

Universidade Federal de Santa Catarina
Centro Tecnológico
Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental

**AVALIAÇÃO DA VARIAÇÃO DE CARGAS AFLUENTE E
EFLUENTE DE UM WETLAND CONSTRUÍDO DE FLUXO
VERTICAL EMPREGADO NO TRATAMENTO DE ESGOTO
DOMÉSTICO**

DANILO DE CASTRO SILVA

Trabalho de Conclusão de Curso
submetido ao Programa de Graduação
em Engenharia Sanitária e Ambiental
da Universidade Federal de Santa
Catarina para obtenção do Grau de
Engenheiro em Engenharia Sanitária e
Ambiental.

Orientador: Prof. Pablo Heleno
Sezerino, Dr.

Florianópolis - SC
2014

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

Silva, Danilo de Castro

Avaliação da variação de cargas afluente e efluente de um wetland construído de fluxo vertical empregado no tratamento de esgoto doméstico / Danilo de Castro Silva ; orientador, Pablo Heleno Sezerino - Florianópolis, SC, 2014. 73 p.

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

Inclui referências

1. Engenharia Sanitária e Ambiental. 2. Saneamento Descentralizado. 3. Wetland Construído. 4. Fluxo vertical. 5. Monitoramento de ETE. I. Sezerino, Pablo Heleno. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental. III. Título.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E
AMBIENTAL

**AVALIAÇÃO DA VARIAÇÃO DE CARGAS AFLUENTE E
EFLUENTE DE UM WETLAND CONSTRUÍDO DE FLUXO
VERTICAL EMPREGADO NO TRATAMENTO DE ESGOTO
DOMÉSTICO**

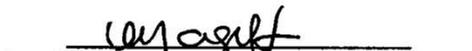
DANILO DE CASTRO SILVA

Trabalho submetido à Banca
Examinadora como parte dos
requisitos para Conclusão do Curso de
Graduação em Engenharia Sanitária e
Ambiental – TCC II

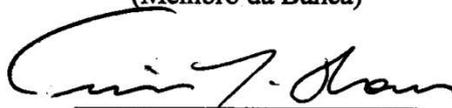
BANCA EXAMINADORA:



Prof. Pablo/Helena Sezerino, Dr.
(Orientador)



Prof.ª Maria Eliza Nagel Hassemer, Dr.ª
(Membro da Banca)



Eng. Felipe Thans
(Membro da Banca)

FLORIANÓPOLIS, SC
JULHO DE 2014

AGRADECIMENTOS

À minha mãe e seus sempre efetivos carinho e apoio emocional, capazes de me tranquilizar e me dar forças mesmo nos piores momentos;

Ao meu pai, exímio incentivador, que me faz sempre tentar dar o melhor de mim;

Amo vocês dois!

Ao Professor Pablo, que além de orientador, chefe, supervisor, professor e tutor, posso considerá-lo um amigo;

À doutoranda do GESAD Catiane Pelissari, companheira no escritório e nas risadas, além de sempre estar disposta a contribuir com meu trabalho;

À mestranda do GESAD Camila Trein, companheira de saídas de campo e também de risadas, grande colaboradora neste trabalho;

Aos demais membros do GESAD, que formam uma equipe de grande potencial e que também estavam sempre dispostos a ajudar no que fosse preciso;

Aos demais professores do curso de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFSC, serei eternamente grato pela minha formação acadêmica. Buscarei retribuir sempre apresentando trabalho da mais alta qualidade que eu puder proporcionar;

A todos os funcionários do Departamento de ENS, que garantem o bom funcionamento do prédio que virou minha segunda casa;

Aos antigos, atuais e futuros membros da AESA, que, por mais que não saibam, estão mantendo vivo o grande sonho da minha vida estudantil, possibilitando minha total dedicação aos meus assuntos acadêmicos;

Aos meus amigos, grandes responsáveis pelo meu equilíbrio interno;

Ao resto da minha família, com quem sei que sempre poderei contar;

Finalmente, à pessoa que mais me motiva a acordar todos os dias e correr atrás dos meus objetivos, independente de quais sejam, me faz querer e ser grande, me faz ter um sonho pelo qual vale a pena lutar por ele. O amor é o que move.

Enfim, gostaria de agradecer a todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para que eu pudesse alcançar meus objetivos.

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo avaliar o comportamento inicial de um sistema de tratamento de esgoto doméstico por *wetland* construído de fluxo vertical (WCFV) com base nas variações de cargas afluentes e efluentes e na eficiência de remoção de poluentes. Ele consiste, portanto, no monitoramento durante os meses de março a junho de 2014 da Estação de Tratamento de Esgotos do Condomínio Praia de Fora Residence, no município da Palhoça – SC. Como o residencial conta com apenas 5% de sua capacidade populacional total, considera-se que a estação de tratamento opera em condições iniciais, por mais que tenha sido instalada em 2006. As variações de cargas afluente e efluente do *wetland* construído de fluxo vertical (WCFV) para o tratamento de esgotos foram avaliadas. Foi observada a interferência da incidência de chuva no WCFV, com um acréscimo de, em média 117,4% em termo de volume diário e diluição do esgoto, além da necessidade de se implantar um sistema de controle de vazões, tanto de entrada quanto de saída. Apesar de ainda estar operando a baixa vazão e a taxa hidráulica aplicada ser muito inferior às recomendadas pela literatura, a taxa prevista para a capacidade total da ETE será em torno de 240 mm/dia, valor próximo aos pesquisados.

Palavras-chave: Saneamento Descentralizado. *Wetland* Construído. Fluxo Vertical. Monitoramento de ETE.

ABSTRACT

The main aim of this study was to evaluate the initial performance of a Vertical Flow Constructed Wetland (VFCW) used for sewage treatment. The study was based on influent and effluent load variations and pollutants removal efficiency. Monitoring took place from March to June 2014 in the Wastewater Treatment Plant (WWTP) of Praia de Fora Residential Condominium, in Palhoça, Brazil. As the population of the residential is only around 5% of its full capacity, the treatment plant is considered to operate on initial conditions, even though it was established in 2006. Influent and effluent load variations of the VFCW were evaluated. The importance of the rain on the VFCW was observed, revealing an increase of 117.5% in average daily inflow, as well as a high rate of dilution of the sewage. Besides, it is also necessary to install a flow measurement system, both for input and output of the treatment unit. Although the plant is still operating at low flow and the hydraulic loading rate is much lower than those recommended by previous studies, the expected rate for full capacity will be around 240 mm / day, a value close to those reported by the studies.

Keywords: Decentralized Sanitation. Constructed Wetland. Vertical Flow. WWTP Monitoring.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	OBJETIVOS	14
1.1.1	Objetivo Geral	14
1.1.2	Objetivos Específicos	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1	ESGOTAMENTO SANITÁRIO	16
2.2	DEFINIÇÃO DE SANEAMENTO	16
2.3	ESGOTAMENTO SANITÁRIO NO BRASIL	17
2.4	TIPOS DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO	19
2.4.1	Sistemas Centralizados	19
2.4.2	Sistemas Descentralizados	19
2.4.3	Sistemas Centralizados x Sistemas Descentralizados	20
2.5	LEGISLAÇÃO RELACIONADA	21
2.5.1	Padrões de lançamento de efluentes	23
2.6	ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS PARA O TRATAMENTO DESCENTRALIZADO DE ESGOTOS	24
2.7	WETLANDS CONSTRUÍDOS	29
2.7.1	Wetland Construído de Fluxo Horizontal (WCFH)	31
2.7.2	Wetland Construído de Fluxo Vertical (WCFV)	31
3	METODOLOGIA	34
3.1	APRESENTAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	34
3.1.1	Local de Estudo	34
3.1.2	Descrição da Estação de Tratamento	38
3.2	PERÍODO DE MONITORAMENTO DA ETE	42
3.3	COLETA DE DADOS PLUVIOMÉTRICOS	44

3.4	TEMPO DE BOMBEAMENTO DE ALIMENTAÇÃO DO WCFV	46
3.5	ENSAIOS DE MEDIÇÃO DE VAZÃO DE BOMBEAMENTO E DE SAÍDA DO WCFV	47
3.5.1	Ensaio de medição de vazão de bombeamento de entrada do WCFV	47
3.5.2	Ensaio de medição de vazão de saída do WCFV	50
3.6	VAZÃO DE ENTRADA DIÁRIA	50
3.7	TAXA HIDRÁULICA APLICADA	51
3.8	COLETA DE AMOSTRAS E ANÁLISES LABORATORIAIS DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE	51
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	53
4.1	INTERFERÊNCIA DAS CHUVAS NO WCFV	53
4.2	VAZÃO AFLUENTE	56
4.3	VAZÃO EFLUENTE	59
4.4	TAXA HIDRÁULICA APLICADA	61
4.5	CONCENTRAÇÃO DE POLUENTES	61
4.6	VARIAÇÃO DE CARGAS ORGÂNICA E DE NITROGÊNIO	65
5	CONCLUSÕES	69
6	REFERÊNCIAS	70

1 INTRODUÇÃO

O acesso à água potável e ao saneamento são necessidades básicas e direitos humanos. De acordo com a OMS, o saneamento constitui um conjunto de ações sobre o meio ambiente com o objetivo de zelar pela saúde humana (WHO, 2000).

Também de acordo com a entidade, no início de 2000, aproximadamente um sexto da população mundial (1,1 bilhão de pessoas) não havia acesso ao abastecimento de água, enquanto 2/5 (2,4 bilhões de pessoas) não recebiam nenhuma forma de esgotamento sanitário.

Visando a alcançar a universalização dos serviços de saneamento básico, principalmente de abastecimento de água e de esgotamento sanitário, o Governo Brasileiro assumiu, junto à Organização das Nações Unidas (ONU), o compromisso de diminuir pela metade, no prazo de 1990 a 2015, a proporção da população sem acesso permanente e sustentável à água potável e ao esgotamento sanitário. Este compromisso é referente às Metas do Milênio, propostas em setembro de 2000.

Atualmente, a universalização do saneamento está longe de ser uma realidade no Brasil, onde boa parte da população dispõe de condições precárias desse direito, principalmente no que diz respeito aos sistemas de esgoto. Segundo a Pesquisa Nacional de Saneamento - PNSB de 2008, pouco mais da metade dos municípios brasileiros (55,2%) possuía serviço de esgotamento sanitário por rede coletora naquele ano (BRASIL, 2008) e dados da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios - PNAD, também de 2008, indicam que 31,5% dos domicílios da área urbana do país não possuíam serviço de esgotamento sanitário (BRASIL, 2009).

É importante ressaltar que os valores citados anteriormente referem-se apenas à existência do serviço no município, sem considerar fatores como a extensão da rede, a qualidade do atendimento ou se o esgoto, depois de recolhido, é tratado (BRASIL, 2008), o que indica que a situação é ainda pior do que a demonstrada nas estatísticas. De acordo com a PNSB de 2008, apenas 28,5% dos municípios brasileiros realizavam tratamento de seu esgoto, também sem considerar a qualidade e a abrangência deste tratamento. Esses valores não tiveram melhoras significativas até a presente data.

Os investimentos aplicados para melhorar a situação do esgotamento sanitário no Brasil na quase totalidade dos casos são

direcionados para a coleta e tratamento do esgoto de grandes centros urbanos, por serem zonas de densidade demográfica mais concentrada. Desta forma, o custo proporcional do serviço acaba por se tornar menos oneroso, já que abrange um maior número de pessoas por determinada unidade de área.

Devido ao acesso mais difícil e à inviabilidade de implantação de sistemas coletivos, pela baixa densidade demográfica, comunidades consideradas isoladas, como as periféricas ou rurais, foram praticamente deixadas de lado, culminando na precariedade do atendimento de saneamento perceptível atualmente nessas regiões.

É neste contexto que o saneamento descentralizado se faz necessário, podendo ser uma alternativa promissora para a solução do esgotamento sanitário em zonas de baixa densidade demográfica e de difícil acesso, contribuindo para a universalização deste serviço de saneamento.

Uma etapa importante na difusão do saneamento descentralizado é o monitoramento das estações existentes e o consequente aperfeiçoamento do controle das técnicas de tratamento. Assim, pode-se aumentar a eficiência e reduzir bastante os custos de implantação e operação de pequenas unidades de tratamento.

O presente trabalho consiste no monitoramento durante os meses de março a junho de 2014 da Estação de Tratamento de Esgotos do Condomínio Praia de Fora Residence, no município da Palhoça – SC. Como o residencial conta com apenas 5% de sua capacidade populacional total, considera-se que a estação de tratamento opere em condições iniciais, por mais que tenha sido instalada em 2006. Foi avaliada a variação de cargas afluente e efluente de uma das etapas do sistema de tratamento de esgotos domésticos, um *wetland* construído de fluxo vertical (WCFV).

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar o comportamento inicial de um sistema de tratamento de esgoto doméstico por *wetland* construído de fluxo vertical (WCFV) com base nas variações de cargas afluentes e efluentes e na eficiência de remoção de poluentes.

1.1.2 Objetivos Específicos

Considerando um comportamento inicial onde há reduzida contribuição de esgoto afluyente ao WCFV, e quatro meses de monitoramento, traça-se os seguintes objetivos específicos:

- Analisar a influência de precipitações pluviométricas na estação durante o período de estudo;
- Obter o perfil de variação das vazões de entrada e de saída do WCFV;
- Examinar a variação de taxa hidráulica aplicada no WCFV ao longo dos quatro meses de monitoramento;
- Avaliar a eficiência de remoção de DQO, amônia, fósforo e sólidos suspensos pelo WCFV;

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 ESGOTAMENTO SANITÁRIO

Esgotamento sanitário se refere a todo o sistema de coleta, transporte, tratamento e disposição final do esgoto sanitário. Este, por sua vez, é definido por Gonçalves (1997) como sendo composto pelas águas de abastecimento (99,92%) às quais, pelos usos do tipo doméstico em unidades residenciais, ou comerciais e industriais, foram acrescentadas substâncias, sólidas, semi-sólidas e líquidas (0,08%), muitas das quais consideradas poluentes ou patogênicas, alterando suas características físicas, químicas e biológicas. Devido à sua nocividade à saúde humana e ambiental, o esgoto doméstico deve ser devidamente gerenciado, seja em grandes centros urbanos ou em pequenas comunidades isoladas.

O esgotamento sanitário é um dos pilares do saneamento básico, juntamente com o abastecimento de água, o gerenciamento de resíduos sólidos, o manejo de águas pluviais e o controle de doenças transmissíveis (BARROS et al, 1995). Assim, se faz necessária uma breve revisão deste conceito maior para melhor compreensão da problemática do esgotamento sanitário no país, atualmente um dos setores que mais carecem de desenvolvimento.

O esgotamento sanitário conta com basicamente duas variantes: o sistema individual ou estático e o sistema coletivo ou dinâmico (VON SPERLING, 2005). Os dois tipos de esgotamento serão detalhados neste capítulo.

