



DELCI MAGALHÃES POLI

**“LEITOS CULTIVADOS UTILIZANDO CROSTAS DE ELETROFUSÃO DA
BAUXITA”**

CAMPINAS / 2012



NÚMERO: 190/2012

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

DELCI MAGALHÃES POLI

**“LEITOS CULTIVADOS UTILIZANDO CROSTAS DE ELETROFUSÃO DA
BAUXITA”**

ORIENTADOR: PROF. DR. JOSÉ TEIXEIRA FILHO

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO APRESENTADA AO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS DA UNICAMP PARA
OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE EM GEOGRAFIA, NA
ÁREA DE ANÁLISE AMBIENTAL E DINÂMICA
TERRITORIAL.

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DA
DISSERTAÇÃO DEFENDIDA PELO ALUNO DELCI MAGALHÃES
POLI E ORIENTADO PELO PROF.DR.JOSÉ TEIXEIRA FILHO.

Campinas /SP - 2012

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA POR
HELENA FLIPSEN - CRB8/5283 - BIBLIOTECA CENTRAL "CESAR LATTES" DA UNICAMP

P758L Poli, Delci Magalhães.
 Leitos cultivados utilizando crostas de eletrofusão da
bauxita / Delci Magalhães Poli. -- Campinas, SP : [s.n.],
2012.

 Orientador: José Teixeira Filho.
 Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de
Campinas, Instituto de Geociências.

 1. Plantas aquáticas. 2. Substratos. 3. Bauxita. I.
Teixeira Filho, José, 1955- II. Universidade Estadual de
Campinas. Instituto de Geociências. III. Título.

Informações para Biblioteca Digital:

Título em Inglês: Cultivated beds using the bauxite electrofusion crusts

Palavras-chave em Inglês:

Aquatic plants

Plant growing media

Bauxite

Área de concentração: Análise Ambiental e Dinâmica Territorial

Titulação: Mestre em Geografia

Banca examinadora:

José Teixeira Filho [Orientador]

Denis Miguel Roston

Plínio Barbosa de Camargo

Data da defesa: 27-08-2012

Programa de Pós-Graduação: Geografia



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
ÁREA DE ANÁLISE AMBIENTAL E DINÂMICA TERRITORIAL

AUTOR: Delci Magalhães Poli

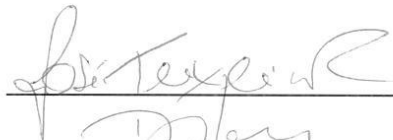
"Leitos Cultivados Utilizando Crostas de Eletrofusão da Bauxita"

ORIENTADOR: Prof. Dr. José Teixeira Filho

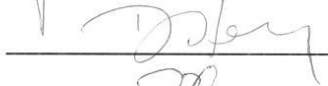
Aprovada em: 27 / 08 / 2012

EXAMINADORES:

Prof. Dr. José Teixeira Filho

 - Presidente

Prof. Dr. Denis Miguel Roston



Prof. Dr. Plínio Barbosa de Camargo



Campinas, 27 de agosto de 2012.

Dedico:

À minha esposa, Ana Maria Jordão Poli, luz na minha vida, saudades.....

Aos meus filhos:

Fernanda Jordão Poli

Fábio Jordão Poli

Carinhosamente....

Agradecimento

Ao **Grande Arquiteto Do Universo** que é **Deus**;

À minha família pelo incentivo;

Ao Prof. Dr. José Teixeira Filho, orientador e amigo que em todos os momentos esteve presente;

Ao Prof. Dr. Lindon Fonseca Matias, Coordenador do Programa de Pós Graduação em Geografia do Instituto de Geociências – UNICAMP;

À Elfusa Geral de Eletrofusão Ltda., pelo fornecimento dos tanques, substrato e auxílio financeiro e ao Eng. Dr. Celso Antunes pelo apoio e confiança depositada;

À Ober S.A. Indústria e Comércio, pelo fornecimento da manta sintética;

À Banca examinadora:

Prof. Dr. Denis Miguel Roston – Faculdade de Engenharia Agrícola – UNICAMP;

Prof. Dr. Plínio Barbosa de Camargo – Centro de Energia Nuclear da Agricultura/

Universidade Estadual de São Paulo – Piracicaba, SP;

À Profa. Dra. Helena Teixeira Godoy, chefe do Departamento de Ciência de Alimentos da Faculdade de Engenharia de Alimentos – UNICAMP;

