz algumas desvantagens, porém, cada uma destas desvantagens podem ser imediatamente compensadas por inúmeras outras vantagens (ORON et al., 2014).

Quando se reduz a quantidade de efluente gerado, entende-se que grandes quantidades de água potável são utilizadas para fins mais nobres. E não apenas isto, a utilização da água cinza acarreta em uma grande economia de recursos econômicos.

A utilização da água cinza, impreterivelmente diminui a quantidade de esgoto sendo transportada para aterros e além disso sistemas para tratamento de esgoto que serão construídos futuramente, poderão ser dimensionados de acordo com novos índices de carga orgânica, menores do que seriam se não fosse utilizada a água cinza, e isto para as estações de tratamento de esgoto será de grande vantagem (ORON et al., 2014).

As aplicações para fins não potáveis ocorrem em vários setores, como exemplo, em operações urbanas esta água tratada pode ser utilizada para lavagem de vias públicas, irrigação de parques, lavagem de veículos e pátios, para fins ornamentais, entre eles chafarizes e fontes, descargas de bacias sanitárias e também para combate a incêndios. Já nas indústrias a água cinza tratada pode ser reutilizada em torres de resfriamento, caldeiras e águas de processamento. (CHRISPIM, 2014)

Além das utilizações vistas para indústria e para utilização urbana, segundo Baracuh et al. (2015) a água cinza também é uma excelente alternativa no cultivo de forragens, assim como também para frutíferas, pois estas águas entrarão apenas em contato com as raízes e não em partes superiores da cultura, se for utilizada irrigação subsuperficial. Seguindo a mesma linha de raciocínio Santiago et al. (2012) concluem que a qualidade sanitária de alguns alimentos, entre eles hortaliças - herbáceas, podem inclusive ser consumidas cruas, mas é recomendado que para o consumo de hortaliças-tuberosas, estas sejam cozidas.

No trabalho de Niz e Paulo (2013) o percentual encontrado de água cinza gerado em uma residência foi de 71,7% do total de efluente gerado em toda a residência, onde é considerado águas cinzas escuras 28,1% e de águas cinzas claras 57,7% do total de efluente gerado. Autores observaram que a água cinza

gerada nesta residência tem grande potencial para tratamento domiciliar em sistemas compactos devido a sua grande biodegradabilidade. Na Tabela 3 a seguir são demonstrados os efluentes e quantidades encontradas pelos autores, o efluente em cada um dos aparelhos sanitários, assim como também o tipo de efluente encontrado.

Tabela 3 – Geração de efluente e água cinza na residência

Aparelhos Sanitários	Produção (L.hab ⁻¹ .dia ⁻¹)	Tipo de Efluente
Chuveiro	24,5	Água Cinza Clara
Lavatório	4,5	Água Cinza Clara
Bacia Sanitária	34,3	Água Negra
Pia	17,3	Água Cinza Escura
Máquina de Lavar	28,1	Água Cinza Clara
Tanque	13,3	Água Cinza Clara
Água Cinza Clara	70,5	Água Cinza Clara
Água Cinza Escura	87,8	Água Cinza Escura
Água Negra	34,3	Água Negra
Total de Efluente	122,1	Total de Efluente

Fonte: Niz e Paulo (2013).

Também é observado por Oron et al. (2014) um percentual de consumo de água por habitante por dia (Tabela 4), a reutilização da água cinza significa menor carga de esgoto nas ETE e consequentemente economia e redução no tamanho das estações de tratamento.

Tabela 4 – Consumo de água estimado em residências em Israel.

Consumo de água das residências por utilidade	Consumo de água L.hab ⁻¹ .dia ⁻¹	Porcentagem
Beber, cozinhar, lavar	27-33	20
Banho	45-55	31
Lavanderia e limpeza	08-10	7
Jardim	08-10	7
Descarga sanitária	50-60	35
Total	~160	~100

Fonte: Oron et al. (2014).

Um estudo elaborado por Revitt et al. (2011), baseado nas estatísticas de uso da água na Dinamarca e em dados coletados em uma estação de tratamento de águas neste país, verificou que existe um potencial de economia de água potável em torno de 43% em relação ao total, apenas com a reutilização de águas cinzas.

Devido ao grande volume de água necessária para a execução do experimento tornou-se inviável a utilização de água cinza real. Outro fator importante também para a utilização de água cinza sintética de acordo com Eriksson et al. (2009), é o controle constante da composição, o que não se consegue em fontes de águas cinzas reais, onde o volume e também as cargas encontradas demonstram grande variabilidade. Desta maneira optou-se pela utilização de água cinza sintética para a realização deste trabalho.

Brown e Palmer (2002) formularam uma água cinza sintética como uma ferramenta de avaliação para tecnologias de reciclagem de águas residuais, sendo possível estudar suas características, biodegradabilidade e possíveis reusos para a água cinza (Tabela 5).

Tabela 5 - Composição da água cinza sintética original

Ingrediente	Quantidade
Água	9,75 L
Xampu	8,6 mL
Óleo de Girassol	0,1 mL
Esgoto Terciário	250 mL

Fonte: adaptado de Brown e Palmer (2002).

Porém isso não condiz com a realidade do Brasil, onde a bibliografia demonstra maior carga orgânica e surfactantes na água cinza. Cohim et al. (2007) observaram esta situação e fizeram uma adaptação na fórmula de Brown e Palmer (2002) para os parâmetros brasileiros, modificando principalmente o item xampu e esgoto terciário (Tabela 6), de acordo com o autor o componente xampu contribui para os teores de carga orgânica, sódio e fósforo. O óleo de girassol contribui para a DQO e o ingrediente esgoto tem por principal característica contribuir para a carga orgânica e também para a carga patogênica.

Tabela 6 – Composição da água cinza sintética final

Ingrediente	Quantidade
Água	9,35 L
Xampu	17,5 mL
Óleo de Girassol	0,1 mL
Esgoto Terciário	650 mL

Fonte: adaptado de Cohim et al. (2007).

3.4 Resíduos da Construção e Demolição (RCD)

Em trabalho realizado na cidade de Fortaleza, Ceará, nos locais licenciados de Fortaleza foram depositados 702 toneladas.dia⁻¹ de RCD, onde geralmente a composição deste resíduo era 65% de restos de argamassa, material cerâmico e concreto. Também foi detectado que uma notável parte ainda é descartada ilegalmente, não contabilizada dentro das 702 toneladas.dia⁻¹, dentre os aterros ilegais os dois maiores somam uma área equivalente a 26 hectares. Estes autores concluíram que existe uma estimativa de que este sistema movimenta em torno de R\$ 4,5 milhões por ano, sendo quase metade deste montante fundeado pela prefeitura do município (OLIVEIRA et al., 2011).

De acordo com Costa et al. (2007) o RCD além de argamassa, material cerâmico e concreto, ainda fazem parte da composição percentuais de gesso, madeira, metais entre outros, que em grande parte são materiais ditos como inertes, e por este motivo, pouca atenção é dada no gerenciamento e disposição destes materiais.

Encontra-se uma classificação dos resíduos da construção e demolição na Resolução CONAMA nº 307 de 5 de julho de 2002, o RCD é subdividido em quatro classes principais que são:

- Classe A: todos os resíduos que possam ser reutilizados ou reciclados como agregados
 - Advindos da construção, reforma, demolição ou reparos em pavimentos e outras obras de infraestrutura, incluídos solos de terraplenagem;
 - Advindos da construção, reforma, demolição e reparos em

edificações, apenas os elementos cerâmicos como telhas, tijolos, blocos, placas de revestimento, e também argamassas e concreto;

- Advindos de peças pré-moldadas em concreto, tanto na fabricação quanto demolição, como exemplo, blocos, meios-fios, tubos, entre outros que foram produzidos no próprio canteiro de obras;
- Classe B: encontram-se os recicláveis com outros propósitos, como por exemplo os plásticos, papel e papelão, metais, madeiras, vidros entre outros;
- Classe C: resíduos que ainda não foram encontradas tecnologia ou aplicabilidade viável para a sua reciclabilidade, como exemplo o isopor;
- Classe D: resíduos advindos da construção que ocasionam algum perigo, como por exemplo, as tintas, solventes, óleos entre outros, ou também os resíduos originados de reformas, reparos ou demolições de clínicas radiológicas, indústrias entre outros.

Brasileiro e Matos (2015) relatam que o RCD além de demonstrar custos de produção menores aos agregados convencionais, também proporcionam a vantagem ambiental, visto que em vez de extrair matéria-prima natural, faz-se a reutilização destes chamados resíduos da construção e demolição, a reutilização do RCD evita maior exploração natural e reduz consideravelmente o percentual de resíduo sólido urbano para lixões e aterros sanitários. Para os autores a maior obstrução de sua reutilização é cultural, pois é um produto que ainda gera aos construtores e clientes, certa desconfiança relacionada ao seu desempenho, além disso, há o empecilho normativo, pois não existem normas que propiciem a sua aceitação na sociedade, devido a sua gama de diferentes elementos constituintes.

Para que a utilização do RCD seja difundida é necessário que políticas e também campanhas de conscientização sejam introduzidas na sociedade, para que as ações sustentáveis alcancem patamares tanto individuais, onde cada indivíduo tome suas próprias atitudes, assim como também em escalas mundiais onde todos estão envolvidos e comprometidos com a sustentabilidade, os governos, associações, organizações e empresas públicas e privadas

(BRASILEIRO e MATOS, 2015).

Uma das formas de reutilização do RCD recentemente estudada, é na recuperação de solos urbanos degradados, visto que o mesmo tem os elementos necessários para a nutrição de plantas e microrganismos do solo, além desta função os carbonatos encontrados no RCD podem neutralizar terrenos que se encontrem com solo muito ácido (RESTREPO et al, 2015).

Tratando-se de granulometria é importante entender algumas definições, que são o DMC (Dimensão Máxima Característica), MF (Módulo de finura) e os Materiais Pulverulentos.

De acordo com a NBR NM 248 (ABNT, 2003) DMC é uma grandeza relacionada a distribuição granulométrica do agregado, correspondente à abertura nominal, em milímetros, da peneira da série normal ou intermediária, na qual o agregado apresenta uma porcentagem retida acumulada igual ou imediatamente inferior a 5% em massa.

Já de acordo com a mesma norma, MF é a soma das porcentagens retidas acumuladas de um agregado, em massa, nas peneiras da série normal, divididas por 100.

E os materiais pulverulentos são as partículas passantes na peneira com malha de 0,075 mm, incluindo os materiais solúveis em água que estão presentes nos agregados.

3.5 Reuso de águas cinzas e construção de SACs

As legislações em relação a reutilização de águas no Brasil são muito abrangentes, não existe uma norma específica para a reutilização das águas cinzas, sendo necessário a utilização de outras normatizações para tentar enquadrar a água cinza em alguns parâmetros, entre elas podemos citar a norma ABNT NBR 13.969 (Tanques sépticos – Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – Projeto, construção e operação), de setembro de 1997, a Resolução CNRH nº 54, de 28 de novembro de 2005, que tem por objetivo estabelecer critérios gerais para a reutilização de águas potáveis, a portaria nº 2.914 de 12 de dezembro de 2011.

A resolução CNRH 54, tem por objetivo descrever os procedimentos de

controle e de vigilância da qualidade da água tanto para consumo humano, assim como também sobre seu padrão de potabilidade. A Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005) alterada pela Resolução CONAMA nº 410 (BRASIL, 2009) e pela Resolução CONAMA nº 430 (BRASIL, 2011) trata das condições e também padrões para o lançamento de efluentes em corpos receptores.

Pode-se encontrar algo mais específico sobre a reutilização de águas cinzas na Lei nº 2.856 de 25 de julho de 2011 da cidade de Niterói, Rio de Janeiro, ou na Lei nº 10.840 de 28 de agosto de 2015 da cidade de Belo Horizonte, Minas Gerais. Nestas leis, torna-se obrigatório a reutilização de águas cinzas para toda nova edificação que tenha área impermeabilizada superior a quinhentos metros quadrados, pública ou privada. Assim esta lei induz a conservação de água potável, para que os recursos hídricos possam ter múltiplos usos. A mesma lei também define que obras novas, com consumo de 20 m³ de água ou mais por dia, devem fazer a reutilização das águas cinzas.

Antes da reutilização das águas cinzas a Lei 2.856/2011 adverte para que as mesmas necessitam passar por sistemas de tratamento adequados para a eliminação dos poluentes, desinfecção e polimento, após o tratamento, esta água deve atingir alguns parâmetros que estão estabelecidos na Tabela 7.

Tabela 7 – Parâmetros para reuso de águas cinzas

Parâmetro	Valor de Referência	Unidades de medida
Turbidez	Inferior a 5 UT	UT – unidade de turbidez
pH	Entre 6,0 E 9,0	pH – pontencial hidrogênioônico
Cor	Até 15 UH	UH – unidade Hazen
Cloro Residual	0,50 a 2,00 mg.L ⁻¹	
Coliformes Totais	Ausência em 100 ml	
Coliformes termotolerantes	Ausência em 100 ml	
Sólidos Dissolvidos Totais	Inferior a 200 mg.L ⁻¹	
Oxigênio Dissolvido	Acima de 2,0 mg.L ⁻¹	

Fonte: Niterói (2011)

Após os tratamentos necessários e atingindo os parâmetros para reuso designados pela Lei 2.856/2011, também é estipulado que todos os

encanamentos, tubulações, conexões e bombas utilizadas para as águas cinzas deverão ter cor específica e armazenadas em reservatórios particulares para as águas cinzas, onde esta água apenas servirá para lavagem de pátios, escadarias em geral, irrigação de jardinagem e para descargas dos vasos sanitários, quando reutilizadas nestas situações irão para a rede pública de esgoto.

3.5.1 Reuso da água cinza em outros países

No Arizona a água cinza é definida, quando a DBO_5 é menor que 380 mg.L^{-1} , os sólidos suspensos totais (SST) é inferior a 430 mg.L^{-1} , o total de nitrogênio não excede 53 mg.L^{-1} e os óleos e graxas não são superiores a 75 mg.L^{-1} .

De acordo com o capítulo 16 do código de reuso de águas cinzas do Estado da Califórnia, a qualidade mínima para fontes alternativas de água deve atender os requisitos para sistema de água cinza tratadas não potáveis que são encontrados na certificação NSF 350 (National Sanitation Foundation), hoje conhecida como NSF International.

Para conseguir esta certificação, o sistema de tratamento de água cinza deve produzir uma qualidade aceitável de efluente durante vinte seis semanas de testes (seis meses). Sendo que esse efluente deve atingir os parâmetros: 25 mg.L^{-1} de BOD_5 , 30 mg.L^{-1} ou menos de SST e pH entre 6,0 e 9,0 abrangendo seis meses de testes. Durante o período de testes é proibido serviços e manutenções do sistema, para que não ocorra a descaracterização das amostras.

Na Austrália e Nova Zelândia em relação a qualidade física e química da água cinza o departamento de águas e energia da Austrália comenta em seu documento de reuso de águas cinzas em uma residência que existem muitas variáveis como: sais, óleos, graxas, gorduras, nutrientes e químicos, variando conforme o uso em cada residência.

Como forma de tentar deixar a água cinza mais uniforme o manual australiano opta por ao invés de dar parâmetros a serem obtidos, colocar o que é certo e o que é errado, fornecendo assim, orientações sobre como gerenciar

a qualidade física e química da água cinza.

A seguir algumas das recomendações feitas pelo departamento de águas e energia da Austrália:

- Monitorar as plantas e o solo que estão sendo irrigados com água cinza;
- Não reutilizar a água cinza quando algum dos residentes estiver doente;
- Escolher detergentes biodegradáveis com baixa quantidade de fósforo, sódio, boro e cloretos;
- Não permitir contato direto ou ingestão de água cinza;
- Reutilizar água cinza no jardim em vários lugares;

Em relação a Inglaterra não existe um critério específico para reutilização de águas cinzas e águas de chuva. Isso é uma preocupação entre os fabricantes de sistemas e também para os responsáveis pela proteção da saúde pública.

Nas recomendações para reutilização da água cinza comenta-se que os riscos epidemiológicos pelo uso da água cinza depende não apenas dos contaminantes que ela esta sujeita, mas também o quanto os humanos podem estar expostos a esses contaminantes. Porém em certos usos, com pouco ou nenhum contato humano, é possível fazer a reutilização.

Também dentro das recomendações é dado um critério para uso final da água, conforme tabela 8.

Tabela 8 – Parâmetros uso final da água (Inglaterra)

Parâmetro	Unidades de medida	Concentração (valor máximo)
Cor	mg.L ⁻¹	20
Turbidez (incluindo sólidos suspensos)	NTU	4
pH	-	5,5 a 9,5
Resíduos secos	mg.L ⁻¹	1500
Coliformes totais	Número / 100 mL	0
Coliformes fecais	Número / 100 mL	0

Fonte: Adaptado de Secretaria do Meio Ambiente da Inglaterra (1997).

A África do Sul é um país escasso em relação a água, com aproximadamente 500 mm de chuva anualmente, bem abaixo da média mundial que é em torno de 860 mm, sendo que a maior parte das chuvas é sazonal, onde algumas áreas chegam a receber menos de 200 mm de chuva por ano (RODDA et al., 2011).

A água cinza é usada na África do Sul como um complemento informal para irrigação tanto em jardins nas áreas urbanas de alta renda, em jardins de alimentos nos locais de baixa renda, assim como também nas áreas rurais. Os autores também comentam que a água cinza tem potencial para contribuir significativamente no auxílio a alimentação em comunidades de baixa renda, fornecendo uma fonte de água de irrigação e de nutrientes para as plantas que podem ser cultivadas, porém que deve-se seguir as orientações não formais para a utilização das águas cinzas na África do Sul. (RODDA et al., 2011).

Entre as orientações encontram-se:

- Não utilizar água cinza se algum morador da casa estiver com alguma doença infecciosa;
- Usar toda a água cinza em menos de 24 horas;
- Utilizar métodos de irrigação que minimizem o contato da água cinza com as partes das plantas que estejam acima do solo;
- Lavar as mãos e braços após manusear a água cinza;
- Se utilizar para cultivos, parar de irrigar com água cinza 2 semanas antes da colheita.

3.6 Normas para construção de sistemas alagados construídos

Em relação a sistemas alagados construídos a norma NBR 13.969 (ABNT, 1997) traz algumas recomendações e também um dimensionamento genérico de um sistema de tratamento de esgoto por meio de lagoa com plantas aquáticas.

É recomendado pela norma que sejam construídos sistemas de tratamento de esgoto por lagoas com plantas aquáticas em locais cuja temperatura média durante o ano esteja inferior a 15°C, contendo uma baixa incidência de raios solares ou com grandes períodos de neblina que evitem a

incidência solar direta, a própria norma recomenda a utilização principalmente na região sul do Brasil, esta recomendação é justificada pela vantagem de que em temperaturas baixas a proliferação de pernilongos é reduzida, grande vantagem em relação as outras regiões do país com climas mais temperados, a mesma norma também diz que este tipo de instalação tem baixo custo construtivo em relação as lagoas de estabilização, fácil operação e menor custo, tendo uma boa remoção de nutrientes e matéria orgânica.

Outra recomendação que deve-se aplicar nos sistemas de alagados construídos descrita pela norma é de se fazer uma remoção periódica das plantas que forem encontradas em excesso no sistema, assim como também, anexar uma área para permitir a secagem das plantas que estiverem sido removidas do sistema.