2.2 DEFINIÇÃO DE SANEAMENTO

O conceito clássico de saneamento, proposto pela Organização Mundial de Saúde (WHO), é definido como o controle de todos os fatores do meio físico do homem que exercem ou podem exercer efeitos nocivos sobre seu bem estar físico, mental e social (BARROS et al, 1995).

Já a Fundação Nacional de Saúde - FUNASA especifica um pouco mais as ações a serem tomadas no saneamento, além de deixar clara a relação do ser humano com o meio ambiente através da água, do solo e do ar. Em seu Manual de Saneamento (BRASIL, 2006), o termo é definido como “o conjunto de ações socioeconômicas que têm por objetivo alcançar níveis de salubridade ambiental, por meio de

abastecimento de água potável, coleta e disposição sanitária de resíduos sólidos, líquidos e gasosos, promoção da disciplina sanitária de uso do solo, drenagem urbana, controle de doenças transmissíveis e demais serviços e obras especializadas, com a finalidade de proteger e melhorar as condições de vida urbana e rural”.

Portanto, pode-se inferir que o objetivo principal do saneamento é a proteção da saúde humana, através de ações sobre o meio ambiente e sobre as relações de contato do ser humano com o mesmo. Para WHO (2000), o acesso à água e ao saneamento é uma necessidade fundamental e um direito humano, sendo considerado vital para a dignidade e para a saúde de toda a população.

Barros et al. (1995) complementam a definição moderna de saneamento como a associação de sistemas construídos por uma infraestrutura física (obras e equipamentos) e uma estrutura educacional, legal e institucional, que abrange os seguintes serviços:

- Abastecimento de água às populações, com qualidade compatível com a proteção de sua saúde e em quantidade suficiente para a garantia de condições básicas de conforto;
- Coleta, tratamento e disposição final ambientalmente adequada e sanitariamente segura dos esgotos sanitários, nestes incluídos os rejeitos provenientes das atividades doméstica, comercial e de serviços, industrial e pública;
- Coleta, tratamento e disposição ambientalmente adequada e sanitariamente segura dos resíduos sólidos rejeitados pelas mesmas atividades;
- Coleta de águas pluviais e controle de empoçamentos e inundações;
- Controle de vetores de doenças transmissíveis (insetos, roedores, moluscos, etc).

2.3 ESGOTAMENTO SANITÁRIO NO BRASIL

Atualmente, a universalidade do saneamento está longe de ser uma realidade no Brasil, onde boa parte da população dispõe de condições precárias desse direito, principalmente no que diz respeito aos sistemas de esgoto. Segundo a Pesquisa Nacional de Saneamento - PNSB de 2008, pouco mais da metade dos municípios brasileiros (55,2%) possuía serviço de esgotamento sanitário por rede coletora naquele ano (BRASIL, 2008) e dados da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios - PNAD, também de 2008, indicam que 31,5% dos

domicílios da área urbana do país não possuíam serviço de esgotamento sanitário (BRASIL, 2009).

É importante ressaltar que os valores citados anteriormente referem-se apenas à existência do serviço no município, sem considerar fatores como a extensão da rede, a qualidade do atendimento ou se o esgoto, depois de recolhido, é tratado (BRASIL, 2008), o que indica que a situação é ainda pior do que a demonstrada nas estatísticas. De acordo com a PNSB de 2008, apenas 28,5% dos municípios brasileiros realizavam tratamento de seu esgoto, também sem considerar a qualidade e a abrangência deste tratamento. Esses valores não tiveram melhoras significativas até a presente data.

As pesquisas evidenciam a clara disparidade entre os atendimentos de cidades de diferentes portes, devido à dificuldade de fornecimento dos serviços a cidades menores, assim como o seu maior custo unitário. Assim, a presença de rede coletora de esgoto foi maior nos municípios mais populosos, atingindo cobertura total entre aqueles com população superior a 500.000 habitantes. Nos municípios situados na classe de tamanho da população com 100.000 a 500.000 habitantes, o serviço de coleta de esgoto esteve presente em mais de 90,0%. Com cobertura abaixo da média nacional (55,2%), figuraram apenas os municípios com menos de 50.000 habitantes. Nessa classe populacional, concentra-se um grande número de municípios preponderantemente rurais e com população mais dispersa (densidade demográfica menor que 80 habitantes por quilômetro quadrado), o que acarreta maior dificuldade de fornecimento dos serviços de coleta de esgoto (BRASIL, 2008).

Portanto, o déficit da abrangência do esgotamento sanitário, visivelmente existente, está basicamente localizado nos bolsões de pobreza, ou seja, nas favelas, nas periferias das cidades, na zona rural e no interior (BRASIL, 2006), que podem ser consideradas comunidades isoladas, devido à dificuldade do fornecimento de infraestrutura nessas regiões. De acordo com a FUNASA, é imprescindível a superação dos entraves tecnológicos, políticos e gerenciais que têm dificultado a extensão dos benefícios aos residentes em áreas rurais, municípios e localidades de pequeno porte.

Discute-se a viabilidade de se descentralizar o esgotamento sanitário, tanto institucional quanto fisicamente, como uma possível solução para a carência atualmente vivida neste setor. Existem vantagens e desvantagens ligadas aos sistemas centralizados e descentralizados e estas serão discutidas nos próximos tópicos. Devido à

heterogeneidade do território e das comunidades brasileiras, cada caso demandará uma das variantes do esgotamento sanitário, podendo as duas ser utilizadas em conjunto na mesma comunidade (PHILIPPI, 2000; LIBRALATO, 2011; USEPA, 2012).

2.4 TIPOS DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO

2.4.1 Sistemas Centralizados

Os sistemas centralizados, também conhecidos como sistemas dinâmicos ou coletivos, são indicados para locais com elevada densidade populacional, como no meio urbano (VON SPERLING, 2005). Segundo o autor, esta solução consiste na utilização de canalizações que recebem o lançamento de esgotos e os transportam de forma sanitariamente adequada ao seu destino final. Existem duas principais formas de se estabelecer o sistema coletivo (VON SPERLING, 2005):

- Sistema unitário ou combinado: os esgotos sanitários e as águas pluviais são conduzidos ao seu destino final dentro da mesma canalização.
- Sistema separador: os esgotos sanitários e as águas de chuva são conduzidos ao destino final em canalizações separadas.

Na utilização de sistemas combinados, as tubulações possuem diâmetro muito elevado, pois deve veicular tanto a vazão de esgoto quanto, principalmente, a de águas da chuva. Vazões pluviais podem ainda baixar a concentração orgânica no esgoto, prejudicando o tratamento, além de potencializar as chances de extravasamento na ETE. O dimensionamento da ETE deve considerar essa vazão extra, tornando a implantação mais onerosa e menos eficiente (VON SPERLING, 2005).

Portanto, quando se utiliza do esgotamento centralizado, o sistema separador tem sido o mais utilizado, graças a vantagens como a redução de custos iniciais e prazos de construção, menores dimensões de canalização de coleta e transporte das águas residuárias e melhoria nas condições de tratamento do esgoto sanitário (VON SPERLING, 2005).

2.4.2 Sistemas Descentralizados

Também chamados sistemas individuais ou estáticos, os sistemas descentralizados pressupõem a solução para os esgotos no local, sendo

usualmente adotados para atendimento unifamiliar, embora também possam atender a certo número de residências próximas entre si (VON SPERLING, 2005). Portanto, segundo o autor, esses sistemas consistem no lançamento dos esgotos gerados em uma ou poucas unidades habitacionais, usualmente envolvendo infiltração no solo, o que implica na disponibilidade de área e solo com boas condições de infiltração.

Crites (1998) define o sistema descentralizado como a coleta, o tratamento e a disposição final de águas residuárias de residências individuais, grupos de residências, comunidades isoladas, indústrias, ou estabelecimentos institucionais, assim como partes de comunidades existentes próximas do ponto de geração dos resíduos.

Vale ressaltar que o efluente ainda necessita ser coletado, mas a utilização de grandes e extensas tubulações é evitada, assim como boa parte das obras civis existentes na execução de sistemas de coleta centralizados.

No contexto urbano de certos países, a centralização pode se tornar a solução para o tratamento de esgoto, mas a vertente descentralizada do esgotamento sanitário tem sido cada vez mais reconhecida mundialmente e aceita tanto pela comunidade acadêmica quanto por órgãos reguladores. De acordo com Libralato (2011), 25% da população dos EUA é atendida por pequenas estações descentralizadas, principalmente em zonas rurais ou onde a construção de sistemas coletores não seria viável.

De acordo com USEPA (2003), nos casos em que não haja viabilidade de coleta centralizada, os sistemas descentralizados são recomendados desde que o gerenciamento seja garantido, envolvendo a capacitação técnica e financeira de operação e manutenção do sistema. Desta forma, cabe ao esgotamento descentralizado complementar a abrangência dos sistemas coletivos, nas regiões onde estes não são viáveis, e devem ser geridos e fiscalizados com a mesma seriedade e competência pelos órgãos responsáveis.

2.4.3 Sistemas Centralizados x Sistemas Descentralizados

Libralato (2011) elaborou, em seu artigo, uma lista elencando algumas vantagens e desvantagens tanto do sistema descentralizado como do centralizado, embasado em publicações existentes sobre o tema. Essa lista serve como parâmetro para verificar os benefícios da implantação de sistemas de esgotamento descentralizado em inúmeras situações.

Segundo o autor algumas das vantagens dos sistemas coletivos sobre os descentralizados são:

- Ideal para grandes centros urbanos com alta densidade populacional;
- Controle facilitado por ser centralizado;
- O custo ainda é competitivo com os de sistemas descentralizados, caso já exista sistema de coleta;
- Potencial economia unitária em áreas de grande densidade populacional, já que 80 a 90% dos custos são oriundos da coleta;

E vantagens dos sistemas descentralizados sobre os centralizados estão citadas a seguir:

- Ideal em comunidades rurais, áreas suburbanas, industriais, comerciais ou residenciais;
- Contribui para o planejamento de desenvolvimento de cidades isoladas;
- É mais suscetível à valorização do efluente tratado;
- É aplicável a vários níveis de contribuintes, desde residências unifamiliares a pequenas comunidades;
- Pode permitir separação de urina e possível valorização;
- As valorizações de efluente e de lodo proporcionam um tratamento ambientalmente sustentável;
- Estações descentralizadas são geralmente compactas, com condições de operação bastante flexíveis e reduzido impacto paisagístico;
- Maior chance de se ocorrer eutrofização no corpo receptor de sistemas centralizados, devido ao grande volume despejado;
- Existe menor risco de haver infiltração de água de chuva ou vazamento de contaminantes;

2.5 LEGISLAÇÃO RELACIONADA

A Constituição Federal de 1988, em seu artigo 225, estabelece que:

Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações.

O artigo 196 estabelece a saúde como um direito de todos e dever do Estado; e o artigo 23, referente à competência comum da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios, consta que os mesmos devem, entre outras determinações, proteger o meio ambiente e combater a poluição em qualquer de suas formas.

Ainda na Constituição Federal, o artigo 200 atribui ao sistema único de saúde participar da formulação da política e da execução das ações de saneamento básico.

A partir das determinações estabelecidas pela Constituição, percebe-se a relação entre saneamento, meio ambiente e saúde e é neste âmbito que surge a necessidade do saneamento perante à Legislação: cabe ao Estado proteger o meio ambiente e combater a poluição, de modo a preservar a saúde pública e ambiental, um direito de todos.

As demais leis relacionadas a essa temática devem estar em consonância com as atribuições, os direitos e os deveres previstos na Constituição. É o que se observa nas Leis N° 6.938, 9.433, e 11.445, referentes ao Meio Ambiente, aos Recursos Hídricos e ao Saneamento Básico, respectivamente.

A Política Nacional do Meio Ambiente - Lei N° 6.938/81 tem por objetivo "a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental propícia à vida, visando assegurar, no País, condições ao desenvolvimento socioeconômico, aos interesses da segurança nacional e à proteção da dignidade da vida humana". Para atender a esse objetivo, estabeleceu-se que suas diretrizes serão formuladas em forma de Normas e Planos, que devem orientar as ações de caráter ambiental do Governo, assim como reger as atividades empresariais públicas e privadas relevantes. Essa Lei constitui o Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA como o órgão consultivo e deliberativo responsável pela proteção e melhoria da qualidade ambiental, "com a finalidade de assessorar, estudar e propor ao Conselho de Governo, diretrizes de políticas governamentais para o meio ambiente e os recursos naturais e deliberar, no âmbito de sua competência, sobre normas e padrões compatíveis com o meio ambiente ecologicamente equilibrado e essencial à sadia qualidade de vida". Entre suas resoluções, estão as Resoluções N° 357/05, 397/08 e 430/11, que dispõem sobre a classificação e o enquadramento dos corpos de água, assim como as condições e padrões de lançamento de efluentes.

A Lei N° 9.433/1997, que institui a Política Nacional dos Recursos Hídricos, possui como um de seus objetivos "assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões

de qualidade adequados aos respectivos usos". Para alcançar esse objetivo, toma-se como referência a classificação e o enquadramento dos recursos hídricos de acordo com as Resoluções do CONAMA para gerenciamento de seus usos.

Já a Lei N° 11.445/2007 estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico e para a política federal de saneamento básico. Dentre seus princípios fundamentais, estão a universalização do acesso e a integralidade do serviço, assim como a eficiência e a sustentabilidade econômica e a utilização de tecnologias apropriadas, articulando com as demais políticas relacionadas.

No quesito técnico do saneamento, foram criadas Normas que visam a fixar condições exigíveis para a adequação dos sistemas a serem implantados. No domínio do esgotamento sanitário, a NBR 9648/86 apresenta os requisitos mínimos para o estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário do tipo separador. Portanto, essa norma se aplica somente a sistemas dinâmicos. Para os sistemas estáticos, foram criadas a NBR 7.229/93 - Projeto, construção e operação de tanques sépticos, e a NBR 13.969/97, para Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos de tanques sépticos, que tem por objetivo preservar a saúde pública e ambiental, a higiene, o conforto e a segurança dos habitantes de áreas servidas por estes sistemas.

2.5.1 Padrões de lançamento de efluentes

A Resolução CONAMA n° 430/2011 dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução CONAMA n° 357/2005, com regência nacional (CONAMA, 2011). Ela pode ainda ser restringida pela legislação estadual, neste caso, representada pelo Decreto 14.250/1981, do Estado de Santa Catarina (SANTA CATARINA, 1998), e pelo mais recente Código Estadual do Meio Ambiente, Lei N° 14.675/2009. Os valores limites de acordo com cada parâmetro de poluição estão representados na Tabela 1.