Ao Prof. Dr. Mauro José de Andrade Tereso – Faculdade de Engenharia Agrícola – UNICAMP;

À Valdirene Pinotte e Maria Gorete S. S. Bernardelli, secretárias da Pós Graduação do Instituto de Geociências – UNICAMP;

À Rosângela Parreira, secretária da Diretoria da Faculdade de Engenharia Agrícola - UNICAMP;

Aos amigos Sérgio Lopes, Carlos Roberto, Antônio Freire, Jamilson Martins, Antônio Cipriano, João Costa Lima e José Ricardo Lucarelli; pelos auxílios;

Ao Giovani pela condução e orientação nas análises laboratoriais;

Ao Professor e amigo Dr. Carlos A. Centurion Maciel pelo apoio e esclarecimentos;

Ao amigo Romildo Menezes Filho pela amizade e empenho na informática;

Ao amigo Prof. João Batista Giordano pela revisão do texto.

Sinceros agradecimentos

Quem conhece os outros é sábio;

quem conhece a si mesmo é iluminado.

Lao Tsé (Século VI a.C.) Filósofo e Aforista Chinês.



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

LEITOS CULTIVADOS UTILIZANDO CROSTAS DE ELETROFUSÃO DA BAUXITA.

-RESUMO-

O trabalho foi desenvolvido no campo experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, posição geográfica definida pelas coordenadas 22° 53' 22" LS e 47° 044' 39" LW. O estudo procurou verificar se a utilização de crostas de eletrofusão da bauxita como substrato, em leitos cultivados construídos ou "*Constructed Wetlands*" com os vegetais aquáticos emergentes *Typha sp*, *Canna limbata* e *Cyperus prolier*, interfere na dinâmica do pH, fósforo e nitrogênio presentes em águas residuárias domésticas. Foram utilizados 6 tanques artificiais, sendo constituído por 3 séries de duas unidades, com fluxo vertical e saídas subsuperficiais, nominados por série *Typha*, leitos 3.1 e 3.2; série *Canna*, leitos 2.1 e 2.2; série *Cyperus* 1.1 e 1.2 e preenchidos com crostas de eletrofusão da Bauxita. A dimensão de cada tanque é de 4 metros de comprimento por 3 metros de largura por 1 metro de altura, totalizando 12 m³. Em cada uma das séries foram plantados os vegetais *Typha sp*, *Canna limbata* e *Cyperus prolier* respectivamente. O período de monitoramento foi de setembro de 2009 a fevereiro de 2010. O desempenho do foi avaliado considerando o desenvolvimento dos vegetais, quantidades e qualidades químicas das águas residuárias. As águas foram coletadas semanalmente, em dias aleatórios, nas entradas e saídas dos tanques durante o período monitorado; os vegetais foram colhidos, somente uma vez, no final do período. As vazões médias diárias e os pH médios ocorridos no período monitorado, observados no afluente e nas saídas da série *Typha* foram 962 l/dia, 864 l/dia e 804 l/dia; os pH foram 6,9; 8,6 e 9,0. Na série *Canna* as vazões foram 954 l/dia, 797 l/dia e 735 l/dia; os pH foram 6,9; 9,2 e 9,3. Na série *Cyperus* as vazões foram 792 l/dia, 723 l/dia e 664 l/dia; os pH foram 6,9; 9,0 e 9,1. Os tempos de detenções hidráulicas, considerando os leitos nas séries citadas foram: 4,2 dias e 4,6 dias; 4,0 dias e 4,6 dias e 4,3 dias e 4,4 dias. As porcentagens médias de retenções de nitrogênio total nos leitos, considerando as massas que entraram, por intermédio dos afluentes, durante o período monitorado foram: a) Série *Typha* 27% e 19%; b) Série *Canna* 35% e 19%; c) Série *Cyperus* 32% e 21%. As remoções realizadas pelos vegetais foram: a) Série *Typha* 26% e 9%; b) Série *Canna* 42% e 11%; Série *Cyperus* 22% e 15%. Em relação ao fósforo, as porcentagens médias de retenções, considerando as massas que entraram nos leitos por meio dos afluentes, foram: a) Série *Typha* 70% e 31%; b) Série *Canna* 73 e 19%; Série *Cyperus* 74% e 27%. As remoções realizadas pelos vegetais foram: a) Série *Typha* 11% e 4%; b) Série *Canna* 17% e 4%; c) Série *Cyperus* 7% e 11%. As massas vegetais totais secas produzidas foram: a) Série *Typha* 39,9 Kg e 11,2 Kg; b) Série *Canna* 50,5 Kg e 26,4 Kg; Série c) *Cyperus* 24 Kg e 15 Kg. O estudo mostrou que o substrato promoveu alterações na eficiência e eficácia da retenção e remoção de nutriente, crescimentos dos vegetais, produção de matéria seca e qualidades da água efluente.