Além de recomendações de aplicação existem também alguns detalhes construtivos e de operação dos SAC que são observados pela norma NBR 13.969 (ABNT, 1997), entre elas a norma afirma que as plantas removidas do sistema, após a secagem, podem ser misturadas com outros componentes a fim de serem introduzidas diretamente no campo agrícola, entre outras tem-se:

- O fundo da lagoa deve ser plano;
- Instalar ao redor do dispositivo de saída do efluente uma tela não corrosiva para impedir a saída das plantas junto ao efluente;
- As margens devem ser protegidas de modo que não permitam danos ocasionados pela operação da lagoa com plantas aquáticas;
- A remoção e ou coleta das plantas podem ser feitas manualmente ou mecanicamente, mantendo sempre em igualdade o número de plantas em toda a área da lagoa;
- A remoção das plantas com periodicidade impede a morte das mesmas evitando o aumento da carga orgânica e assoreamento precoce;
- A operação correta das plantas faz-se necessária para manter a população de plantas totalmente controlada para que assim o crescimento seja permanente aumentando a remoção de nutrientes.

4. MATERIAL E MÉTODOS

Com o objetivo de ilustrar o procedimento experimental deste trabalho, apresenta-se na Figura 1 um fluxograma das etapas realizadas.

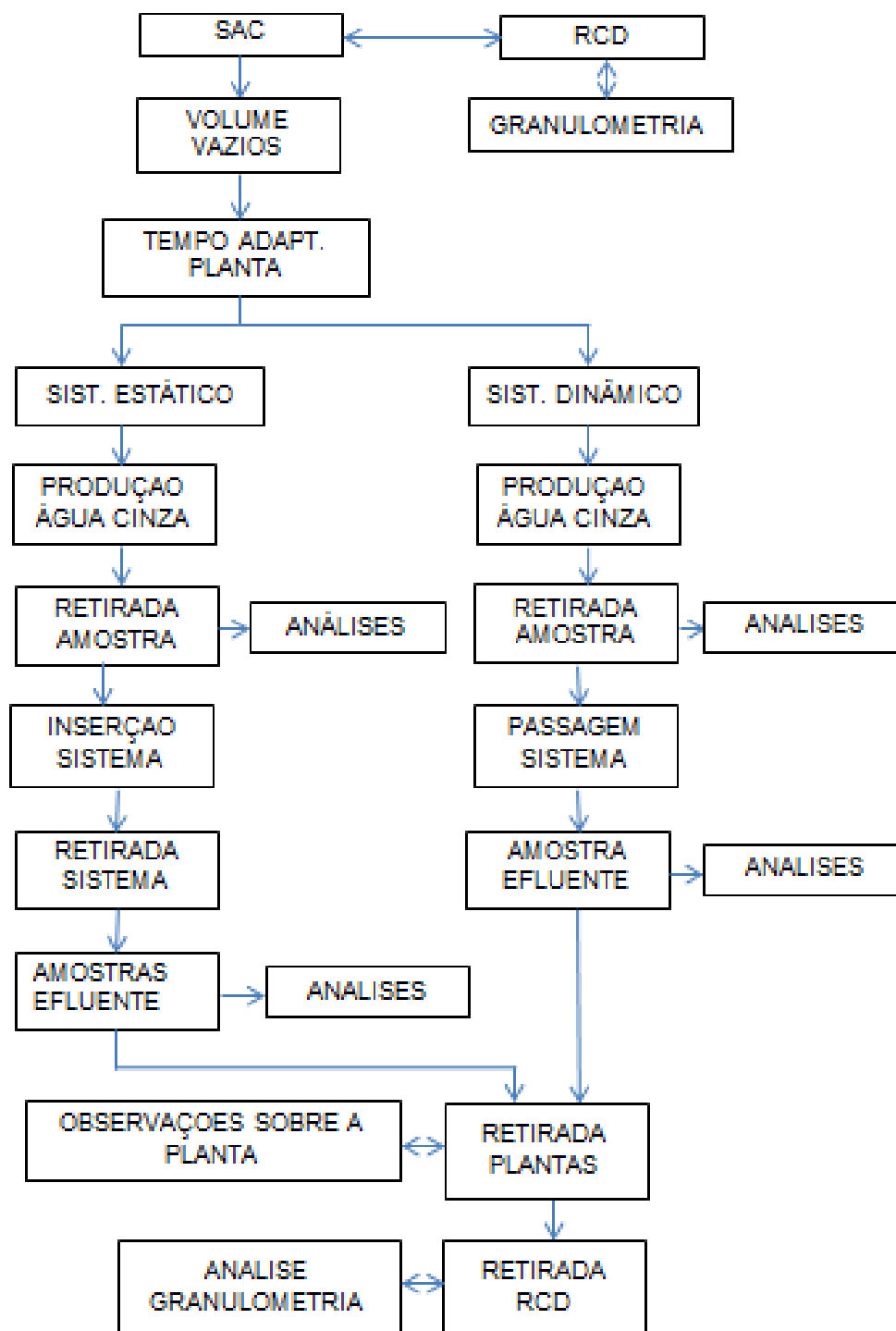


Figura 1 – Fluxograma das etapas realizadas no estudo.
Fonte: O autor (2017).

O estudo foi conduzido na cidade de Ponta Grossa, Paraná, na Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG), localizado sob as coordenadas geográficas de latitude 25°05'22.3"S e longitude 50°06'12.2"O. O clima de acordo com a classificação climática de Köppen é sub-tropical úmido mesotérmico, tendo uma temperatura média anual de acordo com a mesma fonte de 17,6 °C.

O sistema foi composto por três partes principais, sendo elas: o reservatório superior, um sistema de alagados construídos de fluxo horizontal e um reservatório inferior conforme o esquema da Figura 2 em perfil.

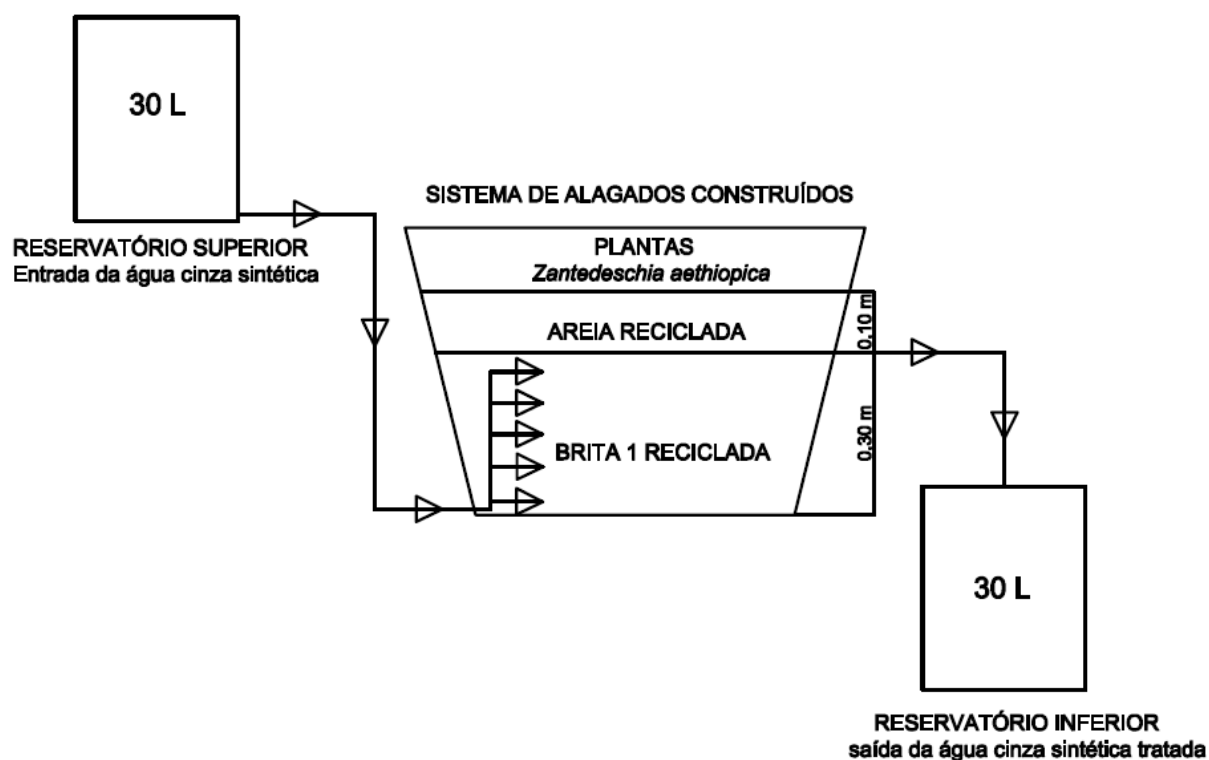


Figura 2 – Esquema do sistema de tratamento em escala de bancada. Vista em perfil.
Fonte: O autor (2016).

Para o período de crescimento e aclimação do copo-de-leite, o local utilizado para cultivo foi uma estufa, área de 246,08 m² e altura do pé direito de 3,0 m, a estufa conta com ventilação forçada, automatizada para controle da temperatura interna, a temperatura interna manteve-se em torno dos 29°C.

4.1 Reservatório superior (afluente) e reservatório inferior (efluente)

Os reservatórios superior e inferior são iguais, são feitos de polietileno e possuem 0,39 m de altura, 0,31 m de largura, tendo uma capacidade útil de 30 L. O sistema é abastecido tendo como entrada o reservatório superior e como saída o reservatório inferior, de onde foi retirada a água já tratada pelo sistema para análises.

4.2 Sistema de alagados construídos de fluxo vertical

A água cinza sintética foi conduzida até o SAC por meio de mangueira tipo de jardim de 0,0125 m de diâmetro. Para o SAC foi utilizado uma caixa d'água com 0,55 m de altura, com diâmetro na parte superior de 0,87 m, diâmetro na base de 0,61 m e capacidade útil de 100 L (Figura 3). A água cinza sintética entrou pela parte inferior da caixa d'água, onde foi distribuída no sistema pelo mesmo tipo de mangueira, porém com pequenos orifícios a cada 0,02 m para evitar caminhos preferenciais pela água. Além da mangueira a base do sistema foi preenchida por uma camada de agregado reciclado com diâmetro de 4,75 mm a 25 mm, com altura de 0,30 m, logo acima uma camada de 0,10 m de areia reciclada.



Figura 3 – Detalhe superior entrada e saída SAC.
Fonte: O autor (2016).

Para finalizar a construção do SAC foi escolhida para o tratamento por zona de raízes das águas cinzas sintéticas a planta Copo-de-leite (*Zantedeschia aethiopica*), uma planta facilmente encontrada na região sul do Brasil, que é utilizada em SACs devido ao seu apelo estético e qualidade no tratamento. O espaçamento de plantio utilizado de 0,20 m x 0,20 m, tendo as mudas um comprimento de aproximadamente 0,05 m (Figura 4).

O volume de água tratado pelo SAC foi em torno de 28 L em sua totalidade, com coeficiente de vazios de 0,43, espaço esse que foi ocupado pelas raízes. Esse espaço é relativamente baixo, devido a granulometria obtida do RCD, desta forma, alguns cuidados devem ser tomados para evitar a colmatção, algo indesejado em sistemas horizontais, que pode ocorrer devido ao acúmulo de sólidos e também pelo excesso de biofilme, preenchendo todo o espaço livre e impedindo a passagem da água cinza (MONTEIRO, 2009).



Figura 4 – SAC em funcionamento.
Fonte: O autor (2016).

4.3 Resíduo de construção e demolição

O RCD (Figura 5) foi doado por uma empresa da cidade de Ponta Grossa, Paraná, que faz o recolhimento deste material em diversas obras da região. Este material tem predominância principalmente de materiais cerâmicos e argamassas, tendo uma quantidade menor de concreto e alguns vestígios de metais, como por exemplo arames, pregos, porcas e outros.



Figura 5 – Agregado Reciclado – RCD
Fonte: O autor (2016).

Antes de fazer o ensaio de granulometria o material a ser utilizado foi lavado para retirar possíveis impurezas e materiais indesejáveis, após alguns dias de secagem, foi efetuado o ensaio de granulometria do material de acordo com a NBR NM 248 (ABNT, 2003).

Para a execução do ensaio foram utilizadas as peneiras 25,0 mm, 19,0 mm, 12,5 mm, 9,5 mm, 4,8 mm, 2,4 mm, 1,2 mm, 0,6 mm, 0,3 mm e 0,15 mm.

O ensaio em questão foi realizado com amostras do mesmo lote, executados em triplicatas, para a execução do ensaio da brita, foram peneirados 5,0 kg, já para o ensaio da areia, foi utilizado 1,0 kg. Após a pesagem dos percentuais retidos em cada peneira, pode-se analisar a dimensão máxima característica do agregado (DMC) e também o seu módulo de finura (MF).

A execução da granulometria teve duas etapas, antes da montagem do SAC e após a desmontagem do SAC, para que assim fosse possível entender como o RCD reagiria como meio suporte. Todos os resultados obtidos para a granulometria encontram-se no apêndice.

Para a brita obteve-se DMC antes da montagem do SAC e depois da desmontagem o valor de 19,0 mm, já para a areia o valor obtido foi tanto antes da montagem como depois da desmontagem de 4,8 mm.

4.4 Água cinza sintética

No estudo utilizou-se a água cinza sintética, conforme descrito por Brown e Palmer (2002), sendo composta de água, xampu, óleo de girassol e esgoto terciário.

Cada elemento simula algum tipo de contaminante. O xampu auxilia nos teores de carga orgânica, sódio e fósforo, além de tensoativos em geral e compostos orgânicos xenobióticos. Já o óleo de girassol auxilia para a Demanda Química de Oxigênio (DQO) e para o Carbono Orgânico Total (COT). E o esgoto terciário auxilia na carga orgânica e também na carga patogênica (COHIM et al, 2007).

Nos primeiros testes foram utilizados primeiramente esgoto bruto, depois lodo e depois efluente de ralf, que é equivalente ao esgoto terciário, todos coletados semanalmente na Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR), optando-se por usar para os testes a efluente de ralf, devido as suas características estarem mais próximas do esperado.

Após as primeiras análises, notou-se uma grande diferença em relação a água cinza sintética criada por Brown e Palmer (2002) e a água cinza encontrada nas bibliografias brasileiras, optando-se por progredir nos ensaios com a fórmula adaptada por Cohim et al. (2007).

4.5 Condução operacional do experimento

Primeiramente realizou a adaptação das plantas no SAC, para o adequado funcionamento quando lançado o afluente. O período de adaptação foi de 164 dias com início no dia 23/06/2016 e término no dia 04/11/2016, durante este período utilizou apenas água tratada. A troca da água tratada era feita duas vezes por semana, para retirada de impurezas que pudessem descaracterizar os ensaios laboratoriais.

Para auxiliar o desenvolvimento do copo-de-leite utilizou adubo NPK na formulação de 10-30-10 nos dois primeiros meses de adaptação.

Próximo de iniciar os experimentos (últimas duas semanas de adaptação) efetuou lavagens diárias, para retirar os resíduos do adubo.

O experimento foi conduzido com uma variação principal (sistema estático ou sistema dinâmico) sendo primeiramente adotado o sistema como estático, ou seja, a água entrava no sistema, e permanecia estática até a retirada, e após o término dos testes estáticos, foram feitos os testes dinâmicos, onde o fluxo de água era contínuo, fazendo as mesmas análises utilizadas para o estático.

Foram feitas no total dez análises do tratamento, todos os métodos empregados para análises químicas e biológicas foram realizados em conformidade com o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2012), conforme Tabela 9.

Tabela 9: Análises físico-químicas de monitoramento do afluente e efluente.

Análise	Unidade	Método
Acidez total	mg de $\text{CO}_2\cdot\text{L}^{-1}$ e mg de $\text{CaCO}_3\cdot\text{L}^{-1}$	Titulométrico
Alcalinidade total	mg de $\text{CaCO}_3\cdot\text{L}^{-1}$	Titulométrico
Condutividade elétrica	$\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$	Potenciométrico
DQO	$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	Espectrofotométrico
pH	-	Potenciométrico
Sólidos totais (fixos e voláteis)	$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	Gravimétrico
Sólidos suspensos totais (fixos e voláteis)	$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	Gravimétrico
Fósforo total	$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	Espectrofotométrico
Fósforo inorgânico	$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	Espectrofotométrico
Oxigênio Dissolvido	$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	Potenciométrico

Fonte: O autor (2017).

Além das análises físico-químicas, feitas afluente e efluente, analisou-se o volume de vazios do SAC, para descobrir quanta água cinza estava inserida no sistema. O SAC foi preenchido lentamente com água cinza sintética, adicionada de dois em dois litros e após o preenchimento do SAC até a saída do sistema, foi feita a verificação do volume utilizado para preenchimento do SAC, obteve-se assim o volume de vazios.

Também foi realizada uma análise em relação ao desgaste do RCD, para montagem do SAC com as alturas de agregados definidas o RCD foi lavado, secado, e pesado o quanto de agregado reciclado foi utilizado no SAC, após a conclusão de todos os ensaios e desmonte do sistema, foi novamente lavado, secado e pesado o agregado reciclado, desta maneira pode-se determinar quanto do material foi dissolvido, arrastado e desgastado pelo fluxo da água cinza sintética.

Em relação as plantas, foram feitas observações referentes ao crescimento, para demonstrar a influência que a idade e o crescimento da planta e de suas raízes ocasionam no tratamento das águas cinzas e também em relação as pragas que podem prejudicar o sistema.

4.5.1 Experimentos estáticos

Para estudo do sistema estático foram adicionadas duas variáveis, que foram: tempo de detenção hidráulica (TDH) e altura em que a água ficou dentro do SAC.

O TDH escolhido para esse período foi de: dois, quatro e seis dias.

E foram escolhidos também três níveis para retirada de amostras: parte inferior, intermediária e superior do sistema de tratamento. Desta maneira podendo ser analisada a influência das plantas no tratamento.

Após as primeiras análises constatou-se que não havia diferença significativa entre a posição intermediária e superior, optando-se por continuar os testes retirando apenas duas amostras, uma da parte inferior e uma da parte superior.

As amostras foram caracterizadas em triplicatas e os ensaios ocorreram imediatamente após a retirada da amostra, as amostras também foram homogeneizadas para a realização de cada um dos ensaios. Para os aparelhos necessários era feita a calibração antes da utilização de acordo com as instruções. Os testes e as análises ocorreram do dia 04 de novembro de 2016 até 21 de dezembro de 2016.

4.5.2 Experimentos dinâmicos

No estudo com o sistema dinâmico apresentou respostas diferentes das obtidas pelo sistema estático, pelas características operacionais do protótipo a variável analisada foi o tempo de detenção hidráulica (TDH), um e dois dias.

As amostras foram caracterizadas em triplicatas e os ensaios ocorreram imediatamente após a retirada da amostra, as amostras também foram homogeneizadas para a realização de cada um dos ensaios. Para os aparelhos necessários era feita a calibração antes da utilização de acordo com as instruções. Os testes e as análises ocorreram do dia 16 de fevereiro de 2017 até 10 de março de 2017.