Tabela 1 Padrões de lançamento de efluentes

Parâmetro	Unidade	CONAMA 430, ART. 16	Decreto Est. 14.250, Art. 19	Valor mais restringente
DBO5	% Remoção	60	80	80
Nitrogênio amoniacal	mg/L	20	10	10
Arsênio	mg/L	0,5	0,1	0,1
Bário	mg/L	5	5	5
Boro Total - ICP	mg/L	5	5	5
Cádmio	mg/L	0,2	0,1	0,1
Chumbo	mg/L	0,5	0,5	0,5
Cobre Solúvel	mg/L	1		1
Cromo	mg/L		5	5
Cromo III	mg/L	1		1
Cromo VI	mg/L	0,1	0,1	0,1
Estanho	mg/L	4	4	4
Ferro Solúvel	mg/L	15	15	15
Manganês Solúvel	mg/L	1	1	1
Mercurio	mg/L	0,01	0,005	0,005
Níquel	mg/L	2	1	1
Prata	mg/L	0,1	0,02	0,02
Selênio	mg/L	0,3	0,02	0,02
Zinco	mg/L	5	1	1
Oleos Minerais	mg/L	20	20	20
Oleos vegetais e gorduras animais	mg/L	50	30	30
Resíduos sedimentáveis	mg/L	1	1	1
Sólidos sedimentáveis	mL/L	1	1	1
Cianetos	mg/L	1	0,2	0,2
Fenóis	mg/L	0,5	0,2	0,2
pH - efluente		5 a 9	6 a 9	6 a 9
Temperatura	°C	< 40	< 40	< 40
Fluoretos	mg/L		10	10
Coliformes	NPM/100mL			
1,1 - dicloroetano	mg/L	1		1
Tetracloroeto de carbono	mg/L	1		1
Tricloroetano	mg/L	1		1
2,4,6 - triclorofenol	mg/L			
cis - 1,2- dicloroetano	mg/L	1		1
Cloroformio	mg/L	1		1
Sulfeto	mg/L	1	1	1

2.6 ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS PARA O TRATAMENTO DESCENTRALIZADO DE ESGOTOS

Em decorrência das necessidades de saneamento básico nas áreas não abrangidas por sistemas coletores e tratamento de esgoto, além da necessidade de se proteger o meio ambiente, torna-se essencial a

normatização de alternativas tecnológicas coerentes, de modo a garantir a qualidade do tratamento.

A principal solução adotada para o esgotamento sanitário descentralizado é a utilização de tanques sépticos. Os critérios e diretrizes para projeto, construção e operação adequados desses sistemas estão dispostos na norma NBR 7229/93 da ABNT. A NBR 13696/97 complementa a norma anteriormente citada, ampliando e detalhando as alternativas técnicas consideradas viáveis de tratamento complementar e disposição dos efluentes de tanques sépticos. A própria Norma salienta que não impede a fabricação de processos não citados nela, mais compactos, econômicos e eficientes (ABNT, 1997).

O objetivo do tanque séptico é separar os sólidos do efluente líquido, além de degradar os contaminantes através dos microrganismos presentes no próprio efluente e no tanque. O esgoto é segregado em partículas sólidas que sedimentam, efluente líquido composto basicamente por água e uma camada de espuma, que flutua à superfície. O tanque séptico deve promover uma queda na taxa de escoamento para permitir que haja essa decomposição, geralmente mantendo tempo de detenção de 2 a 3 dias. Os sólidos e a espuma devem ser removidos por profissionais habilitados com periodicidade de 1 a 5 anos, dependendo das dimensões do projeto. O efluente líquido deve passar por um tratamento complementar antes de ser adequadamente disposto, normalmente em áreas de absorção (USEPA, 2004). A Figura 1, extraída de ABNT (1993), apresenta o corte esquemático de um tanque séptico.

As alternativas de tratamentos complementares ao tanque séptico expostas pela Norma 7229/93 estão dispostas na Figura 2. Já a Tabela 2 apresenta um quadro comparativo das eficiências de tratamento dessas alternativas, já consideradas em conjunto com o tanque séptico; e a Tabela 3 apresenta algumas características das variadas alternativas (ABNT, 1997).

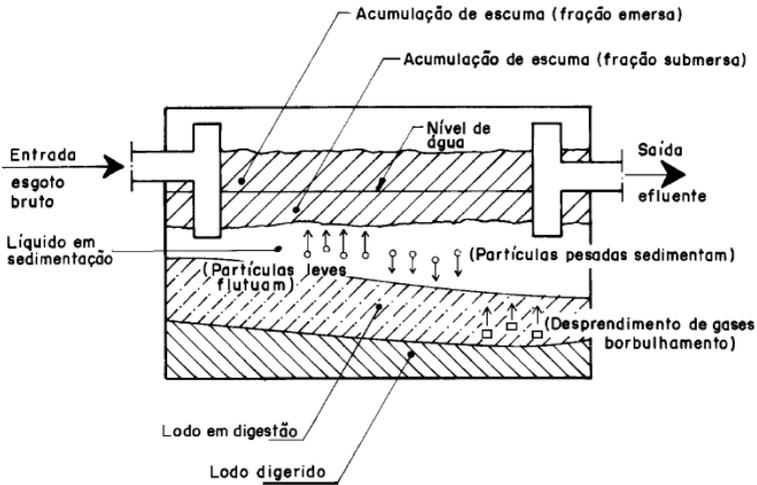


Figura 1 - Funcionamento geral de um tanque séptico.
(Fonte: ABNT, 1993)

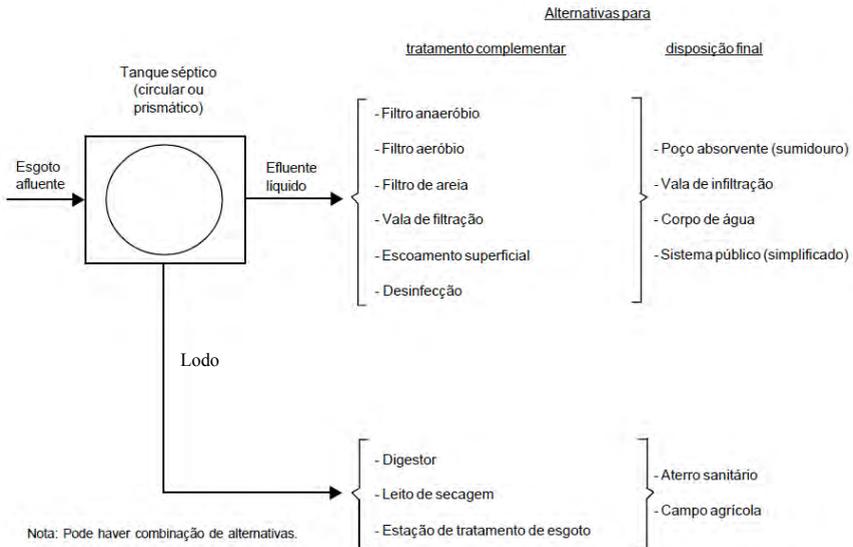


Figura 2 Alternativas para tratamento complementar e disposição final de tanques sépticos.
(Fonte: adaptado de ABNT, 1993)

Tabela 2 Faixas prováveis de remoção dos poluentes, conforme tipo de tratamento.

Parâmetro	Processo					
	Filtro anaeróbio submerso	Filtro Aeróbio	Filtro de Areia	Vala de filtração	Lodo Ativado em Batelada	Lagoa com plantas
DBO _{5,20}	40 a 75	60 a 95	50 a 85	50 a 80	70 a 95	70 a 90
DQO	40 a 70	50 a 80	40 a 75	40 a 75	60 a 90	70 a 85
SNF	60 a 90	80 a 95	70 a 95	70 a 95	80 a 95	70 a 95
Sólidos Sedimentáveis	70 ou mais	90 ou mais	100	100	90 a 100	100
Nitrogênio Amoniacal	-	30 a 80	50 a 80	50 a 80	60 a 90	70 a 90
Nitrato	-	30 a 70	30 a 70	30 a 70	30 a 70	50 a 80
Fosfato	20 a 50	30 a 70	30 a 70	30 a 70	50 a 90	70 a 90
Coliformes Fecais	-	-	99 ou mais	99,5 ou mais	-	-

(Fonte: adaptado de ABNT, 1997)

Tabela 3 Algumas características dos processos de tratamento.

Característica	Processo					
	Filtro anaeróbio submerso	Filtro Aeróbio	Filtro de Areia	Vala de filtração	Lodo Ativado em Batelada	Lagoa com plantas
Área necessária	Reduzida	Reduzida	Média	Média	Média	Média
Operação	Simples	Simples	Simples	Simples	Simples	Simples
Custo operacional	Baixo	Alto	Médio	Baixo	Alto	Baixo
Manutenção	Simples	Simples	Simples	Simples	Médio	Simples
Odor/cor no efluente	Sim	Não	Não	Não	Não	Não

(Fonte: adaptado de ABNT, 1997)

2.7 WETLANDS CONSTRUÍDOS

Além das alternativas citadas pelas Normas, uma tecnologia que tem sido consideravelmente difundida, tanto no meio acadêmico como no tratamento em escala real em diversos países, é a utilização de *wetlands* construídos, especialmente os filtros plantados com macrófitas. Segundo Moshiri (1993), esse processo consiste na passagem do líquido a ser tratado (geralmente esgoto ou um efluente), horizontal ou verticalmente, através de um leito de substrato de solo ou britas plantado com macrófitas (geralmente *Phragmites australis*). A eficiência dessa alternativa tem se mostrado satisfatória.

De acordo com Salati (2000), o *wetland* construído, também chamado de alagado construído, é qualquer ecossistema artificial que utiliza os princípios básicos de modificação da qualidade da água das várzeas naturais. Marques (1999) estende ainda mais seu conceito, propondo que existe, de fato, uma otimização das propriedades relativas às funções de ciclagem de nutrientes, remoção de matéria orgânica, princípios ativos e metais.

Os sistemas de tratamento do tipo *wetland* construído podem ser de fluxo horizontal ou vertical, dependendo das necessidades de tratamento exigidas. Os *wetlands* construídos são compostos principalmente por (HAMMER e BASTIEN, 1989):

- Um meio suporte com boa condutividade hidráulica, como areia ou brita, por exemplo;
- Macrófitas adaptadas a substratos anaeróbios saturados por água;
- Uma coluna d'água (fluindo internamente ou pela superfície);
- Comunidade microbiana adaptada às condições aeróbias e anaeróbias.

De acordo com Brix e Arias (2005), o esgoto deve ser submetido a um pré-tratamento em um tanque de sedimentação antes de ser lançado em um *wetland* construído de fluxo vertical, a fim de diminuir os riscos de colmatação no filtro ou nas tubulações.

Cunha (2006) elaborou uma tabela resumida dos mecanismos básicos de remoção de poluentes atuantes em um *wetland* construído de acordo com o parâmetro a ser removido (Tabela 4).

Tabela 4 Mecanismos de remoção de poluentes em um *wetland* construído

CONSTITUINTES DAS ÁGUAS RESIDUÁRIAS	MECANISMOS DE REMOÇÃO
Sólidos Totais	<ul style="list-style-type: none"> - Sedimentação/Filtração - Decomposição - Precipitação e co-precipitação - Oxidação pelos microrganismos - Assimilação pelas plantas
DBO e DQO	<ul style="list-style-type: none"> - Degradação microbiana (aeróbia e anaeróbia) - Sedimentação (acumulação de matéria orgânica na superfície do sedimento) - Filtração
Fósforo	<ul style="list-style-type: none"> - Reações de adsorção aos sítios das plantas e microbiota - Precipitação com Al, Fe, Ca e argilo minerais do solo - Formação de complexos com a matéria orgânica - Assimilação pelas plantas aquáticas e microbiota
Nitrogênio	<ul style="list-style-type: none"> - Amonificação seguida pela Nitrificação e Desnitrificação - Assimilação pelas plantas aquáticas - Volatilização da amônia
Sulfato	<ul style="list-style-type: none"> - Adsorção (troca catiônica) - Respiração do sulfato - Precipitação de sulfetos metálicos
Metais	<ul style="list-style-type: none"> - Sedimentação/Filtração - Reações de adsorção - Precipitação com material orgânico e acúmulo no sedimento
Metais	<ul style="list-style-type: none"> - Precipitação na forma de hidróxidos e sulfetos - Assimilação pelas plantas aquáticas - Transformações microbianas (oxidação)
Fenol	<ul style="list-style-type: none"> - Adsorção a matéria orgânica e partículas do solo - Degradação microbiana
Patógenos	<ul style="list-style-type: none"> - Sedimentação/Filtração - Radiação ultravioleta - Oxidação - Adsorção a matéria orgânica - Predação e ataque por vírus - Morte natural - Exposição a biocidas excretados por macrófitas

(Fonte: CUNHA, 2006)

2.7.1 *Wetland* Construído de Fluxo Horizontal (WCFH)

Nos filtros horizontais (Figura 3), o efluente é lançado ao filtro por um sistema de distribuição localizado em uma de suas extremidades e a coleta realizada na extremidade posterior, de forma a se estabelecer o fluxo horizontal (GRISSON, 1999). Na maior parte das vezes a alimentação ocorre de maneira contínua e o *wetland* se apresenta sempre saturado, devido a um aparelho controlador de nível a jusante do sistema.

Assim, não há oxigenação e é criada a condição anaeróbia no filtro. Os filtros horizontais apresentam boa eliminação de sólidos suspensos e de matéria orgânica dissolvida, mas não são eficazes na oxidação da amônia (GRISSON, 1999). Assim, necessitam de uma etapa complementar para nitrificação.

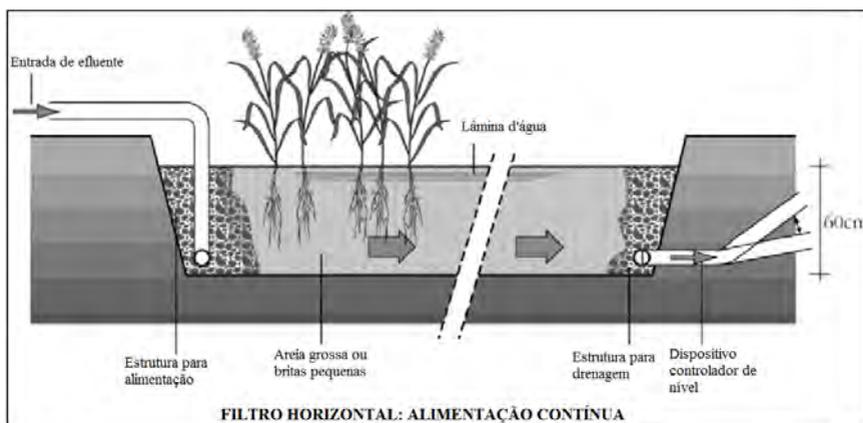


Figura 3 Corte esquemático de um WCFH
(Fonte: Adaptado de GRISSON, 1999)

2.7.2 *Wetland* Construído de Fluxo Vertical (WCFV)

Dentre os diferentes tipos de *wetland* construído, destacam-se os filtros plantados com macrófitas de escoamento vertical, neste trabalho representados pela sigla WCFV, que abrevia literalmente o título deste capítulo.

Neste tipo de filtro, as macrófitas são plantadas no substrato filtrante, geralmente areia ou brita, e o processo de tratamento é

realizado, sobretudo, pelos micro-organismos fixados tanto às raízes das plantas quanto ao próprio substrato.