Palavras - chave: Tanques cultivados, plantas aquáticas, substrato.



UNIVERSITY OF CAMPINAS
INSTITUTE OF GEOSCIENCE

CULTIVATED BEDS USING THE BAUXITE ELECTROFUSION CRUSTS.

- ABSTRACT -

The study was conducted in the experimental field of the Faculty of Agricultural Engineering, State University of Campinas, Campinas, SP, geographical position defined by coordinates 22° 53' 22" LS and 47° 04' 39" LW. The study examined whether the use of bauxite electrofusion crusts, as a substrate in constructed wetlands with emergent vegetables *Typha* sp, *Canna limbata* and *Cyperus prolifer*, interferes on the dynamics of pH, phosphorus and nitrogen present in domestic wastewater. It was used 6 artificial beds, consisting of 3 sets of two units with vertical flow and subsurface outflows, nominated by *Typha* series, 3.1 and 3.2 beds; series *Canna*, 2.1 and 2.2 beds, series *Cyperus*, 1.1 and 1.2 and filled with Bauxite electrofusion crusts. The size of each bed was 4 meters long by 3 meters wide by 1 meter high, totaling 12 m³. In each series the vegetables *Typha* sp, *Canna limbata* and *Cyperus prolifer* were planted respectively. The monitoring period was from September 2009 to February 2010. The performance was evaluated considering the development of plants, the chemical quantities and qualities of wastewater. The waters were collected weekly, on random days, at the entrances and exits of the beds during the monitoring period; the plants were harvested only once, at the end of each period. The average daily flow rates and average pH occurred during this period, observed in the tributary and the outflow of the series *Typha* were 962 l/day, 864 l/day and 804 l/day, the pH were 6.9, 8.6 and 9.0. In the series *Canna* flow rates were 954 l/day, 797 l/day and 735 l/day, the pH were 6.9, 9.2 and 9.3. In the series *Cyperus* flow rates were 792 l/day, 723 l/day and 664 l/day, the pH were 6.9, 9.0 and 9.1. The hydraulic detention time, considering the beds in the series cited were 4.2 days and 4.6 days, 4.0 days and 4.6 days and 4.3 days and 4.4 days. The average percentage of total nitrogen retention in the beds, considering the masses that came through the tributaries during the monitoring period was: a) Series *Typha* 27% e 19% b) Series *Canna* 35% and 19%, c) Series *Cyperus* 32% and 21%. The removals conducted by the plants were : a) Series *Typha* 26% and 9%, b) Series *Canna* 42% and 11%; Series *Cyperus* 22% and 15%. Regarding the phosphorus, the average percentage of retention, considering the masses that entered the bed through the tributaries were: a) Series *Typha* 70% and 31%, b) *Canna* Series 73 and 19%; Series *Cyperus* 74% and 27 %. The removals conducted by the plant were: a) Series *Typha* 11% and 4%, b) Series *Canna* 17% and 4%, c) *Cyperus* Series 7% and 11%. The total dry plant mass produced were: a) Series *Typha* 39.9 Kg is 11.2 Kg b) Series *Canna* 50.5 kg is 26.4 kg; Series c) *Cyperus* 24 Kg is 15 Kg. The study has shown that the substrate promoted changes in the efficiency and effectiveness of nutrient removal and retention, growth of vegetables, dry material production and quality of effluent water.

Keywords: Constructed Wetlands, macrophytes, substrate.

Sumário

Resumo	xiii
Abstract	xv
Lista de figuras	xxiii
Lista de quadros	xxvii
Lista de tabelas	xxviii
Lista de abreviaturas	xxxi
Capítulo. 1	01
1. Introdução	01
2. Hipótese	03
3. Objetivo	04
Capítulo. 2	05
1. Águas residuárias domésticas e saneamento	05
1.1. Saneamento básico no Brasil	05
Capítulo. 3	11
1. Revisão bibliográfica	11
1.1. Tratamento de águas residuárias	11
1.2. Substratos em leitos cultivados	12
1.3. Plantas aquáticas em leitos cultivados	13
1.4. Controle dos parâmetros de qualidade das águas	14
1.4.1. pH	14
1.4.2. Temperatura	16
1.4.3. Condutividade elétrica	16
1.4.4. Concentração de Oxigênio dissolvido	17
1.4.5. Demanda química de Oxigênio	17
1.4.6. Concentração de Alumínio e Ferro	18
1.4.7. Controle de nutrientes em leitos cultivados	19

