

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**CAMPUS LONDRINA**

**CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

**FRANCIELE LUCAS DE MORAES**

**MONITORAMENTO DE WETLAND CONSTRUÍDO DE FLUXO  
HORIZONTAL EMPREGADO NO TRATAMENTO DO EFLUENTE DE UM  
RESTAURANTE UNIVERSITÁRIO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**LONDRINA**

**2017**

**FRANCIELE LUCAS DE MORAES**

**MONITORAMENTO DE WETLAND CONSTRUÍDO DE FLUXO  
HORIZONTAL EMPREGADO NO TRATAMENTO DO EFLUENTE DE UM  
RESTAURANTE UNIVERSITÁRIO**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado à disciplina Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso Superior de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Londrina para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador: Dr. Orlando de Carvalho Júnior

**LONDRINA  
2017**



**Ministério da Educação**  
**Universidade Tecnológica Federal do Paraná**  
Campus Londrina  
Coordenação de Engenharia Ambiental



## TERMO DE APROVAÇÃO

### Título da Monografia

Monitoramento de Wetland construído de fluxo horizontal empregado no tratamento do efluente de um Restaurante Universitário

por

Franciele Lucas de Moraes

Monografia apresentada no dia 29 de Junho de 2017 ao Curso Superior de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho \_\_\_\_\_ (aprovado, aprovado com restrições ou reprovado).

\_\_\_\_\_  
Prof. Dra. Isabela B. Tavares Machado Bolonhesi  
(DAAMB – Departamento de Engenharia Ambiental - UTFPR)

\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Rafael M. Soares de Oliveira  
(DAAMB – Departamento de Engenharia Ambiental- UTFPR)

\_\_\_\_\_  
Profa. Dr. Orlando de Carvalho Junior  
(DAAMB – Departamento de Engenharia Ambiental- UTFPR)  
Orientador

\_\_\_\_\_  
Profa. Dra. Edilaine Regina Pereira  
Responsável pelo TCC do Curso de Eng. Ambiental

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus e aos meus familiares por toda paciência, apoio e por acreditarem no meu potencial durante todos os anos da graduação.

Aos meus amigos, que sempre estiveram presentes em todos os momentos, sendo bons ou ruins, principalmente a “Balada Louca”, praticamente uma segunda família muito louca como o nome mesmo diz, que mesmo depois de tanta bagunça, estudos e brigas continua firme e forte com todas as zoeiras possíveis que não possuem limites.

A Rep. Casa das Princesas, que de princesas não tinha nada, por todo apoio, amizade, risadas, felicidades, choros e desesperos compartilhados.

Ao Ventania F.C., melhor time de futsal possível, que trouxe ótima amizade, risadas, zoeiras (com todo mundo me chamando de jardineira) e claro alegria, e se tudo der certo também vai trazer o ouro esse ano.

Ao Professor Doutor Orlando de Carvalho Júnior pela orientação, paciência, auxílio e a amizade criada durante esse ano.

A UTFPR por todo o suporte para as análises que foram realizadas.

Aos meus amigos de laboratório por sempre me ajudarem em todas as análises. A Bety, que salvou o laboratório de pegar fogo, ao Antônio Maranzatto por carregar todos os baldes pesados, ariar os cadinhos e fazer o pão de mel, a Camila Leite (estagiária) por ter me ajudado todos os dias em tudo que precisei, mas ainda me deve pão de queijo, ao Pedro Colito (lindão) e a Juliana Tiburcio que sempre que precisei também me ajudaram nas análises.

DE MORAES, F. L. **MONITORAMENTO DE WETLAND CONSTRUÍDO DE FLUXO HORIZONTAL EMPREGADO NO TRATAMENTO DO EFLUENTE DE UM RESTAURANTE UNIVERSITÁRIO.** Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Londrina, p. 67. 2017.

## RESUMO

Este trabalho teve como objetivo fazer o monitoramento de um sistema Wetland Construído de fluxo horizontal implantado como unidade experimental para tratamento do efluente bruto do Restaurante Universitário no campus de Londrina da UTFPR. O sistema usado empregou *Typha dominguensis* como macrófita e sua estrutura foi composta por pneus descartados. O sistema operou com dois pulsos diários de duração de 30 minutos, totalizando uma vazão de 90 L/d. Após todo período de análise o sistema apresentou eficiências médias de remoção de 67,91% de nitrogênio total (NT) 97,21% de fosfato, 81,91% de DQO, 37,51% de sólidos totais e 52% de sólidos suspensos. Com isso o sistema apresentou boa eficiência na remoção dos constituintes do esgoto, comprovando sua viabilidade de implantação para o tratamento desse tipo de efluente.

Palavras-chave: Wetlands Construídos, Fluxo Horizontal, *Typha dominguensis*, esgoto de restaurante universitário, tratamento de efluentes.

DE MORAES, F. L. **MONITORING OF WETLAND CONSTRUCTED OF HORIZONTAL FLOW EMPLOYED IN THE TREATMENT OF THE EFFLUENT OF A UNIVERSITY RESTAURANT.** Federal Technological University of Paraná (UTFPR). Londrina, p. 67. 2017.

### **ABSTRACT**

This work had the objective of monitoring a Wetland System constructed with horizontal flow implanted as an experimental unit to treat the raw effluent of the University Restaurant on the Londrina campus of UTFPR. The system used used *Typha dominguensis* as macrophyte and its structure was composed of discarded tires. The system operated with two pulses per day of 30 minutes, totaling a flow of 90 L / d. After the entire period of analysis, the system presented average removal efficiencies of 67,91% of total nitrogen (NT) 91.69% of phosphate, 97.21% of COD, 37.51% of total solids and 52% of suspended solids. With this, the system showed good efficiency in the removal of the constituents of the sewage, proving its viability of implantation for the treatment of this type of effluent.

Keywords: Built-in Wetlands, Horizontal Flow, *Typha dominguensis*, university restaurant sewage, effluent treatment.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Percentual de domicílios com acesso à rede de esgotamento sanitário e taxa de crescimento do número de economias residenciais, segundo as Grandes Regiões - 2000/2008. ....	15
<b>Figura 2:</b> - Percentual de municípios com rede coletora de esgoto, em ordem decrescente, segundo as Unidades da Federação - 2008 .....	15
<b>Figura 3:</b> Tipos de Wetlands Construídos .....	23
<b>Figura 4:</b> Desenho esquemático de um canal com plantas aquáticas flutuantes. ....	24
<b>Figura 5:</b> <i>Phragmites australis</i> .....	25
<b>Figura 6:</b> <i>Typha latifolia</i> .....	26
<b>Figura 7:</b> <i>Scirpus lacustris</i> .....	26
<b>Figura 8:</b> Desenho esquemático de um sistema com macrófitas emergentes com fluxo superficial .....	27
<b>Figura 9:</b> Desenho esquemático de um sistema com macrófitas emergentes com fluxo subsuperficial .....	28
<b>Figura 10:</b> Desenho esquemático de um sistema com macrófitas emergentes com fluxo vertical. ....	28
<b>Figura 11:</b> <i>Isoetes Lacustris</i> .....	29
<b>Figura 12:</b> <i>Lobelia Dortmanna</i> .....	29
<b>Figura 13:</b> <i>Egéria sp</i> .....	30
<b>Figura 14:</b> <i>Elodea Canadensis</i> .....	30
<b>Figura 15:</b> Desenho esquemático de um sistema com macrófitas fixas submersas. ....	31
<b>Figura 16:</b> Wetland Construído de Fluxo Vertical .....	32
<b>Figura 17:</b> Wetland de Fluxo Horizontal .....	34
<b>Figura 18:</b> Local de construção da estação experimental .....	39
<b>Figura 19:</b> Esquema de funcionamento da bancada experimental.....	42
<b>Figura 20:</b> Sistema Wetland Horizontal uma semana após implantação. A – Vista superior; B – Vista frontal. ....	43
<b>Figura 21:</b> Sistema Wetland Horizontal com plantas antes da poda. A – Vista frontal; B – Vista superior .....	44

**Figura 22:** Sistema Wetland após a poda das plantas. A – Vista frontal; B – Vista superior..... 44

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Valores de pH .....	<b>47</b>
<b>Tabela 2:</b> Alcalinidade .....	<b>49</b>
<b>Tabela 3:</b> Nitrogênio Total (NT) .....	<b>50</b>
<b>Tabela 4:</b> Nitrogênio total kjeldahl.....	<b>51</b>
<b>Tabela 5:</b> Nitrato .....	<b>53</b>
<b>Tabela 6:</b> Nitrogênio Amoniacal.....	<b>54</b>
<b>Tabela 7:</b> Fosfato .....	<b>55</b>
<b>Tabela 8:</b> DQO.....	<b>57</b>
<b>Tabela 9:</b> Sólidos Totais .....	<b>59</b>
<b>Tabela 10:</b> Sólidos Totais Fixos.....	<b>59</b>
<b>Tabela 11:</b> Sólidos Totais Voláteis.....	<b>60</b>
<b>Tabela 12:</b> Sólidos Suspensos Totais.....	<b>61</b>

## LISTA DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1:</b> Variação de pH.....	<b>48</b>
<b>Gráfico 2:</b> Variação de Alcalinidade .....	<b>49</b>
<b>Gráfico 3:</b> Variação de Nitrogênio Total .....	<b>51</b>
<b>Gráfico 4:</b> Variação de NTK .....	<b>52</b>
<b>Gráfico 5:</b> Variação de Nitrogênio Total .....	<b>55</b>
<b>Gráfico 6:</b> Variação de Fosfato.....	<b>56</b>
<b>Gráfico 7:</b> Variação de DQO .....	<b>58</b>
<b>Gráfico 8:</b> Variação de Sólidos Totais .....	<b>61</b>

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>11</b>
<b>2.</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>13</b>
2.1	OBJETIVO GERAL .....	13
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	13
<b>3.</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>14</b>
3.1	SANEAMENTO BÁSICO NO BRASIL.....	14
3.1.1	Relação entre Saneamento Básico com a Saúde Pública e Meio Ambiente .....	16
3.2	LEGISLAÇÕES REFERENTES AO SANEAMENTO BÁSICO E LANÇAMENTO DE EFLUENTES	18
3.3	SISTEMAS WETLANDS CONSTRUÍDOS .....	19
3.3.1	Características gerais dos Wetlands Construídos .....	19
3.3.2	Variações de Wetlands Construídos.....	23
3.3.2.1	Wetland com plantas flutuantes .....	24
3.3.2.2	Wetlands com plantas emergentes.....	25
3.3.2.3	Wetland com plantas submersas.....	28
3.3.2.4	Wetland de fluxo vertical .....	32
3.3.2.5	Wetland de fluxo horizontal .....	33
3.3.3	Remoção de matéria orgânica em sistema Wetland .....	35
3.3.4	Remoção de sólidos em sistema de Wetland de fluxo horizontal .....	36
3.3.5	Remoção de nitrogênio .....	36
<b>4</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>38</b>
4.1	CARACTERIZAÇÃO DA ESTAÇÃO EXPERIMENTAL.....	38
4.2	ROTINA DE ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS .....	45
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>46</b>
5.1	PH.....	47
5.2	ALCALINIDADE.....	48
5.3	NITROGÊNIO TOTAL (NT) .....	50
5.3.1	Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK).....	51
5.3.2	Nitrato.....	52
5.4	Nitrogênio amoniacal.....	53
5.5	FOSFATO.....	55
5.6	DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO (DQO).....	57
5.7	SÓLIDOS TOTAIS.....	59
5.8	SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS .....	61
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>63</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>64</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS), saneamento é o controle de todos os fatores do meio físico do homem que exercem ou podem exercer efeito nocivo sobre o seu bem estar físico, mental ou social, ou seja, saneamento é um conjunto de ações socioeconômicas que tem como objetivo maior a promoção da saúde humana (GUIMARÃES e SILVA, 2007). No Brasil esse direito é assegurado pela Lei Federal nº 11.445/07.

O Brasil possui cerca de 5.507 municípios, e apenas 52,2% possuem serviço de esgotamento sanitário. A desigualdade regional fica muito clara quando se trata de municípios com serviço de esgotamento sanitário. O nível mais baixo de residências atendidas é na região Norte, com apenas 2,4% de domicílios atendidos, seguido pela região Nordeste, onde são atendidas cerca de 14,7%, depois a região Centro-Oeste com 28,1%, região Sul com 22,5%, e a região com o maior número de domicílios atendidos é a região Sudeste, com 53,0% (IBGE, 2000).

Em 2008 foi realizada uma nova Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB), e nessa pesquisa foi constatado que houve um aumento relacionado ao esgotamento sanitário, de 52,2% no ano 2000 subiu para 55,2% de municípios atendidos. Pode-se considerar que houve uma boa evolução relacionada com o esgotamento sanitário, porém o Brasil ainda possui um número baixo de pessoas atendidas, já que esse valor (55,2%) é somente um pouco mais que a metade considerando o país todo (IBGE, 2008).

Diante desse quadro, o sistema Wetland construído pode ser uma alternativa viável para tratamento de esgotos descentralizados no Brasil, sobretudo em comunidades carentes. Visto que o tratamento de esgotos descentralizados tem o intuito não só do uso individual, mas também passa pelo nível de uso coletivo (TREIN, PELISSARI, *et al.*, 2015).

Wetland construído é um termo utilizado para um sistema de tratamento de águas residuárias, que tem como princípios os processos naturais de depuração não mecanizados (WETLANDS, 2016), possuindo a capacidade de remover materiais em

suspensão, nutrientes, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), entre outros. O wetland construído se difere do wetland natural principalmente pelo regime hidrológico, pois o construído é um sistema manejável, podendo assim ser controlado, já no sistema natural isso não é possível (LAUTENSCHLAGER, 2001).

O sistema Wetland construído possui custos de implementação e operacionais muitos mais baixos se comparados com os sistemas de tratamentos de efluentes tradicionais. Além disso esse sistema proporciona produção de água para reuso, harmonia paisagística, não produz odores e não utiliza produtos químicos (WETLANDS, 2016). Outro fator que pode tornar esse sistema mais atraente é a possibilidade de ser construído com matérias reutilizáveis, que provavelmente iriam para o lixo, e na maioria das vezes seriam descartados de maneira incorreta.

Esses sistemas podem ser utilizados para o tratamento de esgoto doméstico, águas residuárias, águas pluviais, águas lixiviantes, águas contaminadas, e efluentes de indústrias e agropecuárias (LAUTENSCHLAGER, 2001).

Seu funcionamento se baseia no princípio de solo úmido cultivado, onde o solo e as raízes das plantas terão a função de “filtrar” os poluentes presentes na água residuária, por meio de processos químicos, físicos e biológicos.

Esse sistema vem sendo cada vez mais utilizado em todo mundo, pois são processos que apresentam baixos custos de operação e implantação. Assim, sistemas wetlands podem constituir uma alternativa interessante para tratamento de efluentes de pequenas comunidades não atendidas por serviços de coleta e tratamento de esgotos.

Posto isso, este trabalho pretende apresentar resultados referentes a um plano preliminar de monitoramento de um sistema Wetland construído de fluxo horizontal, construído com materiais de baixo custo, utilizado para tratamento do efluente de um restaurante universitário (RU).

