

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE QUÍMICA E BIOLOGIA  
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM PROCESSOS AMBIENTAIS**

**CLAUDIR JOSÉ MORAIS**

**AVALIAÇÃO DE *WETLAND* CONSTRUÍDO DE FLUXO  
SUBSUPERFICIAL VERTICAL TRATANDO ESGOTOS SANITÁRIOS**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**CURITIBA**

**2014**

**CLAUDIR JOSÉ MORAIS**

**AVALIAÇÃO DE *WETLAND* CONSTRUÍDO DE FLUXO  
SUBSUPERFICIAL VERTICAL TRATANDO ESGOTOS SANITÁRIOS**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do Curso Superior de Tecnologia em Processos Ambientais, do Departamento Acadêmico de Química e Biologia – DAQBI – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Hermes Passig

Coorientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Tamara Simone Van Kaick

**CURITIBA**

**2014**

Dedico este Trabalho às memórias de meu pai, Saturnino, o “Zico”, pelo exemplo de dedicação e amor a tudo que realizou.

À minha mãe Cecília que sozinha, quando nosso pai se foi, venceu tantos desafios com coragem e determinação inigualáveis.

À minha querida esposa Natalia e meus filhos Raysa e João Vitor, que são o meu norte e o meu objetivo maior, minha família.

## AGRADECIMENTOS

Eu agradeço primeiramente a Deus por mais esta oportunidade de crescimento, por iluminar meus pensamentos em todos os momentos necessários.

Agradeço a Fundação Araucária, ao CNPQ e ao DAQBI, pelos recursos cedidos a este projeto. Ao DACOC por ceder o espaço e toda estrutura e recursos do Laboratório de Saneamento.

Eu agradeço ao Prof. Dr. Fernando Hermes Passig, nosso orientador, por sua dedicação, por sua paciência, por sua amizade, por “aparar arestas” quando necessário foi, por sua visão e grandes ideias e soluções, pelo apoio sempre e pelos elogios quando acertamos.

Agradecimentos especiais aos membros da banca: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup>. Karina Querne de Carvalho e Prof. Dr. Flávio Bentes Freire, pelo tempo dispensado e apoio ao nosso trabalho, pelas críticas sempre muito bem colocadas e bem-vindas.

A Prof.<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup>. Tamara Simone Van Kaick, nossa coorientadora, pela inspiração, pelas dicas preciosas e pelo apoio.

Agradeço imensamente minha esposa Natalia, que me escolheu para sua vida, e que com amor, presença e dedicação, diariamente percorre comigo a Grande Jornada. É minha maior incentivadora.

Agradecimentos muito especiais aos meus filhos João Vitor e Raysa por todo incentivo, pela paciência e pela compreensão quando não puderam ter a devida atenção.

Ao meu amigo Abel Ceve sou grato pelas ideias, pelo apoio, pela ajuda na montagem, na execução dos procedimentos, análises e manutenção dos sistemas.

Agradeço nossas colegas do Laboratório de Saneamento: Aldria Belini, Débora de Mello, Daiane Cristina Freitas, Vanessa Winckler e Bruna Cardoso pelo imenso apoio nos procedimentos analíticos e em especial a Prof.<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup> Karina Querne de Carvalho, corresponsável pelo Laboratório, pelas muitas dicas, opiniões e ideias.

Não posso deixar de mencionar minha gratidão a todos os meus professores em todas as disciplinas cursadas das quais levarei tantos conhecimentos.

E enfim, agradeço imensamente a todos aqueles de algum modo contribuíram para nossa escalada, sem os quais não teria chegado até aqui.

## RESUMO

MORAIS, Claudir José. Avaliação de *Wetland* Construído de Fluxo Subsuperficial Vertical Tratando Esgoto Sanitário, 2014. 67 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Processos Ambientais). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2014.

No Brasil, os serviços de coleta e tratamento de esgotos não acompanharam os processos de urbanização e industrialização. A carência de rede coletora e tratamento representam um ponto fundamental de pressão nas questões sobre as águas. Isto torna os serviços descentralizados cada vez mais importantes porque oferecem opção de investimento em etapas e em regiões distantes onde se incluem cidades pequenas, povoados e sítios turísticos. Diante destes fatos tornam-se necessários desenvolvimentos e avaliações de técnicas localmente apropriadas. Os filtros vegetados com macrófitas, ou *wetlands* construídos se distinguem como tecnologias sustentáveis por apresentarem processo construtivo e operacional simples, de consumo energético mínimo, dispensando adição de produtos químicos e possibilitando sua aplicação em pequenas comunidades e áreas rurais ou distantes. Este trabalho teve seu foco na avaliação do comportamento de um sistema de tratamento de esgoto sanitário sintético em *wetland* construído de fluxo subsuperficial vertical utilizando *Zantedeschia aethiopica* como macrófita, na remoção de cargas orgânicas, nitrogênio e fósforo. O processo foi comparado a um sistema similar, mas não vegetado. As eficiências médias obtidas, respectivamente para o sistema vegetado e o não vegetado foram: Turbidez com 93,2 e 96,8%; DQO com 80,0 e 90,3%; NTK com 63,9 e 76,2; Nitrogênio Amoniacal com 93,5 e 88,7% e Fósforo total com 96,9 e 97,0% que atestam a capacidade de ambos os sistemas em termos de tratamento de esgotos. Foi verificada a atuação das plantas na remoção de Nitrito e de Nitrato. Em comparação ao sistema não vegetado, verificou-se no sistema vegetado a quase ausência dos odores típicos do esgoto. Embora não tenha observado no Sistema vegetado com *Z. aethiopica* diferenças significativas em vários parâmetros verificados, os resultados apresentados capacitam este sistema para o tratamento de esgotos. Os estudos das tecnologias envolvendo *wetlands* construídos vegetados são cada vez mais importantes frente aos bons resultados obtidos.

Palavras-Chaves: Filtros vegetados. Tratamento de efluentes. Zona de raízes. *Zantedeschia aethiopica*.

## ABSTRACT

MORAIS, Claudir José. Assessment of Constructed Vertical Subsurface Flow Wetland Treating Sanitary Sewages. 2014. 67f. Work Completion of course (Technology in Environmental Processes). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2014.

In Brazil, the services of collection and treatment of sewage did not follow the urbanization and industrialization processes. The collecting network deficiency and treatment represent a key pressure point on the issues on water. This makes the services decentralized increasingly important because they offer investment option in stages and in remote areas which include small towns, villages and tourist sites. Given these facts are necessary developments and locally appropriate technical assessments. The vegetated filter with macrophytes or constructed wetlands are distinguished as sustainable technologies for presenting simple constructive and operational process, minimum energy consumption, eliminating addition of chemicals and allowing its use in small communities and rural or remote areas. This work had its focus in assessing the behavior of a synthetic wastewater treatment system in constructed wetland vertical subsurface flow using *Zantedeschia aethiopica* as macrophyte, in removing organic loads, nitrogen and phosphorus. The process was compared to a similar system, but not vegetated. The mean values obtained respectively for the system vegetated and non vegetated were: Turbidity with 93.2 and 96.8%; COD and 90.3 to 80.0%; TKN with 63.9 and 76.2%; ammoniacal nitrogen with 93.5 and 88.7% and Total Phosphorus with 96.9 and 97.0% attesting to the capacity of both systems in terms of wastewater treatment. The performance of the plants was observed in the removal of Nitrite and Nitrate. Compared to the non-vegetated system, it was found vegetated system in the virtual absence of typical sewage odors. Although not observed in the vegetated system with *Z. aethiopica* significant differences in various parameters checked, the results enable the system to wastewater treatment. Studies of technologies involving constructed wetlands vegetated are increasingly important of the favorable results obtained.

Key Words: Vegetated filters. Wastewater treatment. Root zone. *Zantedeschia aethiopica*.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Classificação dos tratamentos em Wetlands.....	13
Figura 2 – Esquema de tratamento por Fluxo Superficial Livre.....	13
Figura 3 – Corte transversal de um modelo de Fluxo Subsuperficial horizontal.....	14
Figura 4 – Esquema de um <i>wetland</i> construído de fluxo subsuperficial vertical. ....	15
Figura 5 – <i>Zantedeschia aethiopica</i> (copo-de-leite) .....	18
Figura 6 – Desenho Esquemático do Aparato Experimental .....	20
Figura 7 – Preparação e transferência do esgoto sintético. ....	23
Figura 8 – Desenvolvimento Inicial das plantas. ....	25
Figura 9 – Condições após os Experimentos. ....	26
Figura 10 – Condições durante os experimentos .....	27
Figura 11 – Condições após os Experimentos. ....	27
Figura 12 – Gráficos do Monitoramento das Temperaturas .....	30
Figura 13 – Gráfico <i>Box plot</i> da variação das temperaturas .....	31
Figura 14 – Gráficos do Monitoramento do pH do Efluente. ....	32
Figura 15 – Gráficos do Monitoramento da Turbidez do Efluente. ....	33
Figura 16 - Gráfico <i>Box plot</i> da eficiência na remoção da Turbidez .....	34
Figura 17 – Gráfico do monitoramento da DQO nos sistemas .....	35
Figura 18 – Gráfico <i>Box plot</i> da eficiência na redução da DQO .....	36
Figura 19 – Gráficos do monitoramento do NTK nos sistemas .....	37
Figura 20 – Gráfico <i>Box plot</i> para a remoção do NTK.....	38
Figura 21 – Gráficos do monitoramento do Nitrogênio amoniacal.....	39
Figura 22 – Gráfico <i>Boxplot</i> para a remoção do Nitrogênio Amoniacal.....	41
Figura 23 – Gráficos do monitoramento do Nitrito nos sistemas .....	41
Figura 24 – Gráfico <i>Box plot</i> da remoção do Nitrito.....	42
Figura 25 – Gráficos dos monitoramentos do Nitrato .....	43
Figura 26 – Gráfico <i>Box plot</i> da remoção do Nitrato .....	44
Figura 27 – Gráfico <i>Box plot</i> da Série Nitrogenada .....	45
Figura 28 – Gráficos do Monitoramento do Fósforo .....	46
Figura 29 – Gráfico <i>Box plot</i> da remoção do Fósforo.....	47
Figura 30 – Recipiente em material plástico.....	55
Figura 31 – Tubulação interna de saída do efluente .....	56
Figura 32 – Montagem da Tubulação interna de entrada.....	56
Figura 33 – Detalhe da furação para adaptação da tubulação de saída .....	57
Figura 34 – Detalhe das medidas internas e da conexão de saída.....	57
Figura 35 – Aplicação da primeira camada com brita comum.....	58
Figura 36 – Aplicação da segunda camada com brita calcária .....	58
Figura 37 – Aplicação da terceira camada com areia .....	59
Figura 38 – Aplicação da quarta camada com brita comum .....	59
Figura 39 – Montagem da tubulação de distribuição na entrada.....	60
Figura 40 – Complemento de brita comum acima do nível de saída.....	60
Figura 41 – Detalhe da plantação dos copos-de-leite .....	60
Figura 42 – Gráfico da Eficiência média dos Sistemas (%).....	64

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparação da eficiência por vários parâmetros e tratamentos .....	16
Tabela 2 – Características do aparato experimental .....	21
Tabela 3 – Composição do Esgoto Sintético.....	22
Tabela 4 – Metodologia Analítica .....	24
Tabela 5 – Classificação dos esgotos por alguns parâmetros Físico-Químicos.....	28
Tabela 6 - Caracterização do Efluente Sintético .....	29
Tabela 7 – Eficiência na remoção da Turbidez; % .....	33
Tabela 8 – Resultados analíticos da primeira Batelada .....	62
Tabela 9 – Resultados analíticos da segunda Batelada.....	62
Tabela 10 – Resultados analíticos da terceira Batelada .....	63
Tabela 11 – Eficiência Geral, % .....	64
Tabela 12 – Estatística descritiva da eficiência na remoção da Turbidez .....	65
Tabela 13 – Estatística descritiva da eficiência na remoção da DQO .....	65
Tabela 14 – Estatística descritiva da eficiência na remoção do NTK .....	65
Tabela 15 – Estatística descritiva da eficiência na remoção do N Amon. ....	65
Tabela 16 – Estatística descritiva da eficiência na remoção do Nitrito.....	65
Tabela 17 – Estatística descritiva da eficiência na remoção do Nitrato.....	66
Tabela 18 – Estatística descritiva da eficiência na remoção do Fósforo .....	66

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>9</b>
<b>2 OBJETIVOS.....</b>	<b>11</b>
<b>2.1 OBJETIVO GERAL .....</b>	<b>11</b>
<b>2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....</b>	<b>11</b>
<b>3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>12</b>
<b>3.1 DEFINIÇÕES E TIPOS DE WETLANDS.....</b>	<b>12</b>
<b>3.2 ESTUDOS SOBRE WETLANDS DE FLUXO SUBSUPERFICIAL VERTICAL .</b>	<b>15</b>
<b>3.3 O MEIO FILTRANTE .....</b>	<b>16</b>
<b>3.4 CARACTERÍSTICAS DA ZANTEDESCHIA AETHIOPICA.....</b>	<b>18</b>
<b>4 MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>20</b>
<b>4.1 APARATO EXPERIMENTAL .....</b>	<b>20</b>
<b>4.2 EFLUENTE SINTÉTICO .....</b>	<b>21</b>
<b>4.3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL.....</b>	<b>22</b>
<b>4.4 MÉTODOS ANALÍTICOS .....</b>	<b>24</b>
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>25</b>
<b>5.1 DESENVOLVIMENTO INICIAL DAS PLANTAS.....</b>	<b>25</b>
<b>5.2 DESENVOLVIMENTO DAS PLANTAS DURANTE OS EXPERIMENTOS.....</b>	<b>26</b>
<b>5.3 MONITORAMENTO DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS .....</b>	<b>28</b>
<b>5.3.1 CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE SINTÉTICO BRUTO .....</b>	<b>28</b>
<b>5.3.2 TEMPERATURA .....</b>	<b>30</b>
<b>5.3.3 POTENCIAL HIDROGENIÔNICO (pH) .....</b>	<b>32</b>
<b>5.3.4 TURBIDEZ .....</b>	<b>33</b>
<b>5.3.5 DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO (DQO) .....</b>	<b>35</b>
<b>5.3.6 EFICIÊNCIA NA REDUÇÃO DA DQO .....</b>	<b>35</b>
<b>5.3.7 NITROGÊNIO TOTAL KJELDAHL (NTK).....</b>	<b>37</b>
<b>5.3.8 REMOÇÃO DO NTK .....</b>	<b>38</b>
<b>5.3.9 NITROGÊNIO AMONIACAL.....</b>	<b>39</b>
<b>5.3.10 REMOÇÃO DO NITROGÊNIO AMONIACAL.....</b>	<b>40</b>
<b>5.3.11 NITRITO.....</b>	<b>41</b>
<b>5.3.12 REMOÇÃO DO NITRITO .....</b>	<b>42</b>
<b>5.3.13 NITRATO.....</b>	<b>43</b>
<b>5.3.14 REMOÇÃO DO NITRATO.....</b>	<b>44</b>
<b>5.3.15 SÉRIE NITROGENADA .....</b>	<b>45</b>
<b>5.3.16 FÓSFORO TOTAL .....</b>	<b>46</b>
<b>5.3.17 REMOÇÃO DO FÓSFORO TOTAL .....</b>	<b>47</b>
<b>6 CONCLUSÕES.....</b>	<b>49</b>
<b>7 RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>50</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>51</b>
<b>APÊNDICE A – MONTAGEM DOS WETLANDS.....</b>	<b>55</b>
<b>APÊNDICE B – RESULTADOS ANALÍTICOS DAS BATELADAS .....</b>	<b>62</b>
<b>APÊNDICE C – EFICIÊNCIA DOS SISTEMAS .....</b>	<b>64</b>
<b>APÊNDICE D – ESTATÍSTICA DESCRITIVA .....</b>	<b>65</b>

## 1 INTRODUÇÃO

É evidente e reconhecido o papel fundamental da água para a vida em todos os seus aspectos, sejam para os ecossistemas naturais, nas áreas de saúde e higiene e sobre os elementos culturais e econômicos (UNESCO, 2012).

De acordo com os dados da Agência Nacional de Águas, no Brasil os serviços de coleta e tratamento de efluentes sanitários não acompanharam o processo de urbanização verificado nas últimas décadas e somado às contribuições do processo de industrialização implicaram no aumento da carga poluidora nos trechos urbanizados dos rios (ANA, 2012).

Ainda segundo ANA (2012) as carências em rede coletora e tratamentos pouco eficientes ou ausentes representam um ponto fundamental de pressão nas questões sobre as águas no Brasil devido ao lançamento de cargas remanescentes.

Isto pode ser enfatizado através do Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS para o ano de 2012, que aponta a média brasileira do tratamento dos esgotos gerados em apenas 38,6% e o atendimento com redes coletoras que atinge somente uma média de 56,1% da população urbana (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2012).

Para Van Kaick *et al.* (2012), as redes coletoras de esgoto são parte de sistemas centralizados de tratamento que não acompanham o crescimento populacional, então é imprescindível o desenvolvimento de tecnologias descentralizadas que possam atender as necessidades do tratamento.

O tratamento descentralizado de esgotos ganha cada vez mais importância porque oferece opção de investimento em etapas. Há situações onde, devido às distâncias, este pode ser a única solução viável para pequenas cidades e povoados, sítios turísticos, estabelecimentos industriais e comerciais, dentre outros (HOFFMANN *et al.*, 2013).

Suntti *et al.* (2013) afirmaram que a alternativa comumente adotada pelos municípios de pequeno porte são os tanques sépticos seguidos de filtros ou sumidouros. A remoção de matéria orgânica solúvel e de nutrientes é ineficiente, o que acaba por desencadear vários efeitos adversos em função do lançamento desses efluentes nos corpos hídricos.

Neste contexto, Suntti *et al.* (2013) argumentam que os filtros plantados com macrófitas ou *wetlands* construídos se distinguem como tecnologias sustentáveis por apresentarem processo construtivo e operacional simples, de consumo energético mínimo, dispensando a adição de produtos químicos e possibilitando sua aplicação em pequenas comunidades e áreas rurais.

Para Kadlec e Knight (2009), *wetlands* construídos não são capazes de tratar todos os níveis de poluentes por serem sistemas biológicos que só podem operar em determinadas faixas de concentração de certos contaminantes, então o projeto deve respeitar as exigências da biota selecionada para evitar efeitos negativos.

Ferreira *et al.* (2013) constataram pela análise de vários trabalhos que o sistema de *wetland* de fluxo subsuperficial vertical é eficiente no tratamento de esgotos domésticos, sobretudo na remoção de nutrientes.

Ferreira *et al.* (2013) também detectaram nos trabalhos que analisaram, a dificuldade em formar um padrão por causa das diversas formas construtivas, do emprego de diferentes espécies plantadas e dos diferentes parâmetros avaliados.