1.4.7.1. Nitrogênio na água	19
1.4.7.2. Fósforo na água	21
Capítulo. 4.....	25
1. Material e métodos.....	25
1.1. Local da instalação e condução do sistema	25
1.2. Águas residuárias	25
1.3. Leitos cultivados com substrato crostas de eletrofusão da Bauxita	28
1.4. Substrato.....	33
1.5. Abastecimento dos tanques	34
1.6. Captação e distribuição das águas residuárias.....	37
1.7. Plantas aquáticas utilizadas	41
1.7.1. <i>Typha latifolia</i>	41
1.7.2. <i>Canna limbata</i>	41
1.7.3. <i>Cyperus prolifer</i>	41
1.8. Plantio dos vegetais	43
Capítulo. 5.....	47
1. Monitoramento	47
1.1. Clima.....	47
1.2. Águas residuárias	47
1.3. Escalas temporais de monitoramento.....	47
1.3.1. Escala horária.....	47
1.3.2. Escala diária e composição das amostras compostas.....	48
1.3.3. Vazões de entradas e saídas de águas nos leitos cultivados.....	48
1.3.4. Tempo de detenção hidráulica	48
1.3.5. Monitoramento da qualidade das águas de entradas e saídas dos leitos.....	48
1.3.5.1. Análises das amostras simples	48
1.3.5.2. Análises das amostras compostas	49
1.3.6. Carga ou vazão mássica	50
1.3.7. Monitoramento do desenvolvimento da vegetação	50

1.3.7.1. Período	50
1.3.7.2. Altura	50
1.3.7.3. Área foliar	50
1.3.7.4. Quantificação da massa vegetal produzida	56
1.3.7.4.1. Massa vegetal aérea.....	56
1.3.7.4.2. Massa vegetal subaquática – rizomas e raízes.....	56
1.3.7.5. Quantificação química da massa vegetal produzida.....	56
Capítulo. 6.....	57
Resultados	57
1. Leitos cultivados com <i>Typha</i> nos leitos T3.1 e T3.2.....	58
1.1. Vazões de entrada e saída nos leitos T3.1 e T3.2	58
1.2. Tempo de detenção hidráulica nos leitos T3.1 e T3.2	58
1.3. Parâmetros de qualidade de água nos leitos T3.1 e T3.2	61
a. Valores de temperatura da água nos leitos T3.1 e T3.2	61
b. Valores de pH da água nos leitos T3.1 e T3.2	61
c. Concentração da Amônia da água nos leitos T3.1 e T3.2.....	64
d. Concentração do Nitrito da água nos leitos T3.1 e T3.2	64
e. Concentração do Nitrato da água nos leitos T3.1 e T3.2	67
f. Concentração do Fósforo da água nos leitos T3.1 e T3.2	67
g. Concentração do Ferro da água nos leitos T3.1 e T3.2	70
h. Concentração do Alumínio da água nos leitos T3.1 e T3.2	70
i. Concentração da Condutividade Elétrica nos leitos T3.1 e T3.2	73
j. Concentração do Oxigênio dissolvido nos leitos T3.1 e T3.2	73
k. Demanda Química de Oxigênio nos leitos T3.1 e T3.2.....	76
1.4. Desenvolvimento da vegetação nos leitos T3.1 e T3.2	78
1.4.1. Monitoramento da altura da vegetação nos leitos T3.1 e T3.2.....	78
1.4.2. Área foliar nos leitos T3.1 e T3.2.....	80
1.4.3. Biomassa vegetal produzida nos leitos T3.1 e T3.2	80