A alimentação da unidade deve ser intermitente, por um sistema de bateladas, ou seja, após armazenamento temporário, o efluente a ser tratado é despejado rapidamente sobre o filtro, normalmente por bombeamento, de forma a criar uma lâmina d'água sobre a superfície. Este procedimento é realizado para que haja oxigenação e distribuição homogênea do efluente (GRISON, 1999). O efluente percola verticalmente pelo filtro, sendo coletado no fundo do mesmo por meio de um sistema de drenagem.

Os filtros verticais são, por via de regra, aeróbios. A oxigenação garante, além da degradação de matéria orgânica dissolvida, uma boa nitrificação. Devido à aeração existente, os processos anaeróbios são mínimos, portanto não há formação de mau odor (GRISON, 1999).

Por ação das macrófitas emergentes, ocorre a introdução de oxigênio na massa líquida promovida pela transferência da parte aérea para as raízes dessas plantas. Porém, a quantidade de O₂ introduzida pelo processo de bateladas é muito superior à quantidade fornecida pela planta (SEZERINO, 2006).

É necessário haver alternância de períodos de alimentação e de repouso entre filtros, podendo um só ser dividido em quadrantes de alimentação, de modo a permitir a degradação de matéria orgânica acumulada, a mineralização de partículas em suspensão retidas pelo filtro e regular o crescimento populacional do biofilme (GRISON, 1999).

Para o bom funcionamento e aumento de eficiência de *wetlands* construídos de fluxo vertical implantados no clima subtropical brasileiro, estudos vêm sendo realizados em relação aos parâmetros de dimensionamento e aplicação de cargas, como mostra a Tabela 5, com base na literatura referenciada.

Tabela 5 Comparativo entre parâmetros de projeto de WCFV segundo literatura.

Parâmetros	(SEZERINO, 2006)	(PLATZER, 2007) Fase 1	(PLATZER, 2007) Fase 2
Vazão	-	650 L/dia	910 L/dia
Alimentação	3 x /dia	4 x 5min/dia	4 x 7min/dia
Carga Hidráulica	230 mm/dia	146 mm/dia	205 mm/dia
Concentração média de DBO	-	189 mgDBO/L	170 mgDBO/L
Carga Orgânica	0,040 kgDQO/m ² .dia	0,028 kgDBO/m ² .dia	0,035 kgDBO/m ² .dia
Concentração média de Nitrogênio	-	72 mgNTK/L	57 mgNTK/L
Carga Nitrogênio	0,010 kg NH ₄ /m ² .dia	0,010 kg NTK/m ² .dia	0,012 kg NTK/m ² .dia
Carga Sólidos Sedimentáveis	0,015 kg SS/m ² .dia	-	-

3 METODOLOGIA

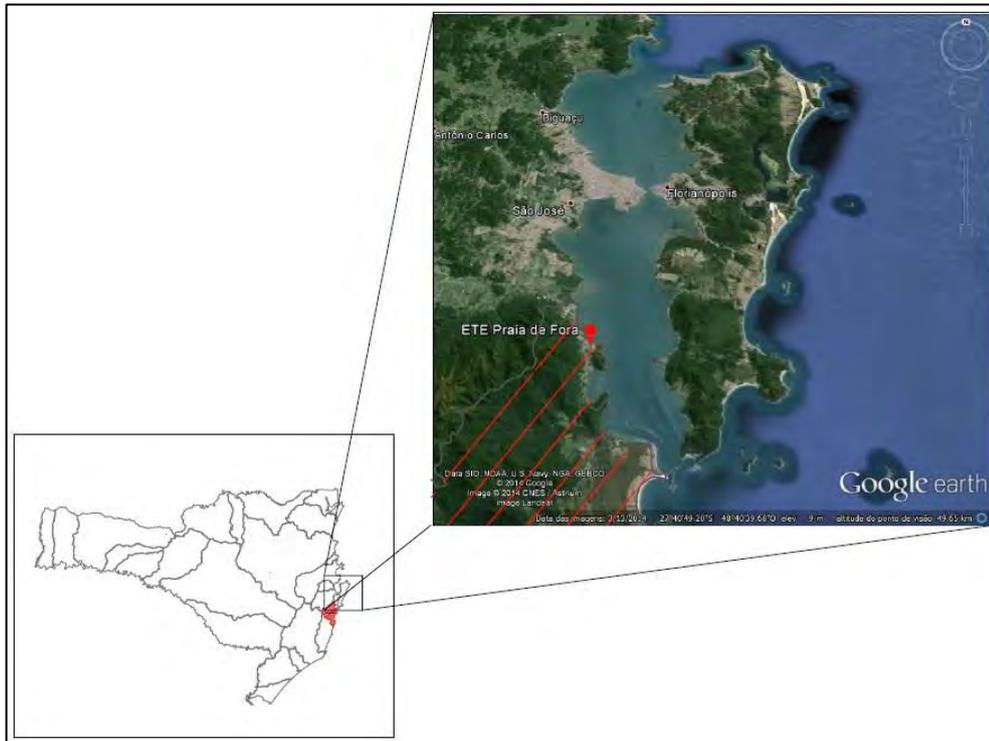
3.1 APRESENTAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1.1 Local de Estudo

O sistema de *wetland* construído em estudo está localizado em Praia de Fora, Distrito de Enseada do Brito, Município de Palhoça-SC (Figura 4), e faz parte de uma estação de tratamento de esgotos (ETE) destinada a atender o condomínio Praia de Fora Residence (Figura 5), com capacidade de até 2200 pessoas. No entanto, atualmente, o sistema recebe contribuição de aproximadamente 100 moradores. As coordenadas geográficas da ETE são 27°45'4.82"S e 48°37'39.35"O.

O município faz parte da bacia hidrográfica do Rio da Madre, pertencente à Região Hidrográfica Litoral Centro (RH-8) do estado de Santa Catarina, de acordo com classificação da Agência Nacional de Águas – ANA (Figura 6). Seguindo a classificação Köppel para tipos climáticos (PANDOLFO et al., 2002), o estado de Santa Catarina apresenta um clima mesotérmico úmido (sem estação seca) – Cf, e o subtipo que abrange o município de Palhoça é o clima subtropical Cfa, descrito a seguir:

Cfa - Clima subtropical; temperatura média no mês mais frio inferior a 18°C (mesotérmico) e temperatura média no mês mais quente acima de 22°C, com verões quentes, geadas pouco frequentes e tendência de concentração das chuvas nos meses de verão, contudo sem estação seca definida (PANDOLFO et al., 2002).



**Figura 4 Localização da ETE Praia de Fora na Bacia do Rio da Madre.
(Fonte: Adaptado de SIRHESC e Google Earth)**



Figura 5 Foto aérea do condomínio Praia de Fora Residence e da ETE em estudo.
(Fonte: Google Earth. Data da imagem: 13/03/2014)

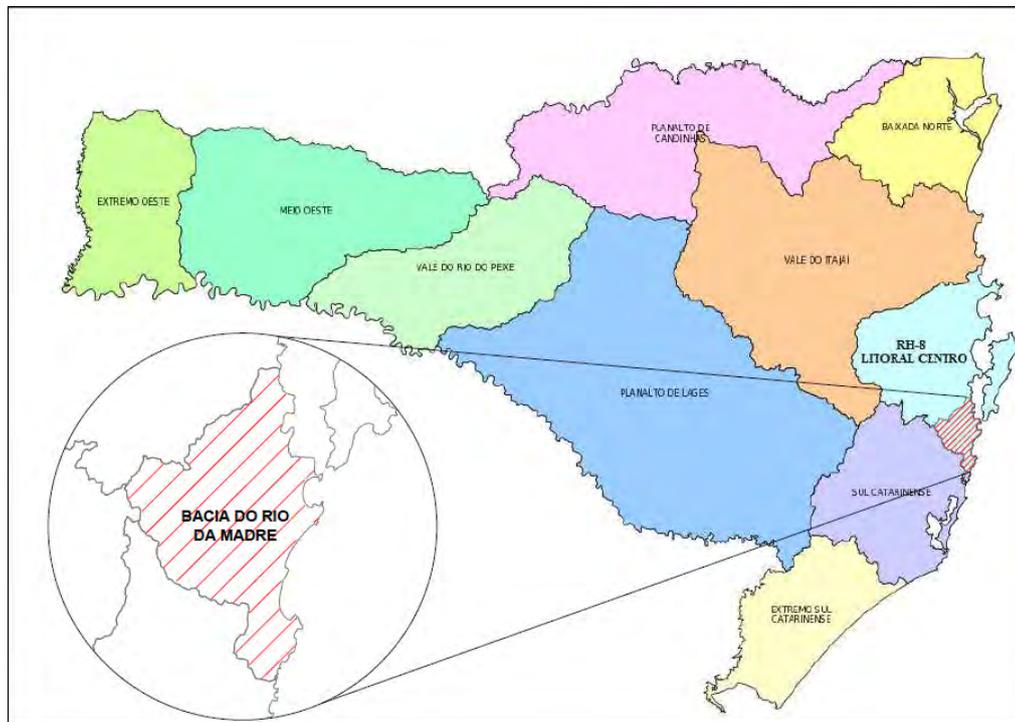


Figura 6 Localização da bacia do Rio da Madre na RH-8, Litoral Centro de Santa Catarina.
(Fonte: Adaptado de SIRHESC)

3.1.2 Descrição da Estação de Tratamento

Como a estação de tratamento atende, atualmente, a apenas 100 moradores de uma capacidade total de 2200, pode-se inferir que ela opera em um regime inicial, com baixa contribuição de esgoto. Todas as considerações realizadas ao longo deste trabalho foram feitas levando em conta essa condição.

A ETE é composta por uma estação elevatória que recebe o efluente proveniente das residências do condomínio, seguida de um reator anaeróbio compartimentado (RAC) e um *wetland* construído de fluxo vertical (WCFV), sendo essa última unidade o objeto de estudo do monitoramento realizado (Figura 7). Após a passagem pelas unidades de tratamento, o efluente passa por um tanque de contato onde é feita a desinfecção com pastilhas de cloro e, então, é disposto em um córrego que deságua no mar.

A Figura 7 apresenta o fluxograma do sistema, destacando os pontos onde foram realizadas as amostragens para o monitoramento da qualidade do efluente ao longo do tratamento.

O WCFV possui uma área superficial de aproximadamente 3150 m² dividida em quatro quadrantes de alimentação, como demonstrado na Figura 7. A aplicação de carga é realizada em apenas dois dos quadrantes simultaneamente, totalizando uma área de aplicação de aproximadamente 1575 m² (Figura 8)

Implantada em 2006, a estação é monitorada desde 2013 pela equipe do Grupo de Estudos em Saneamento Descentralizado da UFSC (GESAD), do qual este trabalho faz parte.

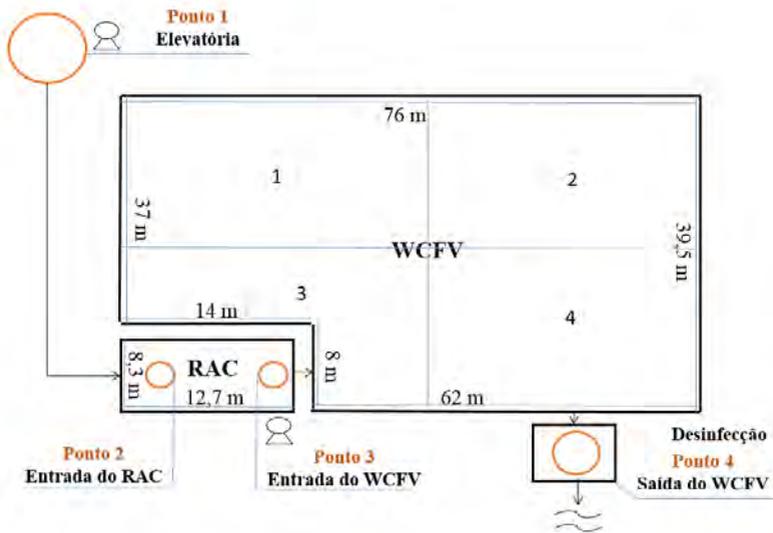


Figura 7 Representação esquemática em planta da ETE de Praia de Fora

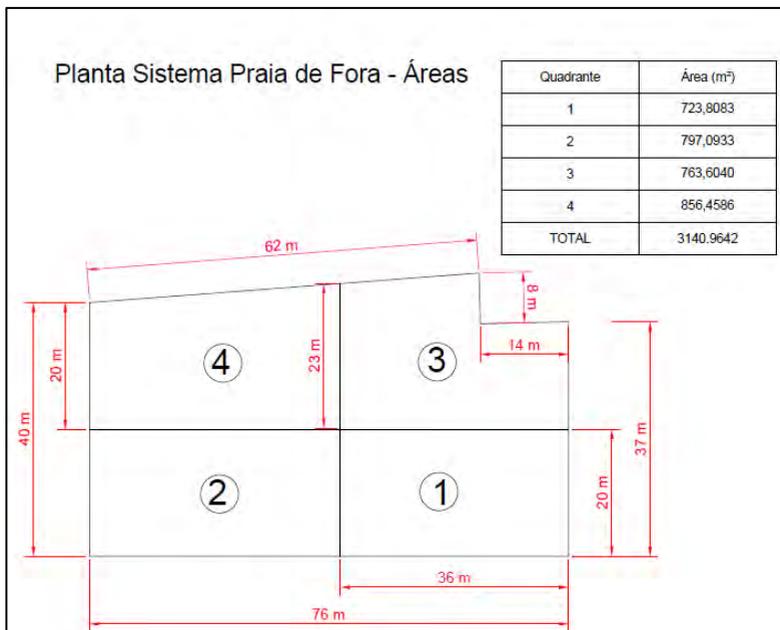


Figura 8 Dimensões de área da ETE de Praia de Fora

O WCFV da ETE é, em sua constituição, um filtro de areia plantado com macrófitas da espécie *Cyperus papyrus* (Figura 9), distribuídas por toda sua superfície. A profundidade do filtro em relação ao solo é de aproximadamente 100 cm e seu perfil vertical, representado na Figura 10, é composto por uma camada de 20 cm de brita no fundo, por onde passa a tubulação de drenagem do efluente tratado; seguida por uma camada de 50 cm de areia; outra camada de 10 cm de brita, para facilitar a distribuição da alimentação; e outros 20 cm de vão livre. O filtro é estanque, isolado do solo por uma manta de PEAD.



Figura 9 Wetland construído de fluxo vertical (WCFV) plantado com *Cyperus papyrus*

A alimentação do WCFV é realizada por duas bombas que são acionadas alternadamente por um mecanismo automatizado utilizando boia de nível. O tempo de acionamento do bombeamento é armazenado e registrado em um sistema de controle através de sensoriamento remoto.