Diante dessa conjuntura, este trabalho avaliou uma unidade piloto de tratamento por zona de raízes ou *wetland* construído de fluxo subsuperficial vertical plantada com *Zantedeschia aethiopica*, comparando-a com uma unidade não vegetada.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a eficiência de uma unidade piloto de tratamento por zona de raízes (*wetland* construído) de fluxo subsuperficial vertical utilizando a *Zantedeschia aethiopica* como macrófita aquática na remoção de matéria orgânica, nitrogênio e fósforo de efluente sintético simulando esgoto doméstico.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para cumprimento do objetivo geral, são propostos os seguintes objetivos específicos:

- Verificar parâmetros físicos como Temperatura, pH e Turbidez no efluente tratado.
- Verificar parâmetros físico-químicos como Demanda Química de Oxigênio (DQO), Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK), Nitrogênio Amoniacal, Nitrito, Nitrato e Fósforo Total no efluente tratado.
- Comparar os resultados obtidos no monitoramento do *wetland* construído vegetado com *Zantedeschia aethiopica* com outro sistema idêntico, porém não vegetado.
- Verificar visualmente a evolução das plantas durante o período dos experimentos.

### 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 3.1 DEFINIÇÕES E TIPOS DE *WETLANDS*

De acordo com Santiago *et al.* (2005), não há uma definição única e simples para *wetland* já que esses ecossistemas variam muito tanto regional quanto localmente em função do solo, de aspectos climáticos, topográficos e hidrológicos, da vegetação, da qualidade das águas e de outras condições.

Entretanto, a Convenção de Ramsar, tratado intergovernamental assinado em 1971, define *Wetlands* como áreas onde a água é o principal fator de controle do meio ambiente e a biota agregada a este, que ocorrem onde o lençol freático está na superfície da terra ou próximo a ela, ou onde a terra é coberta por água rasa como nos pântanos, charcos, turfas, águas naturais ou artificiais, permanentes ou temporárias, estagnadas ou correntes, doces, salobras ou salgadas, incluindo áreas marinhas cuja profundidade na maré baixa não ultrapasse seis metros (RAMSAR CONVENTION SECRETARIAT, 2013).

A Convenção de Ramsar adotou uma classificação que inclui 42 tipos de *wetlands* agrupados em três categorias: zonas úmidas costeiras e marinhas, interiores ou fluviais e *wetlands* construídos (RAMSAR CONVENTION SECRETARIAT, 2013).

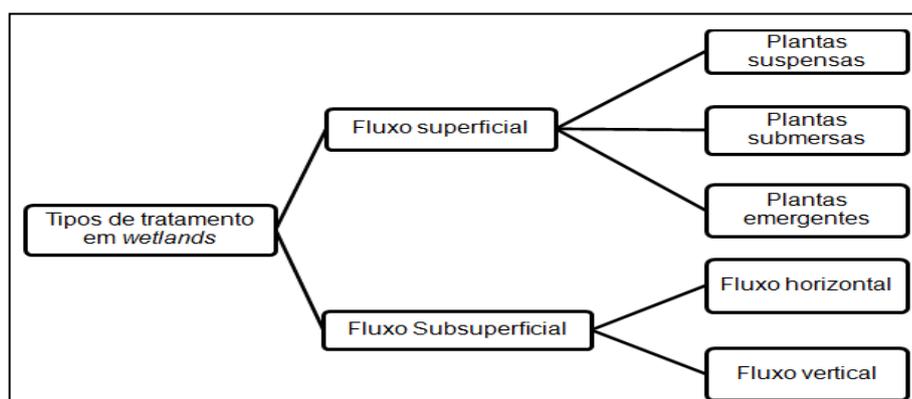
De acordo com a *United States Environmental Protection Agency* (USEPA), *wetlands* construídos são sistemas de tratamento de águas residuárias que consistem em lagoas rasas ou canais artificiais em geral com menos de 1 m de profundidade plantados com macrófitas aquáticas.

São equipados com estruturas para controlar o nível, o tempo de detenção e a direção do fluxo e que podem ou não conter material inerte tais como pedra, brita ou areia como meio poroso. Estes sistemas dependem de processos naturais biológicos, microbiológicos e físico-químicos para o tratamento (USEPA, 1999).

Para Van Kaick (2002), estação de tratamento por zona de raízes é um sistema físico-biológico concebido de modo coerente com um biofiltro, mas que utiliza vários filtros formados de raízes que em combinação com um tratamento primário em um decanto digestor, que permite o lançamento do efluente resultante com redução de matéria orgânica e dos sólidos sedimentáveis.

É preciso algum grau de pré ou pós-tratamento em conjunto com o *wetland* para tratar águas residuárias de modo a atender aos requisitos de descarte ou de reutilização, mas o *wetland* será o componente central do tratamento (USEPA, 1999).

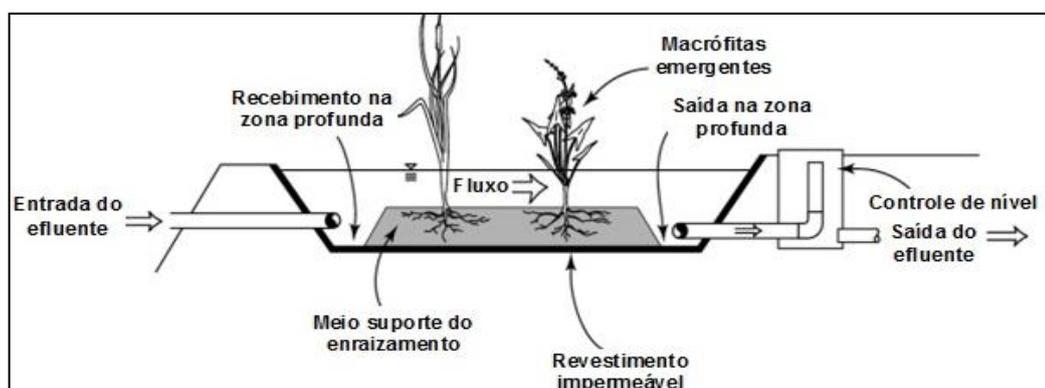
Kadlec e Knight (2009) classificaram os *wetlands* construídos (ou estações de tratamento por zona de raízes) conforme seu fluxo hidráulico que pode ser observado na Figura 1.



**Figura 1 – Classificação dos tratamentos em Wetlands.**  
 Fonte: Adaptado de KADLEC e KNIGHT (2009).

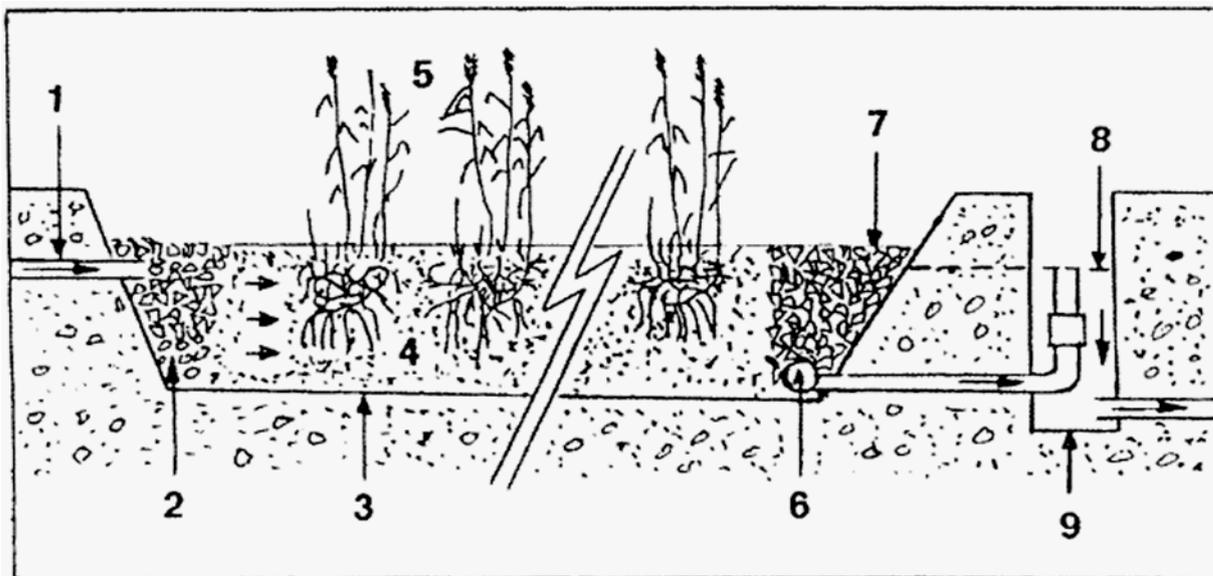
Kadlec e Knight (2009) definem três tipos básicos de *wetlands* construídos:

- Fluxo Superficial Livre que se caracteriza por suas áreas expostas e por se assemelhar aos ambientes naturais, por exemplo, os pântanos e por isso atraem uma infinidade de animais, porém devido a potencial exposição a patógenos raramente são utilizados como tratamento secundário. Um exemplo esquemático pode ser observado na Figura 2.



**Figura 2 – Esquema de tratamento por Fluxo Superficial Livre**  
 Fonte: Adaptado de Kadlec e Knight (2009)

- Fluxo Subsuperficial Horizontal que tipicamente emprega um leito de brita vegetado. Uma representação desse sistema é observada na figura 2.



**Figura 3 – Corte transversal de um modelo de Fluxo Subsuperficial horizontal.**  
 Onde: 1 – fluxo de entrada; 2 – Zona de distribuição com brita mais grossa; 3 – Revestimento impermeável; 4 - Meio suporte; 5 – Vegetação; 6 – coletor do fluxo de saída; 7 – zona de coleta com brita mais grossa; 8 – controle de nível; 9 – fluxo de saída. Fonte: Adaptado de VYMAZAL (1997) *apud* KADLEC *et al.* (2000)

- Fluxo Subsuperficial Vertical, onde o efluente é distribuído em toda a zona subsuperficial de um leito de areia ou brita plantado com vegetação apropriada e se infiltra verticalmente pela zona de raízes das plantas para que seja tratado. Pode ser projetada para o desaguamento de lodos.

Para Sezerino (2006), o esgoto neste processo arrasta o oxigênio atmosférico para dentro do leito filtrante e somado ao oxigênio transferido pelas plantas tornam a degradação da matéria orgânica mais eficiente.

A vantagem deste sistema, se comparado com outros, é que o efluente será distribuído por uma área maior de entrada onde se aproveita todo o volume do recheio (ORMONDE, 2012).

Na Figura 4 pode-se observar um corte esquemático deste tipo de *wetland* que neste exemplo está precedido por fossa séptica.

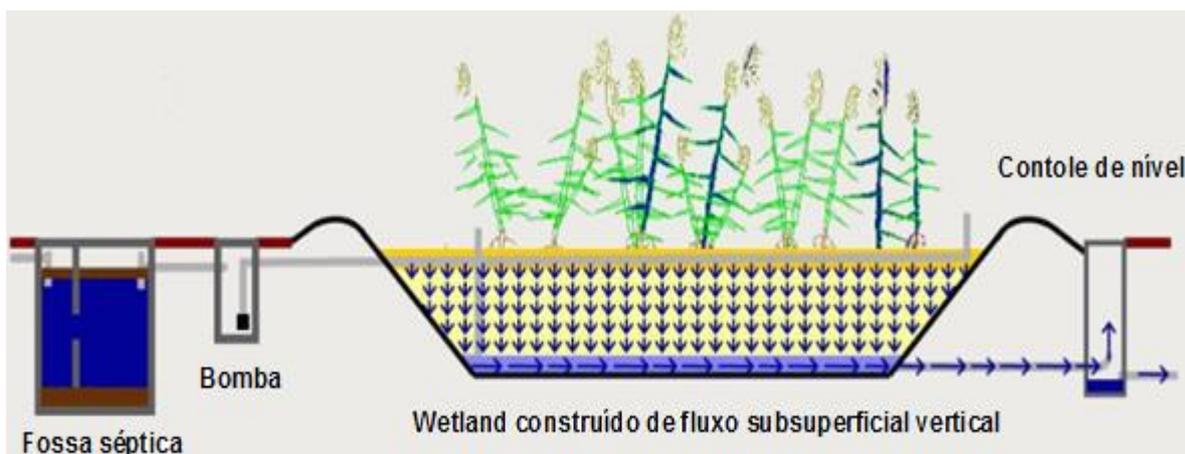


Figura 4 – Esquema de um *wetland* construído de fluxo subsuperficial vertical.

Fonte: Adaptado de Rob Van Deun - KHKempen, Geel, Belgium

<[http://www.constructedwetlands.net/vssf\\_operation.html](http://www.constructedwetlands.net/vssf_operation.html)>

Fonder e Headley (2013) propuseram uma estrutura para classificar e nomear diferentes alternativas de *wetlands* de tratamento, com base nas características físicas do projeto.

Segundo estes autores as propriedades típicas dos *wetlands* de tratamento são:

- A presença de vegetação macrófita;
- Substrato encharcado ou saturado ao menos em parte do tempo;
- A entrada de águas residuárias com constituintes a serem removidos.

Sua classificação considera a origem, os propósitos (especialmente os *wetlands* para tratamento), os tipos de escoamento, a direção do fluxo, a saturação do meio, as formas de alimentação e as características das macrófitas.

### 3.2 ESTUDOS SOBRE *WETLANDS* DE FLUXO SUBSUPERFICIAL VERTICAL

Para exemplificar os resultados obtidos em *wetlands* construídos de fluxo subsuperficial vertical, serão apresentados neste tópico alguns estudos realizados, mas que não esgotam este assunto.

Ferreira *et al.* (2013) realizaram um levantamento a cerca das pesquisas sobre sistemas *wetlands* construídos de fluxo subsuperficial vertical para tratamento de esgotos no Brasil e apontaram redução da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) de 77 a 99%; remoção de 99% de coliformes totais em alguns trabalhos; para

o Nitrogênio amoniacal até 89% e até 93,3% de Nitrogênio total remoção de 99,6% de Fósforo total em um dos trabalhos.

Ayaz *et al.* (2011) desenvolveram na Turquia, para o tratamento de esgoto doméstico, um sistema de recirculação do efluente entre *wetlands* de fluxo vertical e um outro de fluxo horizontal precedidos por reator anaeróbio num período de 26 meses, para verificar os efeitos da temperatura ambiente e da própria recirculação sobre a remoção de nitrogênio do sistema.

Para esta condição concluiu-se que a recirculação é mandatória para a efetividade na remoção do nitrogênio total, que o pré-tratamento previne o entupimento do sistema e mostra forte influência das variações de temperatura sobre o sistema (AYAZ *et al.*, 2011).

Um comparativo da eficiência com base em diversos parâmetros entre alguns sistemas é apresentado na Tabela 1.

**Tabela 1 – Comparação da eficiência por vários parâmetros e tratamentos**

Autores	Tipo de tratamento	Tipo de Efluente	DBO (%)	DQO (%)	NT (%)	N-NH3 (%)	PT (%)
Costa <i>et al.</i> (2013)	W FSSH	Esgoto sanitário proveniente de UASB	76	77	17	20	38
Lana <i>et al.</i> (2013)	W FSS V	Esgoto de origem sanitária	82	72	56	59	21
Lana <i>et al.</i> (2013)	Filtro Biológico de controle	Esgoto de origem sanitária	81	80	47	52	33
Pelissari <i>et al.</i> (2013)	W FSS V	Efluentes da bovinocultura leiteira	--	68	71	80	10
Santos <i>et al.</i> (2011)	W FSS V	Esgoto de origem sanitária	--	87	40	46	38

Notas: WFSSH é *Wetland* construído de fluxo subsuperficial horizontal e WFSSV é *Wetland* de fluxo subsuperficial vertical. DBO é demanda bioquímica de oxigênio, DQO é demanda química de oxigênio, NT é nitrogênio total, N-NH3 é nitrogênio amoniacal e PT é fósforo total.

### 3.3 O MEIO FILTRANTE

As características dos materiais componentes se evidenciam porque têm papel decisivo na filtração. A eficácia do processo de percolação do efluente é

dependente da textura do material, que se define pela sua granulometria e isto tem influência direta nas propriedades hidrodinâmicas do sistema (ANDRADE, 2012).

Strang e Wareham (2006) analisaram, em Moeraki na Nova Zelândia, um sistema de tratamento de esgotos de origem doméstica composto de duas lagoas de maturação e unidades de *wetlands* construídos.

Estes *wetlands* apresentavam sequências alternadas de áreas de fluxo aberto plantadas com *Schoenoplectus spp*, uma espécie de junco e filtros de brita calcária vegetados com *Phormium tenax*, um arbusto de linho.

Strang e Wareham (2006) tinham como principal objetivo investigar a capacidade dos filtros de brita calcária como absorvente reativo na remoção de fósforo.

Porém ao invés de mostrar redução significativa de fósforo através dos filtros, as análises de amostras recolhidas no sistema indicaram que eles pouco removeram no inverno e funcionaram como fonte de liberação deste nutriente na primavera e no verão, além disso, apontaram que a maior redução de fósforo ocorreu nos *wetlands* de fluxo aberto.

A análise das amostras do lodo daquele sistema sugeriram razões molares de cálcio para fósforo que são consistentes com a precipitação deste como hidroxiapatita de cálcio.

Apesar de não terem identificado as condições exatas da precipitação química, concluíram que era possível obter reduções significativas de fósforo por esta forma em lagoas de estabilização, se os níveis de cálcio são elevados.

Em referência à zona de raízes Van Kaick *et al.* (2008) afirmaram que:

Na camada do filtro composto pelas plantas (zona de raízes) é onde ocorre a fixação das bactérias que recebem oxigênio. O oxigênio retirado da atmosfera é conduzido por meio dos aerênquimas das folhas, do caule que chegam até as raízes das plantas. Em troca, as bactérias decompõem a matéria orgânica, transformando-a em nutrientes que são consumidos pelas plantas e bactérias. (VAN KAICK *et al.*, 2008)

Ayaz *et al.* (2011) analisaram um sistema piloto de *wetland* construído de fluxos mistos (vertical e horizontal) tratando esgotos domésticos provenientes dos apartamentos residenciais localizados no câmpus de TUBITAK-MRC (Marmara Research Center).

Foram utilizadas no módulo de fluxo vertical, como meio filtrante pedras marmóreas, areia, cal e brita. Neste trabalho Ayaz *et al* apresentaram os seguintes

resultados na remoção de formas nitrogenadas: até 98% para Nitrogênio Total Kjeldhal e até 79% para Nitrogênio Total com o sistema de recirculação.

### 3.4 CARACTERÍSTICAS DA ZANTEDESCHIA AETHIOPICA

A *Z. aethiopica* é uma macrófita pertencente à família das *Araceae* (angiosperma e monocotiledônea) e é também conhecido como copo-de-leite, lírio-do-nilo, cala-branca, jarra ou jarro.

Sua família botânica é composta por 107 gêneros e cerca de 3.000 espécies, a maioria característica de solos ricos em matéria orgânica e brejos, ou seja, ecossistemas úmidos. São muito usados como plantas domésticas e como decoração de jardins (JOLY, 1979 *apud* LEMES *et al.*, 2008).

O copo-de-leite é uma planta perene de altura entre 45 a 90 cm. A flor é uma bráctea tubiforme que se abre formando um funil assimétrico. As folhagens em formato de espada têm de 38 a 60 cm de comprimento e 8 a 12,5 cm de largura.