2. Tanques cultivados com <i>Canna limbata</i> nos leitos T2.1 e T2.2	81
2.1. Vazões de entradas e saídas nos leitos T2.1 e T2.2	81
2.2. Tempo de Detenção Hidráulica nos leitos T2.1 e T2.2	81
2.3. Parâmetros de qualidade de água nos leitos T2.1 e T2.2	83
a. Valores de Temperatura da água nos leitos T2.1 e T2.2	84
b. Valores de pH da água nos leitos T2.1 e T2.2	84
c. Concentração da Amônia da água nos leitos T2.1 e T2.2.....	87
d. Concentração do Nitrito da água nos leitos T2.1 e T2.2	87
e. Concentração do Nitrato da água nos leitos T2.1 e T2.2	90
f. Concentração do Fósforo total da água nos leitos T2.1 e T2.2	90
g. Concentração do Ferro da água nos leitos T2.1 e T2.2	93
h. Concentração do Alumínio da água nos leitos T2.1 e T2.2	93
i. Condutividade elétrica nos leitos T2.1 e T2.2.....	96
j. Concentração de Oxigênio dissolvido nos leitos T2.1 e T2.2	96
k. Demanda química de oxigênio nos leitos T2.1 e T2.2	99
2.4. Desenvolvimento da vegetação nos leitos T2.1 e T2.2	100
2.4.1. Monitoramento das alturas.....	100
2.4.2. Área foliar nos leitos T2.1 e T2.2.....	102
2.4.3. Biomassa produzida nos leitos T2.1 e T2.2.....	102
3. Tanques cultivados com <i>Cyperus prolifer</i> nos leitos T1.1 e T2.2.....	103
3.1. Vazões de entradas e saídas dos leitos T1.1 e T2.2	103
3.2. Tempos de Detenções Hidráulicas para os leitos T1.1 e T2.2.....	103
3.3. Parâmetros de qualidades de águas nos leitos T1.1 e T2.2	106
a. Valores de temperatura da água nos leitos T1.1 e T2.2	106
b. Valores de pH na água nos leitos T1.1 e T2.2	106
c. Concentração de Amônia da água nos leitos T1.1 e T2.2.....	109
d. Concentração de Nitrito da água nos leitos T1.1 e T2.2	109
e. Concentração de Nitrato da água nos leitos T1.1 e T2.2	112
f. Concentração de Fósforo da água nos leitos T1.1 e T2.2	112

g. Concentração de Ferro da água nos leitos T1.1 e T2.2.....	115
h. Concentração de Alumínio da água nos leitos T1.1 e T2.2	115
i. Valores de Condutividade Elétrica nos leitos T1.1 e T2.2.....	118
j. Concentração de Oxigênio dissolvido nos leitos T1.1 e T2.2	118
k. Demanda Química de Oxigênio nos leitos T1.1 e T2.2.....	121
3.4. Desenvolvimento da vegetação nos leitos T1.1 e T2.2	123
3.4.1. Monitoramento da altura nos leitos T1.1 e T2.2.....	123
3.4.2. Área foliar nos leitos T1.1 e T2.2.....	125
3.4.3. Biomassa produzida nos leitos T1.1 e T2.2.....	126
Capítulo. 7.....	127
1. Análise e Discussão dos resultados	127
1.1. Vazão e Tempo de Detenção Hidráulica.....	127
1.2. Qualidade de água	129
- Temperatura da água	129
- Valores de pH das águas	130
- Fluxo de massa de Amônia das águas	131
- Fluxo de massa de Nitrito e Nitrato das águas	133
- Fluxo de massa de Nitrogênio total das águas.....	135
- Fluxo de massa de Fósforo total das águas	136
- Fluxo de massa de Ferro e Alumínio das águas.....	138
- Condutividade Elétrica nas águas.....	140
- Oxigênio dissolvido nas águas.....	140
- Demanda Química de Oxigênio nas águas.....	142
1.3. Vegetação nos leitos cultivados	143
- Desenvolvimento da vegetação	143
- Área foliar e índice de área foliar (AF e IAF).....	144
- Biomassa vegetal seca produzida, nitrogênio e fósforo removidos.....	146
- Remoção de Nitrogênio pela <i>Typha</i>	146
- Remoção de Nitrogênio pela <i>Canna limbata</i>	147

- Remoção de Nitrogênio pelo <i>Cyperus prolifer</i>	147
- Remoção do Fósforo pela <i>Typha</i>	148
- Remoção do Fósforo pela <i>Canna limbata</i>	149
- Remoção do Fósforo pelo <i>Cyperus prolifer</i>	149
Capítulo. 8	151
- Considerações finais.....	151
- Conclusões	156
- Literatura citada	158