O bombeamento de alimentação do WCFV é realizado no último compartimento do RAC, cujas dimensões de área são 8,30 m e 3,00 m. Assim, a partir da variação de nível do reservatório, é possível determinar, também, a variação de volume.

3.2 PERÍODO DE MONITORAMENTO DA ETE

Durante o período de 01 de março de 2014 a 03 de julho de 2014, foram realizadas oito visitas à ETE de Praia de Fora para coleta de amostras e obtenção de dados de campo. O planejamento inicial era de se realizar visitas quinzenais à estação, entretanto devido ao mau tempo em certas datas, a mesma precisou ser adiada, alterando o intervalo entre algumas saídas.

Nos dias de visita técnica, o monitoramento ocorreu das 08:00 às 18:00, tanto para os ensaios de vazão quanto para a coleta de amostras, sendo esse o período de contribuição estudado neste trabalho.

A Tabela 6 apresenta o cronograma de obtenção dos dados coletados ao longo dos quatro meses de trabalho prático, representados semanalmente pelo dia correspondente à segunda-feira de cada semana. Nota-se que dois dos parâmetros estudados – dados pluviométricos e de acionamento das bombas, podem ser obtidos diariamente e à distância, sem a necessidade de visita a campo.

As análises laboratoriais dos parâmetros estudados foram realizadas sempre na mesma semana em que houve a coleta das amostras.

Tabela 6 Cronograma de monitoramento e obtenção de dados

Semanas:		03/mar	10/mar	17/mar	24/mar	31/mar	07/abr	14/abr	21/abr	28/abr	05/mai	12/mai	19/mai	26/mai	02/jun	09/jun	16/jun	23/jun	30/jun	
Tipos de dados coletados																				
Dados pluviométricos																				
Ensaio de vazão de entrada WCFV																				
Ensaio de vazão de saída WCFV																				
Acionamento das bombas																				
Coleta de amostra para DQO																				
Coleta de amostra para NH4																				
Coleta de amostra para ST																				

Legenda:

- Semana em que houve visita à ETE
- Semana em que houve coleta de dados do determinado parâmetro

3.3 COLETA DE DADOS PLUVIOMÉTRICOS

Os dados de chuva foram coletados a partir de duas fontes. A série histórica do sistema de informações hidrológicas *HidroWeb*, disponibilizado pela ANA, apresenta dados pluviométricos dos anos de 1945 a 1953 e de 1989 a 2013, no entanto não dispõe de informações do período de monitoramento da ETE. A estação pluviométrica de fornecimento dos dados é monitorada pela EPAGRI e está localizada na ETA CASAN do município da Palhoça, a 10,3 km do local de estudo (Figura 11). Seu código de referência no sistema *HidroWeb* é 02748004 (Figura 12).

A série histórica apresenta informações como precipitação diária, precipitação total mensal e anual, precipitação diária máxima por mês e número mensal de dias de chuva.



Figura 11 Localização da estação pluviométrica em relação à ETE Praia de Fora
(Fonte: Adaptado de Google Earth)

HidroWeb - Estação - Google Chrome

hidroweb.ana.gov.br/Estacao.asp?Codigo=2748004

ETA CASAN - MONTANTE (02748004)

Dados da Estação

Código	02748004
Nome	ETA CASAN - MONTANTE
Código Adicional	ANA
Bacia	ATLÂNTICO, TRECHO SUDESTE (8)
Sub-bacia	RIOS TUBARÃO, ARARANGUÁ E (84)
Rio	-
Estado	SANTA CATARINA
Município	PALHOÇA
Responsável	ANA
Operadora	EPAGRI
Latitude	-27:41:34
Longitude	-48:42:35
Altitude (m)	20
Área de Drenagem (km2)	-

Consultar série de: ▼

[Arquivo Access](#) [Arquivo Texto](#)

Figura 12 Informações da estação pluviométrica de código 02748004
(Fonte: www.hidroweb.ana.gov.br)

Para obter os dados pluviométricos do período de monitoramento, foi solicitado junto à EPAGRI o envio de dados mais atualizados da série histórica da mesma estação, visto que o sistema de informações disponibilizado pela ANA não fornece os valores de 2014. Os dados fornecidos apresentam a precipitação diária entre os meses de fevereiro e julho de 2014.

A partir dos valores de precipitação mensal obtidos na série histórica de 1989 a 2013, foram calculadas as precipitações médias de cada mês do ano. Desta forma, torna-se possível comparar a quantidade de chuva dos meses do período de monitoramento com a média calculada.

Os dias de chuva relatados pelo sistema de monitoramento da EPAGRI foram organizados em uma tabela para melhor visualização de sua ocorrência e de uma possível interferência no balanço de vazões.

3.4 TEMPO DE BOMBEAMENTO DE ALIMENTAÇÃO DO WCFV

O sistema de bombeamento de alimentação do WCFV da ETE de Praia de Fora é acionado automaticamente de duas formas: com a utilização de boias de nível e também por um timer, que aciona a cada 2 horas caso a vazão não atinja o nível desejado. O funcionamento é alternado entre duas bombas posicionadas a montante do sistema em estudo. As informações de qual bomba é ativada, do instante e do período de acionamento são armazenadas e registradas pela empresa operadora da ETE através de um sistema de sensoriamento remoto.

As informações de tempo de funcionamento das bombas de alimentação do WCFV foram fornecidas e trabalhadas, em conjunto com os dados de vazão de funcionamento da bomba, para calcular o volume de esgoto que é lançado por batelada no WCFV. A Tabela 7 representa um exemplo de momentos em que as bombas foram acionadas no dia 23/04/2014, apresentando, também seus intervalos de funcionamento.

Os dados obtidos abrangem todo o período de estudos, de março a junho de 2014.

Tabela 7 Exemplo dos instantes de acionamento das bombas de alimentação do WCFV

Data	Hora	Nível Reator	B. Entr. 1	B. Entr. 2
23/04/2014	09:11:43	Trab.	Desligada	Desligada
23/04/2014	09:26:43	Trab.	Desligada	Desligada
23/04/2014	09:34:37	Trab.	Desligada	Desligada
23/04/2014	09:34:38	Trab.	Desligada	Ligada
23/04/2014	09:41:42	Trab.	Desligada	Ligada
23/04/2014	09:43:28	Inf.	Desligada	Ligada
23/04/2014	09:43:29	Inf.	Desligada	Desligada
23/04/2014	09:43:30	Inf.	Desligada	Desligada
23/04/2014	09:43:31	Inf.	Desligada	Desligada
23/04/2014	15:14:56	Inf.	Desligada	Desligada
23/04/2014	15:25:59	Trab.	Desligada	Desligada
23/04/2014	15:26:47	Trab.	Desligada	Desligada
23/04/2014	15:34:42	Trab.	Desligada	Desligada

23/04/2014	15:34:43	Trab.	Ligada	Desligada
23/04/2014	15:41:15	Inf.	Ligada	Desligada
23/04/2014	15:41:16	Inf.	Desligada	Desligada
23/04/2014	15:41:47	Inf.	Desligada	Desligada
23/04/2014	15:56:47	Inf.	Desligada	Desligada

Fonte: Extraído de *software* de sensoriamento remoto disponibilizado pela empresa operadora da estação

3.5 ENSAIOS DE MEDIÇÃO DE VAZÃO DE BOMBEAMENTO E DE SAÍDA DO WCFV

Os ensaios de medição de vazão foram realizados nos dias de visita à estação na entrada e na saída do WCFV.

A vazão de alimentação multiplicada pela concentração do parâmetro analisado (determinada em análises) resulta na carga aplicada durante o tempo de bombeamento, que também é conhecido. Analogamente, a vazão de saída multiplicada pela concentração do poluente neste ponto resulta na carga final do efluente tratado.

Como a estação de tratamento não possui medidores instalados, foram realizados ensaios para determinar a vazão de bombeamento afluente e a vazão efluente ao WCFV. Os métodos serão detalhados no decorrer deste capítulo.

3.5.1 Ensaios de medição de vazão de bombeamento de entrada do WCFV

Foram utilizados dois métodos de determinação indireta para medição de vazão na entrada do WCFV. Os dois métodos consistem na medição dos níveis iniciais e finais de esgoto no compartimento do RAC onde ocorre o bombeamento de alimentação do *wetland* e na relação dessa diferença de níveis com o tempo de acionamento das bombas. As diferentes metodologias dos ensaios estão descritas na sequência.

3.5.1.1 Método indireto com manipulação do bombeamento

O Método 1 consiste na medição dos níveis de esgoto no compartimento de bombeamento com manipulação e controle do acionamento das bombas, de forma manual, e interrupção do fluxo de entrada de esgoto no tanque de bombeamento. Assim, o período de

funcionamento das bombas durante o ensaio é determinado pelo operador e não há nenhuma variação do nível no tanque além da que ocorre devido ao bombeamento.

Este ensaio foi realizado apenas uma vez, no dia 08 de abril de 2014, com o auxílio de um operador da empresa responsável pela manutenção e operação da estação de tratamento.

Primeiramente, foi acionada manualmente a bomba da estação elevatória a montante do RAC para que o nível de esgoto no compartimento de sucção da alimentação do WCFV fosse suficiente para se realizar diversas medições de nível ao longo do bombeamento e, assim, determinar a vazão média durante o ensaio. Neste caso, o nível foi elevado até aproximadamente 55 cm de altura.

Após desligar a estação elevatória, foram bloqueadas todas as entradas de esgoto no compartimento de sucção do bombeamento encaixando *caps* nas tubulações responsáveis pela passagem do esgoto para a câmara de bombeamento. Desta forma, a única variação de nível no compartimento era causada pelo bombeamento de alimentação do WCFV, possibilitando a realização do ensaio.

Com todas as entradas do compartimento bloqueadas, mediu-se o nível inicial de esgoto inserindo uma régua graduada (Figura 13) até tocar o fundo do tanque e efetuando a leitura do comprimento molhado na régua após sua retirada do RAC. Registrou-se o valor.



Figura 13 Medições do nível de esgoto dentro do último compartimento do RAC

O bombeamento de alimentação do WCFV foi acionado manualmente e o tempo de funcionamento da bomba cronometrado. Após alguns testes, determinou-se o tempo de 3 minutos para que a variação de níveis fosse significativa de modo a diminuir a margem de incertezas na medição. Após o fim do tempo determinado, desligou-se o bombeamento e mediu-se o nível final do esgoto dentro do RAC da mesma forma descrita anteriormente para medição de nível.

A bomba foi acionada novamente e o tempo mais uma vez cronometrado até atingir os 3 minutos determinados. O novo nível foi medido e registrado. Este procedimento foi repetido outras três vezes para a obtenção de mais dados e possibilitar um valor médio mais preciso.

Conhecendo as dimensões do compartimento (área superficial de 8,30m x 3,00m) e a variação de nível, é possível determinar o volume bombeado no tempo determinado e, assim, a vazão de operação das bombas em cada um dos pulsos. A vazão de operação média da bomba foi encontrada calculando-se a média entre as vazões determinadas pra cada um dos pulsos realizados durante o ensaio.

3.5.1.2 Método indireto sem manipulação do bombeamento

O Método 2 consiste na medição dos níveis de esgoto do compartimento de bombeamento nos momentos em que a bomba é acionada e desligada pelo sistema automatizado da estação, sem manipulação da atividade do sistema. Por não precisar do auxílio de um operador da empresa responsável, o ensaio foi realizado em todas as oito idas à ETE, na ocorrência de acionamento do bombeamento durante o período de visita.

A alimentação do WCFV é realizada por duas bombas que são acionadas alternadamente por um mecanismo automatizado utilizando boia de nível, portanto o momento exato em que se inicia o bombeamento é desconhecido.

Nos ensaios, quando constatou-se o acionamento de uma das bombas, foi iniciada a cronometragem do tempo e mediu-se instantaneamente o nível inicial de esgoto inserindo uma régua graduada, como descrito no método anterior e representado na Figura 13. Quando a bomba sinalizou seu desligamento, paralisou-se o cronômetro e mediu-se o nível final de esgoto no compartimento. Foram registrados a diferença de níveis e o tempo de acionamento das bombas.

Assim como no primeiro método, é possível determinar o volume bombeado pela diferença de níveis, tendo conhecimento das dimensões do compartimento. A vazão de operação da bomba é igual ao volume pulsado sobre o tempo de bombeamento medido.

Diferentemente do Método 1, as entradas do último compartimento do RAC não foram bloqueadas, havendo uma leve interferência no valor de vazão calculado, uma vez que a diferença de níveis calculada no segundo método não resulta unicamente do bombeamento.

3.5.2 Ensaio de medição de vazão de saída do WCFV

Para a medição de vazão na saída do WCFV, foram realizados ensaios pelo método direto volumétrico. Este método se baseia no tempo gasto por um determinado fluxo de água para preencher um volume conhecido, resultando na vazão do fluxo.

O efluente tratado na ETE de Praia de Fora verte em um tanque de contato para cloração, onde foram realizados os ensaios deste parâmetro. Posicionando um balde na saída do WCFV, foi coletado efluente durante um período conhecido de tempo, com o auxílio de um cronômetro. Após o tempo determinado, mediu-se o volume exato coletado no balde utilizando uma proveta graduada. Nota-se que, no momento de ensaio, todo o efluente que verte pela tubulação deve ser coletado, para não gerar erro no cálculo da vazão.

O ensaio foi realizado de 30 em 30 minutos nos dias em que houve visita à ETE, geralmente entre 08:00 e 17:00 horas. O resultado final é uma curva das diferentes vazões ao longo do dia, com interferência direta do bombeamento de alimentação do WCFV e da ocorrência de chuvas.

3.6 VAZÃO DE ENTRADA DIÁRIA

A vazão de entrada diária é um produto da vazão de bombeamento de alimentação do WCFV pelo tempo em que as bombas ficaram ligadas por dia. A vazão de bombeamento foi determinada pelos dois métodos descritos anteriormente neste trabalho, e a obtenção dos tempos de acionamento das bombas se deu pelo sistema automatizado descrito anteriormente.

Apesar do Método 1 (Tabela 9) apresentar resultados relativamente mais confiáveis que o método 2 (Tabela 10), devido ao

maior controle da entrada de esgoto no último compartimento do RAC, os valores de vazão de bombeamento foram constatados muito próximos nos dois métodos.

Desta forma, optou-se pela utilização do Método 2 para medição de vazão de bombeamento na continuidade do trabalho, visto que é um procedimento mais prático de ser executado, podendo ser realizado pelos próprios membros do GESAD, diferentemente do Método 1.

Assim, a vazão de bombeamento considerada é igual à média das vazões registradas nos ensaios do Método 2, realizados durante as visitas à estação, e é igual a 11,65 L/s.

Com acesso ao banco de dados de acionamento das bombas, foi possível trabalhar com as informações armazenadas utilizando o programa *Microsoft Excel* para transformar os dados de lógica (Ligado/Desligado) e horários de mudança de situação das bombas em tempo de funcionamento por pulso.

Sabendo a que horas a bomba foi acionada e por quanto tempo permaneceu ligada, é possível descobrir quanto tempo ela funcionou por dia.