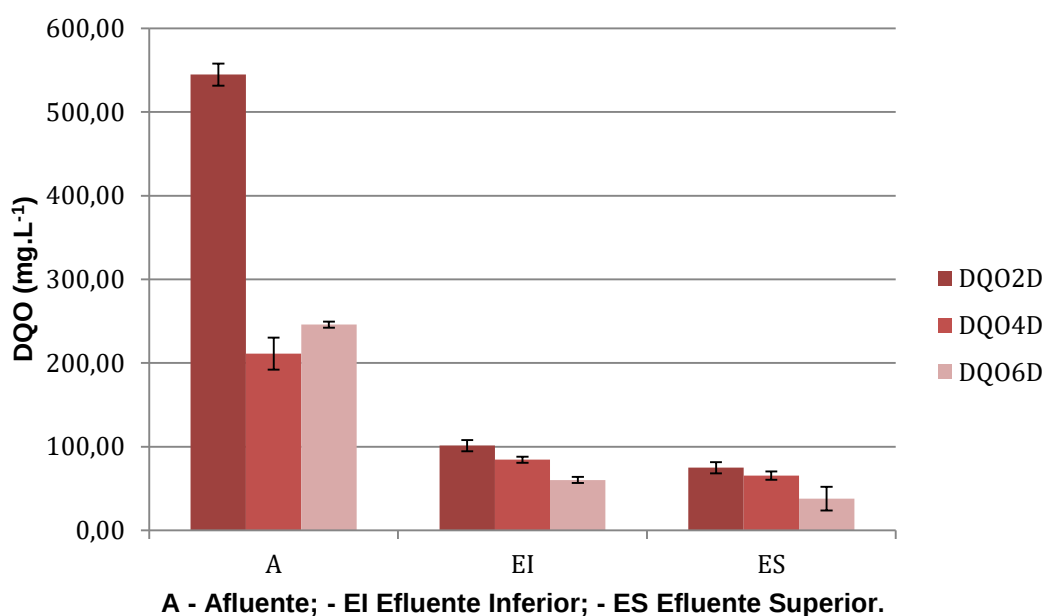
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Resultados experimentais estáticos

5.1.1 DQO

Na Figura 6, pode-se observar os resultados na remoção da DQO pelo SAC.

Figura 6 – Eficiência de remoção de DQO sistema estático.



Fonte: o autor (2017).

Nota-se uma elevada DQO para o afluyente com TDH estático de dois dias. Isso ocorreu devido ao transbordamento nos Ralfs da estação de tratamento de esgoto no dia da coleta da amostra em questão, porém também mostra-se a eficiência na remoção da DQO nas primeiras 48 horas dentro do sistema, tendo uma remoção de 81,4% na parte inferior e uma remoção de 86,3% na parte superior do sistema onde a concentração de raízes é maior, fato observado por Santos et al. (2016); Merino-Solís et al. (2015), que obtiveram reduções superiores a 80% nas primeiras 48 horas.

O percentual de DQO o TDH de dois dias foi superior aos obtidos,

devido a particularidade da amostra afluyente, observa-se que os menores índices de DQO são encontrados para o TDH estático de seis dias, tendo na parte inferior o resultado de 60,18 mg.L⁻¹ e na parte superior de 38,01 mg.L⁻¹, demonstrando que quanto maior é o tempo de detenção hidráulica, menor são as taxas de DQO obtidas.

Por enquanto ainda não existe um parâmetro para a DQO pela Resolução CONAMA nº 430 (BRASIL, 2011) porém de acordo com o Instituto Ambiental do Paraná (IAP), o limite de DQO para lançamento de efluente líquido em corpos hídricos deve ser de no máximo 150 mg.L⁻¹, limite superior ao encontrado nesse trabalho (101,34 mg.L⁻¹). O melhor índice foi de 6 dias com valor inferior a 40 mg.L⁻¹. É possível também encontrar este mesmo valor na norma NBR 13.969 (ABNT, 1997) para o descarte das águas de reuso em galerias pluviais.

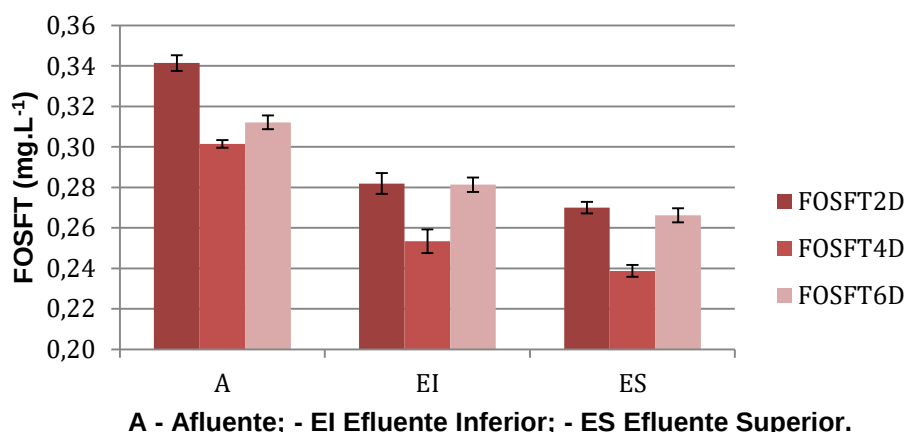
Além desse parâmetro, também encontra-se na norma NBR 13.969 (ABNT, 1997) uma faixa provável de remoção de poluentes, onde para a DQO a faixa situa-se de 70% a 85%. Esse parâmetro apenas não foi atingido para o TDH estático de 4 dias tendo para o efluente inferior uma remoção de 60% e para o efluente superior uma redução de 69%, porém mesmo assim, atingindo o objetivo, que seria de estar abaixo de 150 mg.L⁻¹.

E através desse parâmetro é dada as condições de reuso para essa água de acordo com a NBR 13.969 (ABNT, 1997), onde comenta-se que a água cinza deve ser reutilizada para fins não potáveis, porém que sejam sanitariamente seguras, como por exemplo para a irrigação de jardins, na descarga dos vasos sanitários e na irrigação dos campos agrícolas. Dessa forma evita-se o desperdício da água potável para fins não nobres e evita problemas, como por exemplo a ligação errônea da rede de esgoto com a rede de água.

5.1.2 Fósforo Total

Na Figura 7 a remoção de Fósforo Total pelo SAC.

Figura 7 – Remoção de fósforo total sistema estático.



Fonte: o autor (2017).

O maior percentual de tratamento em relação ao Fósforo Total foi obtido para o TDH estático de dois dias, depois quatro dias e por último seis dias, com os percentuais de 20,6%, 20,0% e 12,9% respectivamente. A grande exposição ao RCD faz com que perca a eficácia do tratamento em relação ao tempo, não sendo adequado TDH muito longos neste caso.

Os valores obtidos neste estudo ficam abaixo dos valores obtidos por Merino-Solís et al. (2015); Arunbabu et al. (2015); Brezinová e Vymazal (2014), todos observaram em média um decréscimo entre 40% e 70% para o fósforo total.

Com relação a normatização, encontramos o parâmetro na Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005), onde para o fósforo temos o valor máximo de:

- 0,020 mg.L⁻¹ para ambientes lênticos (ambientes aquáticos de água parada);
- 0,025 mg.L⁻¹ para ambientes intermediários (tempo de residência entre dois e quarenta dias);
- 0,1 mg.L⁻¹ para ambientes lóticos (ambiente aquático de água corrente).

O melhor resultado obtido através do SAC foi de 0,24 mg.L⁻¹ valor superior ao máximo permitido para ambientes lóticos.

Klein et al. (2012) comenta que o fósforo é fator importante para o crescimento das plantas e animais em meio aquático, porém que em excesso favorece o processo de eutrofização das águas e morte dos peixes.

Semelhantemente, na norma NBR 13.969 (ABNT, 1997) é comentado que caso esta água cinza esteja sendo utilizada como fonte de água para fins paisagísticos, quantias elevadas de fósforo acarreta em elevado crescimento de plantas, desta forma, é interessante pensar em uma outra alternativa de tratamento que obtenha melhores resultados na remoção do fósforo, como aplicação na agricultura, especialmente pastagem.

Outro fator que pode estar contribuindo para as grandes quantidades de fósforo na água é devido a utilização do RCD como meio suporte, de acordo com Soares e Coringa (2013), quanto maior a quantidade de resíduo da construção e demolição utilizado, maior é a concentração de fósforo, potássio e matéria orgânica no meio.

5.1.3 Fósforo Inorgânico

A importância de se observar este parâmetro é que o fósforo inorgânico está intimamente ligado aos detergentes e outros produtos químicos domésticos, estes elementos são em torno de 50% de todo o fósforo da água residuária, enquanto o fósforo orgânico está ligado a compostos orgânicos (von SPERLING, 2005).

O fósforo inorgânico, é formado em grande parte por polifosfatos e também ortofosfatos, que juntos com uma pequena parte do fósforo ligado a matéria orgânica solúvel do efluente formam o fósforo solúvel (MOTA e von SPERLING, 2009).

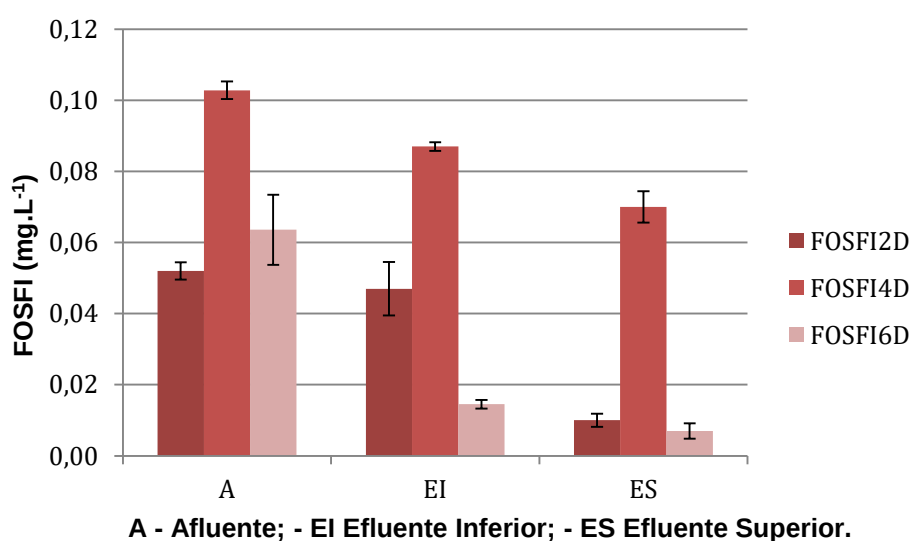
Segundo Mota e von Sperling (2009), a contribuição per capita de fósforo inorgânico por pessoa está entre 0,5 e 1,2 gramas por dia, sendo que a sua concentração encontra-se na faixa entre 3 e 7 miligramas por litro, sendo assim a maior parte do fósforo total, situação não observada no SAC em questão que teve como melhor relação entre 36% de fósforo inorgânico em

relação ao fósforo total para o TDH de 4 dias estático.

Esta situação provavelmente está vinculada com a questão da fórmula da água cinza sintética utilizada, visto que não é um dos parâmetros observados por Cohim et al. (2007).

Na Figura 8 os valores obtidos para o parâmetro fósforo inorgânicos afluente e efluente ao SAC.

Figura 8 - Análise de fósforo inorgânico no sistema estático.



Fonte: o autor (2017).

Para o parâmetro fósforo inorgânico o SAC mostrou-se eficiente em relação a remoção, com reduções para todos os tempos de detenção hidráulica utilizados, como menor resultado tem-se o TDH de 6 dias estático com valor de 0,007 mg.L⁻¹ uma redução de 83% do fósforo inorgânico. Valores significativos em relação a bibliografia, onde Vergeles et al. (2015) encontraram valores inferiores a 50%.

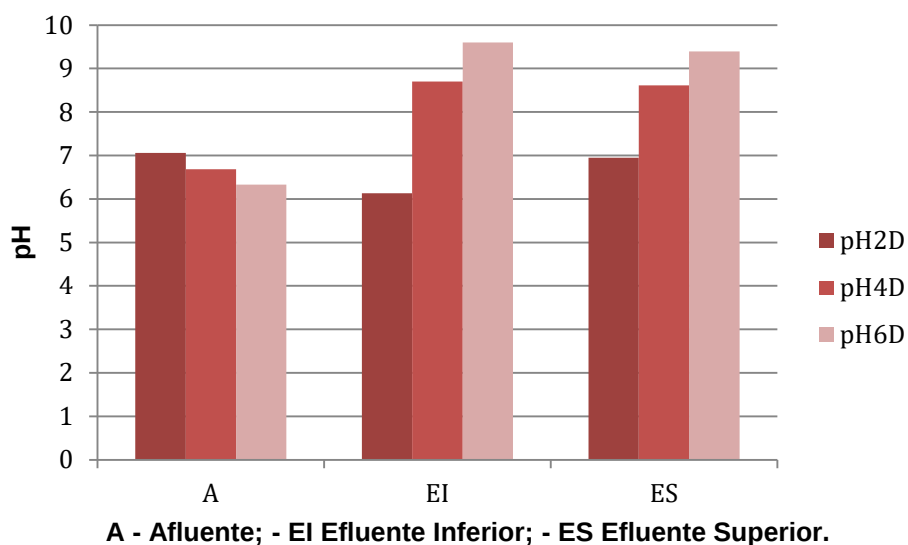
5.1.4 Potencial Hidrogeniônico (pH)

O pH é um indicativo da condição ácida ou alcalina de um meio, é um parâmetro importante para o controle do crescimento de microrganismos.

Também de acordo com a autora o pH tem grande influência em processos biogeoquímicos que verificam-se dentro de um sistema tipo *wetland*, sendo assim, as reações bioquímicas ocasionadas pela relação entre esgoto, solo e microrganismos são altamente dependentes do pH.

Na Figura 9 é ilustrado os resultados obtidos para o parâmetro pH.

Figura 9 - Valores do pH sistema estático.



Fonte: o autor (2017).

Observa-se o aumento do pH principalmente em relação a quantidade de dias que esta água ficou sendo tratada. Os maiores valores para o pH foram obtidos para o TDH estático de seis dias, tendo os valores 9,6 na parte inferior do SAC e 9,4 na parte superior do SAC, valores mais próximos a estes na bibliografia são comentados por Sharma et al. (2014); Santasmasas et al. (2013), com valores entre 8,1 e 8,4, o que foi observado para o TDH estático de quatro dias deste trabalho, sendo este o mais adequado em relação a este parâmetro para sua reutilização, pois valores vistos para o TDH estático de seis dias excedem o que é descrito na Resolução CONAMA nº 430 (BRASIL, 2011), onde o efluente de uma fonte poluidora qualquer poderá ser lançado diretamente em um corpo receptor se obedecer alguns quesitos, e entre eles

está o pH que deve se enquadrar entre os valores 5,0 a 9,0. Já para o TDH de 2 dias e 4 dias estáticos, no quesito pH os valores se enquadram.

Já na NBR 13.969 (ABNT, 1997) é informado que para o lançamento nas galerias de águas pluviais o pH deve estar entre 6,0 e 9,0, desta maneira, excedendo também o valor máximo da norma em questão. Na mesma norma também é observado que em casos de reuso menos exigentes (descargas dos vasos sanitários), a água cinza pode ser utilizada apenas fazendo uma desinfecção, porém, para ocasiões onde será maior o contato entre a água e o usuário (lavagem de carros) entre os parâmetros descritos encontra-se o pH, que é necessário que esteja entre os valores 6,0 e 8,0.

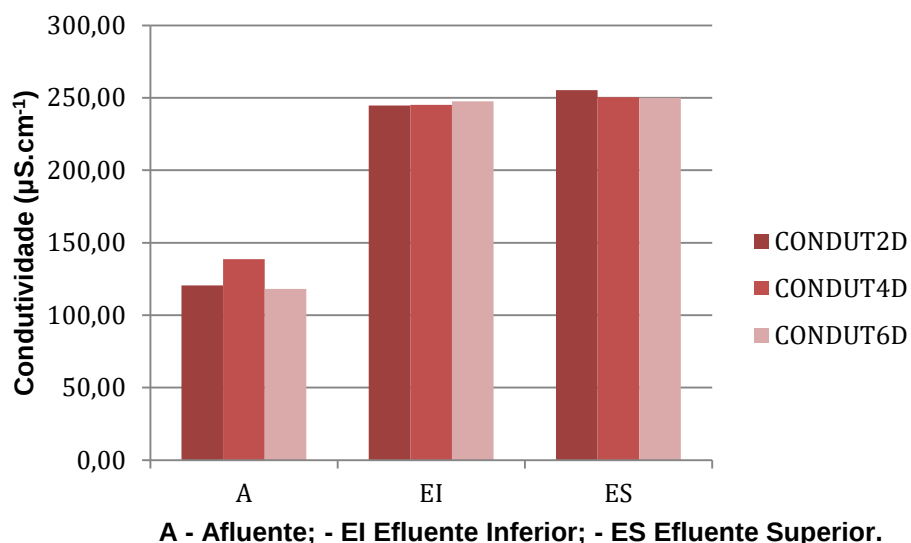
Soares e Coringa (2013) relatam que um dos fatores importantes na elevação do pH está relacionado com os compostos químicos que existem na composição do resíduo da construção e demolição, onde entre eles, o calcário é um dos maiores contribuintes para o aumento na concentração de bases no efluente. Isto justifica a elevação do pH sendo proporcional ao TDH para esta água cinza.

Outra influência referente ao valor do pH, é em relação a decomposição da matéria orgânica, segundo Prata et al. (2013) a condição adequada para que a degradação da matéria orgânica ocorra com maior velocidade pelos microrganismos é quando o pH se encontra em torno de 7,0, ou seja, quanto mais próximo da neutralidade, mais rápida será a decomposição da matéria orgânica, situação não observada neste SAC com a utilização do RCD.

5.1.5 Condutividade Elétrica

A Figura 10 demonstra os valores encontrados para a condutividade no SAC com a utilização de RCD.

Figura 10 - Valores da condutividade sistema estático.



Fonte: o autor (2017).

Nota-se que após a inserção da água cinza sintética no sistema os valores para a condutividade elétrica, em relação ao afluyente bruto, aumentaram para os três TDH em torno de 100%, isso demonstra que TDH não influenciou na condutividade elétrica. Arunbabu et al. (2015) obtiveram uma redução em torno de 20% desse parâmetro. O aumento da condutividade elétrica demonstra uma grande quantidade de íons dissolvidos no meio em questão, sendo assim, quanto mais sais existirem no meio, maior será sua condutividade elétrica.

Não houve diferença entre a amostra do efluente da parte superior em relação ao efluente da parte inferior, demonstrando a dificuldade que a planta teve de retirar sais que constavam no meio, de acordo com Santos et al. (2016) um indicativo de que a planta está conseguindo retirar íons do meio e estabilizando a matéria orgânica, é a redução da condutividade elétrica no efluente, situação não observada no SAC em questão.

Em relação as normatizações tanto em âmbito nacional (NBR 13.969 (ABNT, 1997), Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005), Resolução CONAMA nº 430 (BRASIL, 2011), quanto estadual lei 12.726 (PARANÁ, 1999), não encontra-se valores de referência para esse parâmetro.