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

O objetivo geral deste projeto foi monitorar a remoção de matéria orgânica de um sistema Wetland construído de fluxo horizontal empregado no tratamento do efluente de um Restaurante Universitário (RU).

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1 – Analisar a viabilidade da instalação do sistema Wetland construído de fluxo horizontal no tratamento de esgotos de restaurante universitário.

2 – Verificar se as condições operacionais de projeto estão adequadas para operação do sistema.

### 3. REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 SANEAMENTO BÁSICO NO BRASIL

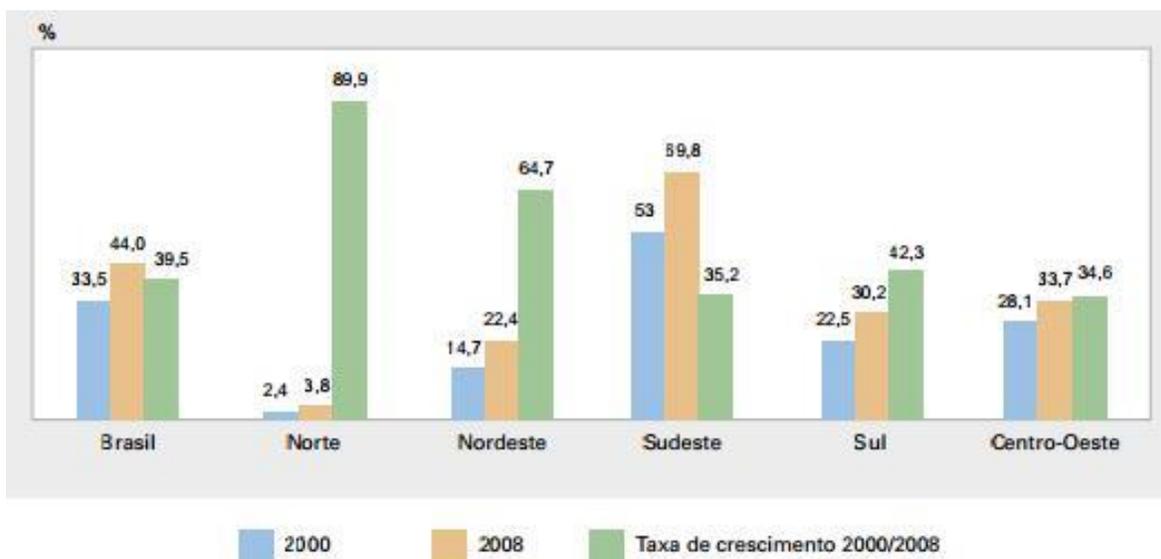
O Brasil teve o seu primeiro indicio de saneamento em 1561, quando Estácio de Sá mandou escavar no Rio de Janeiro o primeiro poço para o abastecimento da cidade. No período colonial, as ações de saneamento eram feitas de maneiras individuais, resumindo-se a drenagem do próprio terreno (AEGEA, 2015).

A partir da década de 1970, o setor passou a adquirir a configuração atual, com isso, foi criado o Plano Nacional de Saneamento (Planasa), com o intuito de ampliar a cobertura e com o objetivo de atender 80% da população urbana com serviços de água e 50% com serviços de esgoto até 1980 (TUROLLA, 2002).

A Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB) realizou uma pesquisa em 2008 com o objetivo de investigar as condições de saneamento básico em todos os municípios brasileiros. Foi realizado um levantamento censitário que tem como população alvo todas as prefeituras municipais, organismos responsáveis pela gestão do saneamento básico, órgãos públicos e entidades privadas que atuam na prestação de serviços de saneamento básico à população (IBGE, 2008).

Na Figura 1 é possível notar uma comparação com os dados da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico realizada em 2008 entre os dados da mesma pesquisa realizada com 2000, com o objetivo de verificar a taxa de crescimento da rede de esgotamento sanitário em cada região do país.

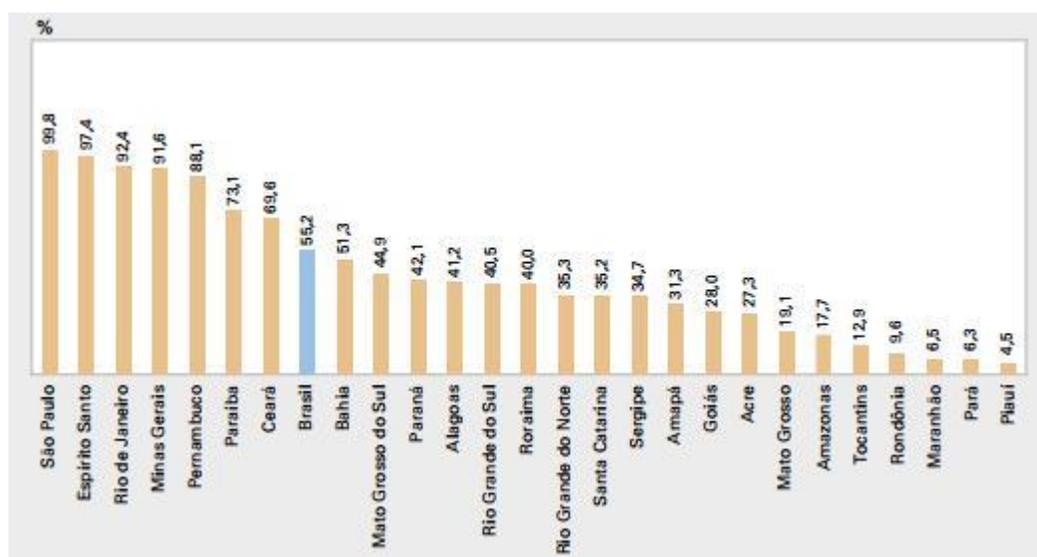
**Figura 1:** Percentual de domicílios com acesso à rede de esgotamento sanitário e taxa de crescimento do número de economias residenciais, segundo as Grandes Regiões - 2000/2008.



**Fonte:** IBGE, Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais, Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2000/2008

Na Figura 2 fica clara a grande diferença entre os estados em relação ao esgotamento sanitário, onde também é possível observar que a maioria dos estados brasileiros estão a baixo da média nacional, da qual é de 55,2%.

**Figura 2:** - Percentual de municípios com rede coletora de esgoto, em ordem decrescente, segundo as Unidades da Federação - 2008



**Fonte:** IBGE, Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais, Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008

É perceptível que houve um avanço importante, no período de 2000 a 2008, no contingente de municípios que já tinham acesso à rede coletora de esgoto (IBGE, 2008). Mesmo com os avanços sociais com o decorrer do tempo, o Brasil ainda tem muito o que avançar na questão do saneamento básico.

Segundo o Instituto Trata Brasil, o país não alcançará a universalização do sistema nos próximos 20 anos se o trabalho de implementar serviços de água e esgoto continuar no ritmo atual observado (TERA, 2015).

### 3.1.1 Relação entre Saneamento Básico com a Saúde Pública e Meio Ambiente

O saneamento está diretamente relacionado a questão da saúde pública, pois são muitas as doenças vinculadas a falta dele, com isso tem interferência direta também a vida da população envolvida e até mesmo ao desenvolvimento do país, pois um país com uma boa estrutura de saneamento tem uma perspectiva de saúde muito melhor (SANEPAR, 2010). Segundo Guimarães e Silva (2007), mais de um bilhão dos habitantes da Terra não têm acesso a habitação segura e a serviços básicos, embora todo ser humano tenha direito a uma vida saudável e produtiva, em harmonia com a natureza.

Saneamento está relacionado à saúde no seu próprio sentido literal, pois Sanear quer dizer sadio, tornar são, saudável. O saneamento tem como objetivo promover a saúde pública preventiva, com a consequência de reduzir também a necessidade de procura aos hospitais e postos de saúde, isto significa dizer que, onde há saneamento, são maiores as possibilidades de uma vida mais saudável, diminuindo principalmente os índices de mortalidade infantil (GUIMARÃES e SILVA, 2007).

Levando em consideração a população mundial, mais de quatro bilhões de pessoas por ano sofrem com caso de diarreia, que é a causa de 30% das mortes de crianças com menos de um ano de idade, e o principal fator que influencia nesses números são as condições de saneamento inadequadas ou até mesmo inexistentes. No Brasil as doenças por falta de saneamento ou má adequação do sistema vem

agravando o quadro epidemiológico, principalmente em regiões menos desenvolvidas e mais carentes (GUIMARÃES e SILVA, 2007).

Investir em saneamento é uma forma de se reverter a situação atual, dados divulgados pelo Ministério da Saúde afirmam que para cada R\$1,00 investido no setor de saneamento, economiza-se R\$ 4,00 na área de medicina curativa (GUIMARÃES e SILVA, 2007), com essa “economia” os gastos públicos direcionados a saúde poderiam ser remanejados para outras áreas.

O saneamento pode ser definido como ação de um conjunto de medidas que visam a modificar as condições do meio ambiente, com a finalidade de prevenir doenças e promover a saúde (MORAES e BORJA).

Um dos principais problemas ambientais relacionados a falta de saneamento ou a precariedade do sistema são a poluição de corpos d'água, contaminação do solo, contaminação do lençol freático, entre outros, isso pode ser ocasionado por exemplo pelo lançamento de efluente contaminados e não tratados, tanto por descaso dos responsáveis, quanto pela precariedade do sistema de saneamento atual.

A poluição das águas introduz novas preocupações não apenas com a problemática dos ecossistemas aquáticos, mas também com a qualidade da água de consumo humano, pois essa água contaminada pode ocasionar uma mortalidade de peixes e outros seres presentes no meio, até a contaminação humana pela ingestão da mesma. Pesquisas nesse campo passaram a evidenciar a existência tanto de agentes patogênicos como também de contaminantes químicos capazes de determinar enfermidades nos seres ao entrarem em contato com os corpos d'água. Com isso, as preocupações no campo do saneamento passam a incorporar não só questões de ordem sanitária, mas também ambiental (MORAES e BORJA), pois um ambiente que antes era pra ser equilibrado ambientalmente, após o lançamento de efluente não tratado, pode apresentar uma total alteração em suas estruturas físicas e químicas e biológicas.

### 3.2 LEGISLAÇÕES REFERENTES AO SANEAMENTO BÁSICO E LANÇAMENTO DE EFLUENTES

No Brasil a Lei N°11.445, de 5 de Janeiro de 2007, estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico. O artigo segundo dessa lei demonstra quais são os princípios fundamentais que o serviço público deve seguir, já no artigo seguinte, o terceiro fica evidenciado a definição de alguns termos, tais como, saneamento básico, gestão associada, universalização, prestação regionalizada, controle social, subsídios, entre outros (BRASIL, 2007).

A Lei N°11.445 de 5 de Janeiro de 2007 define também a abrangência da PNSB – Plano Nacional de Saneamento Básico, do qual deve contemplar todas as localidades, e é dever da União a sua elaboração, como informado no artigo 52 (BRASIL, 2007).

O artigo vinte e seis evidencia a preocupação de se realizar estudos prévios antes da implementação do serviço, como assegurar a publicidade aos relatórios, estudos, decisões e instrumentos equivalentes que se refiram à regulação ou à fiscalização dos serviços, bem como aos direitos e deveres dos usuários e prestadores, a eles podendo ter acesso qualquer do povo, independentemente da existência de interesse direto (BRASIL, 2007).

O artigo 53 reforça o que foi dito anteriormente, pois nele Fica instituído o Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico - SINISA, que tem como objetivos, coletar e sistematizar dados relativos às condições da prestação dos serviços públicos de saneamento básico; disponibilizar estatísticas, indicadores e outras informações relevantes para a caracterização da demanda e da oferta de serviços públicos de saneamento básico; permitir e facilitar o monitoramento e avaliação da eficiência e da eficácia da prestação dos serviços de saneamento básico (BRASIL, 2007).

A Lei N° 9.605 de 12 de Fevereiro de 1998, dispõe sobre sanções penais e administrativas, e considera como um crime ambiental lançamento de resíduos líquidos que não estiverem de acordo com os padrões exigidos, e prevê pena de reclusão de um a cinco anos para o infrator (BRASIL, 1998).

A Resolução do CONAMA N° 430, de 13 de Maio de 2011, dispõe sobre condições, parâmetros, padrões e diretrizes para a gestão de lançamento de efluentes em corpos de água receptores, alterando em parte e complementando a Resolução N° 357, de 17 de Março de 2005, onde em seu artigo 3° é dito que:

“Os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados diretamente nos corpos receptores após o devido tratamento e desde que obedeçam às condições, padrões e exigências dispostos nesta Resolução e em outras normas aplicáveis” (CONAMA, 2011).

Do qual é dito também que fica sob competência do órgão ambiental responsável estabelecer a carga poluidora máxima para o lançamento de substâncias passíveis de estarem presentes ou serem formadas nos processos produtivos (CONAMA, 2011). Dentro desses parâmetros que a CONAMA estabelece estão, o padrão do pH, que seu valor tem que ser entre 5 e 9 para o efluente ser lançado em corpos de água receptores e padrão de nitrogênio amoniacal, onde o limite máximo para o lançamento de efluente em corpos de água não pode ultrapassar 20,0 mg N-NH<sub>3</sub>/L.

### 3.3 SISTEMAS WETLANDS CONSTRUÍDOS

#### 3.3.1 Características gerais dos Wetlands Construídos

Wetland é um termo utilizado para caracterizar vários ecossistemas naturais que ficam total ou parcialmente inundados (SALATI, 2006), no Brasil pode ser reconhecidos como pantanos, brejos ou terras úmidas (VON SPERLING, 2005), podendo ser encontrados também em locais com características de solo com poucas permeabilidade de água, áreas de relevos de baixada, e próximo a declives (KLADEC e WALLACE, 2009).

Dentre as principais funções dentro sistema, se destacam, a capacidade de regularização dos fluxos de água, capacidade de modificar e controlar a qualidade da água, importante na função de reprodução e na alimentação da fauna aquática

incluindo os peixes, proteção da biodiversidade como área de refúgio da fauna terrestre e controle de erosão, evitando o assoreamento de rios (SALATI, 2006).

Wetlands naturais apresentam uma grande capacidade de alteração na qualidade das águas que por elas passam, através de ações mecanismos físicos, químicos e biológicos. Por esse motivo o Wetland vem sendo introduzido de maneiras artificiais, como método para o tratamento de águas poluídas por formas diversas (LAUTENSCHLAGER, 2001).

Os sistemas Wetlands Construídos são sistemas filtrantes que utilizam plantas aderidas a um maciço rochoso, por onde flui um volume de efluente em um determinado tempo de detenção hidráulica (TDH). A instalação é feita em um local que não seja um Wetland natural, com o propósito de controle de poluição e como alternativa ao tratamento e pós-tratamento de efluentes. O tratamento de efluentes ocorre por meio da ação radicular de plantas aquáticas e de bactérias aderidas a ela e ao maciço filtrante, como um processo otimizado e similar a autodepuração de matéria orgânica que ocorre em sistemas aquáticos (KLADEC e WALLACE, 2009) (VON SPERLING, 2005).