O produto do tempo de funcionamento diário pela vazão média de bombeamento obtida pelo Método 2 resulta na vazão de entrada por dia.

3.7 TAXA HIDRÁULICA APLICADA

A taxa de efluente aplicada, em termos hidráulicos, é a relação entre vazão de entrada e a área superficial de aplicação da alimentação, que é sempre realizada em quadrantes alternados: ora nos quadrantes 1 e 3, ora nos 2 e 4 (Figura 8). A área de aplicação é, portanto, aproximadamente 1575 m² em ambas as situações.

Assim, a taxa hidráulica aplicada por dia pode ser comparada com valores citados na literatura para adequar o sistema a parâmetros ideais de eficiência para as condições climáticas locais.

3.8 COLETA DE AMOSTRAS E ANÁLISES LABORATORIAIS DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE

O procedimento de análises físico-químicas foi realizado sempre nos dias seguintes à coleta de amostras na ETE de Praia de Fora, durante os quatro meses da pesquisa. As análises laboratoriais foram desenvolvidas por membros da equipe do GESAD, uma vez que os

dados obtidos servem como base para mais de uma linha de pesquisa do grupo.

Na ETE de Praia de Fora, foram coletadas amostras de esgoto do primeiro compartimento do RAC; da entrada do WCFV, no compartimento de bombeamento; e na saída do WCFV, no vertedouro localizado a montante do tanque de cloração.

Para análise dos parâmetros estudados - DQO, NH_4 e Sólidos Totais, foram coletadas amostras compostas nos pontos de entrada e saída do WCFV. Para tanto, em cada visita, coletou-se um total de 5 litros de amostra em cada um dos pontos, sendo 500 mL a cada hora das 8:00 às 17:00. Para análises do esgoto do primeiro compartimento do RAC, coletou-se uma amostra simples às 17:00 horas.

Todas as amostras coletadas foram armazenadas em garrafas plásticas e mantidas em recipientes térmicos com gelo, de forma a preservar suas características físicas, químicas e biológicas para a realização das análises.

Os parâmetros analisados estão descritos na Tabela 8 e os mesmos seguem as recomendações do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater – APHA (2005) e Método de Vogel (1981).

Tabela 8 Metodologia analítica empregada na análise dos parâmetros analisados.

Parâmetros	Metodologia Empregada	Unidade
DQO	Refluxo Fechado - (APHA, 2005)	mg/L
ST	Método Gravimétrico - (APHA, 2005)	mg/L
SS	Método Gravimétrico - (APHA, 2005)	mg/L
N-NH_4^+	Método de Vogel - (1981)	mg/L

As análises de laboratório foram realizadas nas dependências da UFSC, no Laboratório Integrado de Meio Ambiente – LIMA e no Laboratório do Grupo de Estudos em Saneamento Descentralizado – GESAD.

Para este estudo, foram analisados em laboratório os seguintes parâmetros: demanda química de oxigênio (DQO), sólidos totais (ST) e nitrogênio amoniacal (N-NH_4^+).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 INTERFERÊNCIA DAS CHUVAS NO WCFV

Como resultado do monitoramento dos dados pluviométricos da região da ETE, são expostos os valores totais mensais de precipitação pluviométrica durante os meses de março a junho de 2014, relacionados à média mensal obtida a partir da série histórica fornecida pela EPAGRI (Figura 14).

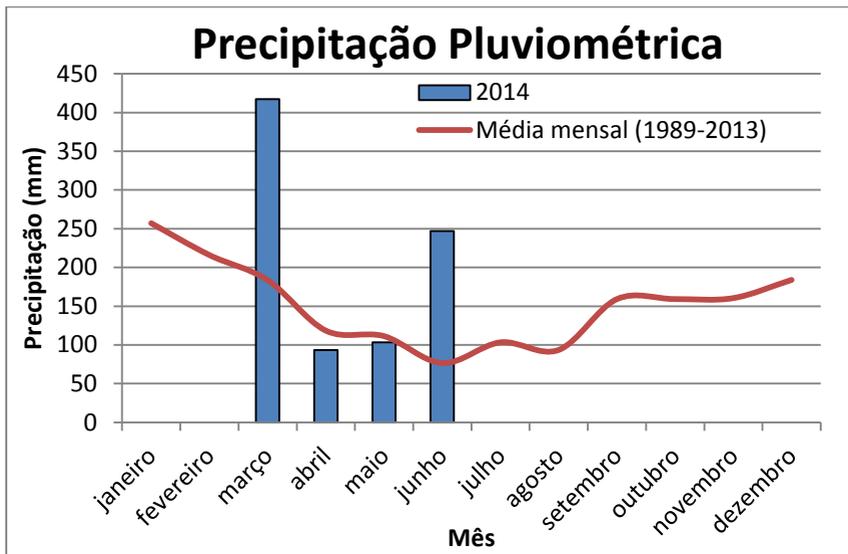


Figura 14 Precipitação pluviométrica mensal de março a julho de 2014

É possível observar que a maior precipitação do período de estudo ocorreu em março, sendo que tanto neste mês quanto em junho a precipitação mensal foi muito maior do que a média dos referidos meses. As precipitações de abril e maio estiveram dentro do previsto pela série histórica.

Observa-se que em abril inicia-se a época de seca, que normalmente perdura até o mês de agosto. Entretanto, como ressaltado anteriormente, o mês de junho de 2014 apresenta uma totalidade mensal de precipitação muito maior que a média prevista.

A Figura 15 apresenta a distribuição de chuvas diárias ao longo dos quatro meses de monitoramento.

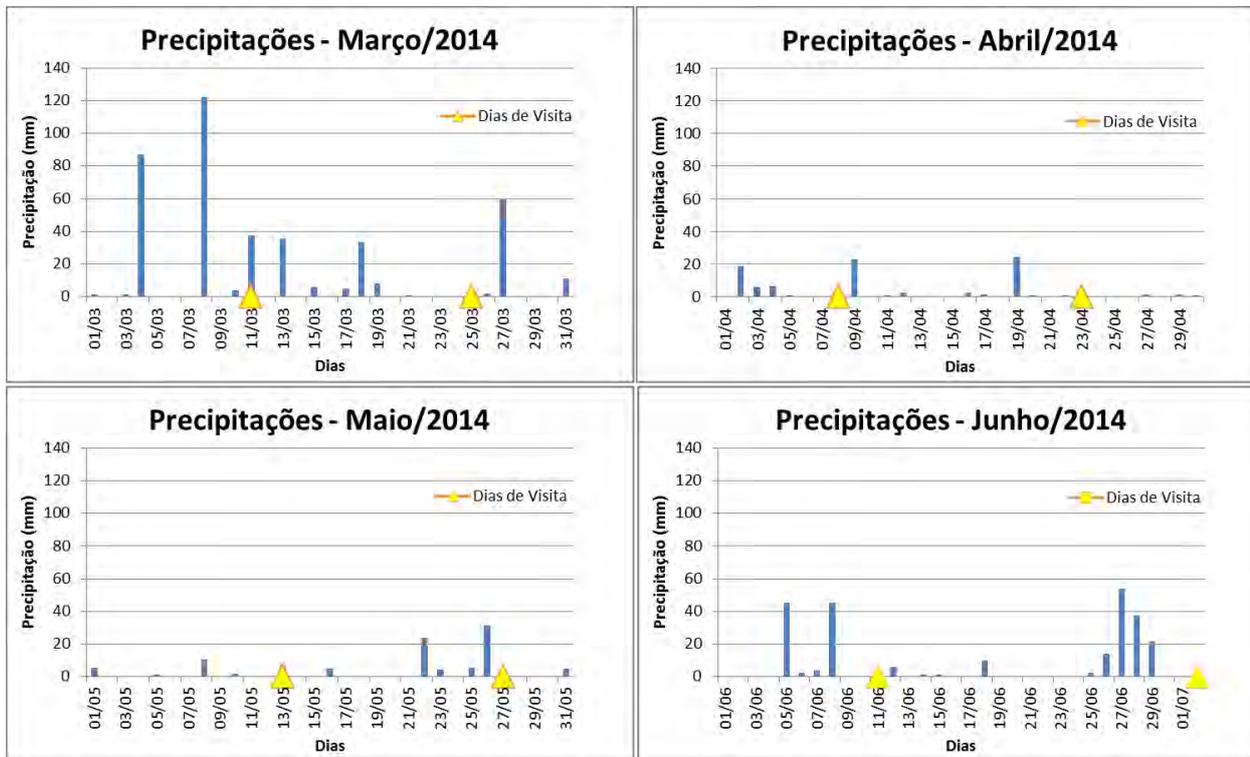


Figura 15 Precipitações diárias de março a junho de 2014.

É possível notar na Figura 15 que houve precipitação em dia de visita à estação no dia 11/03 e que choveu nos dias anteriores à visita nos dias 13/05 e 27/05. Essa interferência é perceptível ao analisar as vazões de saída do WCFV.

A chuva tem uma importante influência em sistemas do tipo *wetland*, em consequência da grande área superficial exposta ao ambiente. A Figura 16 representa o acréscimo de vazão diária no WCFV devido à ação pluviométrica.

Em grande parte dos dias, a vazão oriunda de precipitações supera em muito a vazão afluente, o que dilui a concentração de poluentes. Essa ocorrência pode gerar falsas conclusões em relação à eficiência de remoção de poluentes, uma vez que a diluição diminui a concentração de poluentes, mas a quantidade de matéria poluente pode continuar sendo a mesma, sem haver tratamento.

Como será detalhado adiante, a vazão média diária de bombeamento no *wetland* construído é de 18,63 m³/dia. Fazendo uma média do volume de chuva acumulado por dia pelo WCFV, obtém-se 21,87 m³/dia, que são acrescidos à vazão de bombeamento. Ou seja, por influência da chuva, há um acréscimo de 117,4% em termos de volume diário de passagem pelo *wetland*.

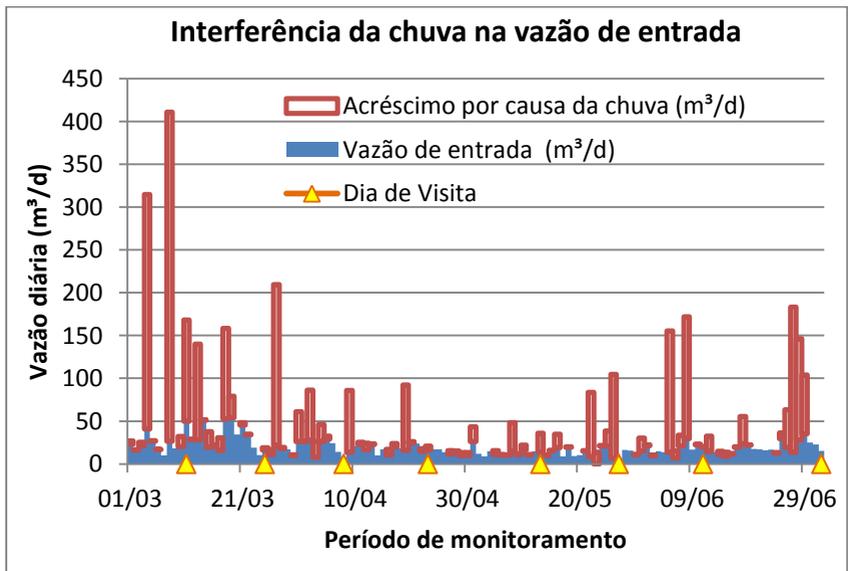


Figura 16 Interferência da chuva na vazão de entrada

4.2 VAZÃO AFLUENTE

Como já foi explicado na metodologia, foi escolhido o Método 2, sem manipulação do bombeamento (Tabela 10), para determinação da vazão de operação das bombas, devido à sua maior facilidade de se chegar ao resultado do que o Método 1 (Tabela 9), já que o ensaio deve ser realizado repetidas vezes para se ter um maior controle de operação da ETE.

O conhecimento da vazão de entrada e, conseqüentemente, da taxa hidráulica de aplicação, é essencial para o controle da estação de tratamento. Recomenda-se a implantação de medidores de vazão eletromagnéticos, automatizados, na entrada e na saída do WCFV. Além de ser uma garantia de que sempre haverá acompanhamento deste parâmetro, os dados são muito mais confiáveis, uma vez que se trata de uma medição direta, sem interferência de variações de nível, falsas interpretações ou erros de leitura.

Como não havia essa possibilidade para o trabalho em questão, a utilização dos métodos descritos supre a necessidade que se tinha de se ter o conhecimento, mesmo aproximado, da vazão de operação das bombas de alimentação.

Portanto, a vazão de operação obtida do bombeamento de alimentação do WCFV é igual a 11,65 L/s, como demonstrado na Tabela 10.

Tabela 9 Determinação da vazão de bombeamento seguindo o Método 1.

Teste	Tempo (s)	Δh (cm)	Volume (m ³)	Q (L/s)
1	167	8,0	1,992	11,93
2	180	8,5	2,1165	11,76
3	180	8,0	1,992	11,07
4	180	8,0	1,992	11,07
Vazão Média de Bombeamento - Método 1				11,45

Tabela 10 Determinação da vazão seguindo o Método 2.

Data	Hora	Tempo (s)	hi (cm)	hf (cm)	Volume (m³)	Q (L/s)
11/mar	11:30	360	40	20	4,98	13,83
	14:48	360	40	20	4,98	13,83
25/mar	11:45	120	32	27	1,245	10,38
	12:15	240	30	25	1,245	5,19
23/abr	09:37	530	85	58	6,723	12,68
	15:34	390	77	58	4,731	12,13
13/mai	08:46	405	68	51	4,233	10,45
	14:43	340	69	52	4,233	12,45
27/mai	Não houve bombeamento durante a visita					
11/jun	11:48	500	76	52	5,976	11,95
02/jul	12:04	420	51	28	5,727	13,64
Vazão média de Bombeamento - Método 2						11,65

Conhecendo a vazão de bombeamento e o tempo que as bombas ficaram acionadas por dia, é possível calcular o volume de esgoto aplicado por dia no WCFV, ou seja, a vazão diária afluyente.

Os resultados de vazão diária estão representados na Figura 17, para o período de estudo. Nota-se que a vazão se mantém a maior parte do tempo entre 10 e 30 m³/dia, com média em 18,63 m³/dia. Essa faixa de valores condiz com a estimativa para a população atendida pela estação de tratamento. Segundo a Norma NBR 7229/93, a contribuição diária de um habitante pode chegar a 160 L/d. Como a população atual do condomínio é de aproximadamente 100 habitantes, a contribuição diária estimada seria de aproximadamente 16 m³.