É possível encontrar esse parâmetro em alguns países ou regiões, como

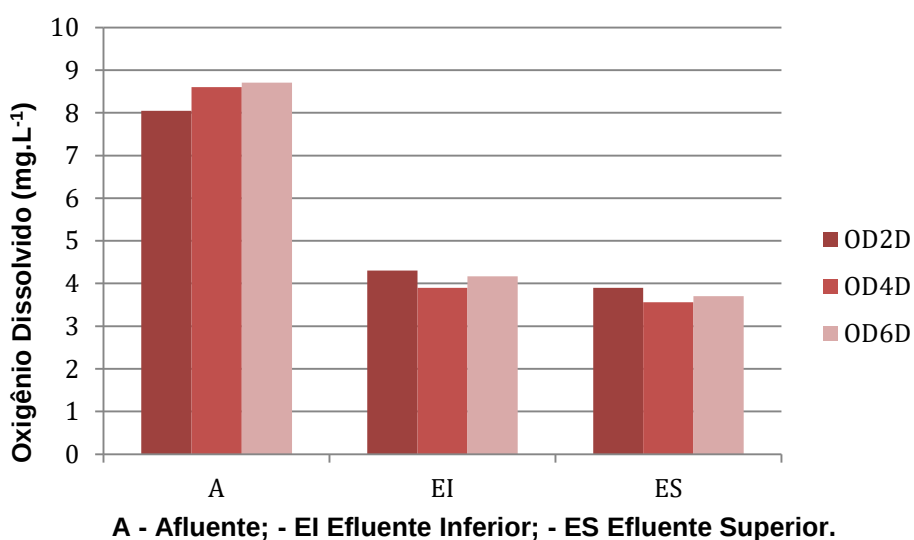
por exemplo para a divisão de águas do *Kentucky* (2010), um indicativo de poluição na água é quando encontra-se condutividade superior a 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$, valores acima do valor máximo permitido podem trazer riscos para a comunidade aquática.

Já na Austrália e Nova Zelândia, é possível encontrar diretrizes para a qualidade da água potável e marinha (2000), entre as diretrizes encontra-se os critérios de salinidade do solo e da água, baseados em grupos de tolerância ao sal das plantas. Para as culturas mais sensíveis é importante que a condutividade elétrica seja inferior a 950 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

5.1.6 Oxigênio Dissolvido (OD)

Na Figura 11, tem-se os valores encontrados para o parâmetro OD.

Figura 11 – Valores obtidos de OD sistema estático.



Fonte: o autor (2017).

Para todos os tempos de detenção hidráulica houve a diminuição da quantidade de oxigênio dissolvido no meio, com menor percentual o TDH de dois dias estático na sua amostra inferior com o valor de 46,6%, já a maior diferença encontra-se para o TDH de seis dias estático em sua amostra superior com o valor de 57,5%, valores semelhantes foram encontrados por Katuziza et al. (2014), com valores em torno de 3,0 mg.L^{-1} , porém com o

aumento do TDH o oxigênio dissolvido pode chegar a valores bem próximos de zero, conforme visto por Vergeles et al. (2015) com TDH de quinze dias, os valores observados para OD ficaram entre $0,1 \text{ mg.L}^{-1}$ e $0,5 \text{ mg.L}^{-1}$.

Von Sperling (2005) relata que acontece a decomposição da matéria orgânica, sendo transformada em compostos mais estáveis, para que isso ocorra é necessário o consumo do OD, que é utilizado em grande parte pela respiração das bactérias heterotróficas aeróbias, responsáveis pela decomposição, sendo necessário cuidado, para que o TDH não seja alto demais e acabe por utilizar todo o OD do meio.

Com relação as normatizações em âmbito nacional, encontra-se limites mínimos para esse parâmetro, tanto na Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005) como também na NBR 13.969 (ABNT, 1997).

A Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005) tem como valores mínimos para enquadramento na qualidade de águas doces os seguintes valores:

- Classe 1: OD não inferior a $6 \text{ mg.L}^{-1} \text{ O}_2$;
- Classe 2: OD não inferior a $5 \text{ mg.L}^{-1} \text{ O}_2$;
- Classe 3: OD não inferior a $4 \text{ mg.L}^{-1} \text{ O}_2$;
- Classe 4: OD não inferior a $2 \text{ mg.L}^{-1} \text{ O}_2$.

Com exceção do tempo de detenção estático de 2 dias e de 6 dias em suas amostras inferiores, $4,3 \text{ mg.L}^{-1} \text{ O}_2$ e $4,2 \text{ mg.L}^{-1} \text{ O}_2$ respectivamente, todos os demais efluentes encontram-se abaixo de $4 \text{ mg.L}^{-1} \text{ O}_2$, enquadrando-se apenas na classe 4 da Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005), onde é possível utilizar este efluente para navegação e harmonização paisagística.

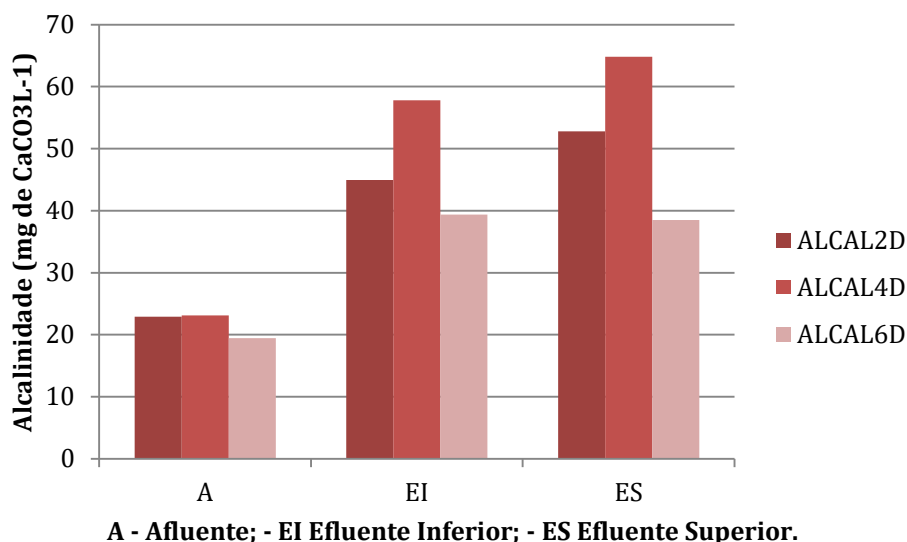
Já de acordo com a NBR 13.969 (ABNT, 1997) para que o efluente possa ser lançado em galerias de águas pluviais, para o parâmetro OD, é necessário que o valor esteja acima de $1,0 \text{ mg.L}^{-1} \text{ O}_2$. Em relação ao seu lançamento direto em corpos hídricos o parâmetro oxigênio dissolvido deve estar acima de $2 \text{ mg.L}^{-1} \text{ O}_2$.

Caso esteja sendo reusada em pomares, além do OD ser superior a $2 \text{ mg.L}^{-1} \text{ O}_2$ a aplicação desse efluente deverá ter sua interrupção 10 dias no mínimo antes da colheita.

5.1.7 Alcalinidade

Valores observados no SAC para o parâmetro alcalinidade estão expostos por meio da Figura 12.

Figura 12 - Valores obtidos para o parâmetro alcalinidade sistema estático.



Fonte: o autor (2017).

Nota-se o aumento da alcalinidade para o TDH estático de 2 e 4 dias, com elevação de 130% e de 180 % respectivamente, porém, para o TDH estático de 6 dias, a alcalinidade apresentou valores inferiores em relação as demais, sendo ainda assim superior ao seu afluente em 98%. Valores próximos a esses são relatados por Saumya et al. (2014), com a alcalinidade ficando em torno de 47 mg.L⁻¹ para efluentes.

O aumento da alcalinidade nos primeiros dias pode ter ocorrido pelo calcário que é um dos principais elementos na fabricação tanto do cimento quanto da cal hidratada, tendo por seguinte o concreto e as argamassas (LASSO et al. 2013).

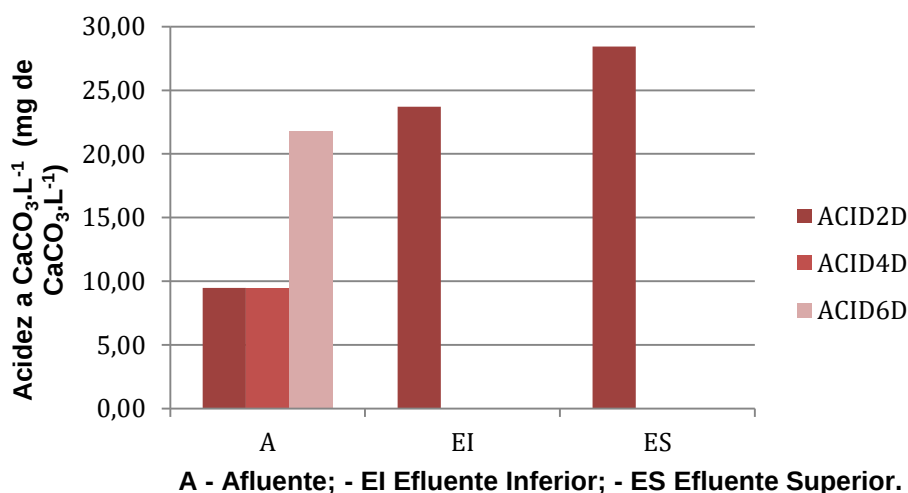
Em consequente a diminuição dos valores para o parâmetro alcalinidade para o TDH estático de 6 dias, de acordo com Mota e Von Sperling (2009), provavelmente está ligado a processos oxidativos, por exemplo, a degradação da matéria orgânica carbonácea e também devido a nitrificação.

Em relação as normatizações nacionais, estaduais e municipais, não encontra-se valores limite para este parâmetro, sendo que de forma moderada na água, a alcalinidade não apresenta nenhum risco sanitário, Shamabadi et al. (2015) observa que é recomendada uma alcalinidade com no mínimo 50 mg.L^{-1} e com máximo de 150 mg.L^{-1} em piscinas.

5.1.8 Acidez

Na Figura 13 visualiza-se os valores obtidos para o parâmetro acidez.

Figura 13 - Valores obtidos para o parâmetro acidez sistema estático.



Fonte: o autor (2017).

Apenas para o TDH estático de 2 dias houve o aumento da acidez, um aumento de 150% para o efluente da parte inferior e um aumento de 200% do efluente da parte superior. Para as demais ocasiões, houve a anulação da acidez no meio. Isso está de acordo com o que foi visto anteriormente no item 5.1.4 potencial hidrogeniônico, sendo que apenas para o TDH de 2 dias estático o pH encontrava-se ácido. Isto demonstra que TDH muito pequenos não são suficientes para a retirada da acidez do meio, sendo necessário tempos superiores a dois dias para que isso ocorra.

Nas normas brasileiras em relação a reutilização de água, não encontra-se valores máximo ou mínimos para o parâmetro acidez, porém, de acordo

com Boeira e Maximiliano (2009), a utilização de esgoto traz riscos, como por exemplo a contaminação ambiental pelo nitrato, metais pesados, alguns produtos orgânicos tóxicos, além de patógenos tanto de animais quanto de humanos.

Segundo a mesma autora se o pH estiver próximo de sua neutralidade é baixa a solubilidade de elementos tóxicos, ocorrendo assim uma situação favorável para a decomposição orgânica, liberando nutrientes para o meio, melhorando as propriedades físico-químicas do solo, essa é a importância de se monitorar a acidez do solo, tendo por objetivo verificar a necessidade de calagem, adição de calcário ou cal virgem ao meio, onde se utiliza o esgoto.

Também Mota e von Sperling (2009) explicam que as plantas no momento que realizam a fotossíntese, utilizam o CO_2 , mais do que é produzido pela respiração das bactérias aeróbias, que são degradam a matéria orgânica, tendo como resultado um balanço positivo na utilização do dióxido de carbono, isto faz com que ocorra maior dissociação de íons carbonato e também bicarbonato, removendo a acidez do meio, em consequência, libera íons hidroxila no meio aquático, fazendo com que o valor do pH aumente.

De acordo com a FUNASA (2014), a acidez ocasionada pelo gás carbônico, não apresenta qualquer problema sanitário, sendo que tanto em relação a acidez carbônica, assim como também a mineral, retratam problemas de corrosão em tubulações.

5.1.9 Sólidos Suspensos Totais, Fixos e Voláteis

Bazzarella (2005) comenta que de modo geral, as águas cinzas apresentam grande quantidade de sólidos suspensos, pois geralmente nas águas utilizadas na cozinha e também lavanderias e chuveiros, encontra-se uma grande quantidade de resíduos de comida, cabelos e também fibras de tecidos. Esse tipo de material gera um aspecto desagradável visualmente, e também podem servir como abrigo para microrganismos, desta maneira, dificultando a aceitação por parte de usuários para o reuso sem tratamento.

Para este parâmetro os resultados obtidos em todos os TDH foi de $0,0\text{mg.L}^{-1}$ tanto afluente quanto efluente ao sistema, isto provavelmente

ocorreu por dois fatores principais, sendo que o primeiro deles é devido a composição da água cinza sintética, que não trás juntamente com a água cinza elementos como os descritos no parágrafo anterior, e segundo, pela falta de sensibilidade da balança utilizada em questão, não obtendo resultados aparentes para este parâmetro.

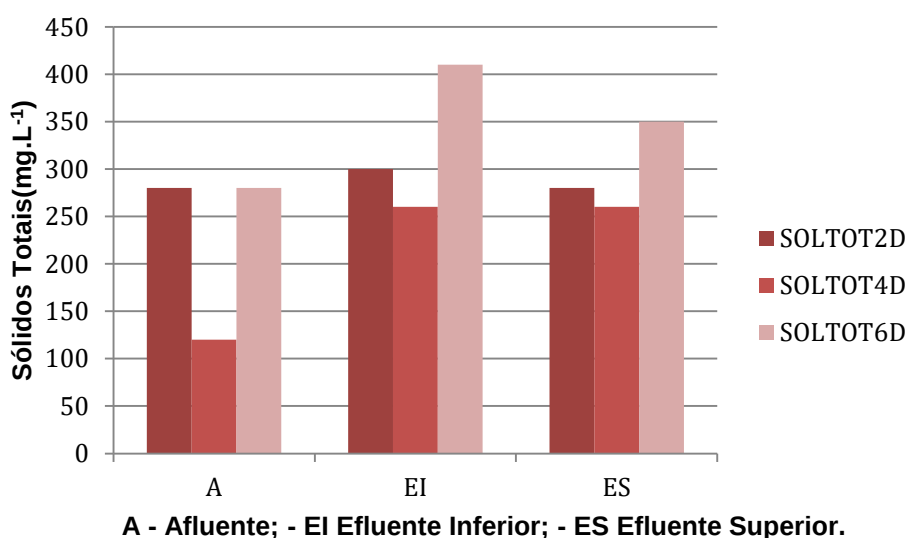
De qualquer maneira de acordo com a NBR 13.969 (ABNT, 1997) para o lançamento do efluente em galerias de águas pluviais o parâmetro sólidos suspensos totais deve ser inferior a 50 mg.L^{-1} .

5.1.10 Sólidos Totais, Fixos e Voláteis

Teor de sólidos totais das águas residuais é a porção de matéria que permanece como resíduo após a total evaporação da água entre 103°C e 105°C . Sulieman et al. (2010) comenta que o total de sólidos na água residuária estão contemplados de duas formas diferentes, sendo que ele pode ser um sólido suspenso, sólidos que não podem ser filtrados ou como sólidos dissolvidos, sendo que em geral, elevados valores de sólidos totais dão a ideia de que a DQO também será elevada.

Na Figura 14, encontra-se os valores obtidos para sólidos totais.

Figura 14 - Valores encontrados para sólidos totais sistema estático.



Fonte: o autor (2017).

Por meio da Figura 14 verifica-se a elevação de sólidos totais no efluente em relação ao afluente tendo como maior discrepância os valores obtidos para o TDH de quatro dias estático, com uma elevação de 116,7% tanto do efluente inferior quanto do superior.

A menor diferença encontra-se para o TDH de dois dias estático com um aumento de 7,1% no efluente inferior e para o efluente superior o mesmo valor do afluente.

Situação como essa não é observada na bibliografia com a utilização de agregado convencional, Saumya et al. (2015) obtiveram reduções para este parâmetro de mais de 40%, em menor escala também observa-se reduções deste parâmetro no trabalho de Arunbabu et al. (2015) que ficaram em torno de 14%.

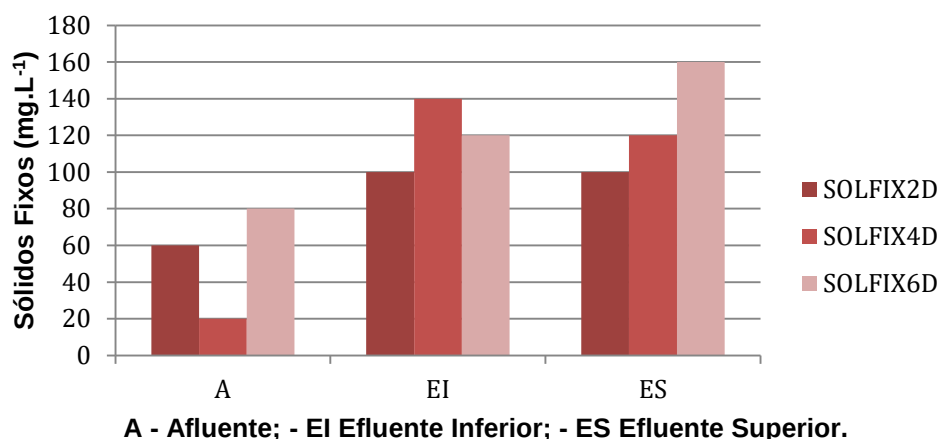
Os resultados obtidos provavelmente ocorrem devido a grande quantidade de material pulverulento contido no RCD (material passante na peneira 75 μ m), materiais como argila, outros materiais que se dispersam com a água e também materiais solúveis em água fazem parte dos materiais pulverulentos de acordo com a norma NBR NM 46 (ABNT, 2003).

Fator que também pode ter influenciado, foi o modo como entrou o afluente e saiu o efluente, sendo que eles foram feitos pela mesma cavidade, dessa maneira, na hora da retirada do efluente, esse sistema pode ter funcionado como uma retrolavagem, trazendo assim resultados superiores ao afluente para o parâmetro sólidos totais.

Para se ter uma melhor noção da composição dos sólidos totais, é possível dividi-lo entre sólidos fixos e voláteis, conhecer esse parâmetro é importante para o controle da operação de estações de tratamento, pois a partir desse parâmetro pode-se ter uma noção aproximada da quantidade de matéria orgânica presente na fração sólida de águas residuárias. (APHA, 2012).

A seguir os resultados obtidos para sólidos fixos (Figura 15) e voláteis (Figura 16).

Figura 15 - Valores obtidos para o parâmetro sólidos fixos sistema estático.