Em relação ao custo de construção e implantação, os Wetlands Construídos variam de acordo com o tamanho e como será feito o sistema utilizado, mesmo assim, observa que se trata de uma obra de engenharia com um valor de implantação e custo operacional bem mais em conta que um sistema convencional (SCALIONI, 2015).

No Quadro 1 é possível observar as vantagens e desvantagens do emprego de sistemas Wetlands construídos .

**Quadro 1:** Vantagens e Desvantagens do emprego de sistemas Wetlands construídos

Vantagens	Desvantagens
Custos de construção e operação relativamente baixos.	Podem causar problemas com mosquitos.
Fácil manutenção.	Necessidade de caracterizações precisas dos sólidos do efluente a tratar, do tipo de enchimento, do ciclo hidrológico e do regime de temperaturas.
Tolerância a flutuações no ciclo hidrológico e nas cargas de contaminantes.	Colmatação que ocorre com alguma frequência, havendo, portanto, a necessidade do controle da carga hidráulica e de sólidos para minimizar este problema.
Possibilidade de se obterem alguns benefícios adicionais, tais como a criação de espaços verdes, de <i>habitats</i> naturais e de áreas recreacionais ou educacionais.	Requerer um período de início até a vegetação estar bem estabelecida.
Não requer o uso de energia.	Alguns compostos orgânicos removidos pelo sistema podem estar ligados aos sedimentos e se acumularem ao longo do tempo.
Não requer produtos químicos ou equipamentos mecânicos.	Eficiências sazonais.
Redução da matéria orgânica e dos sólidos sedimentáveis.	
Podem ser construídos com solo e com mínimo de concreto e aço.	
Não possui mau cheiro, porque as raízes funcionam como filtro eliminando-o.	
Possibilidade de um tratamento eficaz sem a necessidade de equipamentos complexos.	
Possibilidade de reciclagem, reutilização e a valorização dos efluentes.	

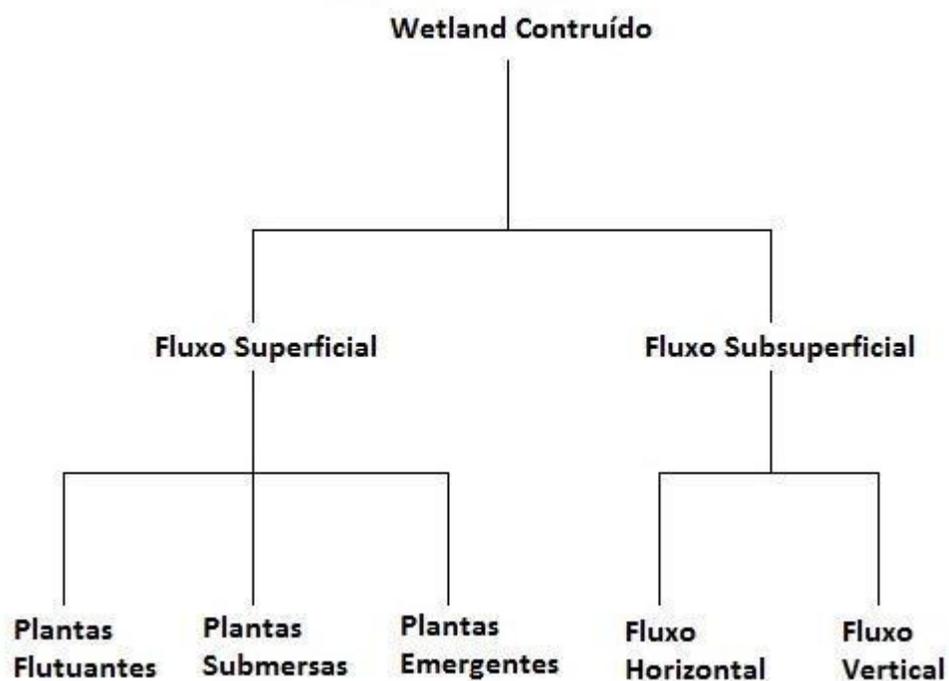
“Alta produção de biomassa que pode ser utilizada na produção de ração animal, energia (biogás) e biofertilizantes (compostos orgânicos)”.	
Considerável redução de patógenos.	
Remoção satisfatória de matéria orgânica, sólidos suspensos, nitrogênio e fósforo.	

**Fonte:** SILVA, 2007

### 3.3.2 Variações de Wetlands Construídos

Os Wetlands Construídos são classificados conforme seu fluxo, podendo ser superficial, subsuperficial, vertical, e horizontal, são classificados também através das macrófitas utilizadas, como ilustrado na Figura 3 (KLADEC e WALLACE, 2009).

**Figura 3:** Tipos de Wetlands Construídos

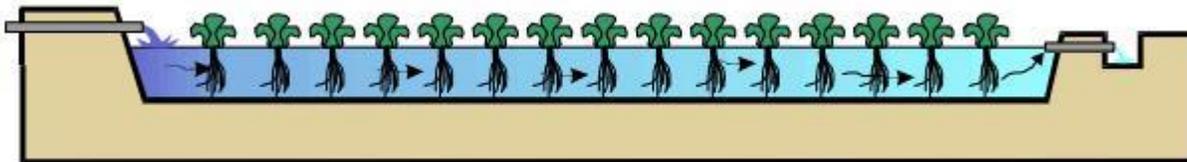


Fonte: HOFFMANN, 2011

### 3.3.2.1 Wetland com plantas flutuantes

As macrófitas flutuantes formam um grande grupo de plantas abrangendo diversas espécies, e normalmente, são utilizadas em projetos com canais relativamente rasos. A macrófita mais utilizada e estudada para esse tipo de sistema é a *Eichornia crassipes*, conhecida popularmente como aguapé, por ser uma planta resistente possuir uma elevada capacidade de crescimento. Vale mencionar também que esse sistema pode ser composto com uma combinação de espécies (SALATI, FILHO e SALATI, 2009) (Figura 4).

**Figura 4:** Desenho esquemático de um canal com plantas aquáticas flutuantes.



**Fonte:** SALATI, FILHO E SALATI, 2009

A utilização desta planta é devida a sua capacidade de resistir a águas altamente poluídas com grandes variações de nutrientes, temperaturas, pH, substâncias tóxicas e metais pesados. Por estas características, o aguapé, que é uma das plantas mais produtivas no mundo, tem apresentado problemas nas regiões tropicais e subtropicais, pois a sua capacidade de reprodução e crescimento tem bloqueado os canais e rios, o que auxilia na proliferação de vetores de doenças tropicais, podendo até ser considerados as vezes como praga. Sua capacidade de produção de biomassa pode chegar a 5% ao dia, porém só em águas poluídas, principalmente esgoto urbano onde ocorre uma maior oferta de nutrientes da qual é utilizada nos sistemas de purificação hídrica (SALATI, FILHO e SALATI, 2009).

A ação depuradora desses sistemas que utilizam plantas flutuantes é devido à sua capacidade de adsorção de partículas pelo sistema radicular das plantas, absorção de nutrientes que pode auxiliar na redução de DBO e DQO, absorção de metais pelas plantas. Esse sistema gera uma alta produção de biomassa que pode ser utilizada

posteriormente como produção de ração animal, além de melhorar os parâmetros dos recursos hídricos e ter um custo operacional e de implantação reduzidos (SALATI, FILHO e SALATI, 2009).

### 3.3.2.2 Wetlands com plantas emergentes

As espécies mais utilizadas para esses sistemas têm sido a *Phragmites australis*, a *Typha latifolia* e a *Scirpus lacustris*, representadas pelas figuras 5,6 e 7 respectivamente. Essas plantas herbáceas são macrófitas aquáticas emergentes, conhecidas com juncos. Os motivos pelos quais essas espécies são utilizadas são por desenvolverem um sistema radicular que é preso aos sedimentos, o que proporciona uma profunda penetração desse sistema, permitindo um grande volume de exploração dos sedimentos, o que favorece o transporte de oxigênio através do sistema radicular (SALATI, FILHO e SALATI, 2009).

**Figura 5:** *Phragmites australis*



**Fonte:** Invading Species Awareness Program., 2012

**Figura 6:** *Typha latifolia*



**Fonte:** Murch, L., 2005

**Figura 7:** *Scirpus lacustris*

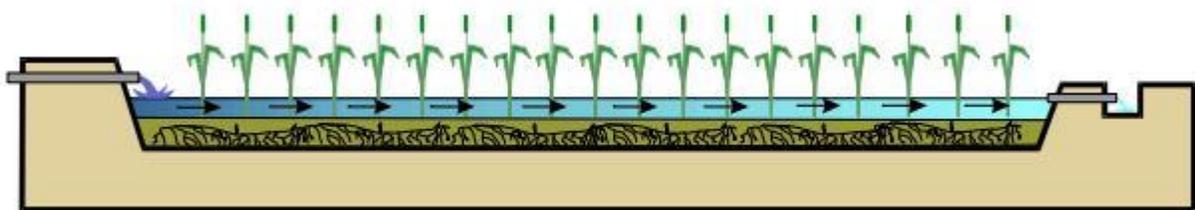


**Fonte:** Terregrosa, G. S.

Wetlands com plantas emergentes podem ser classificados em três maneiras, Sistemas com Macrófitas Emergentes com Fluxo Superficial onde a água a ser tratada escorre pela superfície do solo cultivado com plantas emergentes e geralmente são construídos canais longos, sendo a lâmina de água variável (SALATI, FILHO e SALATI, 2009). Sistemas com Macrófitas Emergentes com Fluxo Horizontal Sub-Superficial, onde a água a ser tratada deve ser mantida com fluxo horizontal de maneira que a lâmina d'água não fique visível, sendo percolado através de um meio filtrante que pode ser formado por pedras, cascalho, brita e areia, onde sua espessura pode ser variável, realizado com o cultivo de plantas emergentes. Os microrganismos que se desenvolvem ficam aderidos ao caule, as raízes das plantas e até mesmo nos sólidos em suspensão acumulados no sistema. Ao se deslocar de maneira horizontal, o efluente é submetido ao tratamento através do contato com a superfície do substrato e as raízes, que é onde se encontra o biofilme bacteriano que é responsável pela decomposição da matéria orgânica (DE PAOLI, 2010).

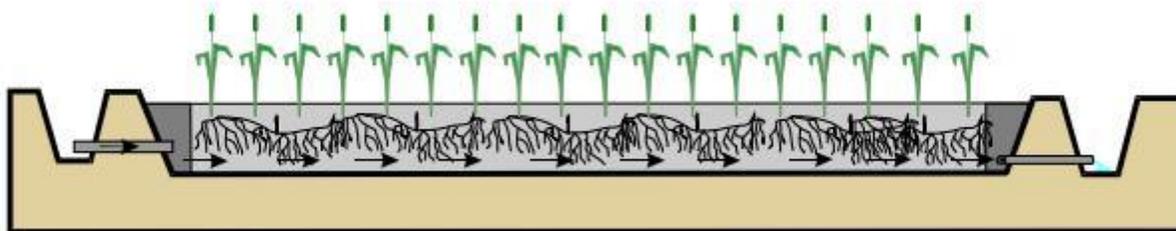
E Sistema com Macrófitas Emergentes com Fluxo Vertical, onde o fluxo da água a ser tratada deve ser vertical, e o sistema é composto por uma camada de solos sobre brita, no qual são cultivadas plantas emergentes, geralmente construído em canal longo com pouca profundidade. Os sistemas estão representados nas Figuras 8, 9 e 10 respectivamente (SALATI, FILHO e SALATI, 2009).

**Figura 8:** Desenho esquemático de um sistema com macrófitas emergentes com fluxo superficial



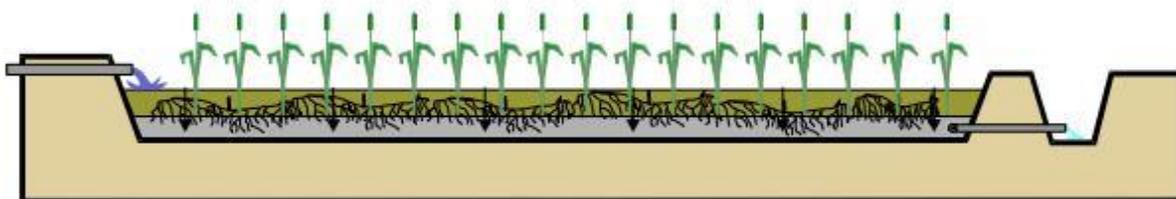
Fonte: SALATI, FILHO E SALATI, 2009.

**Figura 9:** Desenho esquemático de um sistema com macrófitas emergentes com fluxo subsuperficial



**Fonte:** SALATI, FILHO E SALATI, 2009.

**Figura 10:** Desenho esquemático de um sistema com macrófitas emergentes com fluxo vertical.



**Fonte:** SALATI, FILHO E SALATI, 2009

### 3.3.2.3 Wetland com plantas submersas

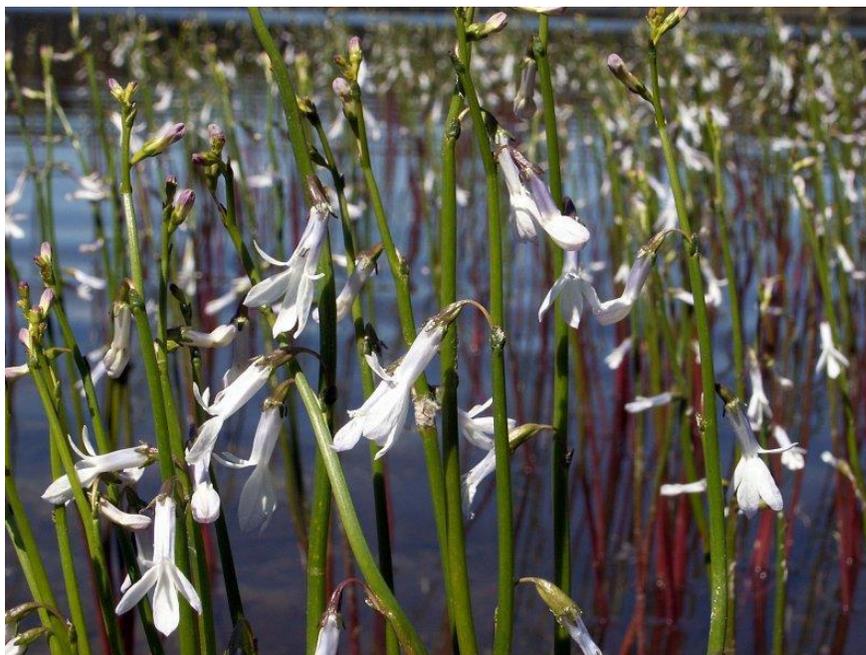
As espécies mais encontradas nesse tipo de sistema são a *Isoetes Lacustris*, *Lobelia Dortmanna* e a *Egéria sp*, e a espécie mais produtiva é a *Elodea Canadensis*, essa espécie se prolifera em águas eutróficas. Essas macrófitas aquáticas não podem ser expostas ao sol, pois quando isso ocorre seus tecidos fotossintéticos são destruídos, devido a ficarem totalmente submersas o tempo todo, e devem ser cultivadas em um substrato com um tipo de solo especial.