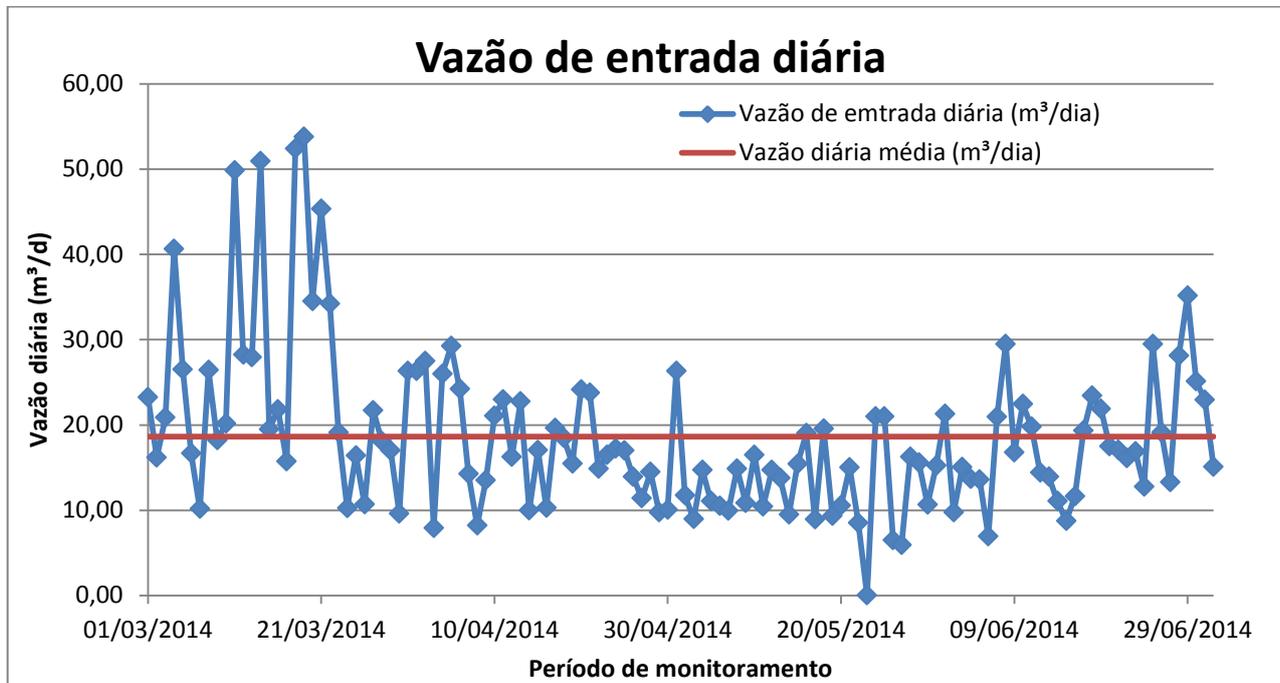


Figura 17 Vazão de entrada diária

Percebe-se que existem picos consideráveis de vazão ao longo da série de vazão de entrada, justamente nas épocas de maior chuva, segundo os dados pluviométricos. Uma possível explicação é a presença de infiltração na rede ou a unificação de águas residuárias com águas pluviais nas próprias residências, uma vez que os picos de vazão coincidem, na maior parte das vezes, com o advento de chuvas fortes (vide Figura 15).

4.3 VAZÃO EFLUENTE

A inconstância da vazão de saída do WCFV é perceptível, sendo esta extremamente sensível aos pulsos de alimentação do sistema. Esses pulsos podem ser identificados pelos picos representados na Figura 18.

Os ensaios só puderam ser realizados entre 8:00 e 18:00 horas, portanto não foi possível traçar um perfil das vazões durante as 24 horas do dia.

Assim que o bombeamento de alimentação se inicia, o efeito do aumento de vazão efluente já é notado e, logo que a bomba desliga, a vazão de saída assume uma curva exponencial decrescente ao longo do tempo.

Nos dias de medição em que houve a ocorrência de chuva (11/03 e 23/04), percebe-se que tanto os picos quanto a própria cauda da função exponencial do gráfico se apresentam com valores mais elevados, evidenciando que a vazão é maior nesses dias. O aumento de vazão também é constatado nos dias em que houve precipitações na véspera da medição, como nos casos dos dias 13/05 e 27/05.

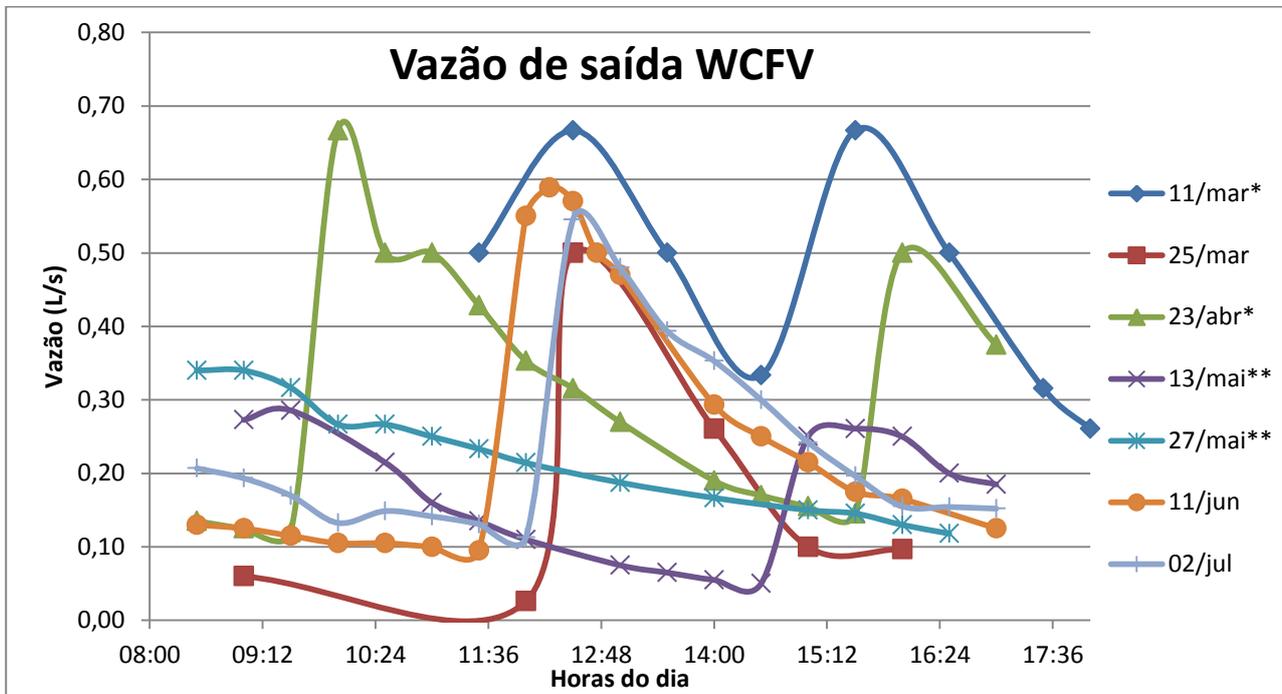


Figura 18 Perfis de vazão de saída do WCFV

*Dias em que estava chovendo durante a visita;

**Dias em que choveu na véspera da visita.

4.4 TAXA HIDRÁULICA APLICADA

A taxa hidráulica de aplicação média é igual a 11,83 mm/dia, variando de acordo com a vazão de entrada diária no WCFV, como representado na Figura 19.

Já a Figura 20 relaciona a taxa hidráulica aplicada no sistema em estudo com valores obtidos como parâmetros de projeto na literatura, para as mesmas condições climáticas. Percebe-se que a taxa hidráulica no WCFV da ETE Praia de Fora é muito menor do que as encontradas na literatura. Sezerino (2006) utiliza 230 mm/dia, enquanto Platzer (2007) opta por 205 mm/dia. Isso se deve ao fato do sistema ainda estar em uma fase de pouca contribuição relativa, visto que o condomínio conta com somente cerca de 100 dos 2200 possíveis moradores para alcançar a capacidade máxima

Supondo que o condomínio estivesse com sua população máxima, 20 vezes maior que a atual, estima-se que a vazão seria, também, 20 vezes maior. Neste caso, a taxa de aplicação hidráulica seria de aproximadamente 237 mm/dia, uma proporção muito mais próxima das encontradas na literatura.

4.5 CONCENTRAÇÃO DE POLUENTES

Foram analisados os seguintes parâmetros de concentração no efluente: pH; alcalinidade; DQO; nitrogênio, expresso em $\text{NH}_4\text{-N}$; fósforo, expresso em $\text{PO}_4\text{-P}$; e sólidos suspensos a partir das amostras coletadas nas saídas de campo.

As concentrações médias de cada parâmetro estão dispostas na Tabela 11 e as eficiências de remoção dos principais poluentes estão elencadas na Tabela 12. Em comparação com os padrões estabelecidos para lançamento de efluentes (Tabela 1), todos os parâmetros estão de acordo.

A Tabela 12 apresenta não só a eficiência de tratamento do WCFV, como também a eficiência de tratamento da estação como um todo, incluindo a deputação realizada pelo RAC.

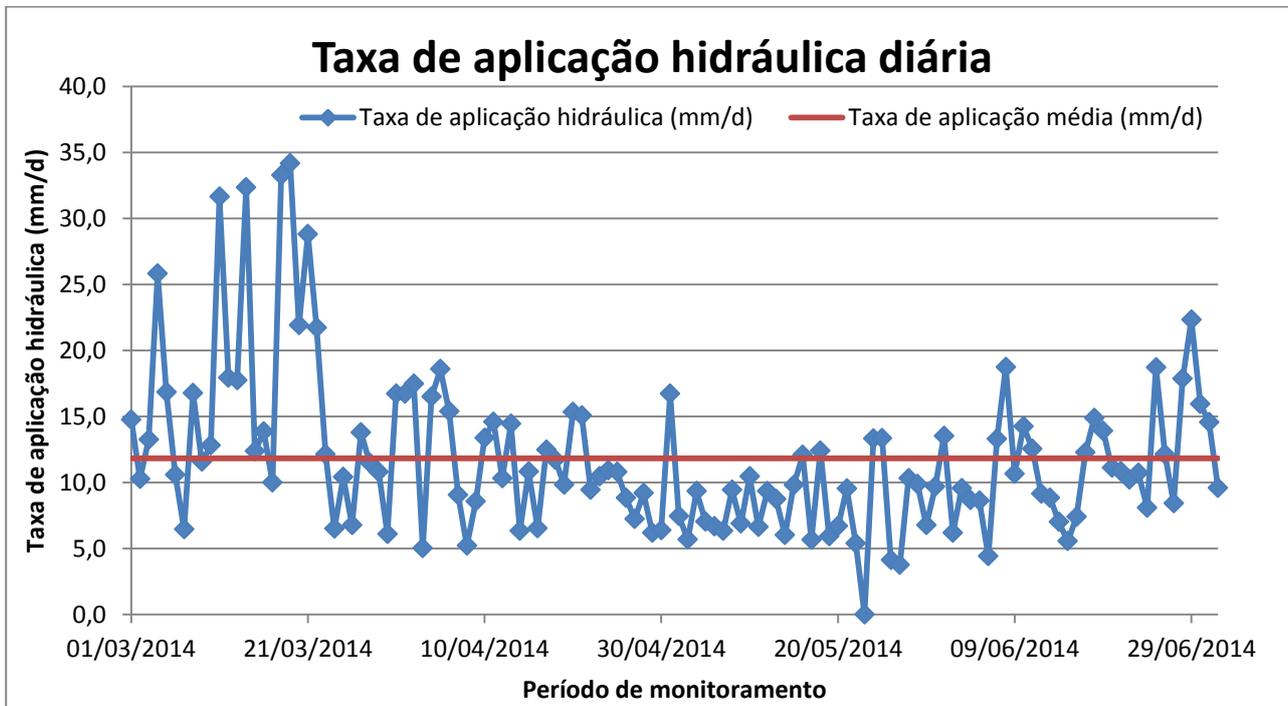


Figura 19 Taxa de aplicação hidráulica diária durante o período de monitoramento

Taxa de aplicação hidráulica comparada à literatura

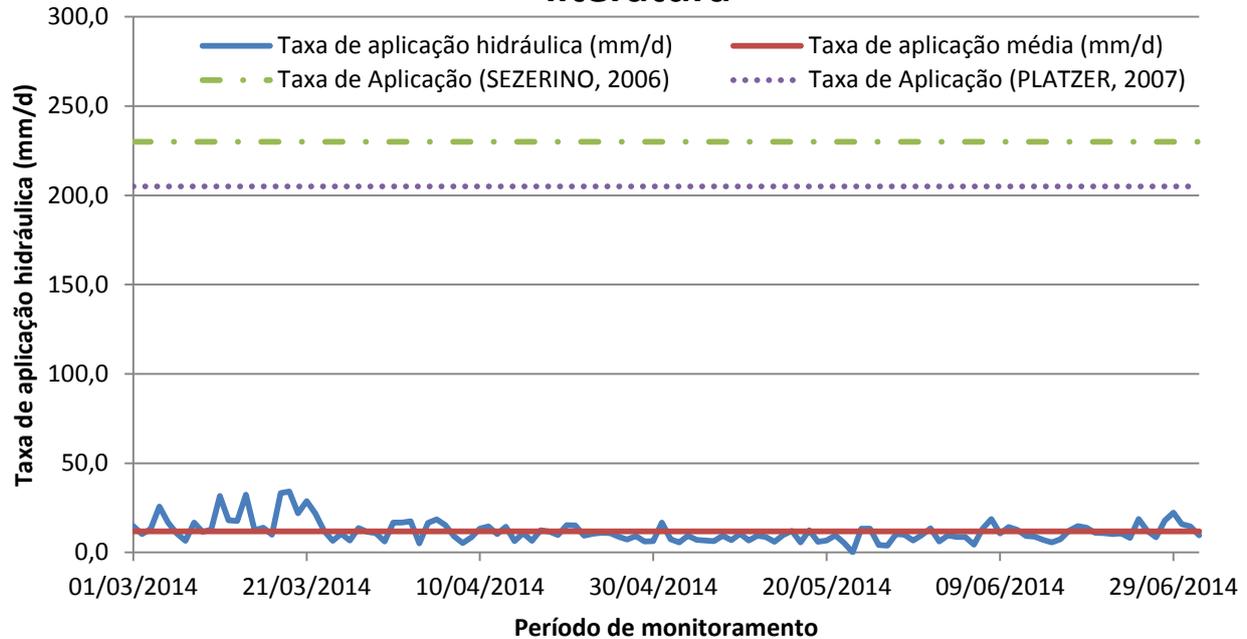


Figura 20 Taxa de aplicação hidráulica comparada à literatura

Tabela 11 Concentração dos poluentes em cada ponto de coleta da ETE

Parâmetros	Concentração Média 1º RAC	Concentração Média Entrada WCFV	Concentração Média Saída WCFV
DQO (mg/L)	181,00 ± 37,51	94,07 ± 53,91	19,14 ± 7,90
pH	6,00 ± 0,19	6,61 ± 0,48	6,26 ± 0,40
Alcalinidade (mgCaCO3/L)	208,33 ± 7,64	185,71 ± 99,60	136,43 ± 60,33
NH4-N (mg/L)	40,05 ± 5,67	25,89 ± 19,23	2,88 ± 1,69
PO4-P (mg/L)	9,34 ± 2,97	5,81 ± 6,88	1,08 ± 0,61
SS (mg/L)	42,25 ± 17,23	15,96 ± 5,53	4,50 ± 4,61

Tabela 12 Eficiência do WCFV e global quanto à remoção de poluentes

Parâmetros	Eficiência relativa ao WCFV (entre amostra de entrada e saída)	Eficiência Global (entre esgoto bruto e tratado)
DQO (mg/L)	79,67%	90,68%
NH4-N (mg/L)	88,87%	93,06%
PO4-P (mg/L)	81,41%	91,99%
SS (mg/L)	71,81%	87,97%

Analisando a qualidade da eficiência de remoção de poluentes, considerando a concentração de entrada e saída de cada um deles, infere-se que a utilização do WCFV, na sequência de um reator anaeróbio compartimentado (RAC), é uma ótima alternativa para o tratamento descentralizado de esgotos, apesar de não ser um método preconizado pela norma NBR 13969/1997.