Lista de figuras

2.1. Atendimento urbano de abastecimento de água no Brasil	6
2.2. Atendimento urbano de rede coletora de esgotos no Brasil.....	6
4.1. Reatores anaeróbios.....	26
4.2. Caixas distribuidoras dos afluentes para os leitos cultivados	26
4.3. Tanques com britas e plantas aquáticas	27
4.4. Disposição dos leitos e direcionamento dos fluxos	28
4.5. Locação e posicionamento dos tanques	30
4.6. Manta sintética sobre placas de isopor	31
4.7. Tubo para saída das águas dos leitos.....	32
4.8. Tubo para saída das águas dos leitos.....	32
4.9. Resíduos industriais da bauxita – disposição	34
4.10. Abastecimento dos tanques.....	35
4.11. Tubos de inspeção.....	36
4.12. Camada de britas nos tanques.....	36
4.13. Captação das águas residuárias.....	37
4.14. Caixa sifonada e saídas	38
4.15. Condução das águas.....	38
4.16. Entrada das águas	39
4.17. Entradas das águas	39
4.18. Saída das águas	40
4.19. <i>Typha</i>	42
4.20. <i>Canna limbata</i>	42
4.21. <i>Cyperus prolifer</i>	43
4.22. Posicionamento dos vegetais	44
4.23. Plantas em desenvolvimento	45
5.1. Monitoramento das alturas	52
5.2. Medição da área foliar da <i>Typha</i>	54

5.3. Medição da área foliar da <i>Canna limbata</i>	54
5.4. Medição da área foliar – <i>Cyperus prolifer</i>	54
6.1. Vazões de entradas e saídas nos leitos cultivados T3.1 e T3.2.....	59
6.2. Tempo de detenção hidráulica nos leitos cultivados T3.1 e T3.2.....	60
6.3. Temperatura da água nas entradas e saídas dos leitos cultivados T3.1 e T3.2.....	62
6.4. Valores de pH nas entradas e saídas dos leitos cultivados T3.1 e T3.2.....	63
6.5. Valores de concentração de amônia nas entradas e saídas dos leitos cultivados T3.1 e T3.2.....	65
6.6. Valores de concentração de nitrito nas entradas e saídas dos leitos cultivados T3.1 e T3.2.....	66
6.7. Valores de Concentração de nitrato nas entradas e saídas dos leitos cultivados T3.1 e T3.2.....	68
6.8. Valores de Concentração de fósforo nas entradas e saídas dos leitos cultivados T3.1 e T3.2.....	69
6.9. Valores de Concentração de ferro nas entradas e saídas dos leitos cultivados T3.1 e T3.2.....	71
6.10. Valores de Concentração de alumínio nas entradas e saídas dos leitos cultivados T3.1 e T3.2.....	72
6.11. Valores de condutividade elétrica nas entradas e saídas dos leitos cultivados T3.1 e T3.2.....	74
6.12. Valores de Concentração de oxigênio livre nas entradas e saídas dos leitos cultivados T3.1 e T3.2.....	75
6.13. Valores de Concentração de demanda química de oxigênio nas entradas e saídas dos leitos cultivados T3.1 e T3.2.....	77
6.14. Crescimento da vegetação segundo as posições superior e inferior no leito T3.1.....	78
6.15. Crescimento da vegetação segundo as posições superior e inferior no leito T3.2.....	79

6.16. Desenvolvimento da vegetação segundo as metades superior e inferior dos leitos T3.1 e T3.2.....	79
6.17. Vazões de entrada e saídas nos leitos cultivados T2.1 e T2.2.....	82
6.18. Tempo de detenção hidráulica para os leitos T2.1 e T2.2.....	83
6.19. Valores de temperatura da água nas entradas e saídas dos leitos cultivados T2.1 e T2.2.....	85
6.20. Valores de pH nas entradas e saídas dos leitos cultivados T2.1 e T2.2.....	86
6.21. Valores de concentração de amônia nas entradas e saídas dos leitos cultivados T2.1 e T2.2.....	88
6.22. Valores de concentração de nitrito nas entradas e saídas dos leitos cultivados T2.1 e T2.2.....	89
6.23. Valores de concentração de nitrato nas entradas e saídas dos leitos cultivados T2.1 e T2.2.....	91
6.24. Valores de concentração de fósforo nitrato nas entradas e saídas dos leitos cultivados T2.1 e T2.2.....	92
6.25. Valores de concentração de ferro nas entradas e saídas dos leitos cultivados T2.1 e T2.2.....	94
6.26. Valores de concentração de alumínio nas entradas e saídas dos leitos cultivados T2.1 e T2.2.....	95
6.27. Valores de condutividade elétrica nas entradas e saídas dos leitos cultivados T2.1 e T2.2.....	97
6.28. Valores de concentração de oxigênio livre nas entradas e saídas dos leitos cultivados T2.1 e T2.2.....	98
6.29. Valores de demanda química de oxigênio nas entradas e saídas dos leitos cultivados T2.1 e T2.2.....	99
6.30. Crescimento da vegetação segundo as posições no leito T2.1.....	100
6.31. Crescimento da vegetação segundo as posições no leito T2.2.....	101
6.32. Desenvolvimento da vegetação segundo as metades superior e inferior nos leitos T2.1 e 2.2.....	101