**Figura 11:** *Isoetes Lacustris*



**Fonte:** [Aquaportail](http://www.aquaportail.com), 2017

**Figura 12:** *Lobelia Dortmanna*



**Fonte:** Garnek, 2010

**Figura 13:** *Egéria sp*



**Fonte:** Siena, 2011

**Figura 14:** *Elodea Canadensis*

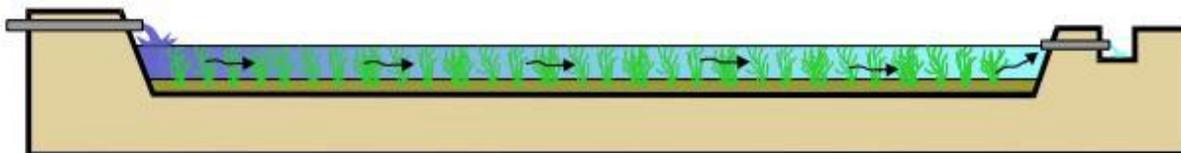


elodea  
*Elodea canadensis*  
Photo by William Haller  
© 2008 University of Florida

**Fonte:** Haller, 2008

A utilização destas macrófitas aquáticas submersas para purificação e controle de qualidade de águas, é feita através de canais estreitos e longos com profundidade variável (SALATI, FILHO e SALATI, 2009), como indicado na Figura 15.

**Figura 15:** Desenho esquemático de um sistema com macrófitas fixas submersas.



**Fonte:** SALATI, FILHO E SALATI, 2009

As macrófitas submersas promovem o desenvolvimento de oxigênio na água através de processos fotossintéticos durante o dia, com isso altas taxas de oxigenação são obtidas, o que gera condições favoráveis para a mineralização da matéria orgânica. Os nutrientes absorvidos são acumulados preferencialmente nos tecidos radiculares e na microflora associada, o que ajuda em seu desenvolvimento (SALATI, FILHO e SALATI, 2009).

Outro método de sistema é o sistema de Wetlands Combinado, quando é feita a utilização de uma combinação formando sistemas de wetlands, pois cada wetland tem uma finalidade, podendo ser construído para um determinado efluente, um problema específico a ser resolvido, da eficiência final desejada na remoção de poluentes e contaminantes, área disponível, interesse da utilização da biomassa produzida.

Tendo em vista que cada técnica de wetland tem maior eficiência para purificação de alguns parâmetros, a união desses sistemas pode ser uma técnica interessante, interligando vários tipos específicos de tratamento, podendo aumentar o poder de alguns sistemas de purificação hídrica (SALATI, FILHO e SALATI, 2009).

### 3.3.2.4 Wetland de fluxo vertical

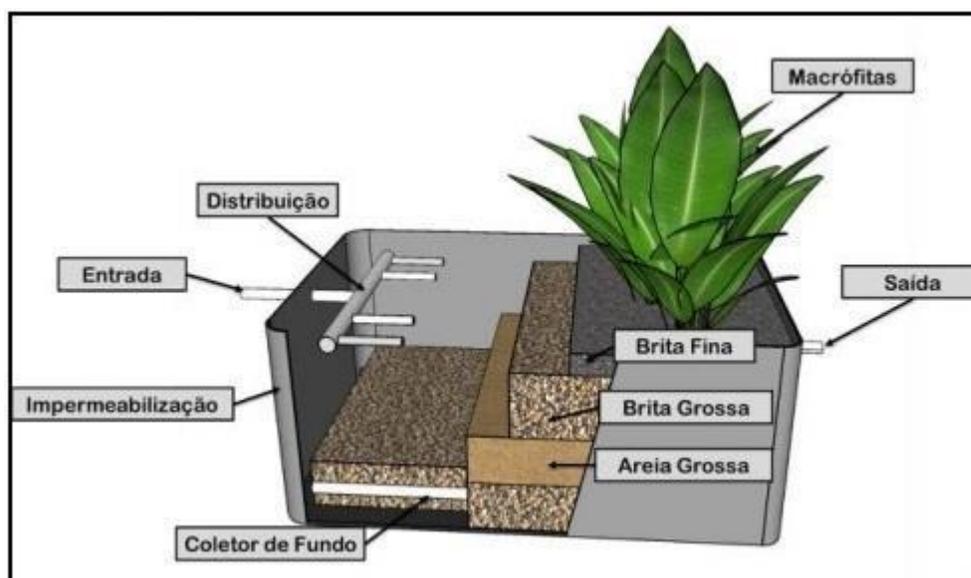
O sistema de Wetland de fluxo vertical teve seu início em 1970 na Europa, que eram conhecidos como campos alagados na Holanda e na Alemanha (ORMONDE, 2012).

Esse sistema é característico por ter escoamento de maneira vertical, onde o nível da água fica abaixo do meio de suporte. O meio de suporte é o que proporciona sustentação na base para o plantio de vegetação (ORMONDE, 2012). O meio suporte pode ser composto por brita, solos com baixo teor de argila, alta permeabilidade, alta capacidade de troca catiônica e alta atividade microbológica (LIMA, 2016).

Por esse motivo o sistema de fluxo vertical se assemelha com o de fluxo horizontal, pois o plantio da vegetação é feito diretamente no meio de suporte, porém efluente percola de modo vertical (LIMA, 2016).

Outra importância do meio de suporte é evitar o contato de animais e pessoas com o efluente a ser tratado, o que favorece a não emissão de mau cheiro e não proliferação de vetores, o sistema Wetland de fluxo vertical pode ser demonstrado pela Figura 16 (ORMONDE, 2012).

**Figura 16:** Wetland Construído de Fluxo Vertical



Fonte: Andrade, 2002

### 3.3.2.5 Wetland de fluxo horizontal

O sistema Wetland de fluxo horizontal para o tratamento de efluentes teve o seu início na Alemanha por volta de 1950. Porém é na França onde existe a maior concentração encontrada atualmente de sistemas Wetland para o tratamento de efluentes, onde no período dos últimos 30 anos foram construídos 3.500 sistemas (WETLANDS, 2016). Esse sistema de tratamento de esgoto com Wetland de fluxo horizontal também estão presentes e em operação em outros países, como, Estados Unidos da América, Dinamarca e Inglaterra (SALATI, 2006).

No Brasil esse sistema se destaca no estado do Rio de Janeiro, no município de Araruma, do qual é utilizado o sistema de Wetlands na Estação de Tratamento de Esgoto. A ETE de Araruma foi a primeira estação a utilizar o sistema Wetland no Brasil, e se tornou a maior da América Latina, teve sua inauguração em 2005, e no ano de 2009 precisou ser ampliada para poder suportar o aumento da demanda local. Com o a sua ampliação hoje ela possui uma dimensão de 6,8 hectares e tem uma capacidade de 200L/s de esgoto (ECOANDO, 2016).

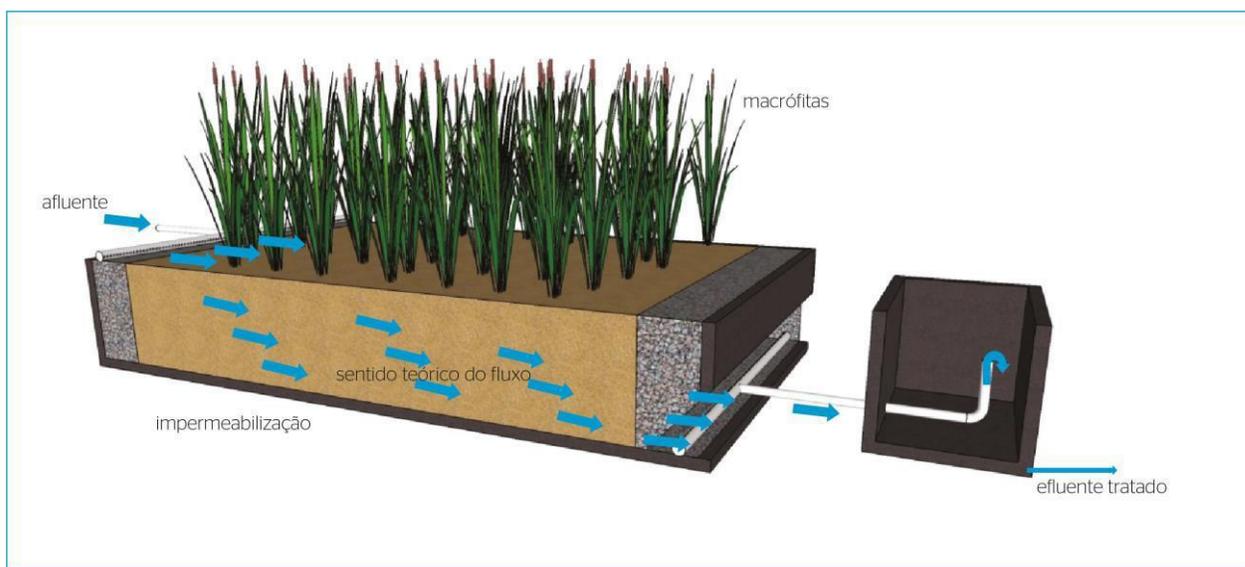
Os Wetlands de fluxo horizontal são também de fluxo superficial e subsuperficial. O subsuperficial faz com que o efluente a ser tratado permaneça abaixo da superfície, evitando maus odores, exposição do efluente para o contato de humanos e animais e proliferação de vetores (ZANELLA, NOUR e ROSTON). Possui o mesmo sistema de meio de suporte que o Wetland de fluxo vertical, com o mesmo intuito de dar uma base para ser realizado o plantio da vegetação mais adequada, e também proporciona a adesão de microrganismos que irá ajudar na produção de biofilme. O biofilme junto com as raízes das plantas que também estão aderidas ao meio de suporte, proporcionam a filtração, decantação e depuração dos constituintes do efluentes através dos microrganismos aeróbio e anaeróbios presentes no biofilme (LIMA, 2016). A presença do biofilme favorece na utilização de uma menor área se comparado com outros wetlands, pois ele gera uma área ativa no tratamento do efluente (ZANELLA, NOUR e ROSTON).

Efluentes industriais que contêm substâncias perigosas podem utilizar esse sistema de tratamento com Wetland de fluxo horizontal subsuperficial, pois como não permite a exposição do efluente, os riscos ecológicos e a saúde humana são mínimos (DORNELAS, 2008).

O efluente do sistema wetland de fluxo superficial é disposto na área de entrada e percola até a área de saída impulsionada por uma declividade de fundo.

Nos wetlands de fluxo subsuperficial o efluente é drenado pela gravidade de maneira horizontal através do meio filtrante (LIMA, 2016), porém muitas unidades são construídas com um fundo inclinado de 0.5 a 1%, com o propósito de prover um gradiente hidráulico suficiente para assegurar o fluxo subsuperficial no leito (DORNELAS, 2008). O sistema de tratamento de efluente por wetland de fluxo horizontal subsuperficial pode ser demonstrado pela Figura 17.

**Figura 17:** Wetland de Fluxo Horizontal



**Fonte:** Sezerino, 2015

### 3.3.3 Remoção de matéria orgânica em sistema Wetland

A remoção de matéria orgânica ocorre através dos microrganismos que estão presentes no meio filtrante formando biofilme, esses microrganismos precisam de carbono e fonte de energia para o seu desenvolvimento e reprodução, e como fonte de carbono eles utilizam compostos orgânicos, sendo considerados portanto, como heterótrofos (DE PAOLI, 2010), essa remoção pode ocorrer através da decomposição aeróbia, que utiliza o oxigênio como receptor final de elétrons, ou por decomposição anaeróbia, onde os microrganismos utilizam gás carbônico, nitrato e sulfato como receptor de elétrons ao invés do oxigênio (DORNELAS, 2008).

Os heterótrofos são os mais importantes para o sistema de Wetland construído de fluxo horizontal para a remoção da matéria orgânica, pois é por meio deles que a remoção é feita, uma vez que necessitam fazer decomposição da matéria orgânica para utilizá-la como fonte de carbono (DE PAOLI, 2010).

Na decomposição aeróbia, a matéria orgânica solúvel é removida por bactérias heterotróficas possuindo maior eficiência energética na respiração dos organismos decompositores, pois através dela a matéria orgânica forma gás carbônico e água, liberando energia, como pode ser descrito pela equação (1) (VON SPERLING, 1996).



A decomposição anaeróbia também ocorre, porém, ela é menos eficiente, produzindo uma quantidade menor de energia, pois uma parte da matéria carbonácea é convertida em metano, como mostra a equação (2) (VON SPERLING, 1996).



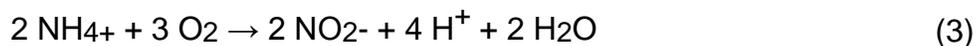
### 3.3.4 Remoção de sólidos em sistema de Wetland de fluxo horizontal

A remoção de sólidos ocorre através de mecanismos de filtração e sedimentação, essa filtração acontece por meio da retenção física do material sólido em suspensão no meio filtrante que está presente dentro do meio de suporte do wetland construído, e a sedimentação ocorre porque os sólidos possuem densidades mais elevada, isso faz com que eles desçam e fiquem no fundo do sistema, isso é possível devido à velocidade de percolação que é baixa (DORNELAS, 2008).

### 3.3.5 Remoção de nitrogênio

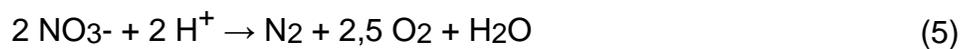
As principais fontes de nitrogênio que são encontradas nos esgotos são orgânicas e amoniacais, e o processo de transformação do nitrogênio é realizado pelos microrganismos, entre os quais as bactérias e fungos são os mais importantes (ORMONDE, 2012).

Um dos processos é a nitrificação, que ocorre na presença de oxigênio da qual é realizada por microrganismos autótrofos quimiossintetizantes. Nesse processo a amônia é oxidada por bactérias do gênero *Nitrosomonas* formando nitritos, em seguida os nitritos são oxidados pelas bactérias do gênero *Nitrobacter* formando nitratos, esse processo torna o meio mais ácido devido à liberação de íon H<sup>+</sup>, como descrito nas equações 3 e 4 respectivamente (VON SPERLING, 1996).



O outro processo de conversão da matéria nitrogenada é a desnitrificação, que é realizado na ausência de oxigênio por microrganismos heterótrofos, por esse motivo

da ausência de oxigênio o nitrato é usado como aceptor de elétrons e é reduzido a nitrogênio gasoso (N<sub>2</sub>). Ao contrario do processo anterior que se torna mais ácido, esse fica mais alcalino, pois a matéria nitrogenada pode ser estabilizada sem que haja oxigênio, consumindo H<sup>+</sup>, como mostra a equação (5) (VON SPERLING, 1996).



O estágio de poluição pode ser expresso por meio do estado de oxidação dos compostos nitrogenados, pois se o lançamento for recente as formas predominantes desse elemento seriam amônia (NH<sub>3</sub>), íon amônio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) e nitrogênio orgânico, caso contrário o que predominaria seria o nitrito (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>).