É uma planta de resistência média e de cultivo em solos úmidos a encharcados a pleno sol ou a meia sombra (ZANELLA, 2008). Um exemplar da *Z. aethiopica* em florescimento pode ser observada na Figura 5.



Figura 5 – *Zantedeschia aethiopica* (copo-de-leite)

Zanella (2008) afirmou também, que podem ser utilizadas nos *wetlands*, macrófitas capazes de adaptação em solos saturados e que possuam interesse ornamental e comercial, como o copo-de-leite.

O copo-de-leite floresce em abundância nos meses mais frios, entre maio e setembro em regiões com temperatura média entre 16 e 22°C, mas que tolera até 4°C (TOMBOLATO *et al.*,2010)

Santos *et al.* (2011) avaliaram o desempenho e a eficiência em um sistema compacto de tratamento de efluentes de origem sanitária em *wetland* construído vegetado com *Z. aethiopica*.

O sistema analisado apresentou, dentre outros parâmetros, os seguintes resultados: redução da DQO em 87,0%; remoção de 40% e 46% respectivamente para Nitrogênio Total Kjeldahl e Nitrogênio Amônia e para Fósforo Total, média de 38%.

Constataram também a ausência de odores desagradáveis e de vetores e o desenvolvimento robusto do copo-de-leite.

Lohmann *et al.* (2013) avaliaram a eficiência na remoção de bactérias heterotróficas (66,25 a 97,94%) em um *wetland* do tipo sub superficial de fluxo vertical plantada com *Zantedeschia aethiopica* utilizada como tratamento secundário de esgoto doméstico a qual se mostrou favorável ao desenvolvimento de microrganismos na sua rizosfera.

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 APARATO EXPERIMENTAL

O aparato experimental foi instalado ao lado do Laboratório de Saneamento (Bloco I) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, câmpus Curitiba sede Ecoville. Informações detalhadas da montagem dos sistemas são apresentadas no Apêndice A

O Aparato experimental é composto por dois recipientes plásticos de 200 L cada, preenchidos com brita #1 seguida de areia de granulometria 1,2 a 4,8 mm e brita de calcário como material filtrante.

A tubulação foi confeccionada em tubos de PVC com diâmetro de 25 mm. Cada sistema tem volume útil de 70 L e área superficial de 0,22 m<sup>2</sup>.

Sobre um dos recipientes foram plantadas 9 mudas de *Zantedeschia aethiopica* caracterizando o sistema vegetado.

Na Figura 6 é possível observar em corte esquemático, a tubulação do aparato construído e a estrutura do leito filtrante.

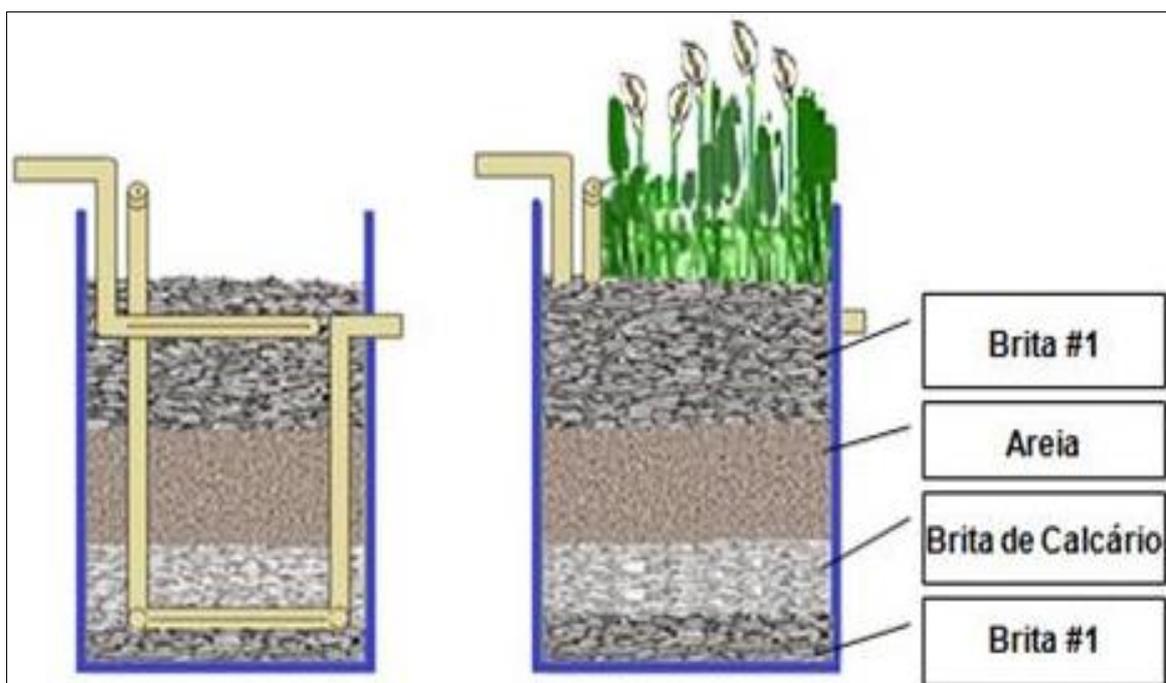


Figura 6 – Desenho Esquemático do Aparato Experimental

Neste estudo, os sistemas funcionaram em regime de bateladas, mas seu projeto também permite trabalhar em fluxo contínuo de modo que se pode simular outros tipos de vazão em fluxo contínuos ou não.

As características do aparato experimental são apresentadas na Tabela 2.

**Tabela 2 – Características do aparato experimental**

<b>Característica</b>	<b>Dimensão</b>
Área superficial	0,22 m <sup>2</sup>
Nº de mudas	9
Altura da camada de brita da superfície	300 mm
Altura da camada de areia	300 mm
Altura da camada de brita calcária	50 mm
Altura da camada de brita no fundo	50 mm
Granulometria da brita	# 1
Granulometria da areia	1,2 a 4,8 mm
Volume Total	200 L
Volume útil	166 L
Volume de vazios	70 L
Índice de Porosidade	0,42

Durante um período, os *wetlands* foram alimentados manualmente com as águas de um córrego local provavelmente contaminado com esgotos sanitários oriundo das residências localizadas na vizinhança próxima ao câmpus.

#### **4.2 EFLUENTE SINTÉTICO**

Inicialmente os sistemas iriam tratar esgoto sanitário real porém devido a dificuldades de natureza técnica no bombeamento de esgoto bruto para os sistemas optou-se pelo uso de efluente sintético.

São vantagens no uso desse tipo de solução: a possibilidade de padronização das concentrações; a relativa segurança na manipulação e transferência aos sistemas e a facilidade na preparação.

São desvantagens no uso de efluente sintético: como não cobre todos os compostos presentes no esgoto real pode não refletir as condições reais de remoção interferindo nos resultados de eficiência além de agregar custos e limitações de aquisição dos componentes especialmente em relação ao Extrato de carne.

No presente trabalho utilizou-se efluente sintético adaptado de Barbosa (2006) conforme pode ser observado na Tabela 3.

**Tabela 3 – Composição do Esgoto Sintético**

Descrição	Quantidade	unidade
Extrato de Carne	0,2	g/ L
Amido	0,01	g/ L
Farinha de Trigo	0,2	g/ L
Sacarose	0,0175	g/ L
NH <sub>4</sub> Cl	0,0255	g/ L
Óleo	0,051	mL/ L
Detergente	2	gota/ L
Celulose	0,03	g/ L
NaCl	0,25	g/ L
MgCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O	0,007	g/ L
CaCl <sub>2</sub> .2H <sub>2</sub> O	0,0045	g/ L
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	0,0264	g/ L
NaHCO <sub>3</sub>	0,2	g/ L

Adaptado de BARBOSA (2006)

A composição semelhante àquela utilizada por BARBOSA (2006) observada na Tabela 3 difere no teor de Cloreto de Amônio que foi incrementado em quatro vezes mais para tornar a solução mais próxima as condições reais de esgoto sanitário em termos de Nitrogênio amoniacal.

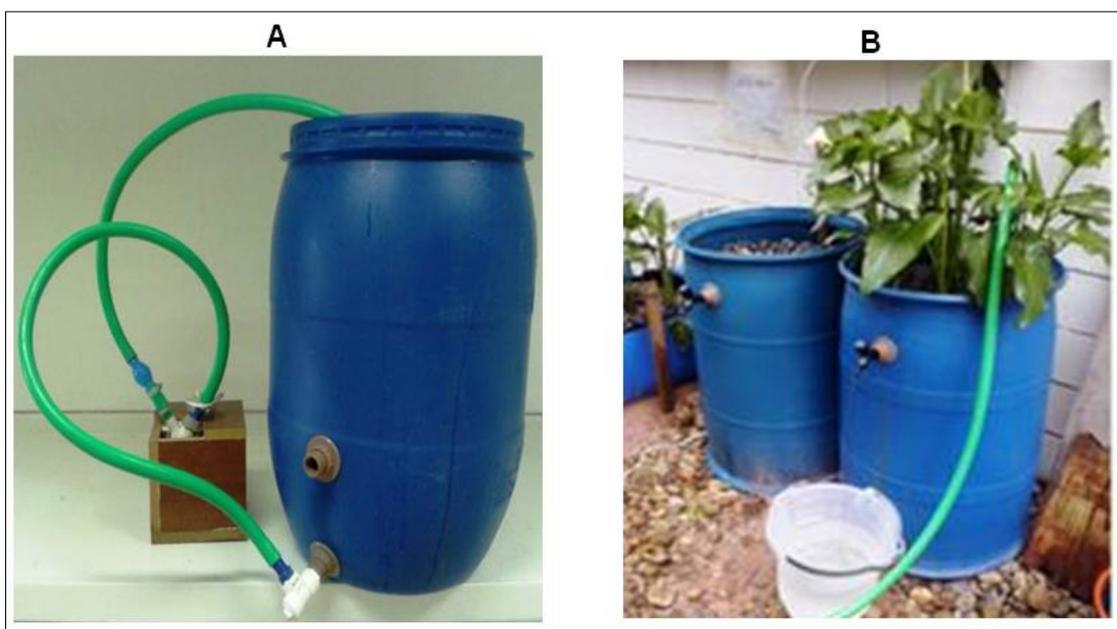
### 4.3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

O planejamento inicial do experimento previa o bombeamento da água residuária para os sistemas em modo contínuo o que não foi possível devido a

dificuldades técnicas de bombeamento e distribuição do efluente que não puderam ser solucionadas àquela época e então se optou por realizar o experimento por bateladas.

Nas duas primeiras bateladas, respectivamente realizadas em 04 e 18 de outubro, os componentes do efluente sintético foram devidamente pesados em balança analítica e diluídos em dois litros de água cerca de meio dia antes da transferência para os sistemas.

Para cada sistema foi diluído 1 L do concentrado em 70 L de água no dia da realização da batelada. Os meios de preparação e transferência do esgoto sintético para os sistemas são visualizados na Figura 7.



**Figura 7 – Preparação e transferência do esgoto sintético.**  
**A: Em destaque o Dispositivo de mistura e transferência;**  
**B: Vista da mangueira adaptada à Entrada do sistema vegetado.**

O efluente sintético foi transferido gradativamente para os *wetlands* construídos através do dispositivo conforme observado na Figura 7.

A transferência foi realizada através da entrada do sistema como mostrado na Figura 7.

Após o término da transferência do efluente sintético, iniciou-se a contagem de tempo para as amostragens periódicas de 4; 8; 24 e 48 horas. O volume de cada

amostra foi de 400 mL. Coletou-se uma amostra de 400 mL do efluente bruto para sua caracterização. Esta amostra inicial foi considerada como tempo 0 h.

As amostras foram então preparadas e analisadas conforme a metodologia prevista (item 4.4).

Na terceira batelada, realizada no dia 6 de dezembro, por razões que serão explicadas no capítulo 5, os reagentes do efluente sintético foram pesados na quantidade suficiente para os volumes de enchimento dos sistemas e armazenados em copos de Becker para posterior diluição à hora da transferência da solução para os sistemas.

A transferência, os processos de amostragem, preparação e metodologia analítica se deu em condições semelhantes às bateladas anteriores.

#### 4.4 MÉTODOS ANALÍTICOS

As análises foram realizadas no Laboratório de Saneamento da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, câmpus Curitiba, sede Ecoville.

Os métodos analíticos estão indicados na Tabela 4 e foram realizados de acordo com as metodologias descritas no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (EATON *et al.*, 2005).

**Tabela 4 – Metodologia Analítica**

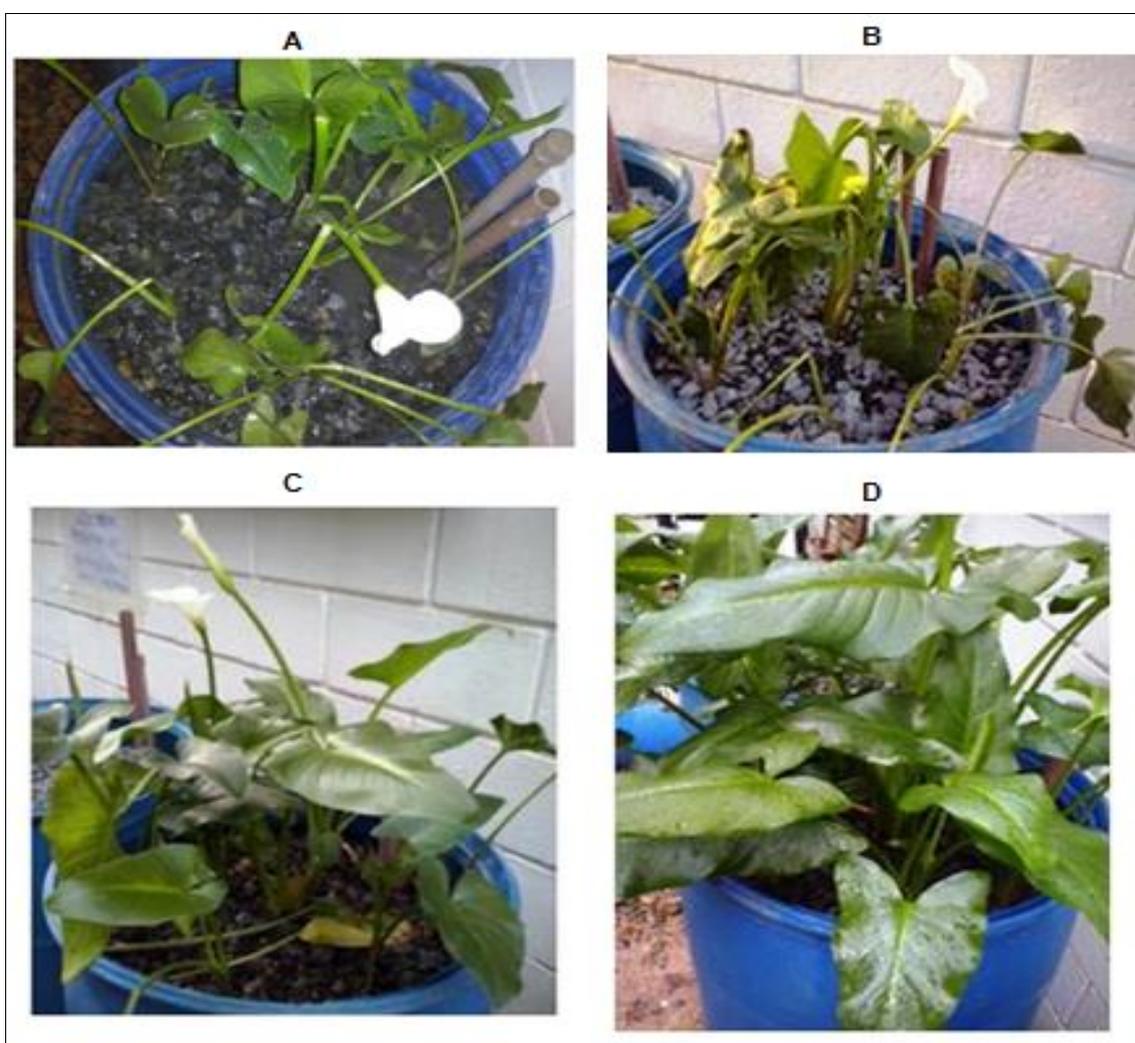
Parâmetro	Unidade	Método de Análise	Método N°
Temperatura	°C	-	-
pH	-	Potenciométrico	4500_H <sup>+</sup>
Demanda Química de Oxigênio	mg/L	Espectrofotométrico	5220_D
Nitrogênio Total Kjeldall	mg/L	Titulométrico	4500_N <sub>org</sub>
N Amoniacal (N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	mg/L	Titulométrico	4500_NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
Nitrito (N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	Espectrofotométrico	4500_NO <sub>2</sub>
Nitrato (N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	Espectrofotométrico	4500_NO <sub>3</sub>
Fósforo Total	mg/L	Espectrofotométrico	4500_P
Turbidez	UNT	Nefelométrico	2130 B

Fonte: Adaptado de Eaton *et al.* (2005).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 DESENVOLVIMENTO INICIAL DAS PLANTAS

O desenvolvimento das plantas logo após o processo de plantio no período de julho até início de outubro de 2014 pode ser notado na Figura 8.



**Figura 8 – Desenvolvimento Inicial das plantas.**

**A) Plantio; B) Após uma semana C) após quatro semanas D) após 10 semanas.**

Na Figura 8 pode-se perceber o efeito inicial do plantio (observado em A) nos *wetlands* sobre os copos-de-leite, que murcharam de modo generalizado conforme

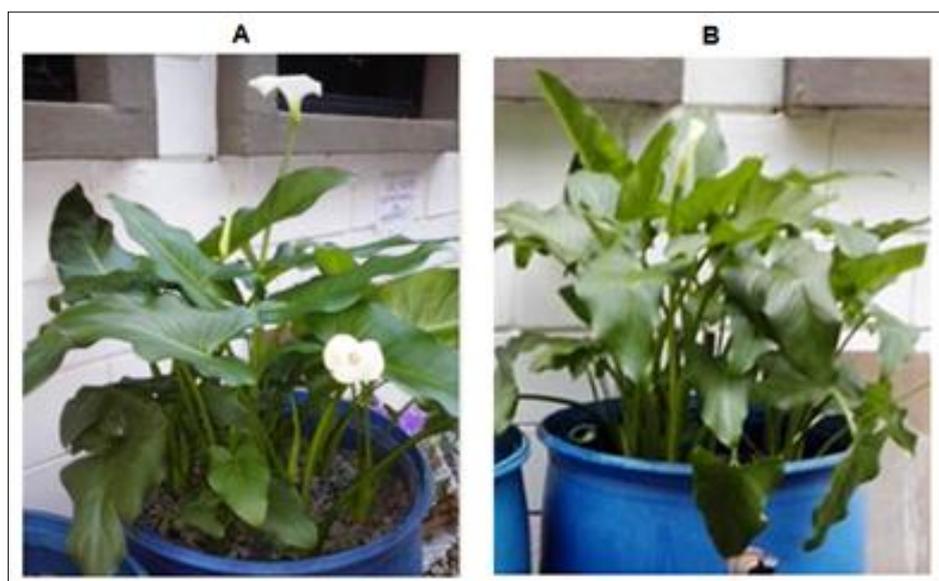
se pode verificar em B apresentando morte de algumas folhas e flores na primeira semana.