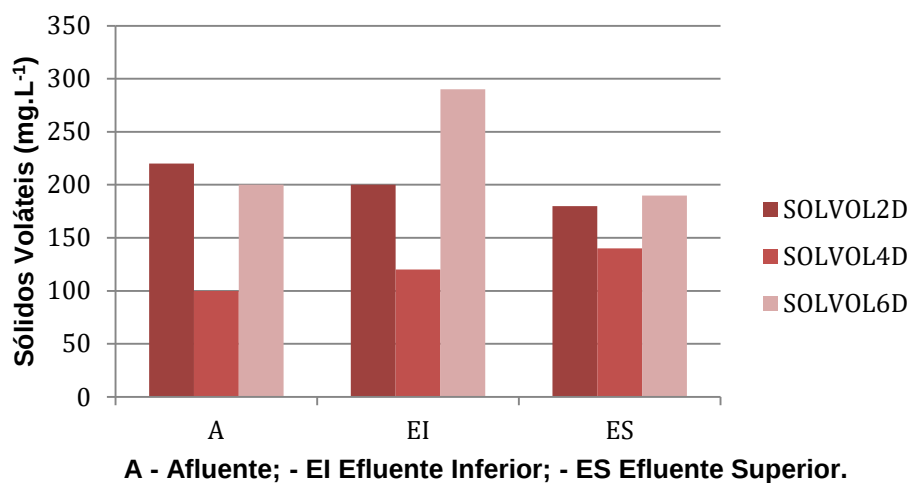


Fonte: o autor (2017).

Nota-se aumento dos sólidos fixos nos efluentes tanto inferiores como superiores do sistema, reforçando a alternativa de que o agregado possa ter soltado partículas devido a abrasão, Matuella et al. (2015) relatam que o RCD sofre uma perda de massa bastante alta devido a abrasão, Tenório (2007) reforça que este valor de perda do agregado reciclado pode chegar a três vezes mais quando comparado com o agregado convencional.

Também pode-se observar graficamente os valores obtidos para os sólidos voláteis, ou seja, aqueles que se perdem com a calcinação.

Figura 16 - Valores obtidos para o parâmetro sólidos voláteis sistema estático.



Fonte: o autor (2017).

Para o TDH de dois dias estático houve uma leve diminuição do valor do sólido volátil com valor inicial de 220 mg.L^{-1} e como valor final 180 mg.L^{-1} , uma redução de aproximadamente 18%. Já para o TDH de quatro dias estático houve um aumento considerável em relação ao afluente tendo como início 100 mg.L^{-1} e no seu efluente superior chegando ao valor de 140 mg.L^{-1} , tendo assim um aumento de 40% de sólidos voláteis. Para o TDH de seis dias estático houve um aumento do efluente inferior em relação ao afluente tendo uma elevação de 45% e depois regredindo para um valor próximo ao afluente, com um leve decréscimo de 5%.

Em relação as normatizações, encontra-se valores para sólidos dissolvidos totais, ou seja, a diferença entre sólidos totais e sólidos suspensos totais, tanto na Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005) como também na NBR 13.969 (ABNT, 1997). Como os resultados obtidos para sólidos suspensos totais conforme visto no item 3.5.9 foram nulos, pode-se considerar o valor de sólidos totais igual ao valor de sólidos dissolvidos totais.

Na Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005) encontra-se padrões para a qualidade da água tanto classe 1 como classe 3 com valor máximo para sólidos dissolvidos totais de 500 mg.L^{-1} , valor superior ao encontrado na água cinza utilizada no SAC, onde teve-se o maior valor observado de 410 mg.L^{-1} .

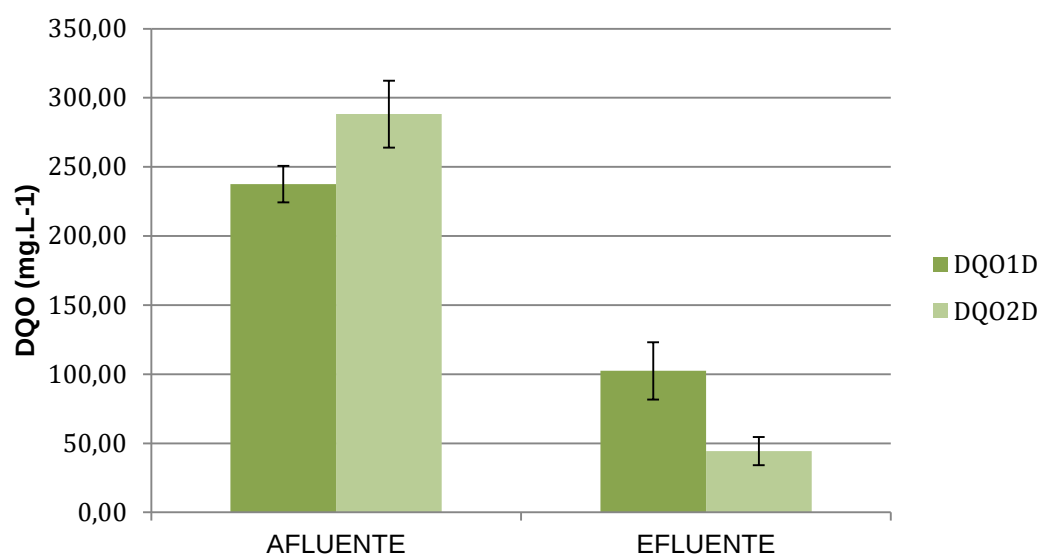
Já a NBR 13.969 (ABNT, 1997) define que para quando haja contato entre a água e o usuário, como por exemplo lavagem de carros, ou possível aspiração de aérossóis por quem estiver operando, um dos parâmetros visto é de que os sólidos dissolvidos totais devem ser inferiores a 200 mg.L^{-1} . Desta maneira nenhum dos efluentes analisados está em conformidade com a norma para esta situação, onde obteve-se o menor valor de 260 mg.L^{-1} .

5.2 Resultados experimentais dinâmicos

5.2.1 DQO

Na Figura 17, observa-se a eficiência na remoção da DQO pelo SAC.

Figura 17 - Eficiência de remoção de DQO sistema dinâmico.



Fonte: o autor (2017).

Nota-se eficiência na utilização do SAC para redução da DQO, com redução de DQO em 56,9 % para um dia e 85,6% para o TDH de dois dias, com valor médio de apenas 44,34 mg.L⁻¹, remoções muito parecidas com as encontradas por Katukiza et al. (2014) com a utilização de um sistema de filtração, que obteve redução de DQO de 90%. Santasmasas et al. (2013) com a utilização de um sistema MBR (Biorreatores com membrana) obtiveram um percentual de redução de DQO de 90%.

O valor médio obtido no SAC dinâmico com TDH de dois dias estão de acordo com o que foi relatado por Trein et al. (2015), que obteve uma média de remoção, por diferentes sistemas de alagados construídos para águas cinzas de 75% a 93% de redução nas concentrações de DQO. Isso demonstra a conexão entre o TDH e a remoção de DQO, assim como ocorreu no sistema estático, quanto maior o TDH maior é a redução do parâmetro DQO.

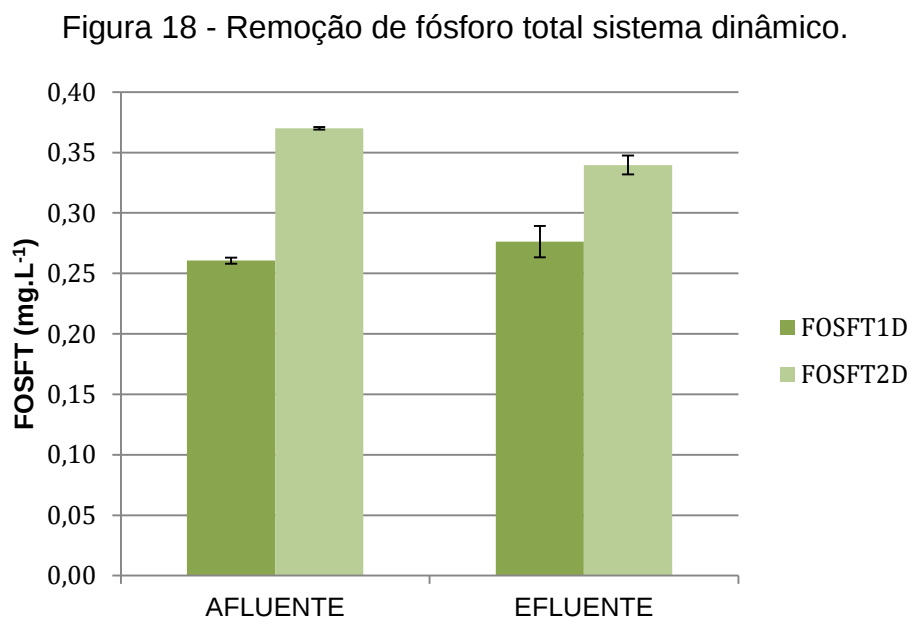
Como já visto anteriormente no item 5.1.1, o valor máximo de referência para lançamento de águas em galerias pluviais previsto pela NBR 13.969 (ABNT, 1997) e para o lançamento de efluente em corpos hídricos de acordo com o IAP é de 150 mg.L⁻¹ valor esse superior aos encontrados nos efluentes tratados pelo SAC com a utilização de RCD como meio suporte, tendo como

valores máximos médios $102,40 \text{ mg.L}^{-1}$ para o TDH de 1 dia dinâmico e $44,34 \text{ mg.L}^{-1}$ para o TDH de 2 dias dinâmico, estando dessa maneira para o parâmetro DQO de acordo com as normas brasileiras vigentes.

5.2.2 Fósforo Total

Song et al. (2007) relata que o fósforo pode ser removido da água pelo SAC por adsorção, sedimentação ou absorção biológica, porém a remoção é variável pois o fósforo pode ser re-liberado do sedimento do meio suporte para a água em certas condições.

Na figura 18 observa-se a redução de Fósforo Total pelo SAC.



Fonte: o autor (2017).

Para o TDH de um dia nota-se um pequeno aumento no valor do fósforo total, tendo um valor médio afluyente de $0,26 \text{ mg.L}^{-1}$ e efluente de $0,28 \text{ mg.L}^{-1}$ um aumento de 7,7%, já para o TDH dinâmico de dois dias houve uma pequena redução em relação ao afluyente, tendo como valor de entrada $0,37 \text{ mg.L}^{-1}$ e valor de saída de $0,34 \text{ mg.L}^{-1}$ uma redução de 8,1%.

Reduções mais expressivas com a utilização de agregado natural são constatadas por Abou-Elela et al (2012); Arunbabu et al. (2015) com reduções

acima de 60% para fósforo total.

Com relação a normatização, encontramos o parâmetro na Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005), onde para o fósforo temos o valor máximo de:

- 0,020 mg.L⁻¹ para ambientes lênticos (ambientes aquáticos de água parada);
- 0,025 mg.L⁻¹ para ambientes intermediários (tempo de residência entre dois e quarenta dias);
- 0,1 mg.L⁻¹ para ambientes lóticos (ambiente aquático de água corrente).

Todos os resultados, tanto afluentes, como efluentes ao SAC não estão de acordo com a Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005). Estes resultados mostram ineficiência na remoção do fósforo no meio para o TDH de um e dois dias, deve-se tomar um cuidado em relação ao parâmetro fósforo. Von Sperling (2005) relata que o fósforo é um nutriente importante para o crescimento de algas, podendo ter como resultado a eutrofização dos corpos hídricos.

O SAC apresenta outro problema em relação ao fósforo, foi observado por Souza et al. (2004) e também por Trein et al. (2015) que provavelmente devido aos fenômenos como, adsorção, precipitação das formas de fósforo, complexação e também o acúmulo de lodo nos vazios, faz com que a remoção de fósforo tenha valores muito baixos, resultado esse que provavelmente se dá pela saturação de fósforo no meio.

Problemas com a eficiência na remoção de fósforo em sistemas de alagados construídos também foram relatados por Abrahão (2006), tendo efluentes com maior carga de fósforo do que afluentes, o autor comenta que existem duas características intrínsecas em relação ao SAC, onde a primeira é a característica de possuir maior capacidade de reter materiais particulados do que materiais dissolvidos e também promover a concentração do líquido devido a evapotranspiração por parte das plantas.

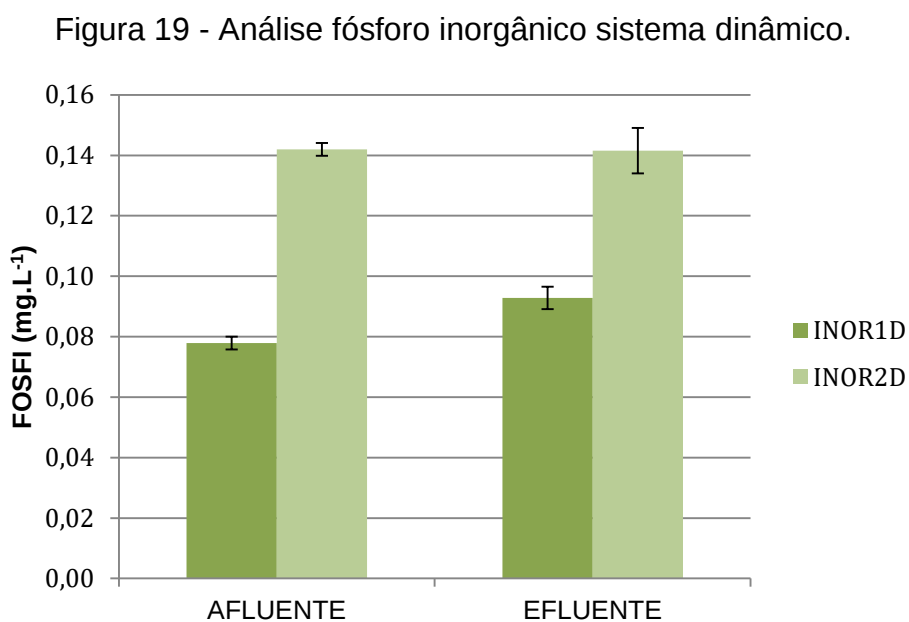
Situação observada nesse trabalho no item 5.1.10 Sólidos Totais, tendo como maior parte dos sólidos que entravam no sistema na forma dissolvida, além da evapotranspiração natural das plantas, dessa forma podendo

mascarar a verdadeira capacidade de tratamento para esse item pelo SAC.

5.2.3 Fósforo Inorgânico

De acordo com (Lantzke et al., 1999; Vymazal, 2011) o fósforo inorgânico pode ser removido de águas residuárias por meio da utilização de um SAC de três formas diferentes, pela sorção para o substrato, assimilação pelo biofilme e absorção das macrófitas. Sendo que para curtos períodos a remoção de fósforo é maior pelo substrato, depois pelas macrófitas e depois pelo biofilme, porém com o passar dos meses há uma inversão, sendo que a maior quantidade de fósforo é removida pelas macrófitas, depois pelo substrato e depois pelo biofilme (LANTZKE et al., 1999).

Na Figura 19 os valores obtidos para o parâmetro fósforo inorgânicos afluente e efluente ao SAC.



Fonte: o autor (2017).

Assim como ocorreu para o fósforo total, houve aumento para o parâmetro fósforo orgânico com TDH de 1 dia dinâmico, uma elevação de 19,2%, já para o TDH dinâmico de 2 dias houve um decréscimo médio de 1,4%, estatisticamente o valor afluente e efluente ao sistema não se diferem.

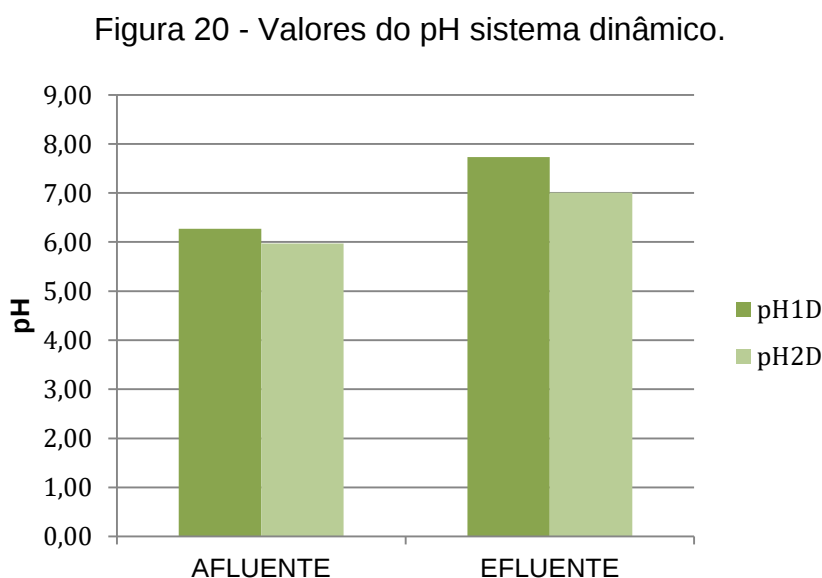
Em relação as normas vigentes tanto em âmbito nacional, assim como também estadual e municipal, não encontra-se valores relativos ao fósforo inorgânico, tendo apenas valores na Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005) para o fósforo total como visto anteriormente.

Os valores obtidos foram baixos em relação a bibliografia, Bazzarella (2005) afirma que as principais fontes de fósforo na água cinza são os detergentes e outros produtos que contenham em sua formulação fosfatos, sendo este o motivo de tanques e máquinas de lavar roupa terem uma concentração média de fósforo na água cinza mais elevada quando comparada com água de pias e chuveiros, sendo que a concentração de fósforo inorgânico para máquinas de lavar pode chegar até $9,0 \text{ mg.L}^{-1}$.

Outro fator importante é a grande variabilidade que a concentração de fósforo inorgânico tem em relação a água cinza, que pode ser associado as diferenças de volume de água utilizadas, a quantidade de produtos químicos utilizados e a qualidade dos tecidos que estão sendo lavados.

5.2.4 pH

Na Figura 20 os resultados obtidos para o parâmetro pH para o sistema dinâmico.



Fonte: o autor (2017).

Observa-se uma pequena elevação do pH em referência ao seu afluente, ficando levemente alcalino. Para o TDH dinâmico de um dia o pH afluente obteve valor 6,27 e em seu efluente o valor 7,73, um aumento de 23,3%, já para o TDH de dois dias estático, o valor afluente foi de 5,97 para 7,01 em seu efluente, um aumento de 17,4%. Estes valores estão de acordo com o observado na bibliografia, Laaffat et al. (2015) obtiveram o valor de 7,3 para a água cinza tratada e Chang et al. (2012) encontraram valores em torno de 7,2. De qualquer maneira, deve-se monitorar esse parâmetro em relação ao TDH, visto no sistema estático que o valor do pH tende a subir conforme o aumento do tempo de detenção hidráulica, podendo extrapolar as faixas permitidas pelas normatizações.

Para os TDH analisados a elevação do pH está dentro da faixa ideal de acordo com a Resolução CONAMA nº 430 (BRASIL, 2011), que leva em consideração os valores de pH entre 5,0 e 9,0 para que o efluente possa ser lançado diretamente em um corpo receptor.

Em relação a norma NBR 13.969 (ABNT, 1997) para que este efluente possa ser lançado nas galerias de águas pluviais o pH deverá estar entre os valores 6,0 e 9,0, estando de acordo com o solicitado pela norma.