6.33. Vazões de entrada e saídas nos leitos cultivados T1.1 e T1.2.....	104
6.34. Tempo de detenção hidráulica para os leitos T1.1 e T1.2.....	105
6.35. Valores de temperatura da água nas entradas e saídas dos leitos cultivados T1.1 e T1.2.....	107
6.36. Valores de pH na água nas entradas e saídas dos leitos cultivados T1.1 e T1.2.....	108
6.37. Valores de concentração de amônia nas entradas e saídas dos leitos cultivados T1.1 e T1.2.....	110
6.38. Valores de concentração de nitrito nas entradas e saídas dos leitos cultivados T1.1 e T1.2.....	111
6.39. Valores de concentração de nitrato nas entradas e saídas dos leitos cultivados T1.1 e T1.2.....	113
6.40. Valores de concentração de fósforo nas entradas e saídas dos leitos cultivados T1.1 e T1.2.....	114
6.41. Valores de concentração de ferro nas entradas e saídas dos leitos cultivados T1.1 e T1.2.....	116
6.42. Valores de concentração de alumínio nas entradas e saídas dos leitos cultivados T1.1 e T1.2.....	117
6.43. Valores de condutividade elétrica da água nos leitos cultivados T1.1 e T1.2.....	119
6.44. Valores de concentração de oxigênio dissolvido nos leitos cultivados T1.1 e T1.2.....	120
6.45. Valores de demanda química de oxigênio nos leitos cultivados T1.1 e T1.2.....	122
6.46. Crescimento da vegetação segundo as posições no leito T.1.....	124
6.47. Crescimento da vegetação segundo as posições no leito T.2.....	124
6.48. Desenvolvimento da vegetação segundo as metades superior e inferior nos leitos T1.1 e T1.2	125

Lista de quadros

2.1. Taxa de mortalidade infantil	7
2.2. Municípios com acesso à rede coletora de esgotos	8
2.3. Municípios com serviço de abastecimento de água por rede de distribuição.....	8
2.4. Municípios com serviço de coleta de resíduos sólidos domiciliares e ou públicos.....	9

Lista de tabelas

6.1. Características das águas residuárias que entraram nos tanques. Médias e desvios padrões ocorridos durante o período monitorado	57
7.1. Vazões médias diárias, alturas médias diárias das lâminas d'água evaporadas e tempo de detenção hidráulica, médio diário, ocorridos nos dias de monitoramento	128
7.2. Temperaturas médias diárias das águas residuárias que entraram e saíram dos tanques nos dias de monitoramento. Valor total das diferenças e porcentagem em relação à temperatura média de entrada das águas.....	129
7.3. Valores médios diários de pH das águas residuárias que entraram e saíram dos tanques nos dias de monitoramento. Valor total das diferenças e porcentagem em relação ao valor médio de entrada das águas.....	130
7.4. Totais médios diários das massas de nitrogênio amoniacal que entraram e saíram dos tanques nos dias de monitoramento. Valores de retenção de massas e porcentagem, em relação ao valor médio de entrada	122
7.5. Totais médios diários das massas de nitrogênio nitrito que entraram e saíram dos tanques nos dias de monitoramento. Valores de retenção de massas e porcentagem, em relação ao valor médio de entrada.....	134
7.6. Totais médios diários das massas de nitrogênio nitrato que entraram e saíram dos tanques nos dias de monitoramento. Valores de retenção de massas e porcentagem, em relação ao valor médio de entrada.....	134
7.7. Totais médios diários das massas dos nitrogênios que entraram e saíram dos tanques nos dias de monitoramento. Valores de retenção de massas e porcentagem, em relação ao valor médio de entrada.....	135
7.8. Totais médios diários das massas de fósforo que entraram e saíram dos tanques nos dias de monitoramento. Valores de retenção de massas e porcentagem, em relação ao valor médio de entrada.....	136
7.9. Concentrações médias de ferro observadas em amostras compostas diárias, que entraram e saíram dos tanques nos dias monitorados. Valores das concentrações médias retidas e porcentagem de retenção, considerando as concentrações médias de entrada	139
7.10. Concentrações médias de alumínio observadas em amostras compostas diárias, que entraram e saíram dos tanques nos dias monitorados. Valores das concentrações médias retidas e porcentagem de retenção, considerando as concentrações médias de entrada.....	139