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ESTAÇÃO EXPERIMENTAL

A construção do sistema Wetland de fluxo horizontal foi realizada próxima a caixa de passagem do Restaurante Universitário, localizado no campus de Londrina da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) (Figura 18), cujas coordenadas são 23°18'33.1"S e 51°06'54.6"W. O Restaurante Universitário (RU) foi inaugurado em 19 de outubro de 2012, desde então está fornecendo almoço de segunda-feira a sábado, e jantar de segunda a sexta-feira, com uma média de quinhentas refeições servidas no almoço e trezentas servidas no jantar, totalizando uma média diária de oitocentas refeições (UTFPR, 2017).

Atualmente a Universidade oferece os cursos de graduação que são: Tecnologia em Alimentos, Engenharia Ambiental, Engenharia de Materiais, Engenharia Mecânica, Engenharia de Produção, Engenharia Química e Licenciatura em Química. Os cursos de mestrados ofertados são: Mestrado Profissional em Tecnologia de Alimentos, Mestrado Acadêmico em Engenharia Ambiental (PPGEA), Mestrado Profissional em Ensino de Ciências Humanas, Sociais e da Natureza e Mestrado em Ensino de Matemática. Oferece também curso de Formação Pedagógica; cursos de Qualificação Profissional destinados aos alunos e à comunidade, e cursos de especialização. O Câmpus Londrina conta, hoje, com cerca de 1.725 alunos, 166 professores (efetivos e contratados) e 75 servidores técnico-administrativos (UTFPR, 2017).

**Figura 18:** Local de construção da estação experimental

Fonte: Google Earth, 2017

O sistema wetland construído foi dimensionado segundo critérios de Sazerino (2013).

Área superficial do Filtro Horizontal.

$$\frac{C_e}{C_o} = \exp(-Kt) \quad T \quad (6)$$

Onde:

$C_e$  = concentração efluente em termos de  $DBO_5$  (mg/L);

$C_o$  = concentração afluente em termos de  $DBO_5$  (mg/L);

$KT$  = constante de reação da cinética de primeira ordem – dependente da temperatura  $T$  ( $d^{-1}$ );

$t$  = tempo de retenção hidráulico (d).

O tempo de retenção hidráulico na Equação 6 é função da porosidade do maciço filtrante, do volume do filtro e da vazão que se deseja tratar (Equação 7).

$$t = n \frac{V}{Q} \quad (7)$$

Onde:

$t$  = tempo de retenção hidráulico (d);

$n$  = porosidade do material filtrante ( $m^3$  vazios/ $m^3$  material);  $V$  = volume do filtro ( $m^3$ );  
 $Q$  = vazão ( $m^3/d$ ).

Tem-se, então, a possibilidade de estimar a área superficial requerida para o filtro plantado com macrófitas, trabalhando-se com as Equações 6 e 7, conforme segue:

$$C_e = C_o \exp\left(-\frac{Kt}{T}\right) \quad (8)$$

Modificada aplicando o logaritmo natural:

$$\ln C_e = \ln C_o - \frac{Kt}{T} \quad (9)$$

Substituindo a Equação 9 na Equação 7:

$$\ln C_e = \ln C_o - \frac{V}{Q} \frac{K}{T} n \quad (10)$$

Como o volume ( $V$ ) é o produto da área ( $A$ ) pela profundidade ( $p$ ), tem-se:

$$\ln C_e = \ln C_o - \frac{A \times p}{Q} \frac{K}{T} n \quad (11)$$

Isolando  $A$ , obtêm-se:

$$A = \frac{Q \times (\ln C_o - \ln C_e)}{K \times p \times n \times T} \quad (12)$$

Onde:

$A$  = área superficial requerida ( $m^2$ );

$Q$  = vazão afluyente ( $m^3/d$ );

$C_o$  = concentração afluyente em termos de  $DBO_5$  ( $mg/L$ );

$C_e$  = concentração efluente em termos de DBO<sub>5</sub> (mg/L);

$K_T$  = constante de reação da cinética de primeira ordem ( $d^{-1}$ );

$\eta$  = porosidade do material filtrante ( $m^3$  vazios/ $m^3$  material);  $p$  = profundidade média do filtro (m).

Será adotado:

$K = 0,82 d^{-1}$  (Conley *et al.*, 1991; Reed *et al.*, 1998);

$\eta = 0,35$  (areia);

$C_o = 400$  mg/L

$C_e = 80$  mg/L

$p = 0,65$  m.

$A = 2,40$  m<sup>2</sup>

Logo, empregando-se os valores estimados nas equações, (6), (7) e (8) respectivamente, e calculados na Equação 12, tem-se:

$$Q = \frac{2,40 \times 0,82 \times 0,65 \times 0,35}{(\ln 400 - \ln 80)} \rightarrow Q_{FPMH1} = 0,280 m^3 / \text{ou } 280 L / d$$

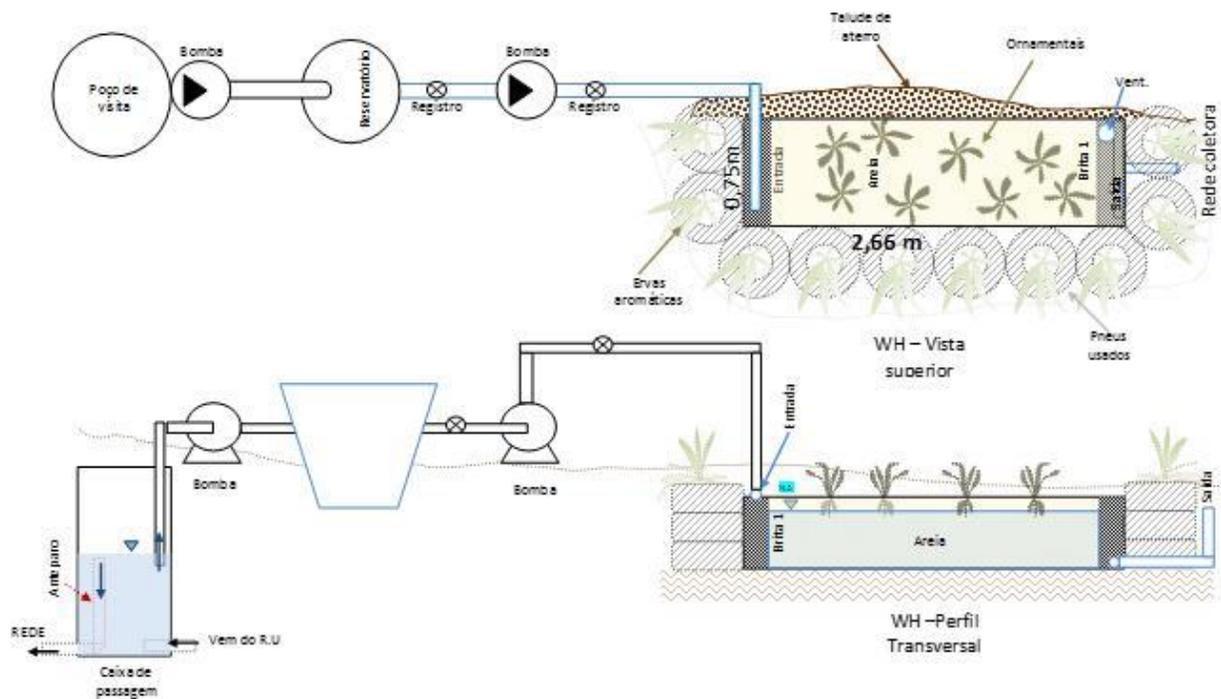
$C$  = comprimento superior = 2,67 m;

$L$  = largura superior = 0,90m;

A construção do sistema foi feita considerando um talude de corte do terreno adjacente ao poço de captação que necessitava de uma obra de contenção. Assim, esse wetland foi concebido como essa respectiva obra e executado com pneumáticos usados que foram ancorados no talude, amarrados com arame galvanizado e preenchidos com terra compactada. A parte interna do sistema foi calafetada com mistura de barro e palha e o fundo foi regularizado com uma camada de areia. Uma camada de tecido não tecido (TNT) foi colocada em seguida em todo interior do sistema para funcionar como geomembrana para proteção da camada impermeabilizante que foi feita com duas camadas de lona plástica de 200 micra.

O maciço filtrante foi composto por areia média não caracterizada na zona principal e brita 1 na zonas de entrada e saída do sistema (Figura 19).

**Figura 19:** Esquema de funcionamento da bancada experimental



**Fonte:** De Carvalho Jr. (2013)

O afluente do sistema era oriundo de um poço de captação de esgoto que recebia efluente da caixa de gordura do restaurante universitário e esgoto dos banheiros dos blocos de salas de aulas A e B. Esse afluente era bombeado para um reservatório (300L) para equalização e armazenamento considerando as variações de vazões características dessas instalações. A alimentação do sistema era feita de segunda a sexta-feira, na parte superior da zona de entrada, por uma bomba de aquário submersa correspondendo a dois ciclos diários de 30 min de duração de vazão de 1,5L/min. resultando em carga hidráulica de 90 L/d. As vazões de entrada e saída do sistema eram correspondentes e medidas após 15 minutos do início do ciclo e a cada 15 dias por medição direta (volume/ tempo). O efluente bruto era distribuído na parte superior da zona de entrada por uma tubulação de 40 mm perfurada com furos de 8mm a cada 5 cm. O efluente tratado era coletado em um dreno com as mesmas características localizadas no fundo da parte extrema do sistema. A saturação do

maciço foi mantida em 50 cm de altura por meio da alocação da tubulação de saída na respectiva cota em relação ao fundo do sistema.

A espécie utilizada no experimento foi a planta *Typha Domingensis*, conhecida popularmente como Taboa, Bucha, Pau-da-Lago, entre outros, sua plantação foi feita na razão de 5 mudas por m<sup>2</sup>. Essa espécie é uma planta Herbácea, perene e rizomatosa, que pode ser encontrada no mundo todo, considerada em alguns lugares como praga, altamente adaptável é uma planta típica de brejos e manguezais, podendo chegar até a três metros de altura, possui caule cilíndrico, folhas laminares e eretas. A Taboa possui uma grande capacidade de absorver metais pesados, sendo assim uma depuradora de águas poluídas, podendo ser utilizada com a finalidade de promover a “limpeza” de águas contaminadas (STUMPF).

A Figura 20 ilustra o sistema Wetland de fluxo Horizontal logo após sua montagem.

**Figura 20:** Sistema Wetland Horizontal uma semana após implantação. A – Vista superior; B – Vista frontal.



**Capturado por:** De Carvalho Jr. (2016)

A partida do sistema foi feita em abril de 2016 como objeto de pesquisa de verificar a viabilidade de aplicação de Wetland Construído de fluxo horizontal como tecnologia para tratamento descentralizado de efluentes orgânicos de pequenas unidades industriais e avaliar a eficiência de um sistema Wetland construído de fluxo

horizontal, empregado no tratamento de efluente de um restaurante universitário e foi operado por 2 meses consecutivos. Após esse período esse wetland ficou até março de 2017 sem operação sistemática considerando que não haviam pesquisadores envolvidos no projeto. A partir daí as análises começaram a ser feitas para verificar a eficiência do sistema. No início de maio de 2017 foi realizada a poda dessas plantas, com o intuito de aumentar a eficiência da remoção dos nutrientes encontrados no efluente, pois em sua fase de crescimento a planta necessita de mais nutrientes para o seu desenvolvimento, as análises foram realizadas até o dia 26/05/2017. As figuras 21 e 22 mostram o sistema antes e depois da poda respectivamente.

**Figura 21:** Sistema Wetland Horizontal com plantas antes da poda. A – Vista frontal; B – Vista superior



**Capturado por:** De Carvalho Jr. (2017)

**Figura 22:** Sistema Wetland após a poda das plantas. A – Vista frontal; B – Vista superior



**Capturado por:** Autoria própria

## 4.2 ROTINA DE ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS

As coletas das amostras foram realizadas na entrada e na saída do sistema, com uma frequência semanal e por amostragem simples.

Após coletadas as amostras, as mesmas foram encaminhadas ao Laboratório de Saneamento, onde suas características físicas e químicas foram monitoradas. No Quadro 2 estão descritas os parâmetros analisados e suas respectivas metodologias para execução das análises.

**Quadro 2:** Metodologias empregadas no monitoramento físico-químico

<b>Parâmetro</b>	<b>Método</b>	<b>Frequência</b>
Alcalinidade Total (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	Titulométrico Potenciométrico – Standard Methods 2320 B.	Semanal
DQO (mg DQO/L)	Digestão em Refluxo Fechado – Colorimétrico – Standard Methods 5220 D.	Semanal
Fosfato (mg PO <sub>4</sub> -P/L)	Colorimétrico – Standard Methods 4500-P E.	Semanal
N- NTK	Método Titulométrico – Standard Methods 4500-Norg B.	Semanal
N. Amoniacal (mg NH <sub>3</sub> -N/L)	Método Titulométrico – Standard Methods 4500-NH <sub>3</sub> C.	Semanal
Nitrato (mg NO <sub>3</sub> -N/L)	Colorimétrico – Standard Methods 4500 – NO <sub>3</sub> - B.	Semanal
pH	Eletrométrico – Standard Methods 4500-H+ B.	Semanal
ST (mg SS/L) (fixos e voláteis)	Secagem a 103-105°C – Standard Methods 2540 D.	Semanal
SST (mg SSV/L) (fixos e voláteis)	Secagem a 103-105°C – Standard Methods 2540 B.	Semanal

Fonte: APHA, 2012

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com a instalação do sistema Wetland Construído de Fluxo Horizontal procurou-se mostrar consecutivamente a eficiência do mesmo no tratamento de esgoto de um Restaurante Universitário, através da remoção de DQO que foram analisados nas amostras retiradas do efluente. Para demonstrar a eficiência do sistema foi realizado o seu monitoramento, e para auxiliar os resultados de viabilidade do sistema foram utilizadas ferramentas estatísticas para melhor avaliação.

Outra pretensão foi demonstrar que os pneus podem ser utilizados na estrutura do sistema de Wetland Construído de Fluxo Horizontal, que além de conseguir proporcionar uma boa resistência, pode ser também um destino adequado a pneus que não seriam mais utilizados e iriam para o lixo, provavelmente sendo descartados de maneira incorreta prejudicando o meio ambiente, e também podendo proporcionar o aumento de vetores de doenças, aumentando o risco não só ao meio ambiente como também para a saúde humana.

O esgoto produzido pelo restaurante universitário, que é composto por uma cozinha industrial, banheiros, e uma copa, possui as características de entrada (esgoto que é lançado no sistema) e saída (após o tratamento) descritas nas tabelas 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 e 12 respectivamente. Os valores que possuem um “x” indicam que as análises não foram aproveitadas por erro experimental ou por falta de material de consumo, e os valores que possuem “ND” significa que os valores não foram detectados pela metodologia empregada.

## 5.1 pH

Na Tabela 1 é possível observar os valores de pH que foram encontrados durante todo o período de análise.