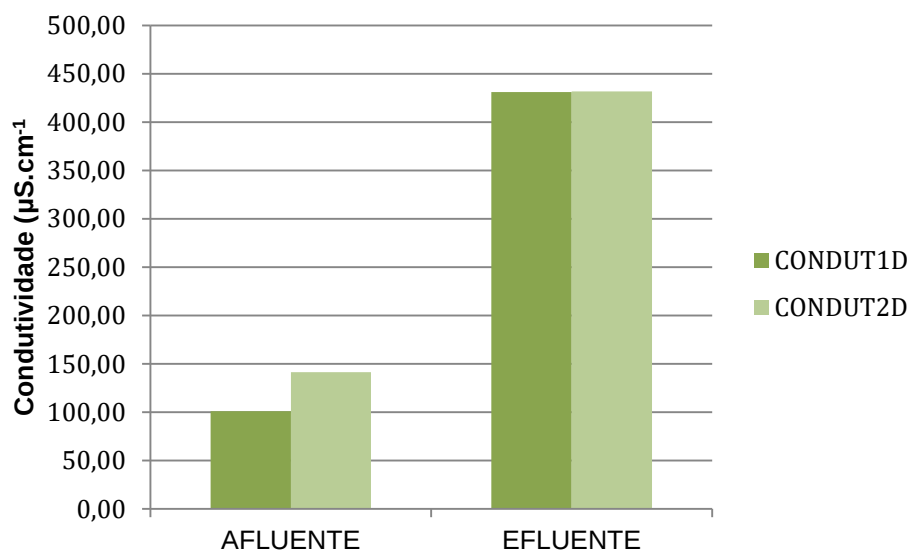
Outra recomendação que encontra-se na NBR 13.969 (ABNT, 1997) é em relação a usos que ocorra contato entre o usuário e a água cinza, como exemplo lavagem de carros ou irrigação, para situações como essa, recomenda-se que o pH fique dentro dos limites 6,0 e 8,0.

Shamabadi et al. (2015) apesar de diferenciar em outros parâmetros, comenta que se tratando de irrigação, o pH deve estar entre 6,0 e 9,0, independente se será para irrigação de jardins, gramados ou plantas comestíveis, também relata que é necessário no mínimo ter um nível de tratamento secundário para não trazer nenhum risco a saúde.

5.2.5 Condutividade Elétrica

Na figura 21 os valores encontrados para a condutividade elétrica no SAC com a utilização de RCD.

Figura 21 - Valores da condutividade sistema dinâmico.



Fonte: o autor (2017).

Assim como ocorreu na análise do sistema estático, a condutividade teve valores efluentes muito superior ao efluente, para o TDH de um dia dinâmico a elevação foi de 327% e para o TDH dinâmico de 2 dias a elevação foi de 205%. Porém em valores absolutos, nota-se a estabilização do valor, não tendo influencia o TDH. Esse aumento da condutividade elétrica é sinal de que há uma abundância de nutrientes no meio e o sistema não está conseguindo eliminá-los na mesma proporção em que são adicionados ao sistema.

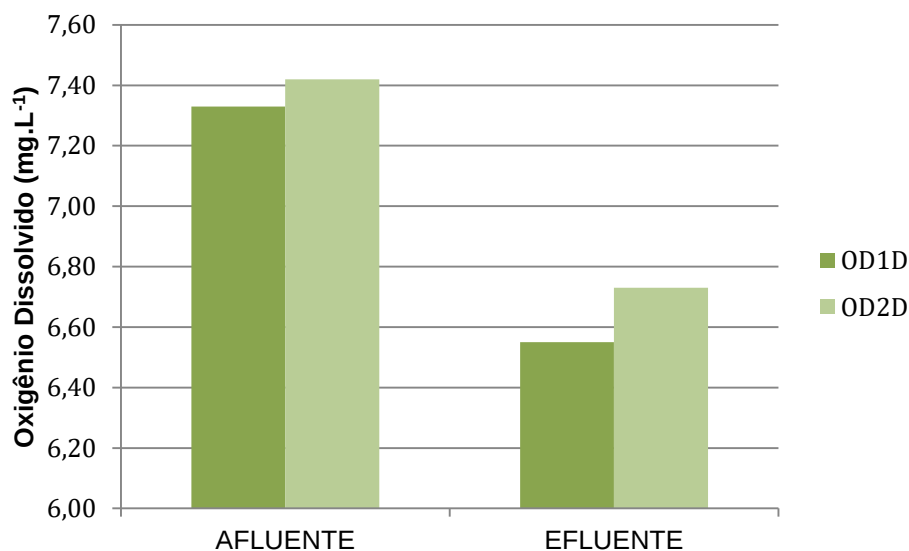
Em relação as normatizações tanto em âmbito nacional (NBR 13.969 (ABNT, 1997), Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005), Resolução CONAMA nº 430 (BRASIL, 2011), quanto estadual lei 12.726 (PARANÁ, 1999), não encontra-se valores de referência para esse parâmetro.

5.2.6 Oxigênio Dissolvido

O oxigênio dissolvido é vital para a sobrevivência de organismos aeróbios, durante a decomposição da matéria orgânica as bactérias utilizam o oxigênio para respiração, sendo que esta redução pode chegar a utilizar todo o oxigênio do meio, ocasionando assim uma região anaeróbia, a qual pode trazer odores desagradáveis (VON SPERLING, 2005).

Na Figura 22 tem-se os valores encontrados para o parâmetro OD.

Figura 22 – Valores obtidos de OD sistema dinâmico.



Fonte: o autor (2017).

A quantidade de oxigênio dissolvido, assim como ocorreu no estático, teve uma redução no efluente, para o TDH dinâmico de 1 dia a redução de OD foi de 10,6% e para o TDH dinâmico de 2 dias a redução foi de 9,3%. Sendo necessário observar o tempo de detenção utilizado, visto anteriormente que quanto maior é o TDH menor é quantidade de oxigênio no meio.

Belmont et al. (2004) também relata decréscimos no oxigênio dissolvido com valores próximos a 2,0 mg.L⁻¹, o mesmo autor também menciona que para *wetlands* de fluxo vertical, geralmente não ocorre a redução do oxigênio dissolvido, devido a reposição intermitente no sistema.

Esses valores de oxigênio dissolvidos justificam a grande eficácia na remoção de matéria orgânica já que existe relação direta entre eles. (CHANG et al., 2012).

Com relação as normatizações no Brasil, encontra-se limites mínimos para esse parâmetro, tanto na Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005), como também na NBR 13.969 (ABNT, 1997).

A Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005) tem como valores mínimos para enquadramento na qualidade de águas doces os seguintes

valores:

- Classe 1: OD não inferior a $6 \text{ mg.L}^{-1} \text{ O}_2$;
- Classe 2: OD não inferior a $5 \text{ mg.L}^{-1} \text{ O}_2$;
- Classe 3: OD não inferior a $4 \text{ mg.L}^{-1} \text{ O}_2$;
- Classe 4: OD não inferior a $2 \text{ mg.L}^{-1} \text{ O}_2$.

O valor mínimo encontrado para OD no tratamento dinâmico foi de $6,55 \text{ mg.L}^{-1}$, valor este superior ao necessário para qualquer uma das classes descritas acima, estando de acordo em relação ao parâmetro OD para o abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado, proteção das comunidades aquáticas, irrigação de hortaliças que serão consumidas cruas, e recreação de contato primário, como exemplo a natação, lembrando que OD acima de 6 mg.L^{-1} , é apenas uma das exigências, sendo necessárias muitas outras análises para se submeter a esse tipo de utilização.

Já de acordo com a NBR 13.969 (ABNT, 1997) para que o efluente possa ser lançado em galerias de águas pluviais, para o parâmetro OD, é necessário que o valor esteja acima de $1,0 \text{ mg.L}^{-1} \text{ O}_2$. Em relação ao seu lançamento direto em corpos hídricos o parâmetro oxigênio dissolvido deve estar acima de $2 \text{ mg.L}^{-1} \text{ O}_2$.

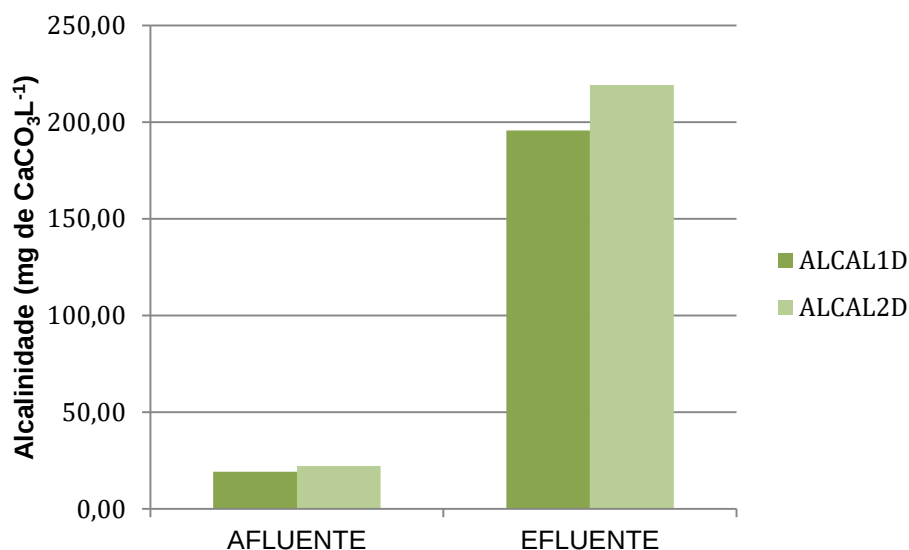
Caso esteja sendo reusada em pomares, além do OD ser superior a $2 \text{ mg.L}^{-1} \text{ O}_2$ a aplicação desse efluente deverá ter sua interrupção 10 dias no mínimo antes da colheita.

5.2.7 Alcalinidade

Libânio (2008) relata que quando se trata sobre a qualidade da água potável, a alcalinidade tem uma função primordial, já que a coagulação reduz significativamente o pH, após adicionar o coagulante, consequentemente reduzindo a dureza e prevenindo possíveis corrosões em tubulações.

Valores encontrados no SAC para o parâmetro alcalinidade expostos através da Figura 23 a seguir.

Figura 23 - Valores obtidos para o parâmetro alcalinidade sistema dinâmico.



Fonte: o autor (2017).

É possível perceber uma grande elevação dos valores observados para a alcalinidade efluente. Para o TDH dinâmico de 1 dia a elevação foi de 913%, já para o TDH dinâmico de 2 dias a elevação foi de 885%.

De acordo com Monteiro (2009) a alcalinidade está principalmente relacionada aos sais de ácidos carbônicos, carbonatos e bicarbonatos, e hidróxidos. Sais de ácidos inorgânicos (silicatos, boratos e fosfatos), assim como também amônia e sais de ácidos orgânicos tendem a ser menos representativos em relação a alcalinidade total. O mesmo autor também diz que o aumento da alcalinidade total, provavelmente está ligada pelo aumento de dióxido de carbono, que é resultado da decomposição da matéria orgânica, e também do processo respiratório das raízes.

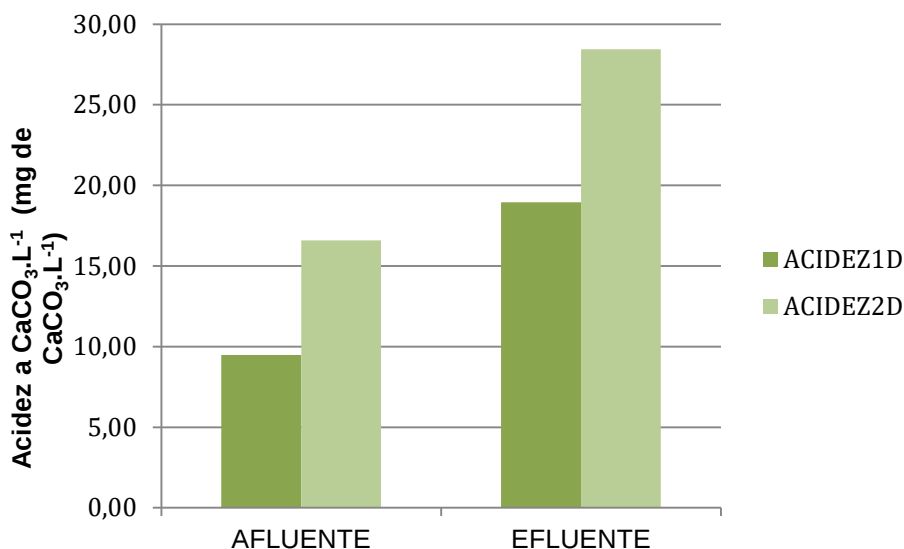
Bazzarella (2005) também demonstra a importância da alcalinidade caso o tratamento escolhido envolva uma região anaeróbia, pois a redução do pH poderá afetar os microrganismos responsáveis pela depuração, sendo assim, não tendo eficiência no tratamento.

Em relação as normatizações nacionais, estaduais e municipais, não encontra-se valores limite para este parâmetro, sendo que de forma moderada na água, a alcalinidade não apresenta nenhum risco sanitário.

5.2.8 Acidez

Na Figura 24, visualiza-se os valores obtidos para o parâmetro acidez.

Figura 24 - Valores obtidos para o parâmetro acidez sistema dinâmico.



Fonte: o autor (2017).

Houve a elevação do parâmetro acidez para ambos os TDH utilizados, para o TDH dinâmico de um dia a elevação foi de 100%, já para o TDH dinâmico de dois dias a elevação foi de 71,4%.

Isso está de acordo com o que foi observado por Macedo (2005), onde quando o pH está acima de 8,3 não há a presença de gás carbônico que é o responsável pelos teores de acidez nas águas. Também é dito pelo mesmo autor que a acidez além de representar o dióxido de carbono, também está ligado aos ácidos minerais, ácidos orgânicos, além de sais fortes, que são responsáveis por produzir íons de hidrogênio para o meio.

Como visto anteriormente no item 5.1.8 a acidez não gera nenhum risco sanitário, porém, a existência da acidez na água ocasionará a corrosão de tubulações em que esteja em contato.

Em relação as normas brasileiras vigentes não encontra-se valores para o parâmetro acidez.

5.2.9 Sólidos Suspensos Totais, Fixos e Voláteis

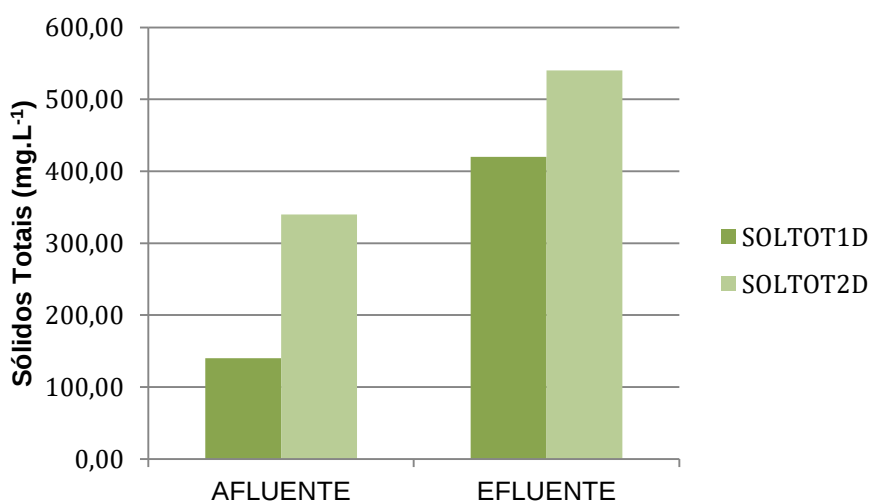
No sistema dinâmico os resultados obtidos em todos os TDH foi de $0,0\text{mg.L}^{-1}$ tanto afluente quanto efluente ao sistema, isto provavelmente ocorreu por dois fatores principais, sendo que o primeiro deles é devido a composição da água cinza sintética, que não trás juntamente com a água cinza elementos como os descritos no parágrafo anterior, e segundo, pela falta de sensibilidade da balança utilizada em questão, não obtendo resultados aparentes para este parâmetro.

Todavia de acordo com a NBR 13.969 (ABNT, 1997) para o lançamento do efluente em galerias de águas pluviais o parâmetro sólidos suspensos totais deve ser inferior a 50mg.L^{-1} .

5.2.10 Sólidos Totais, Fixos e Voláteis

Na Figura 25 observa-se os valores obtidos para o parâmetro sólidos totais.

Figura 25 - Valores encontrados para sólidos totais sistema dinâmico.



Fonte: o autor (2017).

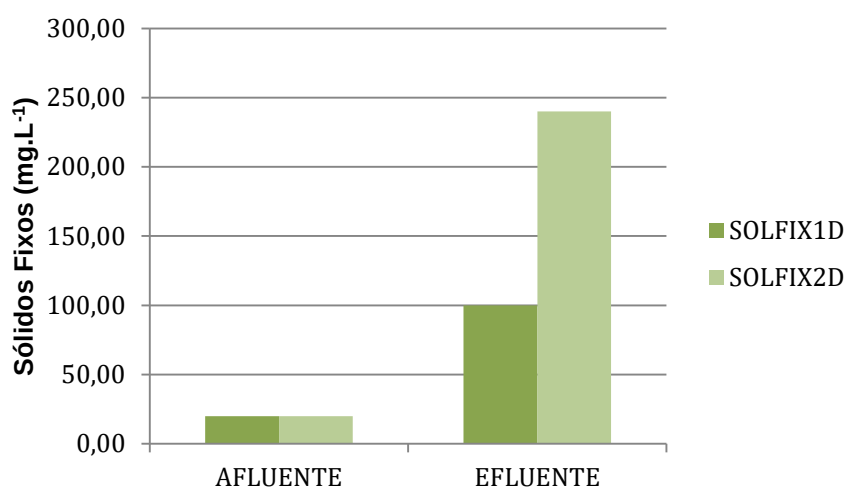
Assim como ocorreu para o sistema estático, houve o aumento na quantidade de sólidos totais dentro do SAC, sendo que a elevação para o TDH de um dia dinâmico foi de 200% e para o TDH dinâmico de dois dias foi de 59%.

Situação não observada na bibliografia (Arunbabu et al., 2015; Abdel-Shafy et al., 2014; Saumya et al., 2015) que obtiveram reduções de 14%, 32% e 36% respectivamente.

Portanto, esse aumento dos sólidos totais provavelmente está ligado ao RCD, que como visto anteriormente tem em sua composição uma grande quantidade de material pulverulento e também pela falta de resistência à abrasão do material.

Essa hipótese ainda pode ser melhor observada principalmente pelo aumento dos valores obtidos para os sólidos fixos, conforme Figura 26.

Figura 26 - Valores encontrados para sólidos fixos sistema dinâmico.

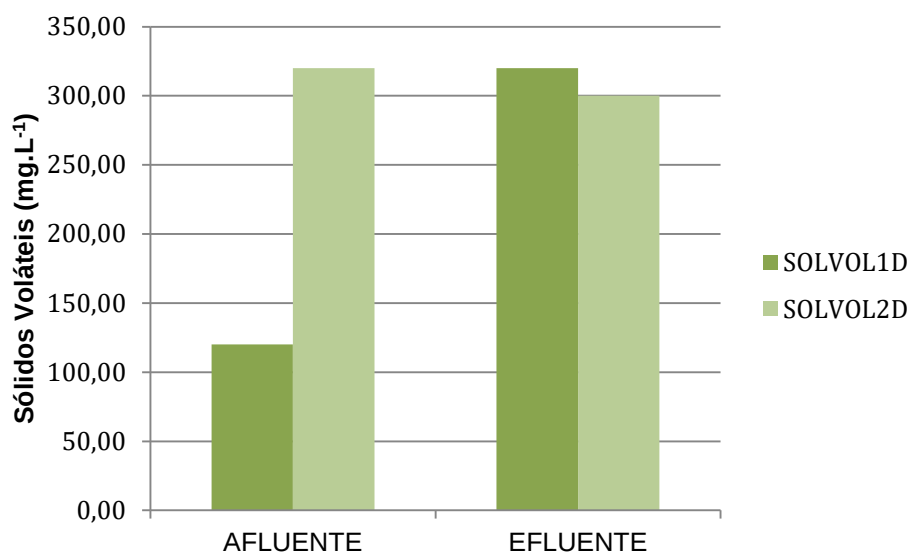


Fonte: o autor (2017).