As partes mortas e secas foram paulatinamente removidas e após quatro semanas (mostrado em C) se observa a presença de novas flores e folhas.

Após 10 semanas observam-se plantas com desenvolvimento adequado o que é um indicativo da adaptabilidade da *Zantedeschia aethiopica* neste sistema com alimentação com água provenientes do córrego local.

## 5.2 DESENVOLVIMENTO DAS PLANTAS DURANTE OS EXPERIMENTOS

As condições do sistema plantado depois da execução das bateladas 1 e 2 (aproximadamente 60 horas após o início) podem ser vistos na Figura 9.



**Figura 9 – Condições após os Experimentos.  
A: após Batelada 1; B: após Batelada 2**

As plantas apresentaram, de modo geral, resistência às cargas aplicadas e adaptação adequada aos Experimentos conforme se verifica na Figura 9 onde se observa em A as condições após a primeira batelada que foi realizada em 04 de

outubro de 2014 e em B pode se observar as condições após 18 de outubro de 2014, data da segunda batelada.

Observa-se na Figura 10 a presença de novos brotos e a senescência e morte de algumas folhas.



**Figura 10 – Condições durante os experimentos**  
A: novos brotos; B: Senescência e morte de folhas.

As condições verificadas na figura 10 indicam que à medida que as folhas mais antigas secam e morrem surgem também novos brotamentos e consequente aumento no número de plantas no sistema.

Pôde-se perceber durante as observações dos sistemas, a perda de biomassa no sistema vegetado, embora a quantificação desta perda não tenha sido objeto de estudo neste trabalho.

As condições do sistema vegetado após a terceira batelada são vistas na Figura 11.



**Figura 11 – Condições após os Experimentos.**  
A: Após a terceira batelada; B: Uma semana após o experimento.

Na Figura 11 observa-se em A e em B o início do processo de senescência de algumas folhas, porém o aspecto geral das plantas é adequado.

Durante a execução dos três experimentos em bateladas pode-se verificar que o sistema vegetado se destaca pela inexistência de odores enquanto que no sistema não vegetado ocorre odor característico de esgotos.

Esta ausência de odores também foi verificada por Santos *et al.*(2011) que avaliaram uma unidade compacta de tratamento vegetada com *Zantedeschia aethiopica*.

### 5.3 MONITORAMENTO DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

Após a aplicação de cada batelada foi realizado o monitoramento dos parâmetros propostos onde foram coletadas amostras do Efluente sintético aos sistemas e amostras após 4, 8, 24 e 48 horas após a transferência.

Os resultados analíticos das três bateladas são mostrados no Apêndice B.

Nos gráficos de linha que serão apresentados, a linha tem função apenas de facilitar a compreensão do gráfico.

A Tabela com os dados e o Gráfico geral de eficiência para cada batelada em cada sistema podem ser visualizados no Apêndice C.

#### 5.3.1 CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE SINTÉTICO BRUTO

Na tabela 5 pode-se visualizar uma adaptação da classificação dos esgotos apresentada por Metcalf & Eddy (1991).

**Tabela 5 – Classificação dos esgotos por alguns parâmetros Físico-Químicos**

Parâmetro	Unidade	Forte	Médio	Fraco
DQO	mg/L	1000	500	250
NTK	mg/L	85	40	20
N Amoniacal	mg/L	50	25	12
P Total	mg/L	15	8	4

Fonte: Adaptado de Metcalf & Eddy (1991) *apud* LÉO, L. F. R.(2008)

Os resultados analíticos do efluente sintético bruto são apresentados na Tabela 6.

**Tabela 6 - Caracterização do Efluente Sintético**

<b>Parâmetro</b>	<b>Unidade</b>	<b>Média</b>	<b>Desvio Padrão</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>
Temperatura	°C	19,7	3,6	15,6	21,8
pH		7,83	0,14	7,69	7,96
Turbidez	UNT	27,6	5,9	22,5	34,1
DQO	mg/L	533,0	94,9	463,8	641,2
NTK	mg/L	45,16	-	-	-
N amoniacal	mg/L	28,93	-	-	-
Nitrito	mg/L	0,029	0,006	0,024	0,036
Nitrato	mg/L	0,320	0,106	0,200	0,390
Fósforo	mg/L	19,70	3,25	16,40	22,90

Comparando-se os dados da Tabela 5 e da Tabela 6 verifica-se que o efluente sintético em questão pode ser classificado como médio para forte para os parâmetros DQO, NTK e Nitrogênio Amoniacal e forte para e Fósforo Total.

Os valores encontrados, nas duas primeiras bateladas, para Nitrogênio Amoniacal foram maiores que os valores encontrados para NTK (Nitrogênio Total Kjeldahl).

Considerando-se que NTK é a soma do Nitrogênio Amoniacal e o Nitrogênio orgânico contido no Efluente espera-se que estas duas espécies nitrogenadas tenham valores menores que NTK, o que não aconteceu nas duas primeiras bateladas tornando os dados incoerentes conforme se pode verificar no apêndice B.

Na tabela 6 estes dois parâmetros são mostrados apenas com as informações da terceira batelada porque nesta os dados foram mais coerentes, mas os valores de desvio padrão, máximo e mínimo não puderam ser calculados adequadamente.

Para entender a causa desta discrepância foram revisadas a metodologia da análise e os procedimentos de preparação e estocagem da solução de esgoto sintético.

Nenhum problema foi identificado no processo analítico, além disso foi verificado que em outras amostras analisadas pelo Laboratório não se observou esta divergência.

Não foram evidenciados elementos ou substâncias contaminantes que pudessem causar interferências analíticas.

No processo de preparação e armazenagem da solução observou-se, nestas duas bateladas, que foram preparadas nos dias anteriores à execução das bateladas, soluções estoque concentradas para então diluí-las ao volume necessário no momento do experimento.

Acredita-se que devida a alta concentração dos reagentes contidos na solução estoque tenha levado a reações envolvendo compostos nitrogenados elevando-se assim a concentração do Nitrogênio Amoniacal.

Deste modo, na execução da terceira batelada, de modo a prevenir o problema, a solução de esgoto sintético foi preparada à hora da aplicação e os resultados analíticos resultaram em valores mais coerentes.

Embora a causa aparente desse aumento da concentração de Nitrogênio amoniacal possa residir na preparação de solução estoque de alta concentração dos reagentes, este fato ainda não foi muito bem elucidado e necessita de mais estudos para uma caracterização efetiva do problema.

### 5.3.2 TEMPERATURA

O monitoramento das temperaturas do efluente durante os experimentos é mostrado na Figura 12.

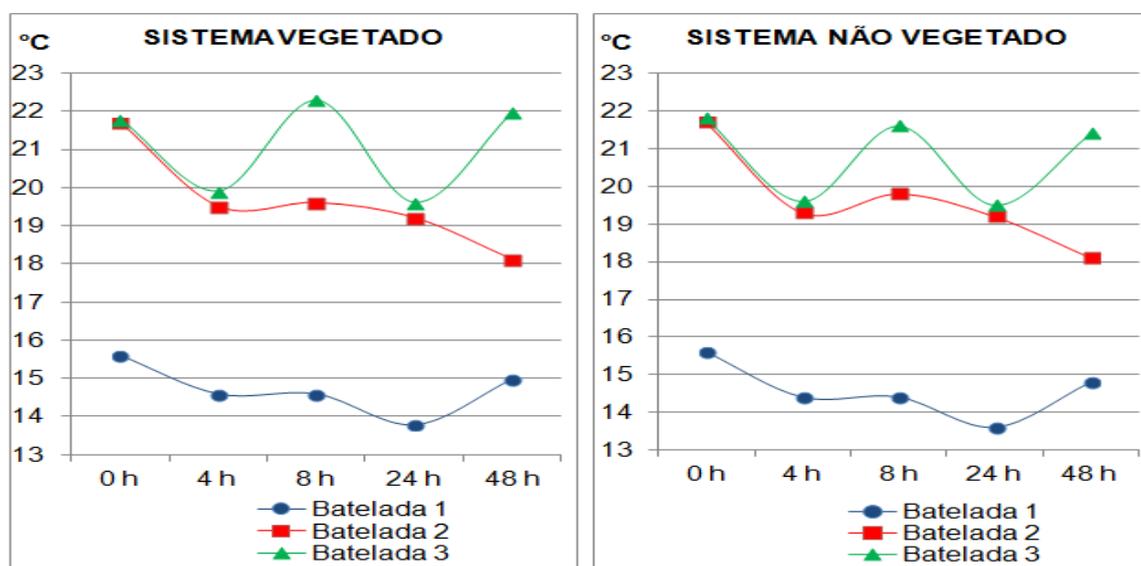
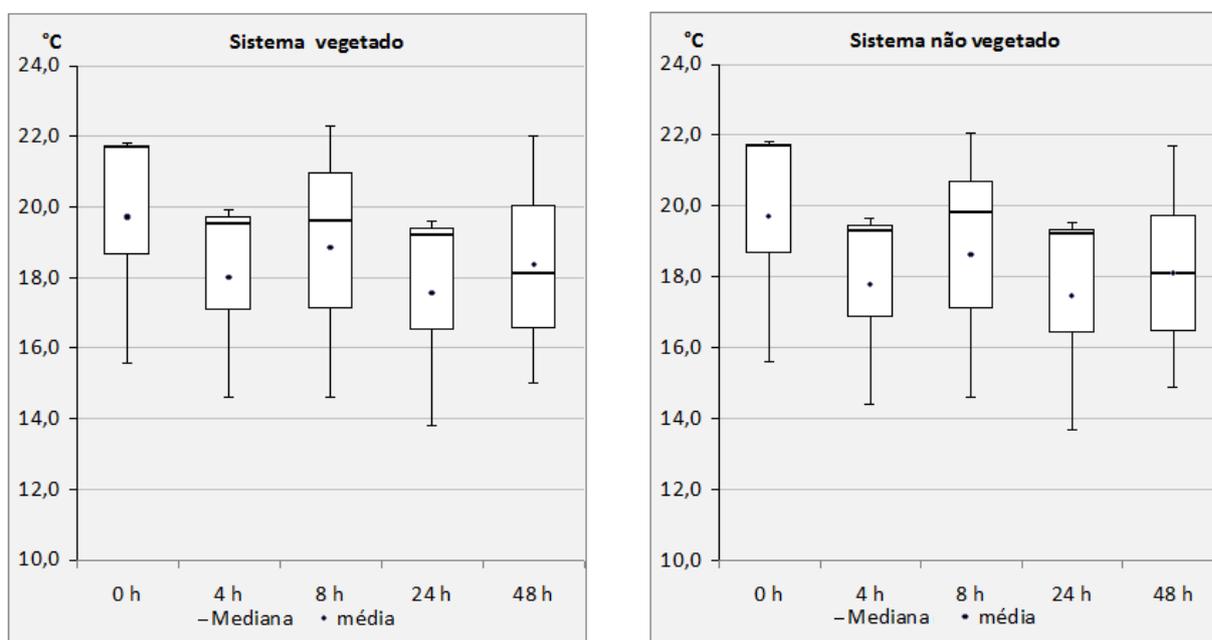


Figura 12 – Gráficos do Monitoramento das Temperaturas

Na figura 12 observa-se que as variações entre os sistemas (vegetado e não vegetado) foram pequenas e o comportamento entre ambos é bastante semelhante e verifica-se também semelhança nas faixas de temperatura entre as bateladas. Isto reflete a temperatura ambiente à época e hora dos experimentos com valores mais elevados na terceira batelada.

Os gráficos *Box plot* da variação das Temperaturas são mostrados na Figura 13.



**Figura 13 – Gráfico *Box plot* da variação das temperaturas**

Na figura 13 são apresentados os gráficos onde se verificam os valores das médias e os das medianas obtidas entre as bateladas por amostras onde 0h corresponde ao Efluente bruto e 4h, 8h, 24h, 48h às amostras do efluente de 4 até 48 horas.

Pôde-se constatar que não houve diferenças significativas entre as médias de cada amostra, mas que há uma amplitude de aproximadamente 7° C para os dois sistemas. As medianas de cada sistema também se apresentam com valores semelhantes entre os sistemas.

### 5.3.3 POTENCIAL HIDROGENIÔNICO (pH)

Na Figura 14 se observa o monitoramento do pH das amostras dos dois sistemas verificados nas em cada batelada.

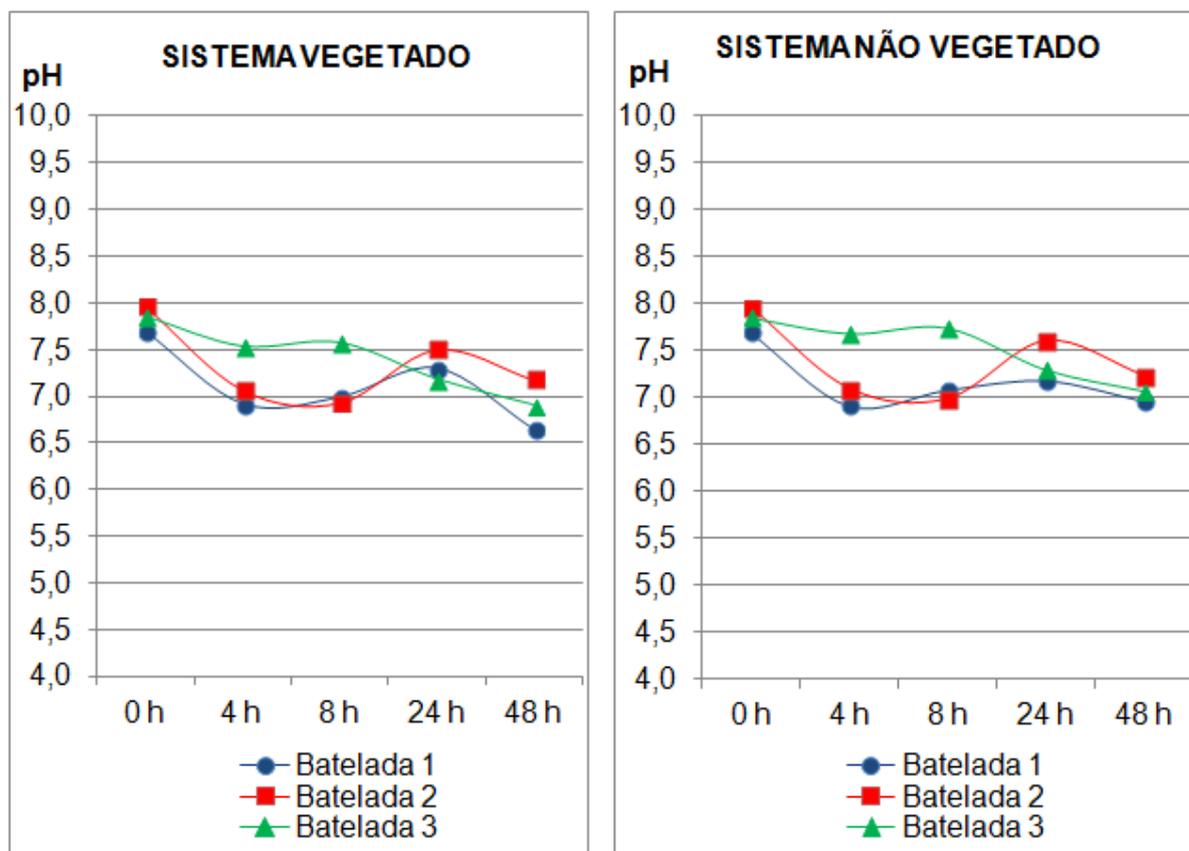


Figura 14 – Gráficos do Monitoramento do pH do Efluente.

Embora os valores obtidos ao final das 48 horas de cada monitoramento estejam ainda dentro dos valores de neutralidade, pode-se verificar na Figura 14 para os dois sistemas nas 3 bateladas, a tendência de acidificação.

Está estabelecido na Resolução CONAMA 430 de 13/05/2011, que dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes, em seu Artigo 16 que os efluentes de qualquer fonte poluidora só podem ser lançados se os valores de pH estiverem entre 5 e 9 de modo que nestas condições o efluente atenderia o estabelecido para este parâmetro.

### 5.3.4 TURBIDEZ

Os resultados do monitoramento da Turbidez são mostrados na Figura 15.

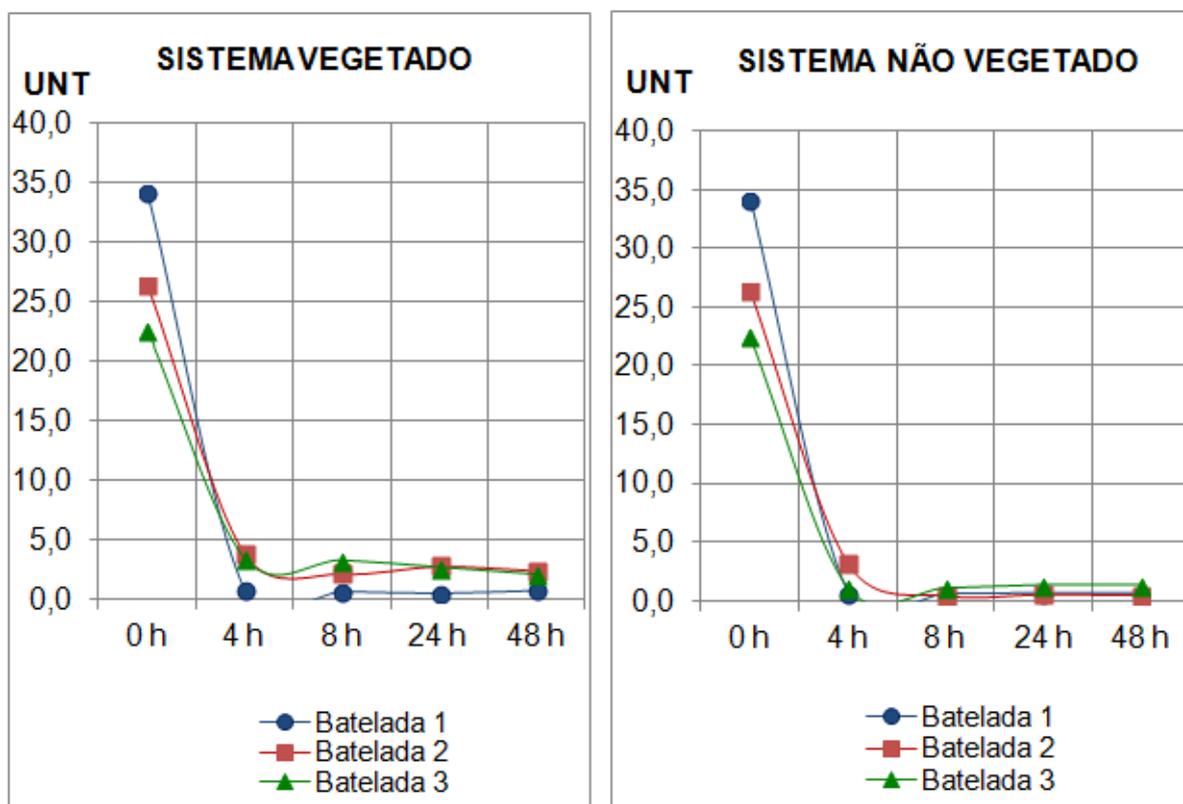


Figura 15 – Gráficos do Monitoramento da Turbidez do Efluente.