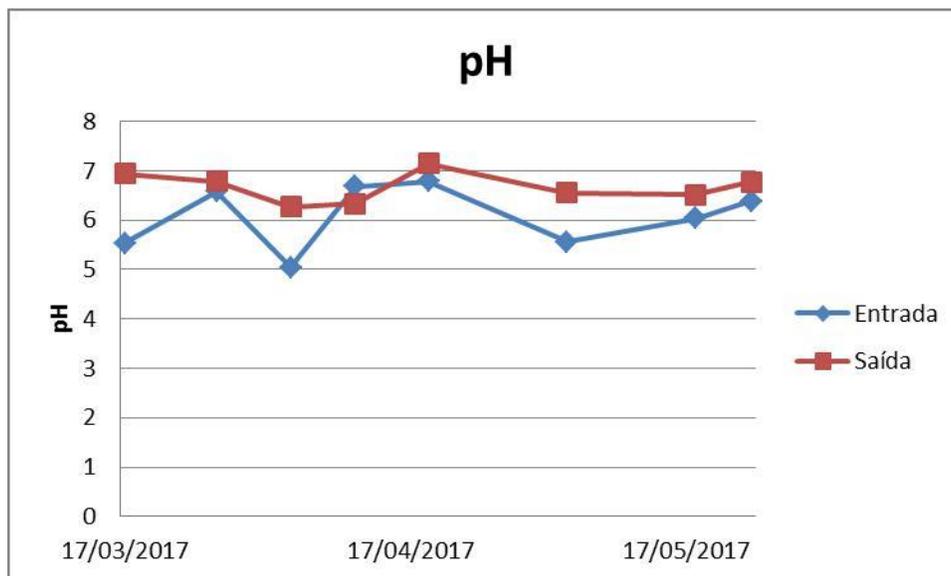
**Tabela 1:** Valores de pH

pH			
Data	Entrada	Saída	Varição
<b>17/03/2017</b>	5,54	6,94	25,27%
<b>27/03/2017</b>	6,58	6,78	3,04%
<b>04/04/2017</b>	5,05	6,27	24,15%
<b>11/04/2017</b>	6,68	6,33	-5,23%
<b>19/04/2017</b>	6,79	7,15	5,30%
<b>04/05/2017</b>	5,56	6,55	17,80%
<b>18/05/2017</b>	6,04	6,52	7,95%
<b>24/05/2017</b>	6,38	6,77	6,11%
<b>Média</b>	6,07	6,66	9,72%

**Fonte:** Autoria própria

Em todas as análises realizadas foi possível observar que o valor do pH do esgoto antes de passar pelo sistema de tratamento sempre foi mais baixo que o valor após ser tratado, o que deixa o afluente um pouco mais ácido que o efluente, do mesmo modo que ocorreu no experimento de Ferreira e Paulo (2009) que também é um sistema wetland de fluxo horizontal, onde os valores de pH variaram entre 5,7 no afluente até 7,1 no efluente.

Neste trabalho o menor valor de pH encontrado foi de 5,05 (afluente) e o maior valor foi de 7,15 (efluente), a média encontrada do afluente foi no valor de 6,07 e a média do efluente foi de 6,66, demonstrando um aumento médio de 9,72%. Isso mostra a eficiência no aumento do pH e garante que o efluente esteja dentro dos padrões de lançamento determinados pela CONAMA, que é no valor de 5 a 9 (Gráfico 1).

**Gráfico 1: Variação de pH**

Fonte: Autoria própria

## 5.2 ALCALINIDADE

A alcalinidade pode ser observada através da Tabela 2, onde fica evidente que em todas as análises o valor da alcalinidade foi maior após passar pelo sistema de tratamento, comprovando a eficiência do sistema em aumentar a neutralidade do afluente. O que contribuiu para esse aumento foi meio de suporte do sistema que é composto por britas em seu maciço filtrante.

Tabela 2: Alcalinidade

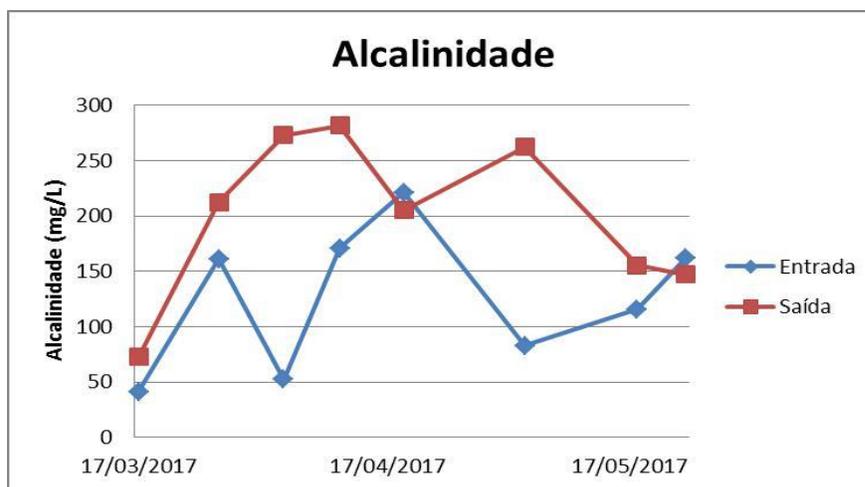
Alcalinidade (mg/L)			
Data	Entrada	Saída	Variação
17/03/2017	41,2	72,7	76,45%
27/03/2017	161,2	212,3	31,70%
04/04/2017	52,1	272,6	423,22%
11/04/2017	170,6	281,6	65,06%
19/04/2017	221	204,9	-7,28%
04/05/2017	82,9	262,3	216,40%
18/05/2017	115,7	155,4	34,41%
24/05/2017	161,4	147	-8,92%
<b>Média</b>	125,76	201,1	59,90%

Fonte: Autoria própria

A alcalinidade do afluente teve valor médio de 125,76 mg CaCO<sub>3</sub>/L, sendo 170,6 mg CaCO<sub>3</sub>/L seu valor máximo e 41,2 mg CaCO<sub>3</sub>/L o valor mínimo. A alcalinidade média do efluente foi de 201,1 mg CaCO<sub>3</sub>/L, com seu valor máximo de 272,6 mg CaCO<sub>3</sub>/L e mínimo 72,7 mg CaCO<sub>3</sub>/L.

O aumento médio da alcalinidade total do esgoto tratado foi de 59,90%, confirmando a boa eficiência em questão do aumento de pH, o que significa que aumentou a neutralidade do efluente, isso ocorre graças a decomposição de matéria orgânica e por processos respiratórios das raízes das plantas que estão próximas a superfície (MONTEIRO, 2009) (Gráfico 2).

Gráfico 2: Variação de Alcalinidade



Fonte: Autoria própria

### 5.3 NITROGÊNIO TOTAL (NT)

Com as análises realizadas foi possível observar uma remoção significativa do nitrogênio total (NT), conforme é possível ver na Tabela 3.

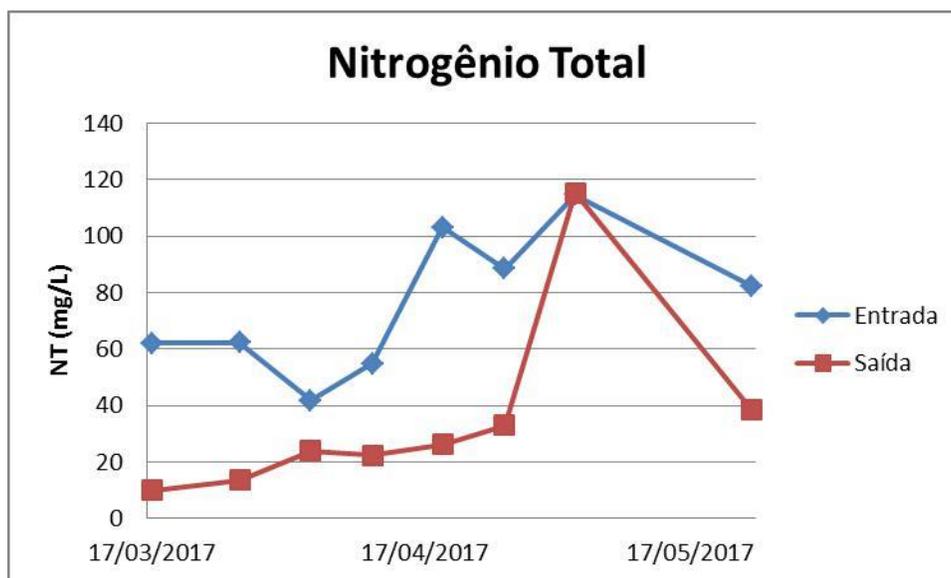
**Tabela 3:** Nitrogênio Total (NT)

NT (mg/L)			
Data	Entrada	Saída	Remoção
17/03/2017	62,05113	9,93638355	83,98%
27/03/2017	62,28901	13,5537868	78,24%
04/04/2017	41,8656	23,8728	42,97%
11/04/2017	54,9192	22,4028	52,24%
19/04/2017	103,1817	26,2248	74,58%
26/04/2017	88,42521	32,8692	62,86%
04/05/2017	114,5927	115,343543	-0,65%
18/05/2017	382,2	x	x
24/05/2017	82,4376	38,6904	53,06%
<b>Média</b>	110,218	35,3617141	67,91%

Fonte: Autoria própria

Se comparado com outros valores da literatura fica nítido o bom funcionamento do sistema, pois na Estação de Tratamento de Esgoto ETEAlbrás (Belém/PA) com sistema wetland horizontal obteve uma remoção de NT de 70% (SALATI, FILHO e SALATI, 2009), no experimento de Ferreira e Paulo (2009) a remoção máxima foi de 45% de NT e Pelissari et al. (2014) obteve remoção de 59% de NT, enquanto o sistema em estudo obteve uma remoção média de 67,91%, chegando no valor máximo de 83,98% de remoção, o que é superior aos valores dos outros sistemas citados (Gráfico 3). No dia 04/05 o sistema apresentou uma remoção ineficiente de nitrogênio total, isso aconteceu por uma falha na operação do sistema, onde ao invés de dois pulsos de 30 minutos foi feito um único pulso de uma hora, isso ocasionou uma sobrecarga orgânica no sistema, prejudicando sua eficiência de remoção.

Gráfico 3: Variação de Nitrogênio Total



Fonte: Autoria própria

### 5.3.1 Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK)

Em todas as análises realizadas apenas em uma não ocorreu à redução das concentrações de NTK, em todas as outras ocorreu uma redução considerável, como mostra a Tabela 4.

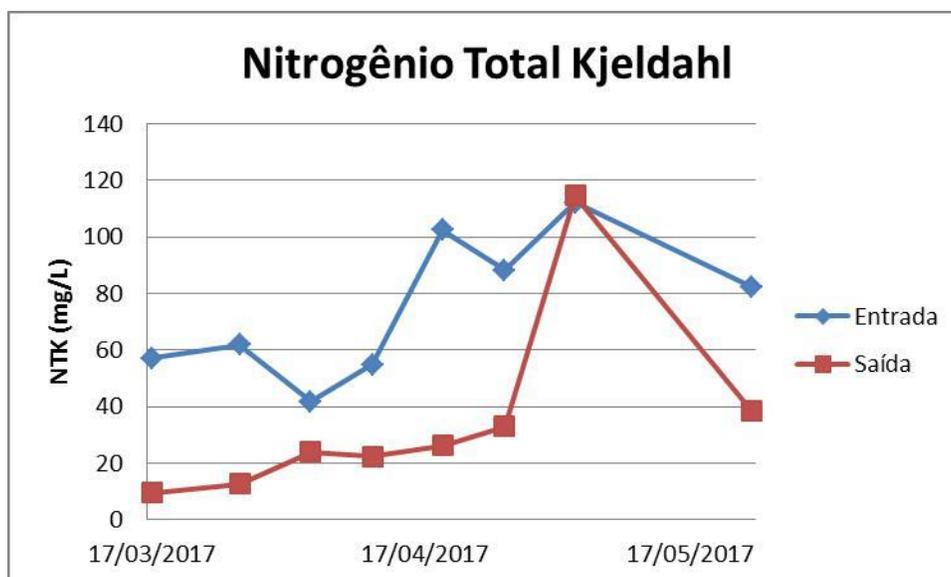
Tabela 4: Nitrogênio total kjeldahl

Data	NTK (mg/L)		
	Entrada	Saída	Remoção
17/03/2017	57,036	9,5256	83,30%
27/03/2017	61,9752	12,7008	79,50%
04/04/2017	41,8656	23,8728	42,98%
11/04/2017	54,9192	22,4028	59,20%
19/04/2017	102,4296	26,2248	74,40%
26/04/2017	88,2588	32,8692	62,76%
04/05/2017	112,308	114,7776	-2,20%
18/05/2017	382,2	x	x
24/05/2017	82,4376	38,6904	53,07%
Média	109,27	35,133	67,85%

Fonte: Autoria própria

O valor máximo encontrado no afluente foi de 112,308 mg N-NTK/L, o mínimo foi de 41,86 mg N-NTK/L e concentração média foi de 109,27 mg N-NTK/L. No afluente o máximo valor encontrado foi de 114,77 mg N-NTK/L, o valor mínimo foi de 9,52 mg N-NTK/L e a concentração média foi de 35,13 mg N-NTK/L. Com isso o valor médio de remoção de NTK foi de 67, 85%, e o valor máximo de remoção foi de 74,40%, esses valores confirmam a boa remoção de nitrogênio total (NT), pois o NT é a soma no NTK com o nitrato (Gráfico 4).

**Gráfico 4:** Variação de NTK



**Fonte:** Autoria própria

### 5.3.2 Nitrato

Das nove análises que foram propostas a serem feitas apenas três foram consideradas com todos os resultados, e dessas três análises apenas uma apresentou um valor de concentração de nitrato maior no afluente que no efluente (Tabela 5).

Tabela 5: Nitrato

Nitrato (mg/L)			
Data	Entrada	Saída	Remoção
17/03/2017	5,01512801	0,410784	91,80%
27/03/2017	0,31380915	0,852987	-171,81%
04/04/2017	ND	ND	ND
11/04/2017	ND	ND	ND
19/04/2017	0,75213344	ND	ND
26/04/2017	0,16640807	ND	ND
04/05/2017	2,28471684	0,565943	75,23%
18/05/2017	ND	ND	ND
24/05/2017	x	X	x
<b>Média</b>	1,7	0,609	64,12%

Fonte: Autoria própria

O maior valor de nitrato encontrado no efluente foi de 5,01 mg/L, o menor foi de 0,16 mg/L e o valor médio foi de 1,70 mg/L. No afluente o valor máximo foi de 0,85 mg/L, o valor mínimo foi de 0,41 mg/L e o valor médio foi de 0,609 mg/L. Com esses valores o valor máximo de remoção foi de 91,80% e o valor médio encontrado foi 64,12%.

Porém a média de remoção de nitrato não está tão alta como no sistema wetland do Parque Ecológico do Tietê, que apresenta uma remoção de 90% (SALATI, FILHO e SALATI, 2009).

#### 5.4 Nitrogênio amoniacal

As concentrações de Nitrogênio Amoniacal diminuíram consideravelmente após o tratamento do esgoto pelo sistema Wetland de Fluxo Horizontal, como observa-se na Tabela 6.