Para o TDH dinâmico de um dia a elevação foi de 400% em relação ao afluente, já para o TDH de dois dias a elevação foi de 1100%, apesar dos percentuais serem bastante discrepantes, pode-se observar que o valor de entrada era bastante baixo, de 20 mg.L⁻¹ tendo como maior valor o efluente de 2 dias dinâmico com o total de 240 mg.L⁻¹.

Já para os sólidos voláteis, é possível observar através da Figura 27 o decréscimo do valor para o TDH dinâmico de dois dias.

Figura 27 - Valores encontrados para sólidos voláteis sistema dinâmico.



Fonte: o autor (2017).

Para o TDH dinâmico de um dia o percentual de sólidos voláteis aumentou em 167%, já para o TDH dinâmico de dois dias nota-se uma pequena redução de 6,3%.

O aumento dos valores dos sólidos totais, fixos e voláteis de acordo com Silva (2016) provavelmente tem conexão com os sólidos dissolvidos no meio que confirma o aumento de íons e assim o aumento da condutividade elétrica.

5.3 Observações visuais sobre a planta *Zantedeschia aethiopica*

Em trabalho realizado por Scagel e Schreiner (2006) observaram que grandes quantidades de fósforo, geram um aumento da biomassa nos tubérculos do copo-de-leite e também a redução de flores na planta, sendo que um fornecimento equilibrado de fósforo aumenta a florescência. Isso pode justificar o não aparecimento de flores no SAC analisado, além de alguns outros fatores, como a temperatura muito elevada da estufa e excesso de ventilação direta sem interrupção nas plantas.

Através da Figura 28 pode-se observar a densidade de raízes obtidas no SAC analisado.



Figura 28: raízes extraídas

Outro fator que influenciou o desenvolvimento das plantas foi a grande quantidade de pragas onde Almeida e Paiva (2005) salientam que o Copo-de-Leite é uma planta vulnerável a diversas pragas e doenças. Entre elas Carvalho et al. (2013) relatam que entre os principais estão os percevejos fitófagos, ácaros fitófagos, abelha-irapuã, cochonilha (*Coccus hesperidium*), tripses (Thysanoptera: Thripidae), pulgões e formigas.

Algumas dessas pragas foram observadas no SAC estudado em questão conforme Figura 29.



Figura 29: Pragas observadas no SAC.
Fonte: O autor (2017).

Também foi possível observar uma grande quantidade de percevejos fitófagos e de formigas durante o período de análise. Para o combate das pragas foi utilizada uma solução natural comprada pronta no supermercado, um repelente a base de extrato de fumo, óleos vegetais, tensoativos e água, esta solução foi aplicada entre sete e dez dias, extinguindo as pragas existentes.

5.4 Análise granulométrica

Em relação ao módulo de finura nota-se um aumento após a desmontagem do sistema, para a brita antes da montagem do SAC obteve-se um MF de 7,08, e logo após a sua desmontagem o seu MF foi de 7,18, já para a areia inicialmente o seu valor foi de 2,44 e logo após a desmontagem o seu valor foi de 2,71. Este aumento no valor módulo de finura para ambos os agregados utilizados, pode estar ligado a duas condições principais, onde esse material fino, pode ter sido carregado pela água ao sair do sistema, o que justifica também o aumento de sólidos totais, e segundo, como os primeiros testes feitos foram referentes a uma condição estática, este material ao se acomodar no sistema, pode ter se depositado no fundo do SAC, ficando assim na parte superior apenas o material com maior dimensão.

6. CONCLUSÃO

O SAC estático e dinâmico com resíduos de construção e demolição, demonstrou ser uma alternativa viável para o tratamento de águas cinzas, porém elevou os valores de sólidos totais e não apresentou eficiência para remoção de fósforo total em relação aos padrões para ambientes aquáticos.

O RCD não demonstrou ser uma boa opção como meio suporte, elevou os valores de sólidos totais. É recomendado que encontre-se outra destinação para este material.

No sistema estático o TDH de seis dias obteve maior redução de DQO e percentual de fósforo total. Para o pH no sistema estático nota-se a diminuição do valor de 7,06 para 6,95, tornando-se ácido, porém para os TDH de quatro e seis dias houve uma grande elevação chegando a 8,6 e a 9,4 respectivamente. Em consequência também percebe-se a ligação com o parâmetro acidez, primeiramente constatou-se uma elevação de 200% para o TDH de 2 dias, porém sendo nula para os TDH de quatro e seis dias, demonstrando a eficiência da retirada da acidez do efluente para um TDH superior à dois dias.

No sistema dinâmico houve uma grande redução da DQO nos primeiros dias, diminuindo 57% e 86% relativos ao TDH de um e dois dias respectivamente. Para o parâmetro oxigênio dissolvido, observa-se uma redução em torno de 10% para os dois TDH analisados, valor 40% menor em relação ao sistema estático.

Para a reutilização da água cinza, os resultados obtidos nas análises deste trabalho, não se enquadram devido aos valores encontrados para os sólidos apenas na classe 1, que é a reutilização para lavagem de carros, e outros tipos de uso que exijam contato com o usuário, porém está de acordo com o solicitado pela norma para as demais classes (2, 3 e 4), sendo possível a sua reutilização para irrigação de jardins, reuso em descargas sanitárias, e reuso em pomares e outro cultivos, lembrando que para este item é necessário parar a irrigação com água de reuso pelo menos 10 dias antes de colher.

Tratando-se de lançamento de efluentes em corpos hídricos devido a falta de oxigênio dissolvido e elevados valores para fósforo total se enquadra apenas na classe 4 (com restrição ao TDH estático de seis dias que obteve

valores para o pH superiores a 9,0) que são águas destinadas a navegação e harmonia paisagística.

Conclui-se que o SAC é alternativa adequada ao tratamento de águas residuárias, porém é necessário estudos mais aprofundados para viabilizar a utilização do RCD como meio suporte em sistemas de alagados construídos.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDEL-SHAFY, H. I.; AL-SULAIMAN, A. M.; MANSOUR, M. S. M. Greywater treatment via hybrid integrated systems for unrestricted reuse in Egypt. **Journal Of Water Process Engineering**, v. 1, p.101-107, abr. 2014.

ABOU-ELELA, S. I. et al. Municipal wastewater treatment in horizontal and vertical flows constructed wetlands, **Ecological Engineering**, Gizza, v.61, n. 1, p. 460-468, December 2013.

ABRAHÃO, Sérgio Silva. **Tratamento de água residuária de laticínios em sistemas alagados construídos cultivados com forrageiras**. 2006. 110 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.

ALEXANDRE, E. C. F.; CASTRO, M. L. L.; PESQUERO, M. A. Caracterização e tratamento de águas cinza com fins não potáveis. **Revista de Biotecnologia & Ciência**. v. 2, p. 106-116, abril 2013.

ALMEIDA, E. F. A.; PAIVA, P. D. O. Cultivo de copo-de-leite. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 26, n. 227, p. 30-35, 2005.

ANGULO, S. C. **Variabilidade de agregados graúdos de resíduos de construção e demolição reciclados**. 2000. 155 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Politécnica, São Paulo, 2000.

APHA; AWWA; WEF.(2012) **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 20th Baltimore, Maryland: United Book Press, Inc.

ARIZONA, Environmental Quality, Department of Environmental Quality – Water Pollution Control. 30 de setembro de 2016. Disponível em: <http://apps.azsos.gov/public_services/Title_18/18-09.pdf>. Acesso em: 15 dez. 2017.

ARUNBABU, V. et al. Sustainable greywater management with *Axonopus compressus* (broadleaf carpet grass) planted in sub surface flow constructed wetlands. **Journal Of Water Process Engineering**, v. 7, p.153-160, set. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13.969/1997 – **Tanques sépticos – Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – Projeto, construção e operação**. Rio de Janeiro, ABNT 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 46/2003 – **Agregados – Determinação do material fino que passa através da peneira 75 µm, por lavagem**. Rio de Janeiro, ABNT 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 248/2003 – **Agregados – determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, ABNT 2003.

ASSOCIATION for rainwater harvesting and water utilisation. **Greywater Recycling and Reuse**. Alemanha, fbr, 2010.

AUCKLAND, **On-site wastewater systems: Design and management manual**. 2004. Disponível em: <<http://www.aucklandcouncil.govt.nz/EN/planspoliciesprojects/plansstrategies/unitaryplan/Documents/Material%20incorporated%20by%20reference/upmirbcounciltp58onsitewastewatersystemsdesignmanagementmanual.pdf>>. Acesso em: 14 nov. 2016.

AUSTRALIA; NOVA ZELÂNDIA. **Agriculture and Resource Management Council of Australia and New Zealand**. Australian and New Zealand Guidelines for fresh and marine water quality: The Guidelines. 2000. Disponível em: <https://www.environment.gov.au/system/files/resources/53cda9ea-7ec2->

49d4-af29-d1dde09e96ef/files/nwqms-guidelines-4-vol1.pdf. Acesso em: 22 fev. 2017.

AUSTRALIA, **NSW guidelines for:** Greywater reuse in sewerred, singles household residential premises. Maio 2008. Disponível em: <http://www.water.nsw.gov.au/__data/assets/pdf_file/0008/557324/recycling_grey_nsw_guidelines_for_greywater_reuse_in_sewered_single_household_residential_premises.pdf>. Acesso em: 07 dez. 2016.

BARACUHY, V. S. et al. Qualidade das águas cinza tratada com fitorremediação em unidades de produção agrícola. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 10, n. 2, p.187-192, 8 jul. 2015.

BAZZARELLA, B. B. **Caracterização e aproveitamento de água cinza para uso não potável em edificações**. 2005. 150 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) UFES, Vitória, 2005.

BELO HORIZONTE, **Prefeitura de Belo Horizonte**. Lei nº 10.840, de 28 de agosto de 2015. Dispõe sobre reuso de água em edificações públicas e privadas. Diário Oficial do Município, Minas Gerais, MG, 29 de agosto de 2015.

BELMONT, M. A. et al. Treatment of domestic wastewater in a pilot-scale natural treatment system in central Mexico. **Ecological Engineering**, v. 23, n. 4-5, p.299-311, dez. 2004.

BLANKY, M. et al. Legionella pneumophila: From potable water to treated greywater; quantification and removal during treatment. **Science Of The Total Environment**, v. 533, p.557-565, nov. 2015.

BOEIRA, R. C.; MAXIMILIANO, V. C. B. Mineralização de compostos nitrogenados após aplicações de lodos de esgoto em quatro cultivos de milho. **Ver. Bras. Ci. Solo**. v. 33. p.207-218, 2009.

BRASIL, **Ministério da Saúde**. Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 14 de dezembro de 2011.

BRASIL, **Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA**. Resolução nº 307, de 05 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, nº 136, 17 de julho de 2002. Seção 1, p. 95-96.

_____. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Alterada pela Resolução 410/2009 e pela 430/2011, dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Publicada no DOU nº 53, de 18 de março de 2005.

_____. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Complementa e altera a Resolução nº 357/2005, Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, Publicada no DOU nº 92, de 16 de maio de 2011.

BRASIL, **Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH**. Resolução nº 54, de 28 de novembro de 2005. Estabelece critérios gerais para reuso de água potável. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 09 de março de 2006.

BRASILEIRO, L. L.; MATOS, J. M. E. Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil. **Cerâmica**, v. 61, n. 358, p.178-189, jun. 2015.

BŘEZINOVÁ, T.; VYMAZAL, J. Seasonal growth pattern of *Phalaris arundinacea* in constructed wetlands with horizontal subsurface flow. **Ecological**

Engineering, v. 80, p.62-68, jul. 2015.

BROWN, R.; PALMER, A. **Water Reclamation Standard**: Laboratory testing of systems using grey water. 1. ed. United Kingdom: BSRIA, 2002. 17 p.

CALIFORNIA, **Alternate water sources for nonpotable applications**. 2013. Disponível em: <<http://http://greywateraction.org/wp-content/uploads/2014/11/2013-code-chap16.pdf>>. Acesso em 18 nov. 2016.

CARVALHO, L. M. et al. Pragas do copo-de-leite: reconhecimento, danos e controle. Belo Horizonte. **Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais**. circular técnica n. 186, p 01-04. 2013.

CHANG, J. et al. Treatment performance of integrated vertical-flow constructed wetland plots for domestic wastewater. **Ecological Engineering**, v. 44, p.152-159, jul. 2012.

CHRISPIM, M. C. **Avaliação de um sistema de tratamento de águas cinzas em edificação de campus universitário**. 2014. 146 f. Dissertação (Mestrado em Ciências). Universidade de São Paulo. São Paulo. 2014.

CHRISTOFIDIS, D. Água, ética, segurança alimentar e sustentabilidade ambiental. Bahia. **Análise & Dados**. v. 13, n. esp., p. 371-382, 2003.

COHIM, E. et al. Comportamento de águas cinzas sintéticas durante armazenamento. In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL EM SANEAMENTO SUSTENTÁVEL, 2007, Fortaleza, **Artigo Eletrônico**. Fortaleza: ECOSAN, 2007.

CONSERVAÇÃO e reuso da água em edificações. São Paulo.FIESP. Disponível em: <<http://http://www.fiesp.com.br/indices-pesquisas-e-publicacoes/conservacao-e-reuso-de-aguas-em-edificacoes-2005/>>. Acesso em 19 fev. 2017.

COSTA, N. et al. Planejamento de programas de reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil: Uma análise multivariada. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 12, p. 446-456. 2007.

ERIKSSON, E. et al. Greywater pollution variability and loadings. 2009. **Ecological Engineering**, v. 35, p. 661-669.

FERNANDES, K. D. **Nutrição mineral e índices biométricos de copo-de-leite cultivado sob deficiência múltipla de nitrogênio e fósforo**. 2010. 114p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.

FERNANDES, V. M. C. **Padrões para reuso de águas residuárias em ambientes urbanos**. II simpósio nacional sobre o uso da água na agricultura, Passo Fundo, 2006.

INGLATERRA, **Greywater and rainwater systems: recommended uk requirements**. Mar 1997. Disponível em: <<http://dwi.defra.gov.uk/research/completed-research/reports/dwi0778.pdf>>. Acesso em: 04 dez 2017.

KATUKIZA, A. Y. et al. Grey water treatment in urban slums by a filtration system: Optimisation of the filtration medium. **Journal Of Environmental Management**, v. 146, p.131-141, dez. 2014.

KENTUCKY, **Kentucky division of water: annual report**. 2010. Disponível em: <<http://water.ky.gov/Documents/AnnualReports/KDOW-AnnualReportFY10.pdf>>. Acesso em 08 jan. 2017.

KLEIN, C.; AGNE, S. A. A. Fósforo: de nutriente à poluente! **Rev. Elet. em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 8, n 8,p.1713-1721, 2012.

LAAFFAT, J.; OUAZZANI, N.; MANDI, L.. The evaluation of potential purification of a horizontal subsurface flow constructed wetland treating greywater in semi-arid environment. **Process Safety And Environmental Protection**, v. 95, p.86-92, maio 2015.

LANTZKE, I. R. et al. A model of factors controlling orthophosphate removal in planted vertical flow wetlands. **Ecological Engineering**, v. 12, n. 1-2, p.93-105, 1999.

LASSO, P. R. O. et al . Avaliação do uso de resíduos de construção e demolição reciclados como corretivo da acidez do solo. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa , v. 37, n. 6, p. 1659-1668, Dec. 2013 .

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. 2º Ed. São Paulo: Editora Átomo, 2008.

LIRA, O. O. **Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS**. 1. ed. Brasília: FUNASA. 2014. 112 p.

MACEDO, J. A. B.. **Métodos Laboratoriais de Análises Físico-Químicas & Microbiológicas**. 3ª Ed. Minas Gerais. 2005.

MAH, D. Y. S. et al. A conceptual modeling of ecological greywater recycling system in Kuching city, Sarawak, Malaysia. **Resources, Conservation And Recycling**, v. 53, n. 3, p.113-121, jan. 2009.

MATUELLA, M. F.; DELONGUI, L.; NÚÑEZ, W. P. Caracterização de resíduos de construção e demolição melhorados com cimento portland para aplicação em camadas inferiores de pavimentos. **18 ° encontro nacional de conservação rodoviária**. Foz do Iguaçu. Sinicesp. 2015.

MAY, S. **Caracterização, tratamento e reúso de águas cinzas e aproveitamento de águas pluviais em edificações**. 2009. 200 f. Tese

(Doutorado em Engenharia), Universidade de São Paulo, São Paulo. 2009.

MERINO-SOLÍS et al. The effect of the Hydraulic Retention Time on the performance of an ecological wastewater treatment system: an anaerobic filter with a constructed wetland. **Water**. v. 7. P. 1149-1163. 2015.

MONTEIRO, R. C. M. **Viabilidade técnica do emprego de sistemas tipo “wetlands” para tratamento de água cinza visando o reuso não potável**. 2009. 84 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Sanitária). Universidade de São Paulo. São Paulo. 2009.

MOTA, F. S. B.; VON SPERLING, M. **Nutrientes de esgoto sanitário: Utilização e remoção**. Projeto PROSAB, Rio de Janeiro: ABES, 428p, 2009.

NITERÓI, **Prefeitura de Niterói**. Lei nº 2.856, de 25 de julho de 2011. Estende as obrigações da Lei nº 2.630 de 07 de janeiro de 2009, instituindo mecanismos de estímulo à instalação de sistema de coleta e reutilização de águas servidas em edificações públicas e privadas. Diário Oficial do Município, Rio de Janeiro, RJ, 26 de julho de 2011.

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

OLIVEIRA, M. E. D. et al. Diagnóstico da geração e da composição dos RCD de Fortaleza/CE. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. V. 16, p.219-224. Jul/set 2011.

ORON, G. et al. Greywater use in Israel and worldwide: Standards and prospects. **Water Research**, v. 58, p.92-101, jul. 2014.

PARÂMETROS de lançamentos de efluentes líquidos. Disponível em: <<http://www.iap.pr.gov.br/pagina-49.html>>. Acesso em: 19 de abril de 2017.

PARANÁ, **Assembléia Legislativa do Estado do Paraná**. Lei 12.726, de 26 de novembro de 1999. Institui a política estadual de recursos hídricos e adota outras providências. Diário Oficial nº 5628, 29 de novembro de 1999.

PIDOU, M. et al. B. Chemical solutions for greywater recycling. **Chemosphere**, v. 71, p.147-155, 2008.

PIRES, J. D. T. S. **Reuso de água cinza e aproveitamento da água de chuva como fontes alternativas em propriedades rurais**. 2012. 140 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2012.