Verifica-se na figura 15 que em ambos os sistemas, houve redução da Turbidez já nas primeiras 4 horas de tratamento nos sistemas e após tendeu a se estabilizar em valores mínimos.

A eficiência na remoção da Turbidez é apresentada na Tabela 10.

Tabela 7 – Eficiência na remoção da Turbidez; %

Batelada	Sistema Vegetado	Sistema Não Vegetado
1	97,9	98,1
2	90,9	98,3
3	90,9	94,0
<b>Média</b>	<b>93,2</b>	<b>96,8</b>

Na Tabela 10 se observa eficiência semelhante em ambos os sistemas sendo que na média o sistema vegetado atingiu 93,2 % e o sistema não vegetado 96,8 % de remoção.

Na Figura 16 pode se visualizar através do gráfico *Box plot* a posição da mediana e da média.

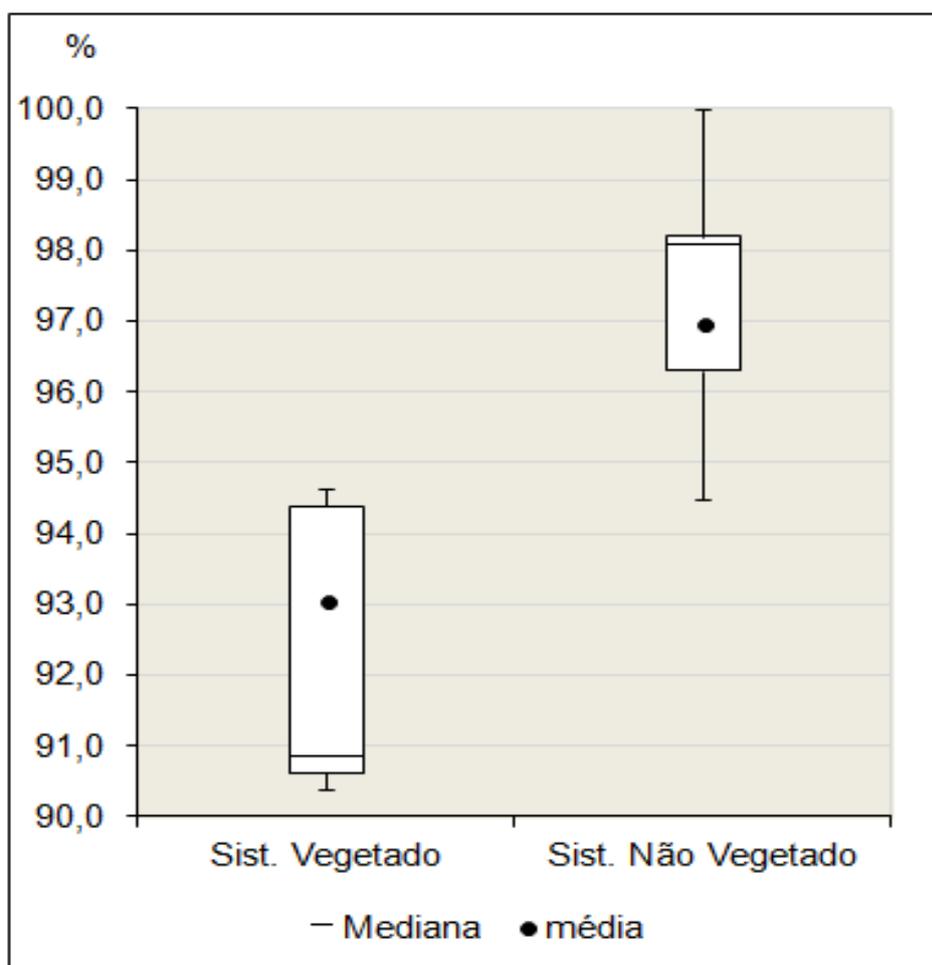


Figura 16 - Gráfico *Box plot* da eficiência na remoção da Turbidez

No gráfico *Box plot* da Figura 16 verifica-se que a linha mediana tanto do sistema vegetado quanto do não vegetado estão deslocadas indicando a assimetria desses valores.

A distância entre o ponto médio em relação à mediana é um indicativo da dispersão dos dados.

### 5.3.5 DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO (DQO)

O monitoramento do parâmetro DQO nos sistemas vegetado e não vegetado nas três bateladas realizadas pode ser observado na Figura 17.

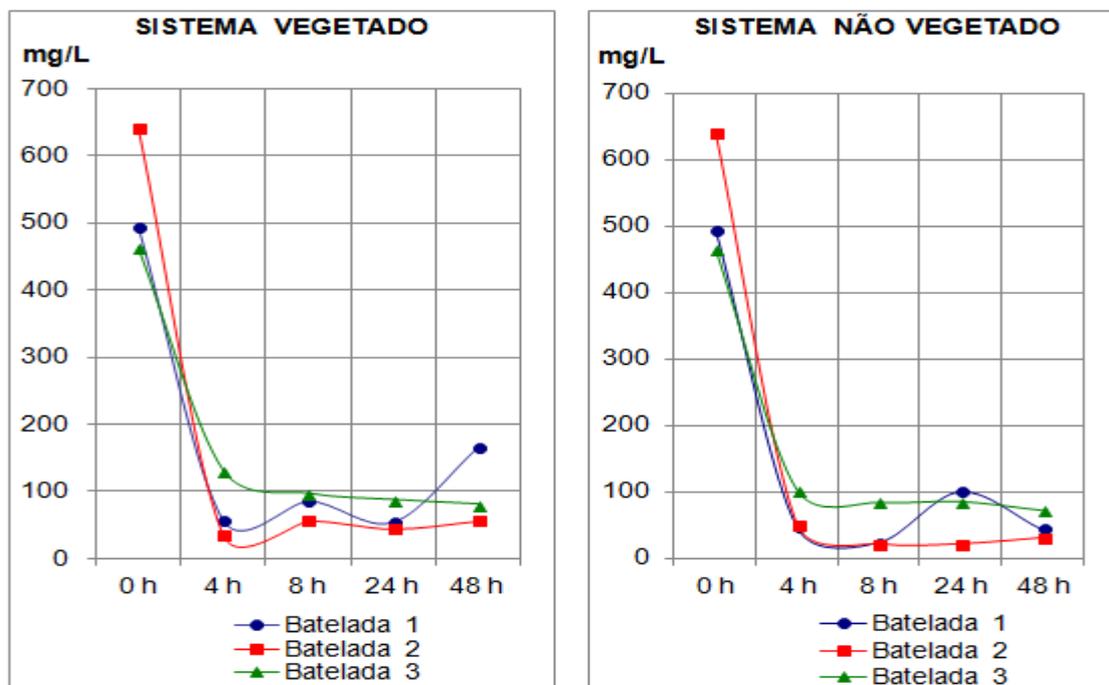


Figura 17 – Gráfico do monitoramento da DQO nos sistemas

Pode-se verificar nos Gráficos da Figura 17 a maior redução da Demanda Química de Oxigênio também ocorre nas primeiras quatro horas de tratamento.

Verificou-se uma tendência a se estabilizar em valores abaixo de 100 mg/L exceto para a primeira batelada no sistema vegetado que teve maior variação e ao final de 48 h apresentou valor maiores que nas outras bateladas. As causas dessa variação não foram determinadas neste estudo, porém isto pode ser indicativo de erro analítico.

### 5.3.6 EFICIÊNCIA NA REDUÇÃO DA DQO

Foram verificados na média das análises realizadas para Demanda Química de Oxigênio (DQO), o resultado de 90,3% do sistema não vegetado, portanto maior que o observado para o sistema vegetado que apresentou 80,0% de eficiência.

SANTOS *et al.* (2011) obtiveram 87% de redução da DQO numa unidade compacta utilizando copo-de-leite.

PELLISSARI *et al.* (2013) obtiveram num sistema de fluxo vertical plantado com *Typha domingensis Pers*, em média 68% de eficiência na diminuição da DQO.

LANA *et al.* (2013) nas pesquisas em Minas Gerais em sistemas de *wetlands* construídos de fluxo vertical obtiveram 72% para o sistema vegetado e 80% para sistema não vegetado de controle.

Na Figura 18 se verifica o gráfico *box plot* com os dados de eficiência na redução da DQO.

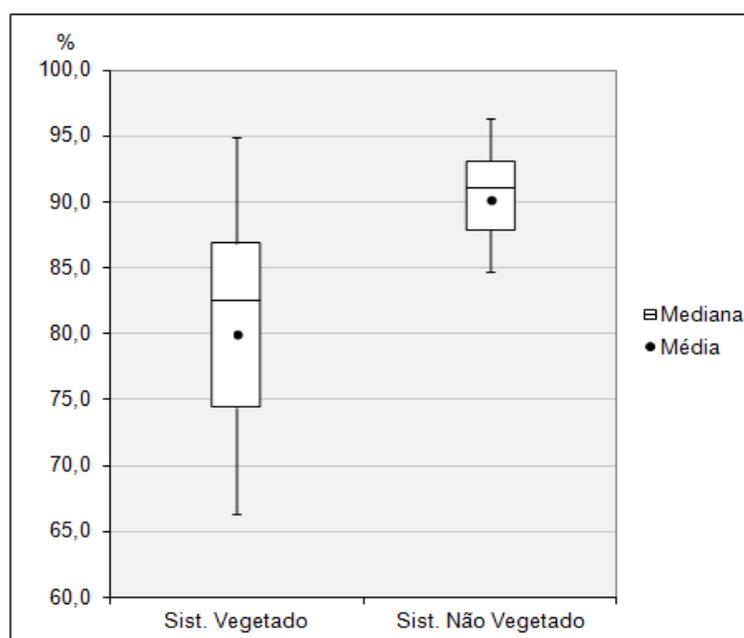


Figura 18 – Gráfico *Box plot* da eficiência na redução da DQO

Na Figura 18 pode-se verificar a maior eficiência do sistema não vegetado em comparação com o vegetado.

A linha mediana mostra para o sistema vegetado uma assimetria maior em relação ao não vegetado.

A amplitude observada no sistema vegetado foi maior que para o sistema não vegetado.

Não está estabelecido na Resolução nº 357 do CONAMA (BRASIL, 2005) o parâmetro de demanda química de oxigênio (DQO) para a classificação dos corpos d'água.

Na Resolução nº 430 do CONAMA (BRASIL, 2011), que complementa e altera a Resolução 357/2005 também não se verifica a DQO como parâmetro de lançamento de efluentes, mas define para os órgãos ambientais responsáveis e operadores de tratamento de efluentes a incumbência de uma especificação aplicável segundo as condições locais.

No Paraná, na Resolução SEMA nº 021/09 (PARANÁ, 2009) está disposto sobre licenciamento ambiental e onde se estabelece condições e padrões ambientais além de outras providências para empreendimentos de saneamento.

Nesta Resolução verifica-se no artigo 11º uma especificação para a DQO de no máximo 225 mg/L.

Neste trabalho, a média para o sistema vegetado foi de 101,4 mg/L e para o sistema não vegetado foi de 48,8 mg/L. Em ambos os sistemas, portanto, são atendidas esta especificação.

### 5.3.7 NITROGÊNIO TOTAL KJELDAHL (NTK)

Na Figura 18 pode-se observar os resultados do monitoramento do Nitrogênio Total Kjeldahl para as três bateladas e para os sistemas: vegetado e não vegetado.

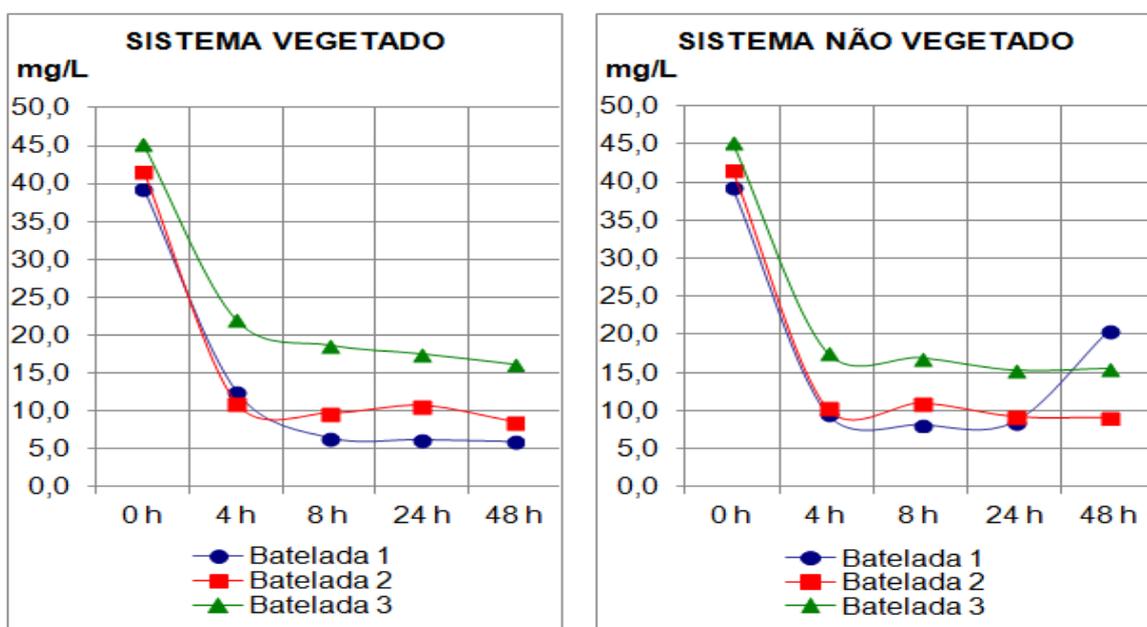


Figura 19 – Gráficos do monitoramento do NTK nos sistemas

Verifica-se na Figura 19 que a maior quantidade do NTK é consumida já nas primeiras horas de tratamento, embora o sistema vegetado tenha sido um pouco mais lento na redução desse parâmetro, os resultados ao final de 48 horas, exceto para a primeira batelada foram semelhantes.

### 5.3.8 REMOÇÃO DO NTK

Na remoção do Nitrogênio Total Kjeldahl obteve-se a eficiência média de 63,9% para o sistema vegetado e 76,2% para sistema não vegetado.

SANTOS *et al.* encontraram em seu trabalho em Jacareí, São Paulo eficiência de 38% para NTK num sistema vegetado com copos-de-leite o que de certo modo aponta para uma baixa contribuição desta espécie vegetal na remoção do NTK.

PELISSARI *et al.* (2013) num sistema de fluxo vertical plantado com *Typha domingensis Pers* obtiveram em média 71% de eficiência em termos de NTK.

LANA *et al.* (2013) nas pesquisas em Minas Gerais em sistemas de *wetlands* construídos de fluxo vertical obtiveram 55 e 56% para o sistema vegetado e 46% e 47% para sistema não vegetado de controle.

No gráfico Box plot da A Figura 20 observa-se nos sistemas vegetado e não vegetado para a a eficiência na remoção do NTK.

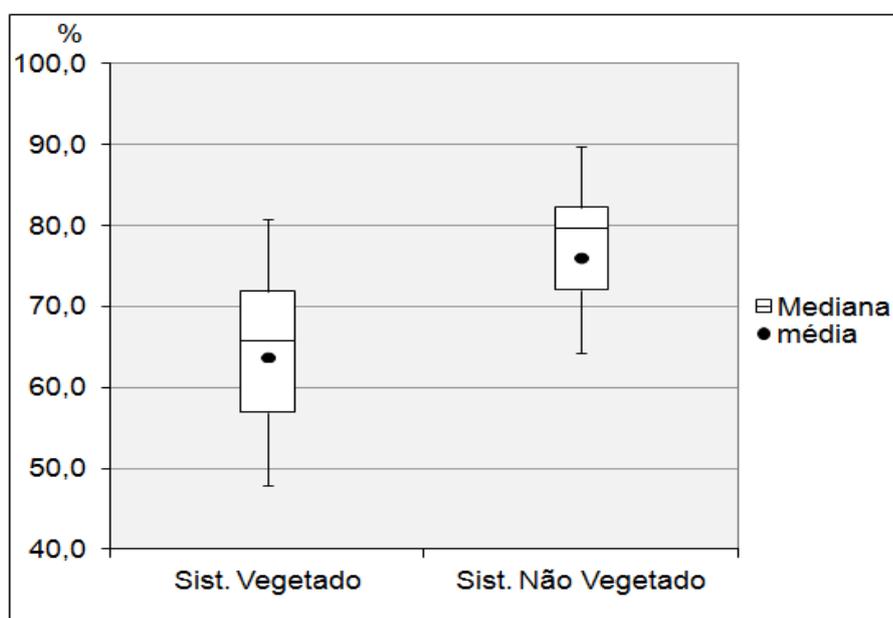


Figura 20 – Gráfico Box plot para a remoção do NTK

Na figura 20 é possível observar no gráfico Box plot a maior eficiência do sistema não vegetado em comparação com o vegetado.

A linha mediana mostra para o sistema não vegetado uma assimetria maior em relação ao vegetado.

A amplitude dos dados do sistema não vegetado foi um pouco menor que a do sistema vegetado.

Considerando-se que NTK é o total de Nitrogênio amoniacal e Nitrogênio orgânico e que a alta remoção do Nitrogênio amoniacal (que será discutida à frente) pode-se afirmar que o sistema vegetado é menos eficiente, neste processo e sob estas condições, na remoção do Nitrogênio orgânico.

### 5.3.9 NITROGÊNIO AMONICAL

Os gráficos referentes ao monitoramento do parâmetro Nitrogênio Amoniacal nas três bateladas para os dois sistemas são mostrados na Figura 21.