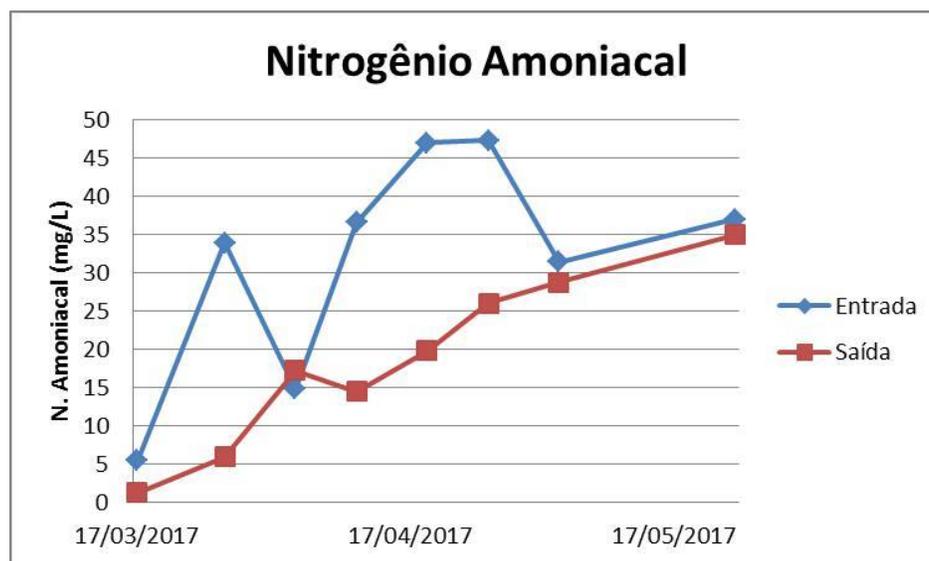
**Tabela 6:** Nitrogênio Amoniacal

<b>Amoniacal (mg/L)</b>			
<b>Data</b>	<b>Entrada</b>	<b>Saída</b>	<b>Remoção</b>
<b>17/03/2017</b>	5,4684	1,2936	76,84%
<b>27/03/2017</b>	33,9276	5,9976	82,32%
<b>04/04/2017</b>	14,847	17,2872	-16,43%
<b>11/04/2017</b>	36,6324	14,553	60,27%
<b>19/04/2017</b>	46,9812	19,8744	57,70%
<b>26/04/2017</b>	47,334	26,0778	44,90%
<b>04/05/2017</b>	31,458	28,7826	8,50%
<b>18/05/2017</b>	x	28,518	x
<b>24/05/2017</b>	37,044	34,986	5,55%
<b>Média</b>	31,7	19,7	37,85%

**Fonte:** Autoria própria

O valor máximo de concentração observado no afluente foi de 47,334 mg N-NH<sub>3</sub>/L, o menor valor foi de 5,4684 mg N-NH<sub>3</sub>/L e o médio foi de 31,7 mg N-NH<sub>3</sub>/L. Após o tratamento o efluente apresentou valor máximo de 34,986 mg N-NH<sub>3</sub>/L, valor mínimo de concentração de 1,2936 mg N-NH<sub>3</sub>/L e valor médio de 19,70 mg N-NH<sub>3</sub>/L. Com isso a remoção média de nitrogênio amoniacal foi de 37,85% e a máxima foi de 82,32%. Em quatro análises o esgoto tratado não atendeu aos padrões de lançamento de efluentes da resolução nº 430 (CONAMA, 2011), que estabelece o limite de 20,0 mg N-NH<sub>3</sub>/L para o parâmetro nitrogênio amoniacal total, essas quatro análises que tiveram baixa remoção contribui pro valor não ficar tão próximo ao de Pelissari et al. (2014) que obteve uma eficiência de remoção de 58% no sistema wetland de fluxo horizontal, porém nas outras cinco análises o efluente esteve dentro do padrão de lançamento (Gráfico 5).

Gráfico 5: Variação de Nitrogênio Total



Fonte: Autoria própria

## 5.5 FOSFATO

Nas análises do fosfato, para o afluente foram realizadas diluições na razão de 1 para 10, para o valor se ajustar a curva de concentração. Em todas as análises foi possível perceber a diminuição da concentração do fosfato após o esgoto ser tratado pelo sistema wetland de fluxo horizontal (Tabela 7).

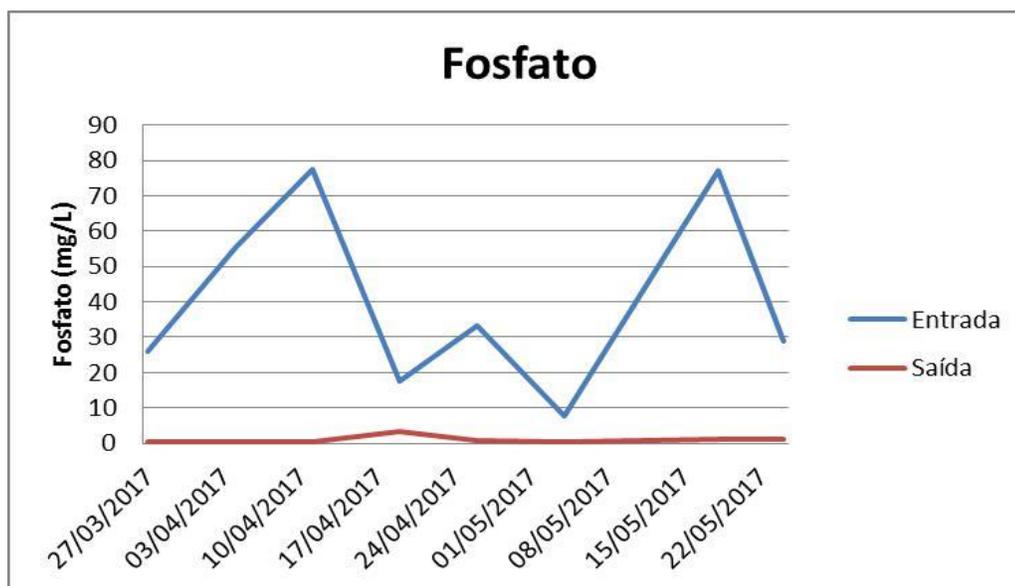
Tabela 7: Fosfato

Data	Fosfato (mg/L)		
	Entrada	Saída	Remoção
17/03/2017	6,477424	ND	ND
27/03/2017	26,100104	0,441322	98,30%
04/04/2017	55,47402	0,512677	99,07%
11/04/2017	77,42488	0,260386	99,66%
19/04/2017	17,4264	3,419344	80,37%
26/04/2017	33,3539	0,635	98,09%
04/05/2017	7,6150	0,405644	94,67%
18/05/2017	76,9152	1,317972	98,28%
24/05/2017	28,8177	1,157422	85,98%
<b>Média</b>	<b>36,62</b>	<b>1,02</b>	<b>97,21%</b>

Fonte: Autoria própria

O maior valor encontrado no afluente foi de 77,47 mg PO<sub>4</sub>-/L, o menor valor foi de 6,47 mg PO<sub>4</sub>-/L, e o valor médio foi de 36,62 mg PO<sub>4</sub>-/L. No efluente o maior valor foi de 3,41 mg PO<sub>4</sub>-/L, o menor valor de 0,26 mg PO<sub>4</sub>-/L, e a concentração média foi de 1,02 mg PO<sub>4</sub>-/L. Com esses valores que estão na Tabela foi possível constatar a o valor de máxima remoção de fosfato foi de 99,07% e a média de remoção foi de 97,21% (Gráfico 6).

**Gráfico 6:** Variação de Fosfato



**Fonte:** Autoria própria

Pode-se observar que o sistema em estudo obteve uma eficiência muito alta, e se comparado com o sistema de Ferreira e Paulo (2009) do qual também é sistema de fluxo horizontal que foi instalado logo após uma cozinha de uma residência para fazer o tratamento dos efluentes provenientes da cozinha, banheiro e um tanque de lavar roupa, esse valor fica ainda mais expressivo, pois Ferreira e Paulo (2009) obtiveram uma remoção total máxima de 47%.

## 5.6 DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO (DQO)

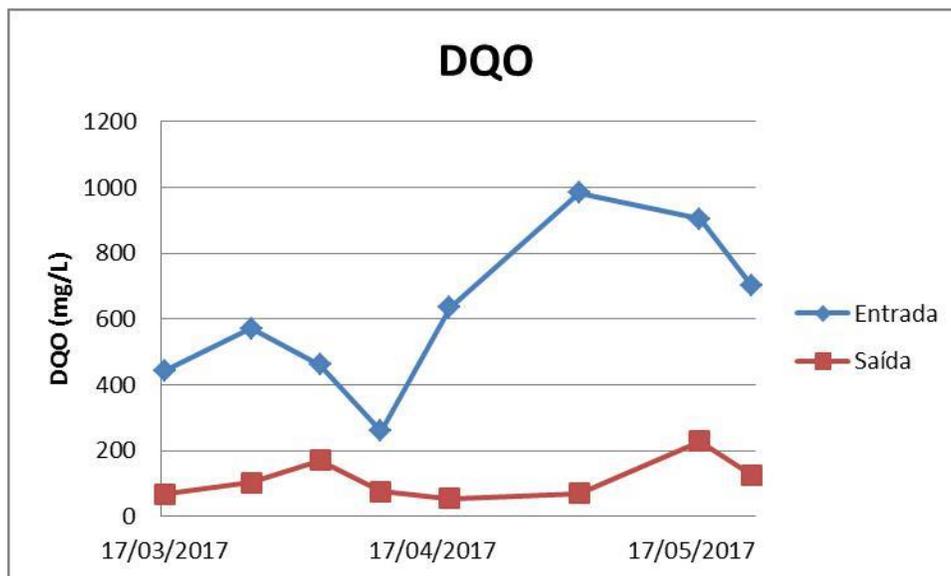
Através dos dados obtidos descritos na Tabela 8 foi possível observar uma diminuição considerável na concentração de DQO.

**Tabela 8: DQO**

<b>DQO (mg/L)</b>			
<b>Data</b>	<b>Entrada</b>	<b>Saída</b>	<b>Remoção</b>
<b>17/03/2017</b>	442,7399	67,6799	84,71%
<b>27/03/2017</b>	571,0499	102,2249	82,09%
<b>04/04/2017</b>	460,0124	171,3149	62,75%
<b>11/04/2017</b>	260,1449	75,0824	71,13%
<b>19/04/2017</b>	635,2049	55,3424	91,28%
<b>04/05/2017</b>	983,1224	70,1474	92,86%
<b>18/05/2017</b>	904,1624	228,0674	74,77%
<b>24/05/2017</b>	701,8274	126,8999	81,91%
<b>Média</b>	619,78	112,09	81,91%

**Fonte:** Autoria própria

A concentração máxima do afluente foi de 983,12 mg O<sub>2</sub>/L, a mínima teve o valor de 260,14 mg O<sub>2</sub>/L, e a média das concentrações foi de 619,78 mg O<sub>2</sub>/L. O efluente teve como valor máximo de concentração de 228,06 mg O<sub>2</sub>/L, valor mínimo de 55,34 mg O<sub>2</sub>/L, e uma média de 112,09 mg O<sub>2</sub>/L. Com esses dados foi possível obter o valor máximo de remoção de DQO de 92,86%, e um valor médio de remoção de 81,91% (Gráfico 7).

**Gráfico 7: Variação de DQO**

Fonte: Aatoria própria

É possível verificar que o sistema apresentou uma ótima eficiência na remoção de DQO, pois em outros sistemas de wetlands horizontais os valores mostraram na grande maioria das vezes inferiores a 81,91%. Na Estação para tratamento preliminar das águas do rio em Piracicaba/SP a eficiência na remoção de DQO foi de 70%, na Estação de Tratamento de Esgoto ETE Cyanamid (Iracemápolis/SP) que possui 50 habitantes a Eficiência foi de 73%, na Estação de Tratamento de Esgoto (Pitinga/AM) com possui 4.000 habitantes a eficiência de remoção foi de 70%, na ETE Bairro de Emaús, Ubatuba /SP com 300 habitantes a eficiência foi de 94,1%, no Parque Ecológico do Tietê a eficiência foi de 85% (SALATI, FILHO e SALATI, 2009), porém todas as estações de tratamento possuíam um tratamento prévio, composto por gradeamento, tanque de decantação, caixa de areia, caixa de brita, já no sistema de Ferreira a Paulo (2009) que possui as mesmas características do sistema em estudo obteve a eficiência máxima foi de 56%.

## 5.7 SÓLIDOS TOTAIS

A partir dos dados obtidos com as análises de sólidos totais foram realizados também análises de sólidos totais fixos e voláteis, que foram descritos nas Tabelas 9, 10 e 11.

Tabela 9: Sólidos Totais

<b>Sólidos Totais (mg/L)</b>			
<b>Data</b>	<b>Entrada</b>	<b>Saída</b>	<b>Remoção</b>
<b>17/03/2017</b>	540	290	46,29%
<b>27/03/2017</b>	730	570	21,91%
<b>04/04/2017</b>	500	ND	ND
<b>11/04/2017</b>	ND	ND	ND
<b>19/04/2017</b>	810	470	41,97%
<b>04/05/2017</b>	910	460	49,45%
<b>18/05/2017</b>	620	350	43,55%
<b>24/05/2017</b>	x	x	x
<b>Média</b>	685	428	37,51%

Fonte: Autoria própria

Tabela 10: Sólidos Totais Fixos

<b>Sólidos Totais Fixos(mg/L)</b>			
<b>Data</b>	<b>Entrada</b>	<b>Saída</b>	<b>Remoção</b>
<b>17/03/2017</b>	300	240	20%
<b>27/03/2017</b>	ND	480	ND
<b>04/04/2017</b>	2880	430	85,07%
<b>11/04/2017</b>	160	420	-162,50%
<b>19/04/2017</b>	300	360	-20%
<b>04/05/2017</b>	280	ND	ND
<b>18/05/2017</b>	240	200	16,66%
<b>24/05/2017</b>	x	x	x
<b>Média</b>	693,33	355,5	48,72%

Fonte: Autoria própria

**Tabela 11: Sólidos Totais Voláteis**

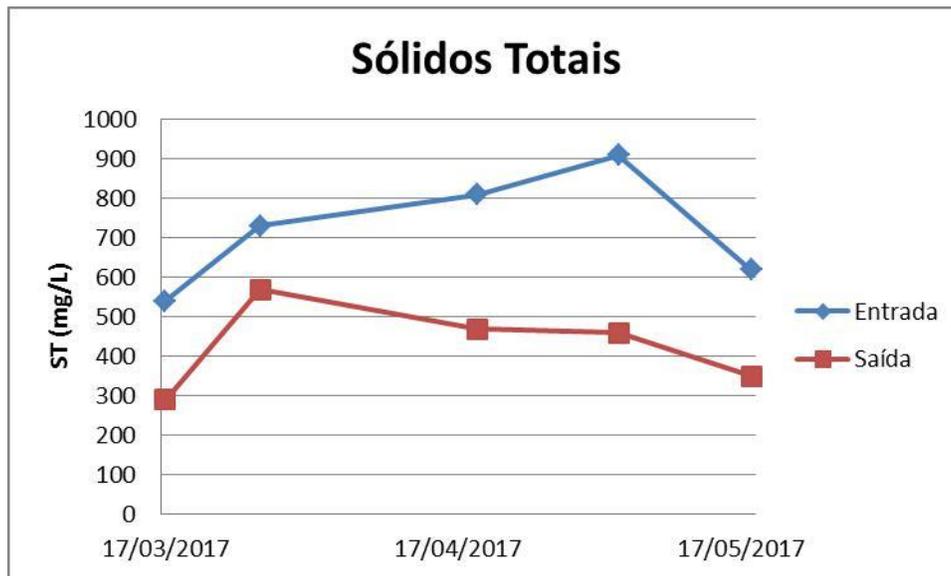
<b>Sólidos Totais Voláteis (mg/L)</b>			
<b>Data</b>	<b>Entrada</b>	<b>Saída</b>	<b>Remoção</b>
<b>17/03/2017</b>	240	50	79,16%
<b>27/03/2017</b>	729040	90	99,98%
<b>04/04/2017</b>	ND	ND	ND
<b>11/04/2017</b>	ND	ND	ND
<b>19/04/2017</b>	510	110	78,43%
<b>04/05/2017</b>	630	ND	ND
<b>18/05/2017</b>	380	150	60,52%
<b>24/05/2017</b>	x	x	x
<b>Média</b>	440	100	77,27%

**Fonte:** Autoria própria

Nos sólidos totais o maior valor entrado no afluente foi de 910 mg/L, o menor foi de 500 mg/L, e a média foi de 685 mg/L. No efluente o valor máximo foi de 570 mg/L, o mínimo foi de 290 mg/L, e sua média foi de 428 mg/L. Com isso foi possível observar que a maior remoção de sólidos totais foi de 49,45%, enquanto a média de remoção foi de 37,51% que foi muito próximo ao valor do sistema de Ferreira e Paulo (2009) que obteve uma remoção de 38% de sólidos totais.