PRATA, R. C. C. et al. **Tratamento de esgoto sanitário em sistemas alagados construídos cultivados com lírio-amarelo**. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v. 33, n. 6, p. 1144-1155, nov./dez. 2013.

PRILLWITZ, M.; FARWELL, L. **Using Graywater in your home landscape: Graywater Guide**. 1. ed. California, 1995. 45 p.

RESIDENTIAL onsite Systems, Disponível em: <<http://www.nsf.org/services/by-industry/water-wastewater/onsite-wastewater/residential-wastewater-treatment-systems>>. Acesso em 14 fev. 2017.

RESTREPO, E. M.; BEDOYA, L. O.; VEJA, N. W. O. Resíduos de construção: uma opção para a recuperação de solos. **EIA.Esc.Ing.Antioq**. p.55-60. 2015.

REVITT, D. M.; ERIKSSON, E.; DONNER, E. The implications of household greywater treatment and reuse for municipal wastewater flows and micropollutant loads. **Water Research**, v. 45, n. 4, p.1549-1560, fev. 2011.

RODDA, N. et al. Guidelines for sustainable use of greywater in small-scale agriculture and gardens in South Africa. **Water SA**. 2011. 37(5):727–38. Disponível em: <<http://greywateraction.org/wp-content/uploads/2014/11/2013-code-hap16.pdf>>. Acesso em: 06 mai. 2016.

SANTASMASAS, C. et al. Grey water reclamation by decentralized MBR prototype. **Resources, Conservation And Recycling**, v. 72, p.102-107, mar. 2013.

SANTIAGO, F. S. et al. Qualidade da água cinza tratada para irrigação de frutas e hortaliças no semiárido do rio grande do norte. In: CONGRESSO LATINOAMERICANO Y DEL CARIBE DE INGENIERÍA AGRÍCOLA, 10., Londrina. 2012.

SANTOS, B. S. et al. Avaliação da Eficiência de Um Sistema de Tratamento por Wetland Construído Aplicado ao Efluente de um Frigorífico de Suínos. **Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas**, v. 37, n. 2, p.13-22, 2016.

SAUMYA, S. et al. Construction and evaluation of prototype subsurface flow wetland planted with heliconia angusta for the treatment of synthetic greywater. **Journal of cleaner production**, Tamilnadu, v.91, n.1, p. 235-240, December 2014.

SCAGEL, C. F.; SCHREINER, R. P. Phosphorus supply alters tuber composition, flower production, and mycorrhizal responsiveness of container-grown hybrid Zantedeschia. **Plant and Soil**, The Hague, v. 283, n.1/2, p. 323-337, May 2006.

SEMERARO, T. et al. A constructed treatment wetland as an opportunity to enhance biodiversity and ecosystem services. **Ecological Engineering**, v. 82, p.517-526, set. 2015.

SHAMABADI, N. et al. The investigation and designing of a onsite grey water treatment systems at Hazrat-e-Masoumeh University, Qom, IRAN. **Energy Procedia**, Qom, v.74, n.1, p. 1337-1346, August 2015.

SHARMA, G.; PRIYA; BRIGHU, U. Performance analysis of vertical up-flow constructed wetlands for secondary treated effluent. **APCBEE Procedia**, Singapore, v. 10, n. 1, p. 110-114, October 2014.

SILVA, H. C. **Tratamento de efluente proveniente da lavagem de resíduos de construção e demolição**. 2016. 73 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária e Ambiental). Universidade Estadual de Ponta Grossa. Ponta Grossa. 2016.

SILVA, S. C. **“Wetlands Construídos” de fluxo vertical com meio suporte de solo natural modificado no tratamento de esgotos domésticos**. 2007. 202 f. Tese (Doutorado em tecnologia ambiental e recursos hídricos), Universidade de Brasília, Distrito Federal. 2007.

SOARES, A. R. F. S.; CORINGA, J. E. S. Influência dos resíduos da construção civil na recuperação de área degradada pela extração de argila. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL. 4. **Artigo Eletrônico**. Salvador. 2013. Disponível em: <<http://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2013/VI-072.pdf>>. Acesso em: 19 jan. 2017.

SONG, K.; ZOH, K.; KANG, H. Release of phosphate in a wetland by changes in hydrological regime. **Science Of The Total Environment**, v. 380, n. 1-3, p.13-18, jul. 2007.

SOUSA, J. T. et al. Utilização de *wetland* construído no pós-tratamento de esgotos domésticos pré-tratados em reator UASB. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 4, p. 285-290, out./dez. 2004.

SULIEMAN, A. M. E.; YOUSIF, A. W. M.; MUSTAFA, A. M. Chemical, physicochemical and physical properties of wastewater from the Sudanese fermentation industry (SFI). **14º IWTC**. Cairo: Egito, 2010. P. 305-315.

TENÓRIO, J. J. L. **Avaliação de propriedades do concreto produzido com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição visando aplicações estruturais**. 2007. 138 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Alagoas, Maceió. 2007.

TREIN, C. N. et al. Tratamento descentralizado de esgotos de empreendimentos comercial e residencial empregando a ecotecnologia dos wetlands construídos. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 15, n. 4, p. 351-367, out./dez. 2015.

UNITED NATIONS EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION - UNESCO. Water for a sustainable world. Paris, 2015. Disponível em: <<http://unesdoc.unesco.org/images/0023/002318/231823E.pdf>> Acesso em: 3 mar. 2016.

VALENTIM, M. A. A. Desempenho de leitos cultivados ("*constructed wetland*") para tratamento de esgoto: contribuições para concepção e operação. Campinas, São Paulo, 2003.

VERGELES, Y. et al. Assessment of treatment efficiency of constructed wetlands in East Ukraine. **Ecological Engineering**, v. 83, p.159-168, out. 2015.

VON SPERLING, M. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos** (Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias) 1. ed. Belo Horizonte: DESA-UFMG, 452p. 2005.

VYMAZAL, J. Long-term performance of CWs with horizontal sub-surface flow: ten case studies from the Czech Republic. **Ecological Engineering**, v. 37, p.54–63, 2011.

APÊNDICE A - Ensaio de granulometria - Caracterização do RCD

Granulometria areia - antes da montagem do SAC.

Peneiras (mm)	Massas (g)			Porcentagens Retidas					
				Individuais			Acumuladas		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
38	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4,8	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01
2,4	46,50	54,00	58,40	4,67	5,42	5,87	4,67	5,42	5,87
1,2	146,00	165,80	153,60	14,66	16,65	15,44	19,33	22,07	21,33
0,6	285,81	287,80	276,50	28,70	28,89	27,80	48,03	50,96	49,11
0,3	283,60	267,50	259,20	28,48	26,85	26,06	76,51	77,81	75,17
0,15	153,50	152,40	166,40	15,42	15,30	16,73	91,93	93,11	91,90
Fundo	80,30	68,60	80,60	8,07	6,89	8,10	100,00	100,00	100,00
Soma	995,71	996,10	994,80	100,00	100,00	100,00			

Características	I	II	III
Dimensão Máxima Característica - DMC (mm)	2,4	4,8	4,8
Módulo de Finura - MF	2,4047	2,4937	2,43391

Granulometria areia - depois da montagem do SAC.

Peneiras (mm)	Massas (g)			Porcentagens Retidas					
				Individuais			Acumuladas		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
38	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19				0,00	0,00	0,00			
12,5				0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9,5				0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4,8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,4	153,80	106,40	123,80	15,43	10,69	12,44	15,43	10,69	12,44
1,2	175,10	171,00	165,30	17,57	17,17	16,61	33,00	27,86	29,05
0,6	257,00	269,60	262,00	25,79	27,08	26,32	58,79	54,94	55,37
0,3	209,70	229,10	237,60	21,04	23,01	23,87	79,83	77,95	79,24
0,15	127,40	147,80	131,20	12,78	14,84	13,18	92,61	92,79	92,42
Fundo	73,60	71,80	75,40	7,39	7,21	7,58	100,00	100,00	100,00
Soma	996,60	995,70	995,30						

Características

Dimensão Máxima Característica - DMC (mm)

Módulo de Finura – MF

I

4,8

2,796709

II

4,8

2,642161

III

4,8

2,685221

Granulometria brita 1- antes da montagem do SAC.

Peneiras (mm)	Massas (g)			Porcentagens Retidas					
				Individuais			Acumuladas		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
38	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19	145,00	63,50	89,00	2,90	1,27	1,79	2,90	1,27	1,79
12,5	1729,50	1860,50	1787,00	34,65	37,30	35,89	37,55	38,57	37,68
9,5	1912,00	1891,50	1946,00	38,31	37,92	39,09	75,86	76,49	76,77
4,8	1097,50	1081,50	1063,50	21,99	21,68	21,36	97,85	98,17	98,13
2,4	19,50	13,50	16,00	0,40	0,27	0,32	98,25	98,44	98,46
1,2	5,50	2,50	5,00	0,11	0,05	0,10	98,36	98,49	98,56
0,6	7,00	6,50	5,50	0,14	0,13	0,11	98,50	98,62	98,67
0,3	16,50	14,50	16,00	0,33	0,29	0,32	98,83	98,91	98,99
0,15	22,00	20,50	24,50	0,44	0,41	0,49	99,27	99,32	99,48
Fundo	37,00	33,50	26,00	0,73	0,68	0,52	100,00	100,00	100,00
Soma	4991,50	4988,00	4978,50						

Características	I	II	III
Dimensão Máxima Característica - DMC (mm)	19,0	19,0	19,0
Módulo de Finura – MF	7,0737	7,0828	7,085274

Granulometria brita 1- depois da montagem do SAC.

Peneiras (mm)	Massas (g)			Porcentagens Retidas					
				Individuais			Acumuladas		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
38	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19	13,50	102,50	32,50	0,27	2,05	0,65	0,27	2,05	0,65
12,5	2662,00	2184,50	2156,50	53,25	43,71	43,14	53,52	45,76	43,79
9,5	1107,00	1133,50	1211,00	22,14	22,68	24,22	75,66	68,44	68,01
4,8	1208,00	1540,50	1583,50	24,16	30,82	31,68	99,82	99,26	99,69
2,4	2,00	24,00	6,50	0,04	0,48	0,13	99,86	99,74	99,82
1,2	0,50	0,50	1,00	0,01	0,01	0,02	99,87	99,75	99,84
0,6	1,00	1,00	0,50	0,02	0,02	0,01	99,89	99,77	99,85
0,3	1,00	2,50	1,50	0,02	0,05	0,03	99,91	99,82	99,88
0,15	2,00	4,50	2,50	0,04	0,09	0,05	99,95	99,91	99,93
Fundo	2,50	4,50	3,50	0,05	0,09	0,07	100,00	100,00	100,00
Soma	4999,50	4998,00	4999,00						

Características	I	II	III
Dimensão Máxima Característica - DMC (mm)	19,0	19,0	19,0
Módulo de Finura - MF	7,287429	7,144958	7,114623

APÊNDICE B – Ensaio laboratorial água cinza

AT - ANTES TRATAMENTO DT - DEPOIS TRATAMENTO	AMOSTRAS - SISTEMA ESTÁTICO					
	AT (6D)	DT (6D)	AT (4D)	DT (4D)	AT (2D)	DT (2D)
	02/12/2016	08/12/2016	16/12/2016	20/12/2016	13/12/2016	15/12/2016
pH	6,33 19,1°C	I - 9,60 23,6°C S - 9,39 23,9°C	6,68 22°C	I - 8,70 22,3°C S - 8,61 22,5°C	7,06 21,6°C	I - 6,13 20,9°C S - 6,95 20,9°C
Condutividade ($\mu\text{S.cm}^{-1}$)	118,2	I - 247,6 S - 249,9	138,7	I - 245,1 S - 250,5	120,6	I - 244,7 S - 255,2
DQO (mg.L^{-1})	245,96	I - 60,18 S - 38,01	211,13	I - 84,45 S - 65,45	544,7	I - 101,34 S - 74,95
OD (mg.L^{-1})	8,71	I - 4,17 S - 3,70	8,6	I - 3,90 S - 3,56	8,05	I - 4,30 S - 3,90
Fósforo Total (mg.L^{-1})	0,31	I - 0,28 S - 0,27	0,3	I - 0,25 S - 0,24	0,34	I - 0,28 S - 0,27
Fósforo Inorgânico (mg.L^{-1})	0,06	I - 0,01 S - 0,01	0,1	I - 0,09 S - 0,07	0,05	I - 0,05 S - 0,01
Alcalinidade (mg.L^{-1})	19,43	I - 39,37 S - 38,52	23,09	I - 57,78 S - 64,8	22,92	I - 44,94 S - 52,79
Acidez (mg.L^{-1})	21,8	I - NULA S - NULA	9,48	I - NULA S - NULA	9,48	I - 23,70 S - 28,44
ST (mg.L^{-1})	280	I - 410 S - 350	120	I - 260 S - 260	280	I - 300 S - 280
SST (mg.L^{-1})	0	I - 0,0 S - 0,0	0	I - 0,0 S - 0,0	0,0	I - 0,0 S - 0,0

AT - ANTES TRATAMENTO DT - DEPOIS TRATAMENTO	AMOSTRAS - SISTEMA DINÂMICO			
	AT (2D)	DT (2D)	AT (1D)	DT (1D)
	08/03/2017	10/03/2017	16/02/2017	17/02/2017
pH	5,97 25,5°C	7,01 26,7°C	6,27 15,1°C	7,73 25,1°C
Condutividade ($\mu\text{S.cm}^{-1}$)	141,5	431,6	101	430,9
DQO (mg.L^{-1})	308,24	44,34	237,52	102,4
OD (mg.L^{-1})	7,42	6,73	7,33	6,55
Fósforo Total (mg.L^{-1})	0,37	0,34	0,26	0,28
Fósforo Inorgânico (mg.L^{-1})	0,14	0,14	0,08	0,09
Alcalinidade (mg.L^{-1})	22,25	219,22	19,31	195,59
Acidez (mg.L^{-1})	16,59	28,44	9,48	18,96
ST (mg.L^{-1})	340	540	140	420
SST (mg.L^{-1})	0	0	0	0

APÊNDICE C – Análises estatísticas para DQO e Fósforo Total

Análise DQO sistema estático (mg.L⁻¹)

		A	EI	ES
2 DIAS	Média (mg.L⁻¹)	544,70	101,34	74,95
	Desvio padrão (σ)	13,18	6,59	6,59
	Variância (σ^2)	173,83	43,46	43,46
	Coef. Variação (%)	2,42	6,50	8,79
	Mínimo (mg.L⁻¹)	529,92	96,07	67,56
	Mediana (mg.L⁻¹)	548,92	99,23	77,07
	Máximo (mg.L⁻¹)	555,25	108,73	80,23
4 DIAS	Média (mg.L⁻¹)	211,13	84,45	65,45
	Desvio padrão (σ)	19,09	3,66	4,84
	Variância (σ^2)	364,37	13,37	23,40
	Coef. Variação (%)	9,04	4,33	7,39
	Mínimo (mg.L⁻¹)	191,07	80,23	61,23
	Mediana (mg.L⁻¹)	213,24	86,57	64,40
	Máximo (mg.L⁻¹)	229,07	86,57	70,73
6 DIAS	Média (mg.L⁻¹)	245,96	60,18	38,01
	Desvio padrão (σ)	3,66	3,66	14,28
	Variância (σ^2)	13,37	13,37	203,92
	Coef. Variação (%)	1,49	6,08	37,57
	Mínimo (mg.L⁻¹)	241,74	58,06	23,23
	Mediana (mg.L⁻¹)	248,07	58,06	39,06
	Máximo (mg.L⁻¹)	248,07	64,40	51,73

Fonte: O autor (2017).

Análise fósforo total sistema estático (mg.L⁻¹)

		A	EI	ES
2 DIAS	Média (mg.L⁻¹)	0,34	0,28	0,27
	Desvio padrão (σ)	0,0039	0,0051	0,0029
	Variância (σ^2)	1,52E-05	2,60E-05	8,41E-06
	Coef. Variação (%)	1,15	1,82	1,07
	Mínimo (mg.L⁻¹)	0,3391	0,2768	0,2667
	Mediana (mg.L⁻¹)	0,3414	0,2819	0,2701
	Máximo (mg.L⁻¹)	0,3459	0,2869	0,2718
4 DIAS	Média (mg.L⁻¹)	0,30	0,25	0,24
	Desvio padrão (σ)	0,0019	0,0058	0,0029
	Variância (σ^2)	3,61E-06	3,36E-05	8,41E-06
	Coef. Variação (%)	0,63	2,32	1,21
	Mínimo (mg.L⁻¹)	0,3004	0,2488	0,2381
	Mediana (mg.L⁻¹)	0,3015	0,2534	0,2398
	Máximo (mg.L⁻¹)	0,3038	0,2600	0,2431
6 DIAS	Média (mg.L⁻¹)	0,31	0,28	0,27
	Desvio padrão (σ)	0,0034	0,0035	0,0035
	Variância (σ^2)	1,16E-05	1,23E-05	1,23E-05
	Coef. Variação (%)	1,10	1,25	1,30
	Mínimo (mg.L⁻¹)	0,3088	0,2785	0,2634
	Mediana (mg.L⁻¹)	0,3122	0,2813	0,2662
	Máximo (mg.L⁻¹)	0,3156	0,2852	0,2701

Fonte: o autor (2017).

Análise DQO sistema dinâmico (mg.L⁻¹)

		AFLUENTE	EFLUENTE
1 DIA	Média (mg.L⁻¹)	237,52	102,40
	Desvio padrão (σ)	13,18	20,77
	Variância (σ^2)	173,83	431,23
	Coef. Variação (%)	5,55	20,28
	Mínimo (mg.L⁻¹)	222,74	83,40
	Mediana (mg.L⁻¹)	241,74	99,23
	Máximo (mg.L⁻¹)	248,07	124,57
2 DIAS	Média (mg.L⁻¹)	308,24	44,34
	Desvio padrão (σ)	24,18	10,18
	Variância (σ^2)	584,90	103,63
	Coef. Variação (%)	7,85	22,96
	Mínimo (mg.L⁻¹)	263,57	32,73
	Mediana (mg.L⁻¹)	289,24	48,56
	Máximo (mg.L⁻¹)	311,91	51,73

Fonte: o autor (2017).

Análise fósforo total sistema dinâmico (mg.L⁻¹)

		AFLUENTE	EFLUENTE
1 DIA	Média (mg.L⁻¹)	0,26	0,28
	Desvio padrão (σ)	0,0026	0,0129
	Variância (σ^2)	6,62E-06	9,46E-07
	Coef. Variação (%)	0,99	4,59
	Mínimo (mg.L⁻¹)	0,2583	0,2751
	Mediana (mg.L⁻¹)	0,2600	0,2768
	Máximo (mg.L⁻¹)	0,2634	0,2768
2 DIAS	Média (mg.L⁻¹)	0,37	0,34
	Desvio padrão (σ)	0,0010	0,0079
	Variância (σ^2)	1,66E-04	6,18E-05
	Coef. Variação (%)	0,26	2,31
	Mínimo (mg.L⁻¹)	0,3560	0,3351
	Mediana (mg.L⁻¹)	0,3728	0,3351
	Máximo (mg.L⁻¹)	0,3813	0,3487

Fonte: o autor (2017).