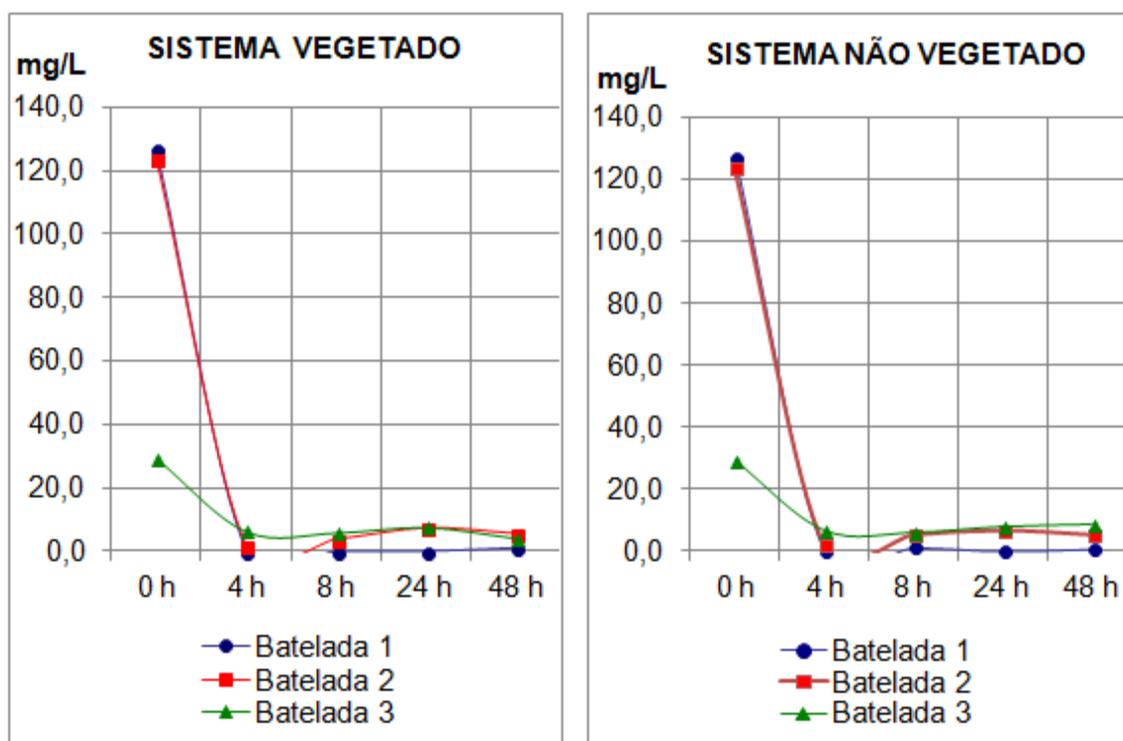


Figura 21 – Gráficos do monitoramento do Nitrogênio amoniacal

A quantificação do Nitrogênio Amoniacal nos esgotos é importante parâmetro de atendimento a legislação ambiental dado seus efeitos tóxicos a biota aquática.

A Resolução CONAMA 430 de 13/05/2011 (BRASIL, 2011) que dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes estabelece em seu Artigo 16 a quantidade máxima de 20,0 mg/ L portanto conforme mostrado na Figura 21 ambos os sistemas foram adequados ao atendimento deste requisito da legislação.

Verifica-se em ambos os sistemas, o decaimento da concentração do Nitrogênio amoniacal nas primeiras quatro horas do início de cada batelada e após 48 horas do ensaio apresentou variações discretas com tendência a redução.

### 5.3.10 REMOÇÃO DO NITROGÊNIO AMONIAICAL

Embora tenha ocorrido grande aumento do Nitrogênio amoniacal nas bateladas 1 e 2 verificou-se que o sistema foi capaz de removê-lo com eficiência em ambos os sistemas.

Na média, a remoção do nitrogênio amoniacal foi eficiente com 93,5% para o sistema vegetado e 88,7% para o sistema não vegetado.

Os resultados da eficiência de remoção do Nitrogênio amoniacal neste sistema foram maiores que os 46% apontados por SANTOS *et al.* (2011).

Com um pouco mais de eficiência corroboram os 80% encontrados por PELISSARI *et al.* (2013) num sistema de fluxo vertical plantado com *Typha domingensis Pers* para tratamento de efluentes de bovinocultura.

LANA *et al.* (2013) que avaliaram em Minas Gerais pesquisas de cinco anos em sistemas de *wetlands* construídos de fluxo vertical encontraram eficiências de 56% e 59% para a unidade vegetada e de 49% e 52% para a unidade não vegetada.

Estes são valores inferiores aos encontrados neste trabalho, mas são concordantes em relação à pequena diferença entre o sistema vegetado e o não vegetado.

Na figura 22 observa-se o gráfico *Box plot* da remoção do Nitrogênio Amoniacal.

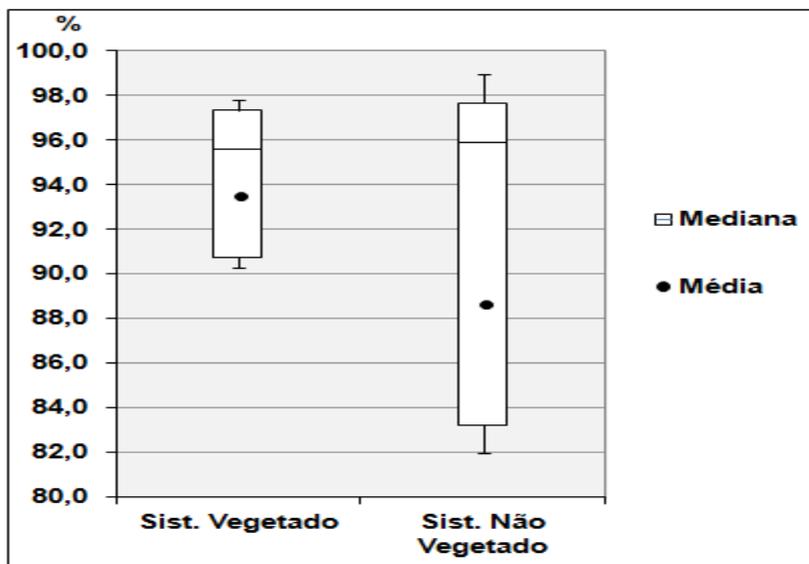


Figura 22 – Gráfico Boxplot para a remoção do Nitrogênio Amoniacal

Existe assimetria dos dados em ambos os sistemas, porém maior no sistema não vegetado que também apresenta dados com maior dispersão.

### 5.3.11 NITRITO

Na Figura 23 podem-se observar os resultados do monitoramento do parâmetro Nitrito para ambos os sistemas nas três bateladas.

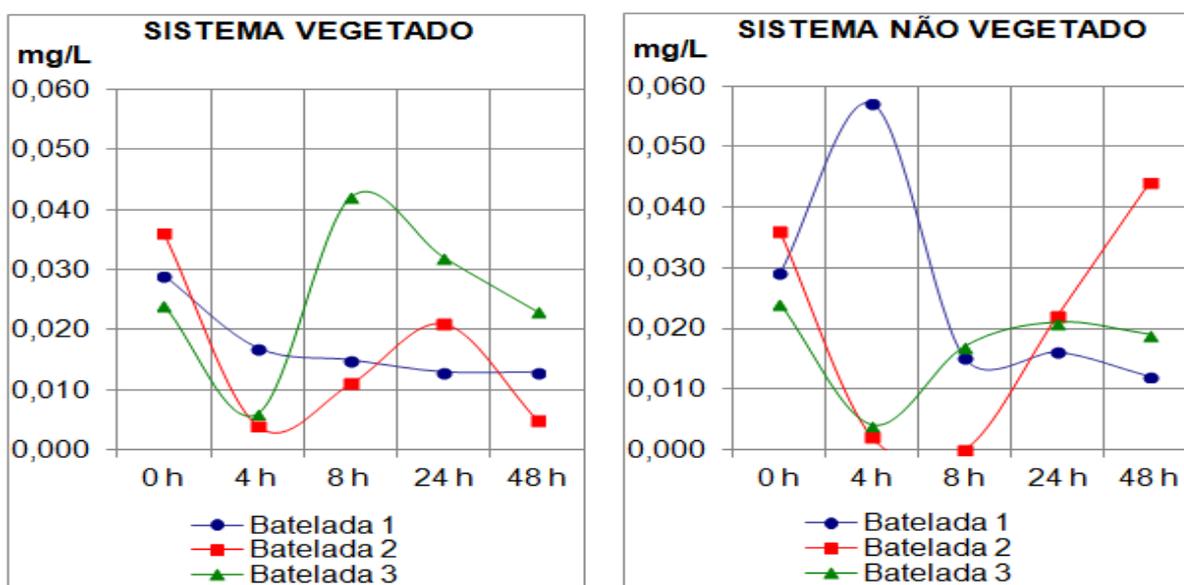


Figura 23 – Gráficos do monitoramento do Nitrito nos sistemas

Nos gráficos apresentados na Figura 23 pode-se verificar em vários pontos um aumento na concentração de Nitrito no efluente. Isto ocorreu provavelmente devido aos processos de nitrificação onde ocorre a degradação do Nitrogênio orgânico e do Nitrogênio amoniacal e formação do Nitrito.

Nos pontos onde se detectou menores concentrações houve oxidação do nitrito e provavelmente ocorrerá incremento na concentração do Nitrato.

### 5.3.12 REMOÇÃO DO NITRITO

Neste trabalho a eficiência média de remoção do nitrito que se atingiu nos respectivos sistemas foi de 48,5% para o sistema vegetado e somente 19,1% para o sistema não vegetado.

Os valores baixos de eficiência neste parâmetro aliados ao desempenho verificado para Nitrogênio amoniacal e NTK apontam para uma boa capacidade de nitrificação, porém uma baixa capacidade de oxidação do nitrito a nitrato no processo em estudo.

Na Figura 24 observa-se o gráfico *Box plot* de comparação da remoção de Nitrito entre os sistemas.

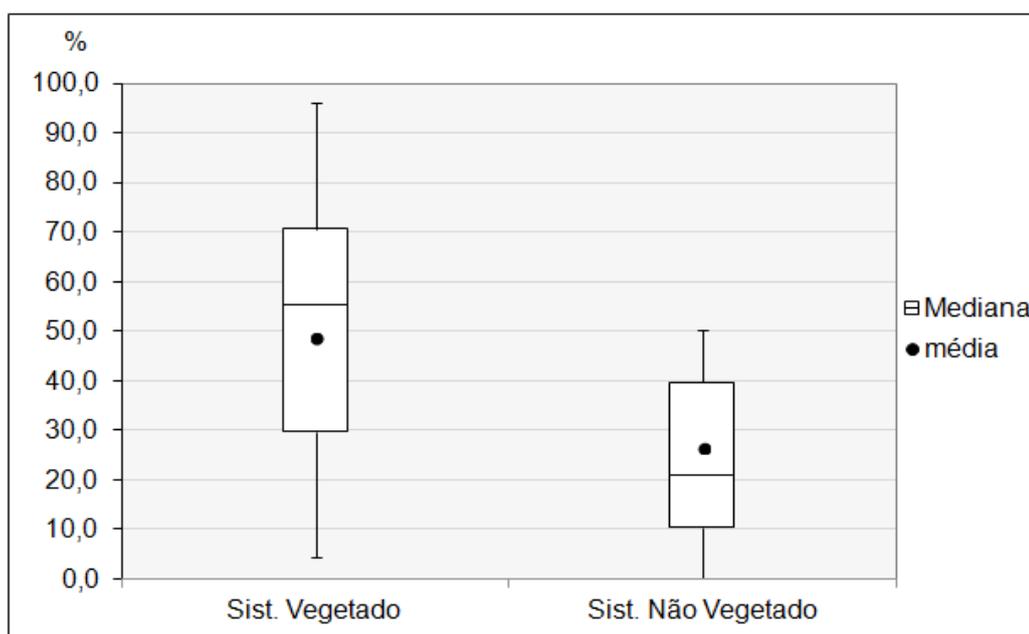


Figura 24 – Gráfico *Box plot* da remoção do Nitrito

Na Figura 24 pode-se verificar que o sistema vegetado teve em média melhor desempenho no tratamento do Nitrito do que se pode deduzir que aqui houve a atuação dos copos-de-leite.

A assimetria indicada pela linha mediana em ambos os sistemas foi pequena e no sistema não vegetado é quase simétrico.

Na segunda batelada a eficiência na remoção do Nitrito nos sistema não vegetado resultou valor negativo de -22,2% portanto a média 19,1%. Quando se corrige o valor negativo para 0% a média tem então o valor 26,5%

Embora o limite mínimo no sistema não vegetado tenha atingido valor zero em termos de eficiência, o que ocorreu foi a formação de mais nitrito proveniente do processo de nitrificação, então é possível que em relação ao Nitrito existente inicialmente, os sistemas tenham sido mais eficientes.

É possível que o tempo de detenção hidráulica do efluente nos sistemas tenha sido insuficiente para uma remoção mais efetiva deste parâmetro. O sistema vegetado foi neste caso mais efetivo que o não vegetado.

### 5.3.13 NITRATO

Na Figura 25 é possível verificar os resultados encontrados para o Nitrato nos gráficos

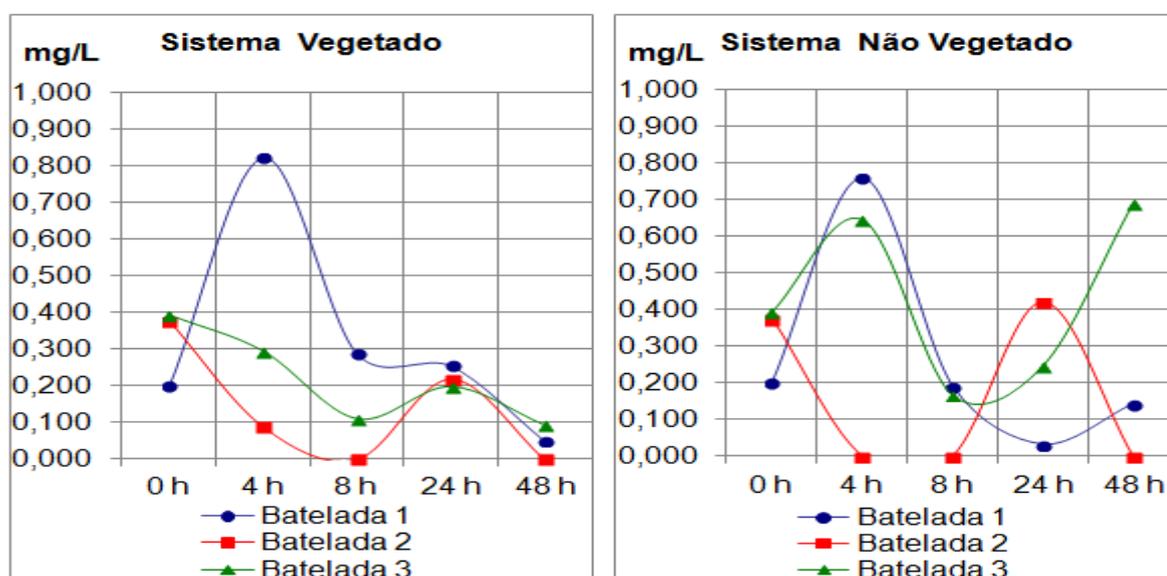


Figura 25 – Gráficos dos monitoramentos do Nitrato

Nos gráficos da Figura 25, observa-se que o sistema vegetado foi mais eficiente na remoção do Nitrato, o que pode ser indicativo de absorção pelas plantas. Na terceira batelada do sistema não vegetado ao final de 48 horas houve em relação a quantidade inicial um aumento na quantidade de Nitrato, possivelmente proveniente dos processos de nitrificação.

### 5.3.14 REMOÇÃO DO NITRATO

A eficiência média de remoção do Nitrato que se atingiu nos sistemas foi de 83,9% para o sistema vegetado e somente 18,1% para o sistema não vegetado.

Na terceira batelada a eficiência na remoção do Nitrato apresentou valor negativo de -75,0% no sistema não vegetado de onde se deduz o sistema não foi capaz de remover naquela condição, mas houve formação de mais Nitrato.

Nesta condição, considerando que a terceira batelada teve 0% de eficiência nos sistema não vegetado, a média, que pode ser observada no Gráfico da Figura 26, foi de 43,1%.

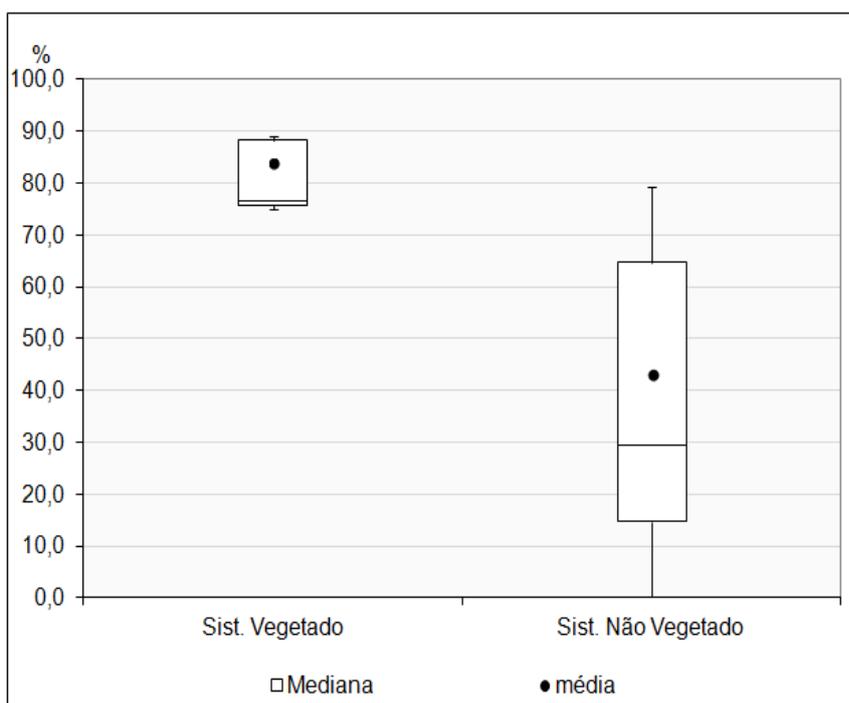
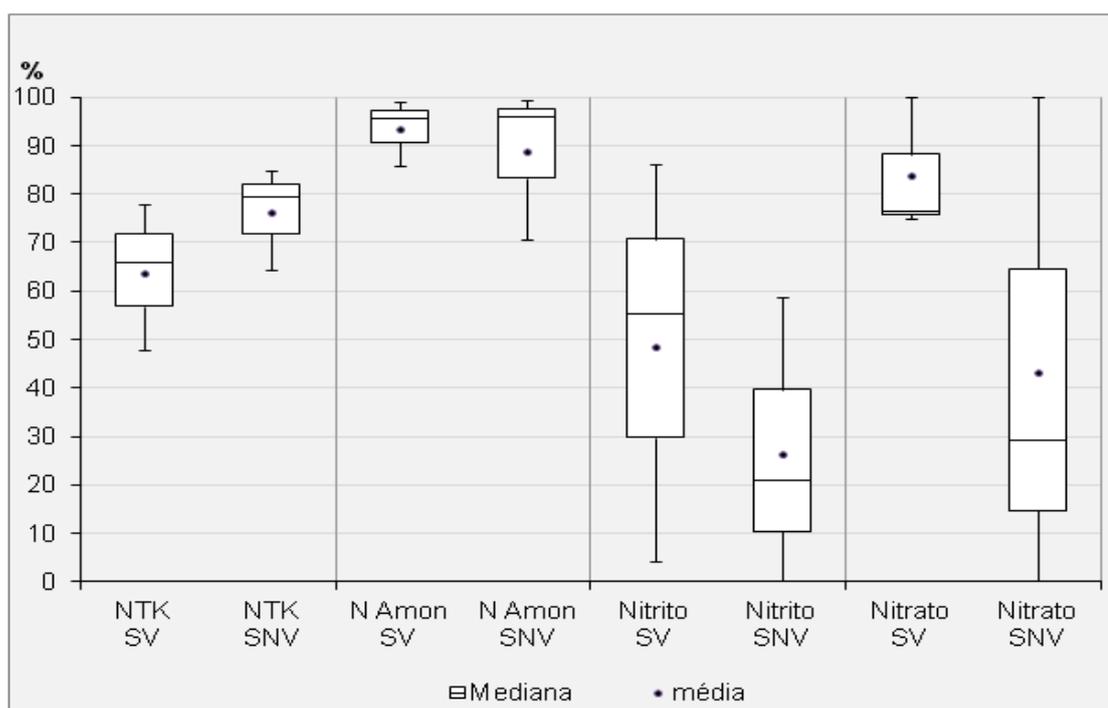


Figura 26 – Gráfico *Box plot* da remoção do Nitrato

A Figura 26 mostra que o sistema vegetado teve melhor desempenho no processo de remoção do Nitrato. A linha mediana indica assimetria em ambos os sistemas sendo que no sistema não vegetado houve maior dispersão dos dados.