Se comparar sua eficiência com os dois métodos mais similares ao WCFV propostos pela Norma, o filtro de areia e a vala de filtração (Tabela 13), é possível inferir que a qualidade do efluente tratado pelo *wetland* é muito melhor em praticamente todos os aspectos, excetuando sólidos sedimentáveis.

Tabela 13 Comparativo de eficiência do WCFV com NBR 13969/97.

Parâmetro	Eficiência (%)		
	Filtro de Areia	Vala de filtração	WCFV
DQO	40 a 75	40 a 75	90,68
Sólidos Sedimentáveis	100	100	87,97
Nitrogênio Amoniacal	50 a 80	50 a 80	93,06
Fosfato	30 a 70	30 a 70	91,99

Entretanto, deve-se atentar ao fato da estação ainda estar trabalhando com contribuições muito pequenas de esgoto, relativas à capacidade total da estação. Desta forma, a interferência da chuva na diluição e até mesmo a degradação da poluição são bem maiores.

4.6 VARIAÇÃO DE CARGAS ORGÂNICA E DE NITROGÊNIO

Para realizar um balanço das cargas orgânica e de nitrogênio, foram escolhidos dois dias de coleta, um com ocorrência de chuva e outro sem, para se fazer uma comparação dessas variações, levando em conta algumas considerações. O dia de chuva em análise foi 11 de março (Figura 21) e o dia sem chuva, 11 de junho (Figura 22).

Como os dados de vazão de saída do *wetland* são extremamente variáveis ao longo do tempo e foram coletados somente nos dias e horários de visita a campo, não foi possível estabelecer uma média diária para a vazão de saída.

Por não se ter o perfil de 24 horas de vazão de saída, adotou-se uma média horária a partir das vazões medidas no dia e, assim, foi estimada a vazão de saída diária. Por se tratar de uma estimativa, em alguns dos dias a vazão diária de saída se apresenta maior que a diária de entrada, talvez por ser de fluxo contínuo e sofrer influência das vazões dos dias anteriores.

Considerando como vazão de entrada diária o volume de efluente bombeado ao filtro ao longo do dia, que a área de aplicação de carga e de coleta de efluente são iguais à área de dois quadrantes, e utilizando os dados de análise de DQO e NH_4 do dia de medição escolhido, tanto para a entrada quanto saída do WCFV, foram calculadas as cargas lançadas e coletadas de DQO e NH_4 . Para efeito comparativo, também foram calculadas as eficiências de remoção dos dois parâmetros em termos de concentração e em termos de carga.

Balço de cargas orgânicas e inorgânicas de um dia de chuva – 11/03/14

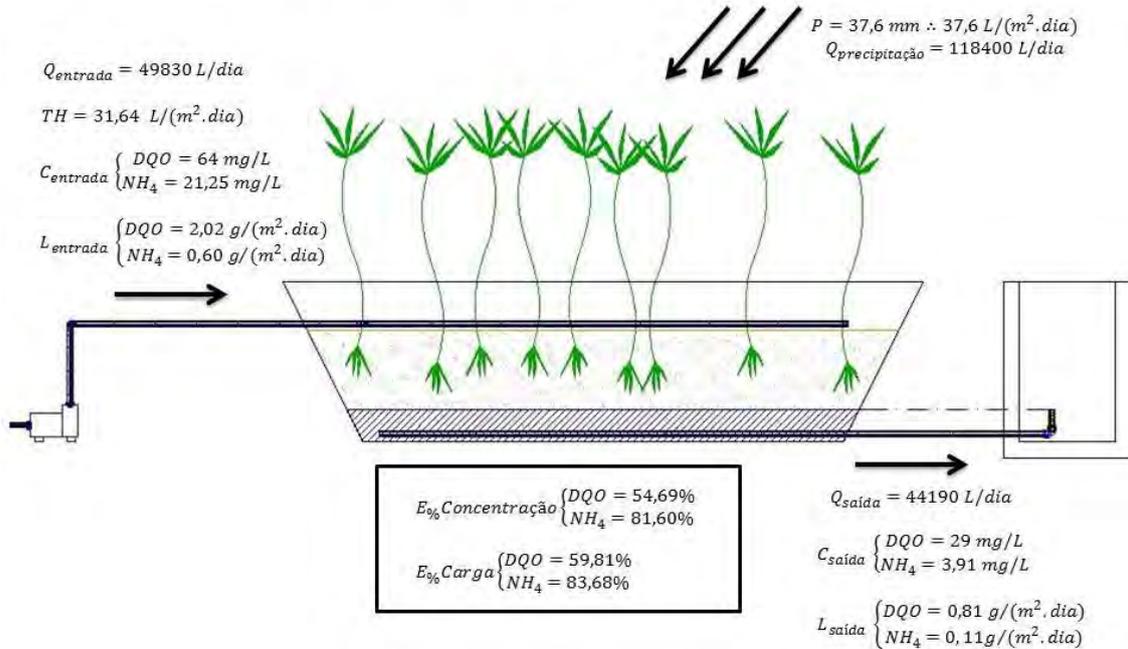


Figura 21 Balço de cargas em termos de DBO e NH4 para o dia 11/03/14

Balanco de cargas orgânicas e inorgânicas de um dia sem chuva – 11/06/14

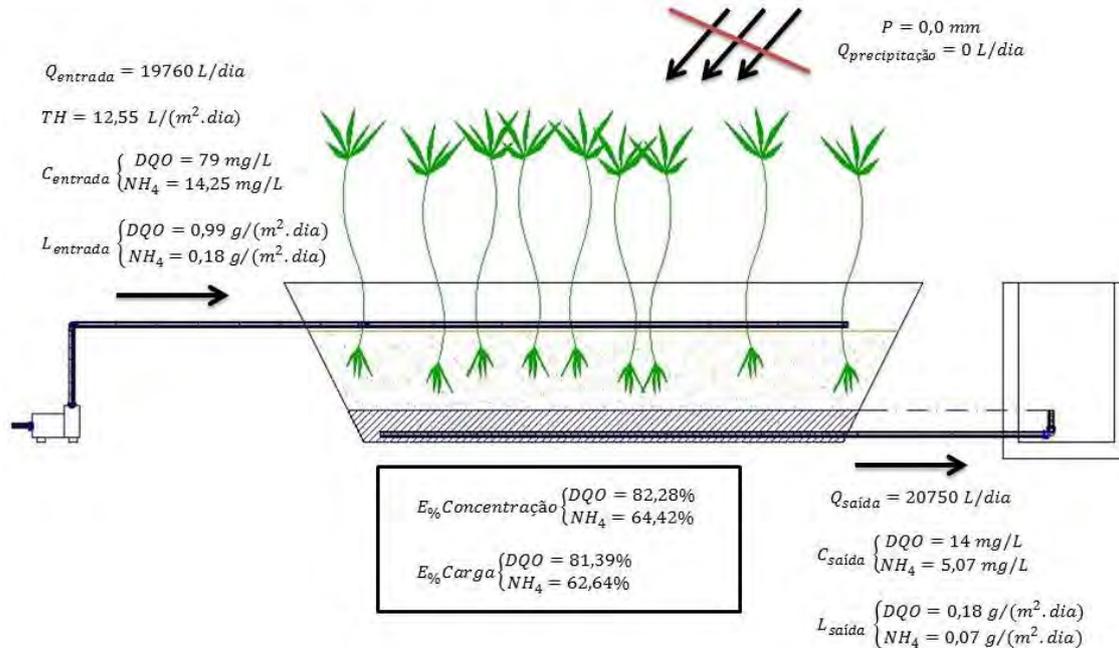


Figura 22 Balanco de cargas em termos de DBO e NH4 para o dia 11/06/14

5 CONCLUSÕES

Considerando a ETE de Praia de Fora na condição inicial de operação, uma vez que ela recebe contribuição de esgoto de apenas 100 habitantes de sua capacidade total de 2200, foi realizado o monitoramento da sua unidade de WCFV no período de março a junho de 2014 e concluiu-se que:

- Devido à influência da chuva, há uma média de acréscimo diário de volume de 21,87 m³ no WCFV, o que representa 117,4% da vazão de alimentação média atual. Essa interferência causa diluição do efluente, o que pode atrapalhar a atividade microbiana de degradação da matéria orgânica. Entretanto não é o que ocorre, uma vez que a eficiência de remoção em termos de carga se mantém elevada e com valor próximo ao de remoção em termos de concentração;
- Para se ter um melhor controle da estação de tratamento, é de extrema importância manter um monitoramento direto tanto da vazão de entrada quanto de saída. Sugere-se a implantação de um sistema automatizado de medição eletromagnética de vazão;
- Como ainda não existe nenhum medidor de vazão na estação, determinou-se que o melhor método para realizar essa medição na entrada do WCFV é o descrito neste trabalho como Método 2, o método indireto de medição sem a manipulação do bombeamento;
- A chuva, além de influenciar pela incidência direta no WCFV, também demonstra contribuição na vazão bombeada. Provavelmente devido a infiltrações na rede de coleta do condomínio, ou unificação das redes pluvial e de esgoto nas próprias casas;
- A taxa hidráulica aplicada ao WCFV, apesar de muito menor que a recomendada pela literatura, estará condizente com a mesma em uma situação hipotética em que a vazão seja a máxima de contribuição do condomínio – vazão para a qual a estação foi projetada;
- A eficiência de remoção de poluentes, levando em consideração a concentração, é elevada, demonstrando que o sistema RAC + WCFV pode ser utilizado no saneamento descentralizado.

6 REFERÊNCIAS

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA. EATON, A. D. CLESCERI, L. S., GREENBERG, A. E. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 20th. American Water Works Association; Water Pollution Control Federation, Washington: APHA. D.C. p. 1325. 1998.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA. EATON, A. D. CLESCERI, L. S., GREENBERG, A. E. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 21ed. American Water Works Association; Water Pollution Control Federation, Washington: APHA. D.C. p. 1368. 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7229: O Projeto, a Construção e a Operação de Sistemas Sépticos. Rio de Janeiro, 1993.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13969**: Tanques Sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, Construção e Operação. Rio de Janeiro, 1997.

BARROS, R.T.V. et al. **Saneamento**. Manual de saneamento e proteção ambiental para os municípios. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG, 1995. 221p.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil**. 1988. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicaocompila.do.htm>. Acesso em: 18 nov 2013.

BRASIL. **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/19433.htm> Acesso em: 18 nov 2013.

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de saneamento**. 3ª ed. revisada. Brasília: FUNASA, 2006. 408p.

BRASIL. **Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/11445.htm>. Acesso em: 18 nov 2013.

BRIX, H.; ARIAS, C. A. **The use of vertical flow constructed wetlands for on-site treatment of domestic wastewater: new Danish guidelines**. *Ecological Engineering*, 25, pp 491-500, 2005.

CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Decreto Nº 430**, 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA - IBGE. **Pesquisa Nacional do Saneamento Básico de 2008**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA - IBGE. **Síntese de Indicadores Sociais: Uma Análise das Condições de Vida**. Rio de Janeiro: IBGE, 2009.

CRITES, R. W., TCHOBANOGLIOUS, G. **Small and decentralized wastewater management systems**. Boston: McGraw-Hill, 1998.

GONÇALVES, F. B. **Disposição oceânica de esgotos sanitários**. ABES. Rio de Janeiro, 1997.

GRISON, C. **Epuration des eaux usées par des filtres plantés de macrophytes** : Un étude bibliographique. Agence de l'Eau Rhône Méditerranée et Corse. 78p, 1999.

HAMMER, D.A.; BASTIAN; R K. **Wetlands Ecosystems: Natural Water Purifiers?** In: HAMMES, D.A. (Ed.) *Constructed Wetlands for Wastewater Treatment: municipal, industrial, and agricultural*. Michigan: Lewis Publishers. 1989.

LIBRALATO, L., GHIRARDINI, A.V., AVEZZU, F. To centralise or to decentralise: An overview of the most recent trends in wastewater treatment management. *Journal of Environmental Management*. 94, 2012. p 61-68.

MARQUES, D. M. **Terras úmidas construídas de fluxo subsuperficial**. In: CAMPOS, J.R. (Coord.). Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo. Rio de Janeiro, ABES, p. 409-435, 1999.

MOSHIRI, G. A. *Constructed wetlands for water quality improvement*. CRC Press, 1993.

PANDOLFO, C.; BRAGA, H. J.; SILVA JR, V. P. da; MASSIGNAM, A. M., PEREIRA, E. S.; THOMÉ, V. M. R.; VALCI, F.V. **Atlas climatológico digital do Estado de Santa Catarina**. Florianópolis: Epagri, 2002. CD-Rom

PHILIPPI, L.S. **Saneamento Descentralizado: Instrumento para o desenvolvimento sustentável**. IX SILUBESA - Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2000.

PLATZER, C. **Dimensionamento de *wetland* de fluxo vertical com nitrificação – adaptação de modelo europeu para as condições climáticas do Brasil**. 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 7p, 2007.

SALATI, E. **Utilização de sistemas de wetlands construídas para tratamento de águas**. Relatório técnico para o Programa de Pós Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental da EESC. São Carlos, 2000.

SANTA CATARINA. **Legislação sobre Recursos Hídricos**. Governo do Estado de Santa Catarina / Editora Universitária UNISUL. Tubarão, SC. 96p, 1998.

SEZERINO, P. H. **Potencialidade dos filtros plantados com macrófitas (*Constructed Wetlands*) no pós-tratamento de lagoas de estabilização sob condições de clima subtropical**. Tese de Doutorado em Engenharia Ambiental. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, 171p. 2006.

VOGEL, A. **Química analítica qualitativa**. 5ª Edição ed. São Paulo - SP: Editora Mestre Jou, p. 665. 1981.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Vol. 1, 3ª. Edição, DESA, Ed. UFMG. 2005.

WORLD HEALTH ORGANIZATION - WHO. **Global Water Supply and Sanitation Assessment 2000 Report**. World Health Organization, 2000.