Na análise de sólidos totais fixos foram encontrados valores máximos de 2880 mg/L para o afluente e 480 mg/L para efluente. Os valores mínimos foram de 240 mg/L para o afluente e 200 mg/L para o efluente. Suas médias foram, 693,33 mg/L para o afluente e 355,5 mg/L para o efluente. Através desses dados foi possível observar que a maior remoção foi de 85,07%, porém a média de remoção foi de 48,72%.

Já nas análises de sólidos totais voláteis, os valores de máxima concentração obtidos foram de 729040 mg/L para o afluente e 150 mg/L para o efluente. Os valores mínimos foram de 240 mg/L para o afluente e 50 mg/L para o efluente. Com isso os o maior remoção obtida foi de 99,98%, e a média de remoção foi de 77,27% (Gráfico 8).

**Gráfico 8:** Variação de Sólidos Totais

Fonte: Autoria própria

## 5.8 SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS

Os valores das análises realizadas estão expressos na Tabela 12.

**Tabela 12:** Sólidos Suspensos Totais

<b>Sólidos Suspensos Totais (mg/L)</b>			
<b>Data</b>	<b>Entrada</b>	<b>Saída</b>	<b>Remoção</b>
<b>17/03/2017</b>	0	6,666667	x
<b>27/03/2017</b>	60	80	-33,33%
<b>04/04/2017</b>	84,615385	92,85714	-9,74%
<b>11/04/2017</b>	ND	ND	ND
<b>19/04/2017</b>	220	23,33333	89,39%
<b>04/05/2017</b>	200	45	77,50%
<b>18/05/2017</b>	80	61,53846	23,07%
<b>24/05/2017</b>	x	x	x
<b>Média</b>	107,43	51,56	52%

Fonte: Autoria própria

Com a realização das análises de sólidos suspensos totais foram obtidos os seguintes valores máximos, 220 mg/L para o afluente e 92,85 mg/L para o efluente, valores mínimos de 0 mg/L para o afluente e 6,66 mg/L para o efluente, com isso calculou-se que a maior remoção de sólidos suspensos totais foi de 89,39%, enquanto a média de remoção foi de 52%, através desses valores é possível observar uma redução na quantidade de sólidos suspensos totais. Porém se compararmos esses valores com os de Ferreira e Paulo (2009) que possui um sistema semelhante, a remoção está um pouco a inferior, pois o valor encontrado foi de 66% de remoção de sólidos suspensos totais, mas isso não tira a relevância do valor de 52% de remoção expressa no sistema em estudo.

## 6 CONCLUSÃO

Por meio desse trabalho pode-se concluir que o sistema wetland construído de fluxo horizontal é eficiente e viável para o tratamento de esgoto descentralizado.

Em todas as análises realizadas foi possível observar a redução considerável de todos os parâmetros, que foram, Nitrogênio Total (NT), NTK, Nitrato, Nitrogênio Amoniacal, Fosfato, DQO, Sólidos Totais e Sólidos Suspensos Totais, uns mais elevados que outros, mas em todas ocorreu a redução. Em certo momento foi realizado a poda das plantas presentes no sistema para observar a variação da remoção dos parâmetros analisados, e essa remoção se manteve estável, confirmando um bom aproveitamento na remoção de poluentes através das plantas juntamente com meio filtrante construído no sistema.

Os resultados mais elevados foram o de remoção de fosfato e de DQO, que apresentaram uma eficiência de 97,21% e 81,91% respectivamente. Esses valores confirmam que as condições operacionais estão adequadas, caso contrário os valores encontrados não seriam tão expressivos.

Foi possível concluir também que os pneus utilizados na construção foram eficientes na estrutura do sistema, pois apresentaram uma grande resistência e estabilidade com o passar do tempo, proporcionando boa sustentação para o sistema todo.

## REFERÊNCIAS

AEGEA. **Aegea Saneamento**, 2015. Disponível em:  
<<http://www.aegea.com.br/portfolios/a-historia-do-saneamento-basico-no-brasil/>>.  
Acesso em: 04 maio 2017.

BRASIL. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Lei N° 9.605 de 12 de Fevereiro de 1998 Dispõe sobre as sanções penais administrativas derivadas de conduta e atividades lesivas ao meio ambiente e dá outras providências**, 1998. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/CCIVIL\\_03/leis/L9605.htm](http://www.planalto.gov.br/CCIVIL_03/leis/L9605.htm)>. Acesso em: 22 mar. 2017.

BRASIL. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Lei N°11.445 de 5 de Janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de, 2007**. Disponível em:  
<[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2007/lei/111445.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/111445.htm)>. Acesso em: 20 mar. 2017

BRASIL, T. **Trata Brasil Saneamento é Saúde**, 2011. Disponível em:  
<<http://www.tratabrasil.org.br/o-que-e-saneamento>>. Acesso em: 15 maio 2017

CONAMA, C. N. D. M. A. **RESOLUÇÃO, N°430 DE 13 DE MAIO DE 2011, Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução n° 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA**, 2011. Disponível em:  
<[http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res11/propresol\\_lanceflue\\_30e31mar11.pdf](http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res11/propresol_lanceflue_30e31mar11.pdf)>.  
Acesso em: 15 abr. 2017.

DE CARVALHO, S. A.; ADOLFO, L. G. S. DIREITO FUNDAMENTAL AO SANEAMENTO BÁSICO COMO GARANTIA DO MÍNIMO EXISTENCIAL SOCIL E AMBIENTAL, THE FUNDAMENTAL RIGHT TO SANITATION AS A GUARANTEE OF SOCIAL AND ENVIRONMENTAL EXISTETIAL MINIMUM. **Revista Brasileira de Direito**, v. Volume 8, n. 2, p. 207, Julho - Dezembro 2012.

DE PAOLI, A. C. **ANÁLISE DE DESEMPENHO E COMPORTAMENTO DE WETLANDS HORIZONTAIS DE FLUXO SUBSUPERFICIAL BASEADO EM MODELOS HIDRÁULICOS E CINÉTICOS**. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, p. 165. 2010.

DORNELAS, F. L. **AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE WTLANDS HORIZONTAIS SUBSUPERFICIAIS COMO PÓS-TRATAMENTO DE EFLUENTES DE REATORES UASB**. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, p. 115. 2008.

ECOANDO. Ecoando. **Ecoandoblog wordpress**, 2016. Disponível em: <<https://ecoandoblog.wordpress.com/2016/05/27/sistema-de-saneamento-por-wetland-no-rio-de-janeiro/>>. Acesso em: 15 maio 2017.

FERREIRA, C. D. A.; PAULO, P. L. **EFICIÊNCIA DE WETLANDS CONSTRUÍDOS PARA O TRATAMENTO DOMICILIAR DE ÁGUA CINZA COM CONFIGURAÇÃO DIFERENCIADA**. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Campo Grande, p. 12. 2009.

GOIÂNIA, C. D. C. S. D. C. **INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA**, 2015. Disponível em: <<http://www.ifg.edu.br/goiania/index.php/component/content/article/1-latest-news/3296-wetland-construido-no-tratamento-de-esgoto>>. Acesso em: 15 maio 2017.

GUIMARÃES; SILVA, C. E. **Saneamento Básico**. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ). Rio de Janeiro, p. 9. 2007.

IBGE, I. B. D. G. E. E. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Rio de Janeiro, p. 397. 2000.

IBGE, I. B. D. G. E. E. **Atlas de Saneamento**. IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Rio de Janeiro, p. 10. 2004.

IBGE, I. B. D. G. E. E. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico**. IBGE. Rio de Janeiro, p. 219. 2008.

KLADDEC, R. H.; WALLACE, S. D. **Treatment Wetlands**. 2º. ed. [S.l.]: [s.n.], 2009.

LAUTENSCHLAGER, S. R. **MODELAGEM DO DESEMPENHO DE WETLANDS CONSTRUÍDOS**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, p. 106. 2001.

LIMA, R. F. D. S. **POTENCIALIDADES DOS WETLANDS CONSTRUÍDOS EMPREGADOS NO PÓS-TRATAMENTO DE ESGOTOS: EXPERIÊNCIAS BRASILEIRAS**. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, p. 81. 2016.

MATSUDA, V. **Jusbrasil**, 2015. Disponível em: <<http://vivianmatsuda.jusbrasil.com.br/artigos/181097913/saneamento-basico-enquanto-direito-fundamental-e-direito-humano>>. Acesso em: 10 maio 2017.

MONTEIRO, R. C. M. **VIABILIDADE TÉCNICA DO EMPREGO DE SISTEMAS TIPO “WETLANDS” PARA TRATAMENTO DE ÁGUA CINZA VISANDO O REÚSO NÃO POTÁVEL**. Universidade de São Paulo. São Paulo, p. 84.

MORAES, L. R. S.; BORJA, P. C. **REVISANDO O CONCEITO DE SANEAMENTO BÁSICO NO BRASIL E EM PORTUGAL**. Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia. Salvador, p. 13.

OPERSAN. **Nova Opersan Soluções Ambientais**, 2015. Disponível em: <<http://info.opersan.com.br/benef%C3%ADcios-do-saneamento-b%C3%A1sico>>. Acesso em: 27 mar. 2017.

ORMONDE, S. D. S. V. **AVALIAÇÃO DE 'WETLANDS' CONSTRUÍDOS NO PÓSTRATAMENTO DE EFLUENTES DE LAGOA DE MATURAÇÃO**. Universidade Federal de Mato Grosso. Cuiabá, p. 96. 2012.

ORMONDE, V. S. D. S. **AVALIAÇÃO DE 'WETLANDS' CONSTRUÍDOS NO PÓSTRATAMENTO DE EFLUENTE DE LAGOA DE MATURAÇÃO**. Universidade de Mato Grosso. Cuiabá, p. 96. 2012.

PELLISSARI, C. et al. Nitrogen transformation in horizontal and vertical flow constructed wetlands applied for dairy cattle wastewater treatment in southern Brazil. **Ecological Engineering**. [S.l.], v.73, p.307-310, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.09.085>>. Acesso em: 21 abr. 2017.

RIBEIRO, J. W.; ROOK, J. M. S. **SANEAMENTO BÁSICO E SUA RELAÇÃO COM O MEIO AMBIENTE E SAÚDE PÚBLICA**. UFJF - Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora, p. 36. 2010

SALATI, E. **CONTROLE DE QUALIDADE DE ÁGUA ATRAVÉS DE SISTEMAS DE WETLAND CONSTRUÍDO**. FBDS- Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável. Rio de Janeiro, p. 19. 2006.

SALATI, E. **Controle de Qualidade de Água Através de Sistema de Wetlands Construídos**. Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável. Rio de Janeiro, p. 19.

SALATI, E.; FILHO, E. S.; SALATI, E. **UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS DE WETLANDS CONSTRUÍDAS**. Instituto Terramax - Consultoria e Projetos Ambientais LTDA. Piracicaba, p. 23. 2009.

SANEPAR, C. D. S. D. P. **SANEPAR**, 2010. Disponível em: <[http://educando.sanepar.com.br/ensino\\_medio/doen%C3%A7-relacionadas-com-falta-de-saneamento](http://educando.sanepar.com.br/ensino_medio/doen%C3%A7-relacionadas-com-falta-de-saneamento)>. Acesso em: 02 maio 2017.

SCALIONI, L. **Minas Inova**, 2015. Disponível em: <<http://minasinova.com.br/empresa-incubada-na-ufmg-trata-esgoto-com-plantas/>>. Acesso em: 29 abr. 2017.

SEZERINO, P. H., PHILIPPI, L. S. **Filtro plantado com macrófitas (wetlands) como tratamento de esgotos em unidades residenciais - critérios para dimensionamento.** p. 1–12, 2013.

SILVA, S. C. **Wetlands construídos de fluxo vertical com meio suporte solo natural modificado no tratamento de esgoto domésticos.** Universidade de Brasília. Brasília, p. 231. 2007.

STUMPF, M. **FAZ FÁCIL Plantas e Jardim.** Disponível em: <<http://www.fazfacil.com.br/jardim/taboa-typha-domingensis/>>. Acesso em: 02 jun. 2016.

TERA. **Tera Ambiental**, 2015. Disponível em: <<http://www.teraambiental.com.br/blog-da-tera-ambiental/a-situacao-do-saneamento-basico-no-brasil>>. Acesso em: 25 abr. 2017.

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

TUROLLA, F. A. **POLÍTICA DE SANEAMENTO BÁSICO: AVANÇOS RECENTES E OPÇÕES FUTURAS DE POLÍTICAS PÚBLICAS.** IPEA. Brasília, p. 29. 2002.

UTFPR, U. T. F. D. P. **UTFPR**, 2016. Disponível em: <<http://www.utfpr.edu.br/londrina/o-campus>>. Acesso em: 15 mar 2017.

VON SPERLING, M. **Introdução a Qualidades das Águas e ao Tratamento de Esgoto.** 3°. ed. Belo Horizonte: DESA - Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 1, 2005.

VON SPERLING, Marcos. **Princípios básicos do tratamento de esgotos** (Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias; vol. 2). Belo Horizonte: DESA-UFMG, 211p. 1996.

WETLANDS. **WETLANDS CONSTRUÍDOS**, 2016. Disponível em: <<http://www.wetlands.com.br/>>. Acesso em: 04 maio 2016.

ZANELLA, L.; NOUR, E. A. A.; ROSTON, D. M. **WETLANDS-CONSTRUÍDAS VEGETADAS COM PLANTAS ORNAMENTAIS NO PÓS-TRATAMENTO DE EFLUENTES DOMÉSTICOS.** UNICAMP. Campinas, p. 3.