### 5.3.15 SÉRIE NITROGENADA

Na Figura 27 observa-se o gráfico da série nitrogenada analisada neste trabalho, onde se podem comparar os percentuais de remoção do sistema vegetado e do não vegetado para Nitrogênio Amoniacal Kjeldahl (NTK), Nitrogênio Amoniacal, Nitrito e Nitrato.



**Figura 27 – Gráfico *Box plot* da Série Nitrogenada**  
**Nota: SV= Sistema Vegetado; SNV= Sistema não Vegetado.**

Comparando-se os parâmetros nitrogenados observados no gráfico da Figura 27, pode-se verificar que a eficiência do tratamento melhora na presença da *Zantedeschia aethiopica* exceto no parâmetro NTK.

As formas Nitrogênio amoniacal, Nitrito e Nitrato que são mais solúveis que o Nitrogênio orgânico (presente no parâmetro NTK), e estão mais disponíveis ao sistema radicular, portanto melhor assimilados pelos copos-de-leite.

Além disso, ocorre a transferência de oxigênio através dos aerênquimas dessas plantas ao meio líquido promovendo a oxidação das formas orgânicas.

### 5.3.16 FÓSFORO TOTAL

Os resultados do monitoramento do Fósforo total de ambos os sistemas podem ser observados nos respectivos gráficos na Figura 27.

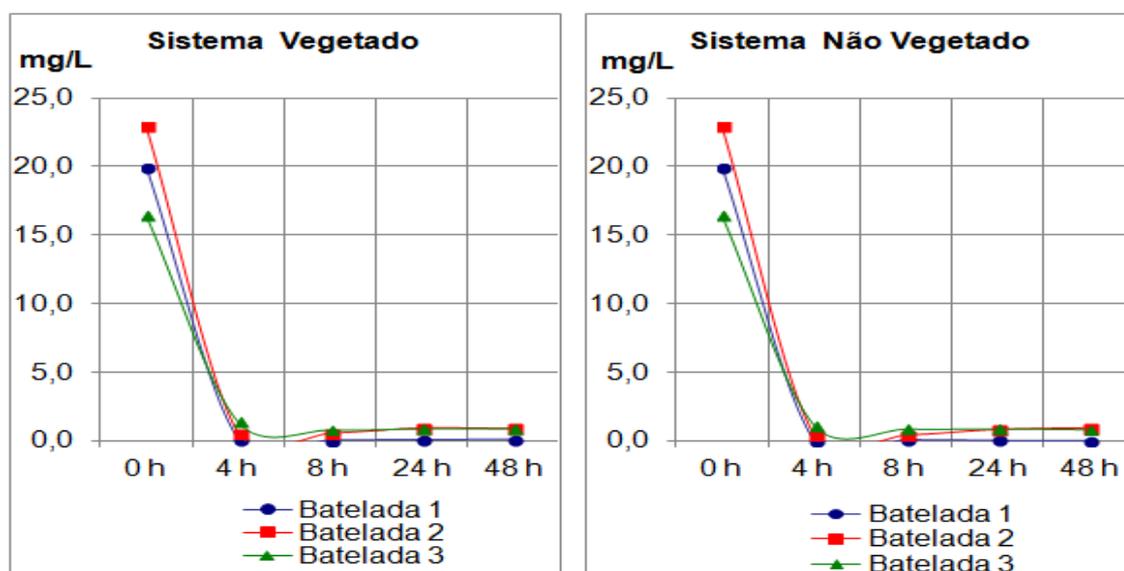


Figura 28 – Gráficos do Monitoramento do Fósforo

Observa-se nos gráficos da Figura 29 que em ambos os sistemas nas três bateladas houve redução no teor de Fósforo Total logo nas primeiras horas de tratamento e o comportamento dos sistemas foi semelhante entre as bateladas

O fósforo é importante parâmetro na classificação e monitoramento das águas no que se refere aos processos de eutrofização.

Na Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005) estão definidos limites distintos do teor de Fósforo total, de acordo com as propriedades hidrodinâmicas do corpo hídrico (lêntico, intermediário ou lótico).

### 5.3.17 REMOÇÃO DO FÓSFORO TOTAL

Os resultados da eficiência de remoção do Fósforo Total neste trabalho foram de 96,9% para o sistema vegetado e 97,0% para o sistema não vegetado. Estes valores são maiores que os 38% apontados por SANTOS *et al.* (2011) .

PELLISSARI *et al.* (2013) num sistema de fluxo vertical plantado com *Typha domingensis Pers* para tratamento de efluentes de bovinocultura obteve somente 10% de remoção.

LANA *et al.* (2013) que avaliaram em Minas Gerais pesquisas de cinco anos em sistemas de *wetlands* construídos de fluxo vertical encontraram eficiências de 21% para a unidade vegetada e de 33% para a unidade não vegetada.

Embora os valores encontrados por LANA *et al.* sejam inferiores aos encontrados neste trabalho, são concordantes em relação a pequena diferença entre os sistemas plantados e não plantados.

Isto pode ser um indicativo que para este parâmetro a atuação da *Zantedeschia aethiopica* não foi significativa dado que ambos os sistemas responderam de modo adequado.

Na figura 29 é apresentado o gráfico *Box plot* da remoção do Fósforo comparando os dois sistemas.

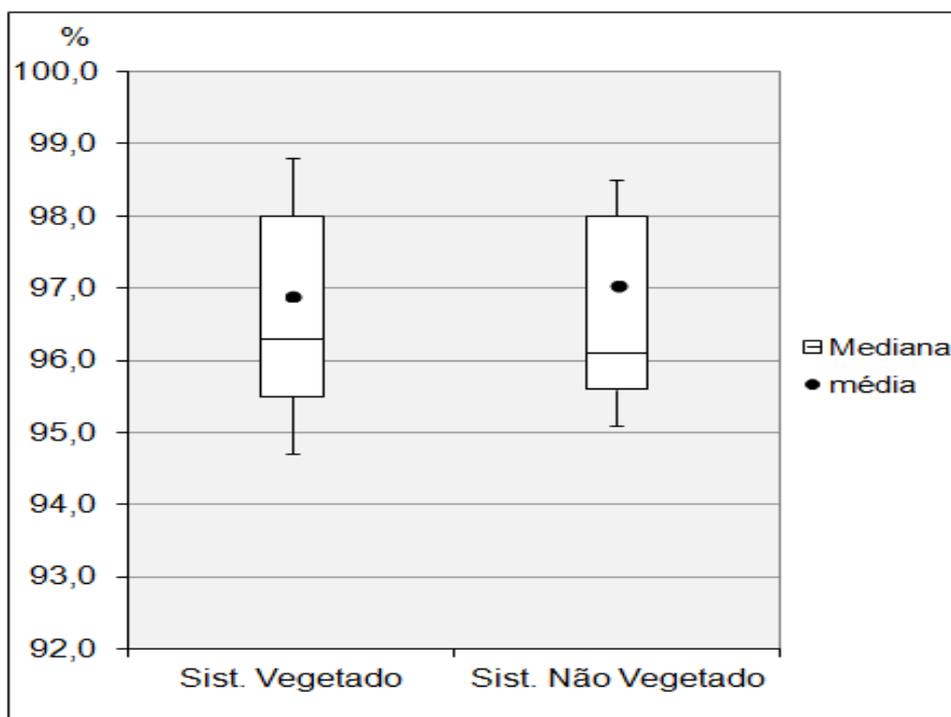


Figura 29 – Gráfico *Box plot* da remoção do Fósforo

Na figura 29 é possível observar que a eficiência do sistema não vegetado em comparação com o vegetado é quase idêntica.

A linha mediana mostra que o sistema não vegetado tem uma assimetria parecida com a verificada no sistema vegetado.

## 6 CONCLUSÕES

Neste trabalho no qual se analisou o desempenho de um sistema piloto em escala laboratorial de *wetland* construído de fluxo subsuperficial vertical comparando uma unidade vegetada com *Zantedeschia aethiopica* a outra não vegetada, pode-se concluir com base nos resultados alcançados que:

- No sistema vegetado verificou-se o desenvolvimento e adaptação adequados da *Zantedeschia aethiopica*.
- No sistema vegetado com *Z. aethiopica* foi constatada quase ausência de odores na saída do sistema, em contrapartida o sistema não vegetado apresentou incidência de odores.
- Não foram verificadas neste trabalho, diferenças significativas na remoção de Nitrogênio amoniacal, de Fósforo total, da DQO e da Turbidez entre o sistema vegetado com *Z. aethiopica* e o sistema não vegetado.
- Em ambos os sistemas o desempenho obtido nos parâmetros analisados atestam o potencial de tratamento do *wetland* construído de fluxo subsuperficial vertical.
- O sistema vegetado com copos-de-leite foi favorável aos processos de remoção do Nitrito e do Nitrato.
- Nas condições deste trabalho o sistema não vegetado foi mais eficiente na remoção do Nitrogênio orgânico, com base nos resultados verificados para NTK, que o sistema plantado com *Z. aethiopica*.

## 7 RECOMENDAÇÕES

Recomendam-se, com a finalidade de entender melhor o processo aqui estabelecido e avaliar seu desempenho as seguintes propostas:

- Submissão dos sistemas a um fluxo contínuo empregando-se esgoto sanitário não sintético e comparar os sistemas, com os mesmos parâmetros aqui verificados incluindo-se também a Demanda Bioquímica de Oxigênio.
- Submissão dos dados já obtidos a análise estatística como distribuições, correlações e testes de hipóteses.
  - Verificar influências de zonas mortas, da sazonalidade e das intempéries.
  - Determinar os prazos de manutenção e limpeza dos sistemas.
  - Avaliar a combinação do copo-de-leite com outras espécies de plantas macrófitas.
- Avaliar a capacidade do sistema na absorção de voláteis presentes nos esgotos, de compostos orgânicos, da série de metais e outros elementos.

## REFERÊNCIAS

ANDRADE, H. H. B. **Avaliação do desempenho de sistemas de zona de raízes (wetlands construídas) em escala piloto aplicados ao tratamento de efluente sintético.** 2012. 87p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2012.

AYAZ, S.Ç.; Aktas Ö.; Findıka, N.; Akça, L.; Kinacıb,C.; ***Effect of recirculation on nitrogen removal in a hybrid constructed wetland system;*** Ecological Engineering, 40 , 2012, p. 1-5

BRASIL. Agência Nacional de Águas. **Panorama da qualidade das águas superficiais do Brasil: 2012/** Agência Nacional de Águas - Brasília: ANA, 2012, p. 205 a 206.

BRASIL. Agência Nacional de Águas. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: 2013 /** Agência Nacional de Águas. -- Brasília: ANA, 2013, p.87.

BRASIL. **Resolução CONAMA Nº 357/2005** - "Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências." - Data da legislação: 17/03/2005 - Publicação DOU nº 053, de 18/03/2005, págs. 58-63

BRASIL. **Resolução CONAMA Nº 430/2011** - "Dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA." - Data da legislação: 13/05/2011 - Publicação DOU nº 92, de 16/05/2011, pág. 89.

BRASIL. MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Diagnóstico dos serviços de água e esgotos – 2012.** Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento 2012. Brasília: SNSA/ MCIDADES, 2014. 164 p. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br>>. Acesso em: Setembro 2014.

BARBOSA, S. A.; **Avaliação de Biofiltro Aerado Submerso no Pós-Tratamento de Efluente de Tanque Séptico.** 2006; Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2006.

COSTA ,J. F.; Von Sperling, M.; Seidl, M.; **Avaliação do desempenho de sistemas de alagados construídos de escoamento horizontal subsuperficial tratando efluente de reator UASB;** In: 1º Simpósio Brasileiro Sobre Aplicação de *Wetlands* Construídos no Tratamento de Águas Residuárias, 2013, Florianópolis. Anais...Florianópolis: UFSC, p. 54 a 63.

EATON, Andrew. D; Clesceri, L. S; RICE, Eugeni.W.; GREENBERG, A. E. ***Standard methods for the examination of water and wastewater.*** 21. ed. Washington: American Public Health Association; American Water Works Association; Water Pollution Control Federation, 2005.

FERREIRA, S. C. R.; Borba, A. L. B. B.; Andrade, H. H. B.; Van Kaick, T. S.; **LEVANTAMENTO DE PESQUISAS DESENVOLVIDAS COM WETLANDS SUBSUPERFICIAL DE FLUXO VERTICAL NO BRASIL PARA VERIFICAR AS POSSIBILIDADES DE PADRONIZAÇÃO DO SISTEMA**; In: 1º Simpósio Brasileiro Sobre Aplicação de *Wetlands* Construídos no Tratamento de Águas Residuárias, **2013**, Florianópolis. Anais...Florianópolis: UFSC, p. 73 a 76.

FERREIRA, S. C. R.; Borba, A. L. B.; Andrade, H. H. B.; Van Kaick, T. S. **Levantamento de Pesquisas Desenvolvidas com *wetlands* subsuperficial de fluxo vertical no Brasil para verificar as possibilidades de padronização do sistema**. In: 1º Simpósio Brasileiro Sobre Aplicação de *Wetlands* Construídos no Tratamento de Águas Residuárias, **2013**, Florianópolis. Anais...Florianópolis: UFSC, v. 1. p. 77-79.

FONDER,N; HEADLEY, T. 2013. **The taxonomy of treatment wetlands: A proposed classification and nomenclature system**. Ecological Engineering.v.51, **2013**. p. 203-211

HOFFMANN, H.; Aliaga, J.G.; Marchand, B. I. V; Platzer, C. **Combinação de Tratamento Primário e Secundário de Esgoto Doméstico em Sistema de Filtros Plantados como Solução Descentralizada de Alta Eficiência e Baixo Custo Operacional**. In: 1º Simpósio Brasileiro Sobre Aplicação de *Wetlands* Construídos no Tratamento de Águas Residuárias, **2013**, Florianópolis. Anais...Florianópolis: UFSC, p. 108 a 106

JOLY, A. B.; **Botânica: introdução à taxonomia vegetal**. 5. ed. São Paulo: Nacional, 1979.

KADLEC, R. H.; Knight, R. L. **Treatment Wetlands 2nd ed**. Boca Raton, Florida: Lewis Publishers. **2009**, p. 52.

KADLEC, R. H.; Knight, R. L.; **Treatment Wetlands 2nd ed**. Boca Raton, Florida: Lewis Publishers. **2009**, p. 5.

KADLEC, R.; Knight, R.; Vymazal, J.; Brix H.; Cooper, P. F.; Green M. B.; Haberl, R.; **Constructed Wetlands for Pollution Control**. IWA Publishing, Londres, **2000**. p. 33

LANA, L. C. O.; Von Sperling, M.; Moraes, D. C.; Vasconcellos, G. R.; Cota, R. S. **PESQUISAS DA UFMG COM SISTEMAS DE WETLANDS CONSTRUÍDOS DE ESCOAMENTO VERTICAL: LIÇÕES APÓS CINCO ANOS DE ESTUDOS**; In: 1º Simpósio Brasileiro Sobre Aplicação de *Wetlands* Construídos no Tratamento de Águas Residuárias, **2013**, Florianópolis. Anais...Florianópolis: UFSC, p. 133

LEMES, J. L. V. B.; Schirmerb W.N. , Caldeirac, M.V. W.; Van Kaick, T. S.; Abele, O.; Bárbara, R. R.; **Tratamento de Esgoto por Meio de Zona de Raízes em Comunidade Rural**. Revista Acadêmica Ciências Agrárias Ambientais, Curitiba, v. 6, n. 2, **2008**. p. 172.

LÉO, L. F. R. **Investigação da toxicidade, tratabilidade e formação de subprodutos tóxicos em efluentes clorados de lagoas de estabilização com e sem pós-tratamento.** 2008. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

LOHMANN, G. ; Pagioro, T. A. ; Van Kaick, T. S.. **Caracterização de Uma *Wetland* Construída do Tipo Zona de Raízes Utilizando Variáveis Microbiológicas.** In: 1º Simpósio Brasileiro Sobre Aplicação de *Wetlands* Construídos no Tratamento de Águas Residuárias, **2013**, Florianópolis. Anais...Florianópolis: UFSC, p. 143-148

ORMONDE, Vanusa S. S. **Avaliação de 'wetlands' construídos no pós-tratamento de efluente de lagoa de maturação.** 2012. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Edificações de Ambiental. Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, **2012**.

PARANÁ. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. **Resolução SEMA 021/09.** Dispõe sobre licenciamento ambiental, estabelece condições e padrões ambientais e dá outras providências, para empreendimentos de saneamento. Diário Oficial do Estado do Paraná, Curitiba, n.7962, **2009**. p.13-16

PELISSARI, C.; Decezaró, S. T.; Heleno Sezerino , P. H.; J. Carvalho, O. **WETLANDS CONSTRUÍDOS DE FLUXO VERTICAL EMPREGADO NO TRATAMENTO DE EFLUENTE DE BOVINOCULTURA LEITEIRA.** In: 1º Simpósio Brasileiro Sobre Aplicação de *Wetlands* Construídos no Tratamento de Águas Residuárias, **2013**, Florianópolis. Anais...Florianópolis: UFSC, p. 165-174

RAMSAR Convention Secretariat. **The Ramsar Convention Manual: a guide to the Convention on Wetlands (Ramsar, Iran, 1971), 6th ed.** Ramsar Convention Secretariat, Gland, Switzerland, **2013**; p. 7.

RODRIGUES, M.; **Crescimento e Trocas Gasosas de Copo-de-Leite em Função de Graus-Dia de Desenvolvimento.** 2012. Tese de Doutorado em Agronomia (Fisiologia Vegetal). Universidade Federal de Lavras, UFLA, Brasil. p. 80.

SANTIAGO, A.F.; Calijuri, M. L.; Luís, P.G.; **Potencial para a Utilização de Sistemas de *Wetlands* no Tratamento de Águas Residuárias: Uma Contribuição à Sustentabilidade dos Recursos Hídricos no Brasil.** *Natureza & Desenvolvimento*, v. 1, n. 1, **2005**, p. 29-39.

SANTOS, R. J.; Fortes Neto, P.; Batista, G. T. **Tratamento de efluentes por leiteo cultivado: Sistema para pequenas comunidades.** Repositório Eletrônico Ciências Agrárias, Coleção Ciências Ambientais: 1-11. **2011**. Disponível em <[http://www.agro.unitau.br:8080/dspace/bitstream/2315/177/1/Artigo\\_+Roberto\\_leito+cultivado\\_GTB\\_Final.pdf](http://www.agro.unitau.br:8080/dspace/bitstream/2315/177/1/Artigo_+Roberto_leito+cultivado_GTB_Final.pdf) > em 03/11/2014.

SEZERINO, Paulo H. **Potencialidade dos filtros plantados com macrófitas (*constructed wetlands*) no pós-tratamento de lagoas de estabilização sob condições de clima tropical.** Tese de Doutorado em Engenharia Ambiental. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, **2006**

STRANG, T. J.; WAREHAM, D. G.; **Phosphorus Removal in a Waste Stabilization Pond Containing Limestone Rock Filters**; Journal of Environmental Engineering & Science; New Zealand (2006), Vol. 5 Issue 6, p.447 .

SUNTTI, C.; Trein, C. M.; Ribeiro, E. F.; Scaratti, D.; Sezerino, P. H.; **Sistemas Híbridos de Filtros Plantados – Fluxo Vertical Seguido de Fluxo Horizontal para Pós-Tratamento de Esgoto Doméstico de um Centro de Treinamento**. In: 1º Simpósio Brasileiro Sobre Aplicação de *Wetlands* Construídos no Tratamento de Águas Residuárias, **2013**, Florianópolis. Anais...Florianópolis: UFSC, p. 235

TCHOBANOGLIOUS, G.; BURTON, F. L. Metcalf & Eddy (1991) **Wastewater engineering: treatment, disposal, and reuse**. 1991 3<sup>rd</sup> ed.; Tata McGraw-Hill, New Delhi

TOMBOLATO, A. F. C.; Uzzo, R. P.; Junqueira, A. H.; Peetz, M. S.; Stancato, G. C.; Alexandre, M. A. V. **Bulbosas ornamentais no Brasil**. *Revista Brasileira de Horticultura Ornamental*, **2010**, v. 16, p. 127-138.

VAN DEUN, R. - KHKempen, Geel, Belgium - disponível em **09/02/2014** às 18:00 em < [http://www.constructedwetlands.net/vssf\\_operation.html](http://www.constructedwetlands.net/vssf_operation.html)>

VAN KAICK, T. S. **Estação de tratamento de esgoto por meio de zona de raízes: uma proposta de tecnologia apropriada para saneamento básico no litoral do Paraná**. 2002. Dissertação de Mestrado – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, **2002**, p.46.

VAN KAICK, T. S.; Macedo, C. X.; Presznhuk, R. A. O., **Jardim ecológico - tratamento de esgoto por zona de raízes: análises e comparação da eficiência de uma tecnologia de saneamento apropriada e sustentável**. In: VI Semana de Estudos da Engenharia Ambiental UNICENTRO, **2008**, Irati. VI Semana de Estudos da Engenharia Ambiental, 2008

VAN KAICK, T. S.; Mioduski, J.; Sá, P.Z.; Serpe, F. R.; Stedele, M.; Serpe, C. T. A.; Hinojosa, E. A. L. - **Levantamento preliminar do estado da arte dos *Wetlands* construídos no Brasil**, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental – UTFPR, **2012**

VYMAZAL, J.; **Subsurface horizontal flow constructed wetlands for wastewater treatment - the Czech experience**; *Wetlands Ecol. Mgmt.* 4, **1997**, p.199 - 206. World Health Organization and UNICEF, **Progress on sanitation and drinking-water - 2013 update**. **2013**, p. 8

ZANELLA, L.; **Plantas ornamentais no pós-tratamento de efluentes sanitários: *wetlands*-construídos utilizando brita e bambu como suporte**. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Tese de doutorado; UNICAMP: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, **2008**. p. 45.

## APÊNDICE A – MONTAGEM DOS WETLANDS

Os recipientes utilizados para os módulos de tratamento são mostrados na Figura 29 e foram escolhidos por serem produzidos com polietileno de alta densidade (PEAD) que possui resistência (mecânica e a pressões ambientais) adequada.



**Figura 30 – Recipiente em material plástico**

Os tambores plásticos foram adquiridos a baixo custo no comércio local de embalagens recicladas. Tomaram-se cuidados durante a escolha a fim de se evitar embalagens de produtos ambientalmente nocivos prevenindo contaminações.

Conforme solicitado ao fornecedor, os tambores foram abertos na parte superior e lavados para eliminar contaminantes.

A tubulação interna de saída é constituída de tubos de PVC (policloreto de vinila) mostrada na Fotografia 30 e é constituída por um quadro de tubos perfurados unidos por curvas do mesmo material. Esta parte perfurada destes tubos foi disposta no lado inferior e tem a finalidade de captar de modo distribuído o efluente tratado.

Há dois tubos interligados ao quadro sendo que um deles conectado à saída do sistema na parte superior e o outro para eventual realização de limpeza e manutenção.



**Figura 31 – Tubulação interna de saída do efluente**

A montagem da tubulação interna de entrada onde os tubos conectados foram perfurados de modo a distribuir uniformemente o efluente a ser tratado conforme se pode verificar na Figura 31.



**Figura 32 – Montagem da Tubulação interna de entrada**

Na Figura 32 pode ser observado o detalhe da furação realizada para colocação da conexão de saída do sistema. Este furo foi realizado de modo que as camadas fossem dispostas conforme planejado.



**Figura 33 – Detalhe da furação para adaptação da tubulação de saída**

Na Figura 33 pode ser visualizada, a partir do lado interno do tambor plástico, a conexão de saída do sistema e também as marcações das medidas realizadas para que se pudesse dispor as camadas de britas e de areia.



**Figura 34 – Detalhe das medidas internas e da conexão de saída**

A aplicação da primeira camada com brita comum vista na Figura 34 que teve como finalidade, neste sistema, o nivelamento da tubulação de saída do efluente.

Esta camada tem também neste sistema uma função auxiliar na prevenção de entupimentos devidos a materiais que possam se sedimentar no fundo do tambor.



**Figura 35 – Aplicação da primeira camada com brita comum.**

A próxima camada aplicada está mostrada na Figura 35 e é constituída por brita calcária que tem por função neste sistema além das conferir porosidade nesta região, permitir processamento de reações físico-químicas que favoreçam a sedimentação do fósforo não aproveitado pelas plantas e pelo biofilme.



**Figura 36 – Aplicação da segunda camada com brita calcária**

Na figura 36 pode ser vista a aplicação da terceira camada que é formada por areia. Esta camada em conjunto com as camadas de brita constitui o filtro físico que é muito utilizado para tratamento de esgotos (VAN KAICK, 2002).

Esta camada intermediária formada por areia tem funções importantes nestes sistemas como a capacidade de retenção de sólidos, de conter a microbiota no sistema além da capacidade adsortiva que proporciona ao meio.



**Figura 37 – Aplicação da terceira camada com areia**

Nas Figuras 37 e 38 se pode observar respectivamente a aplicação da quarta camada que é constituída por brita comum e a instalação da tubulação de entrada do efluente. Neste momento o sistema foi completado com água para determinação do seu volume útil e índice de porosidade.



**Figura 38 – Aplicação da quarta camada com brita comum**



**Figura 39 – Montagem da tubulação de distribuição na entrada**

A camada de brita mais superficial que finaliza a construção do filtro físico pode ser vista na Figura 39 e na Figura 40 onde também é apresentado o plantio dos copos-de-leite num total de 9 mudas. As mudas foram adquiridas de moradores locais sem nenhum custo.



**Figura 40 – Complemento de brita comum acima do nível de saída**



**Figura 41 – Detalhe da plantação dos copos-de-leite**

Esta camada superficial composta pela brita comum de tamanho 1 provê o suporte necessário à formação da zona de raízes das plantas além de permitir que a tubulação de entrada do efluente esteja fixada de modo subsuperficial.

Este sistema foi inicialmente projetado para trabalho em fluxo contínuo e é adequado para um tempo de detenção hidráulico (TDH) de 2,5 dias.

## APÊNDICE B – RESULTADOS ANALÍTICOS DAS BATELADAS

**Tabela 8 – Resultados analíticos da primeira Batelada**

Parâmetro	Batelada 1		Sistema Vegetado				Sistema Não Vegetado			
	Unidade	Bruto	4 h	8 h	24 h	48 h	4 h	8 h	24 h	48 h
Temperatura	°C	15,6	14,6	14,6	13,8	15,0	14,4	14,4	13,6	14,8
pH		7,69	6,92	6,99	7,30	6,65	6,91	7,08	7,18	6,96
Turbidez	UNT	34,10	0,72	0,64	0,48	0,71	0,67	0,59	0,64	0,65
DQO	mg/L	494,00	57,75	86,5	55,25	166,5	46,50	24,00	100,25	44,00
NTK	mg/L	39,26	9,63	8,13	8,51	20,46	12,58	6,48	6,23	5,97
N Amoniacal	mg/L	126,80	0,00	0,00	0,00	1,14	0,00	1,14	0,00	0,64
NO <sub>2</sub>	mg/L	0,029	0,017	0,015	0,013	0,013	0,057	0,015	0,016	0,012
NO <sub>3</sub>	mg/L	0,201	0,823	0,288	0,255	0,050	0,759	0,192	0,032	0,142
P	mg/L	19,900	0,034	0,000	0,045	0,055	0,000	0,100	0,040	0,030

**Tabela 9 – Resultados analíticos da segunda Batelada**

Parâmetro	Batelada 2		Sistema Vegetado				Sistema Não Vegetado			
	Unidade	Bruto	4 h	8 h	24 h	48 h	4 h	8 h	24 h	48 h
Temperatura	°C	21,7	19,5	19,6	19,2	18,1	19,3	19,8	19,2	18,1
pH		7,96	7,07	6,93	7,50	7,18	7,09	6,98	7,60	7,23
Turbidez	UNT	26,30	3,79	2,14	2,76	2,4	3,12	0,41	0,51	0,45
DQO	mg/L	641,17	35,40	56,42	44,6	56,42	51,17	22,26	22,26	31,46
NTK	mg/L	41,57	10,42	11,05	9,28	9,15	10,93	9,66	10,67	8,51
N Amoniacal	mg/L	123,6	1,59	3,68	7,24	5,46	1,78	5,08	6,48	5,08
NO <sub>2</sub>	mg/L	0,036	0,004	0,011	0,021	0,005	0,002	0,000	0,022	0,044
NO <sub>3</sub>	mg/L	0,376	0,088	0,000	0,218	0,000	0,000	0,000	0,420	0,000
P	mg/L	22,900	0,497	0,503	0,881	0,837	0,400	0,370	0,790	0,900

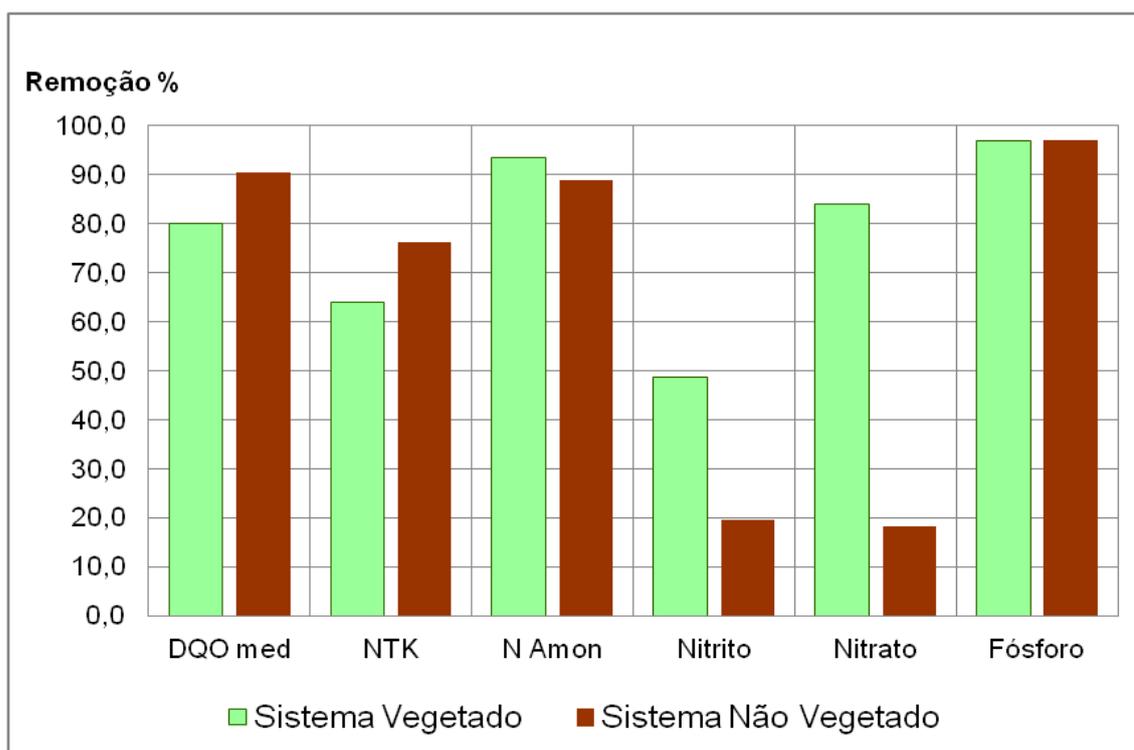
**Tabela 10 – Resultados analíticos da terceira Batelada**

Batelada 3		Sistema Vegetado				Sistema Não Vegetado				
Parâmetro	Unidade	Bruto	4 h	8 h	24 h	48 h	4 h	8 h	24 h	48 h
Temperatura	°C	21,8	19,9	22,3	19,6	22,0	19,6	21,6	19,5	21,4
pH		7,85	7,53	7,57	7,18	6,90	7,68	7,74	7,29	7,06
Turbidez	UNT	22,50	3,35	3,23	2,64	2,05	1,08	1,09	1,37	1,35
DQO	mg/L	463,77	131,32	97,16	87,96	81,39	101,10	82,70	84,02	70,88
NTK	mg/L	45,16	17,66	16,9	15,25	15,50	21,98	18,68	17,53	16,14
N Amoniacal	mg/L	28,93	6,14	5,78	7,50	4,07	6,48	5,84	7,75	8,51
NO <sub>2</sub>	mg/L	0,024	0,006	0,042	0,032	0,023	0,004	0,017	0,021	0,019
NO <sub>3</sub>	mg/L	0,392	0,294	0,109	0,197	0,092	0,643	0,166	0,244	0,686
P	mg/L	16,400	1,350	0,793	0,877	0,876	1,120	0,840	0,860	0,800

## APÊNDICE C – EFICIÊNCIA DOS SISTEMAS

**Tabela 11 – Eficiência Geral, %**

Sistema	Parâmetro	Batelada 1	Batelada 2	Batelada 3	Média
Vegetado	DQO	91,1	95,1	84,7	90,3
	NTK	84,8	79,5	64,3	76,2
	N Amon	99,5	95,9	70,6	88,7
	Nitrito	58,6	-22,2	20,8	19,1
	Nitrato	29,4	100,0	-75,0	18,1
	P Total	99,9	96,1	95,1	97,0
Não vegetado	DQO	66,3	91,2	82,5	80,0
	NTK	47,9	78,0	65,7	63,9
	N Amon	99,1	95,6	85,9	93,5
	Nitrito	55,2	86,1	4,2	48,5
	Nitrato	75,1	100,0	76,5	83,9
	P Total	99,7	96,3	94,7	96,9



**Figura 42 – Gráfico da Eficiência média dos Sistemas (%)**

## APÊNDICE D – ESTATÍSTICA DESCRITIVA

**Tabela 12 – Estatística descritiva da eficiência na remoção da Turbidez**

<b>Sistema</b>	<b>Mínimo</b>	<b>1º Quartil</b>	<b>Média</b>	<b>Mediana</b>	<b>3º Quartil</b>	<b>Máximo</b>	<b>Desvio Padrão da Média</b>	<b>Desvio Padrão</b>
Vegetado	90,9	90,9	93,2	90,9	97,9	97,9	2,3333	4,0415
Não Vegetado	94,0	94,0	96,8	98,1	98,3	98,3	1,4012	2,4269

**Tabela 13 – Estatística descritiva da eficiência na remoção da DQO**

<b>Sistema</b>	<b>Mínimo</b>	<b>1º Quartil</b>	<b>Média</b>	<b>Mediana</b>	<b>3º Quartil</b>	<b>Máximo</b>	<b>Desvio Padrão da Média</b>	<b>Desvio Padrão</b>
Vegetado	66,3	66,3	80,0	82,5	91,2	91,2	7,2959	12,6369
Não Vegetado	84,7	84,7	90,3	91,1	95,1	95,1	3,0288	5,2460

**Tabela 14 – Estatística descritiva da eficiência na remoção do NTK**

<b>Sistema</b>	<b>Mínimo</b>	<b>1º Quartil</b>	<b>Média</b>	<b>Mediana</b>	<b>3º Quartil</b>	<b>Máximo</b>	<b>Desvio Padrão da Média</b>	<b>Desvio Padrão</b>
Vegetado	47,9	47,9	63,9	65,7	78,0	78,0	8,73734	15,13352
Não Vegetado	64,3	64,3	76,2	79,5	84,8	84,8	6,14356	10,64096

**Tabela 15 – Estatística descritiva da eficiência na remoção do N Amon.**

<b>Sistema</b>	<b>Mínimo</b>	<b>1º Quartil</b>	<b>Média</b>	<b>Mediana</b>	<b>3º Quartil</b>	<b>Máximo</b>	<b>Desvio Padrão da Média</b>	<b>Desvio Padrão</b>
<b>Vegetado</b>	85,9	85,9	93,5	95,58	99,1	99,1	3,93673	6,81862
<b>Não Vegetado</b>	70,6	70,6	88,7	95,89	99,5	99,5	9,09821	15,7585

**Tabela 16 – Estatística descritiva da eficiência na remoção do Nitrito**

<b>Sistema</b>	<b>Mínimo</b>	<b>1º Quartil</b>	<b>Média</b>	<b>Mediana</b>	<b>3º Quartil</b>	<b>Máximo</b>	<b>Desvio Padrão da Média</b>	<b>Desvio Padrão</b>
Vegetado	4,2	4,2	48,5	55,2	86,1	86,1	23,87865	41,35904
Não Vegetado	-22,2	-22,2	19,1	20,8	58,6	58,6	23,34105	40,42789

**Tabela 17 – Estatística descritiva da eficiência na remoção do Nitrato**

<b>Sistema</b>	<b>Mínimo</b>	<b>1º Quartil</b>	<b>Média</b>	<b>Mediana</b>	<b>3º Quartil</b>	<b>Máximo</b>	<b>Desvio Padrão da Média</b>	<b>Desvio Padrão</b>
Vegetado	75,1	75,1	83,9	76,5	100,0	100,0	8,0768	13,9894
Não Vegetado	-75,0	-75,0	18,1	29,4	100,0	100,0	50,8313	88,0423

**Tabela 18 – Estatística descritiva da eficiência na remoção do Fósforo**

<b>Sistema</b>	<b>Mínimo</b>	<b>1º Quartil</b>	<b>Média</b>	<b>Mediana</b>	<b>3º Quartil</b>	<b>Máximo</b>	<b>Desvio Padrão da Média</b>	<b>Desvio Padrão</b>
Vegetado	90,9	90,9	93,2	90,9	97,9	97,9	2,3333	4,0415
Não Vegetado	94,0	94,0	96,8	98,1	98,3	98,3	1,4012	2,4269