7.11. Totais médios de condutividades elétricas que entraram e saíram dos tanques nos dias monitorados. Valores médios de condutividades elétricas removidas e porcentagens, considerando o valor médio de entrada. Unidades medidas em $\mu\text{S}/\text{cm}$.	140
7.12. Concentrações médias diárias de oxigênio livre que entraram e saíram dos tanques nos dias monitorados. Valores das concentrações médias retidas e porcentagem de retenção, em relação às concentrações médias de entrada	141
7.13. Concentrações médias de demandas químicas de oxigênio observadas em amostras compostas diárias, que entraram e saíram dos tanques nos dias monitorados. Valores das concentrações médias retidas e porcentagem de retenção, considerando as concentrações médias de entrada	142
7.14. Alturas médias e máximas atingidas pelos vegetais, observadas no final do período monitorado, considerando as metades montantes e jusantes da cada um dos leitos, no período monitorado. Valores de pH observados nas posições centrais de cada metade	143
7.15. Valores médios de áreas foliares obtidos por ocasião do corte final dos vegetais e índices de áreas foliares, calculados considerando as posições montantes e jusantes dos leitos cultivados	144
7.16. Quantidade total de massa vegetal seca produzida durante o período monitorado. Total médio das massas de nitrogênio que entraram e foram retidas nos tanques e removidas pelos vegetais. Porcentagens de remoções considerando as massas totais de entrada.....	146
7.17. Quantidade total de massa vegetal seca produzida durante o período monitorado. Total médio das massas de fósforo que entraram e foram retidas nos tanques e removidas pelos vegetais. Porcentagens de remoções considerando as massas totais de entrada.....	148

Lista de abreviações

Al: Íon Alumínio;
c: Graus centígrados;
CE: Condutividade Elétrica;
cm²: Centímetro Quadrado;
DQO: Demanda Química de Oxigênio;
EG: Entrada Geral;
Fe: Íon Ferro;
G: Grama;
I B G E: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística;
FEAGRI: Faculdade de Engenharia Agrícola;
l/dia: Litro por dia;
kg: Kilograma;
mg/dia: Miligrama por dia;
mg/l: Miligrama por litro;
mm/dia: Milímetro por dia;
m³: metro cúbico;
N: Íon Nitrogênio;
OD: Oxigênio Dissolvido;
P: Íon Fósforo;
pH: potencial íon Hidrogênio;
pOH: potencial íon Hidroxila;
ST: Saída do Tanque;
T: Temperatura;
t/dia: Tonelada por dia;
TDH: Tempo de Detenção Hidráulica;
T 3.1. Tanque, tamanho do substrato e posição;
UNICAMP: Universidade Estadual de Campinas;
μS/cm: Micro simens por centímetro;
V: Vazão

Capítulo. 1

1. Introdução

A degradação ambiental aprofunda a falta de água potável que se converteu em uma das maiores ameaças para o desenvolvimento. Embora os países pobres sejam os mais afetados, o primeiro mundo sofrerá também as consequências. A escassez de água no mundo já é considerada a maior ameaça ao futuro próximo; o consumo de água supera o crescimento da população e grande parte desta população não tem acesso à água potável, a instalações sanitárias decentes, sistemas de coleta e tratamento das águas residuárias (Forum, 2004).

Além da coleta adequada, através de rede geral, é necessário que as águas residuárias sejam corretamente tratadas, evitando que os recursos receptores como solos, rios etc., sejam poluídos, resultando em proliferação e disseminação de doenças, capazes de comprometer a saúde da população. A associação entre a água consumida, sua transformação em esgotos sanitários e a incidência de doenças como diarreia, cólera, febre tifoide, etc., foi comprovada 20 anos antes da era bacteriológica (Rosen, 1994). Estudiosos que seguiam a linha de pesquisas desenvolvidas por Pasteur e Koch, em meados de 1876, admitiam não serem os componentes naturais das águas os responsáveis por provocarem doenças, mas sim microrganismos originados de outros serem humanos (Branco et al., 2006).

O uso inadequado dos recursos hídricos tem provocado perdas drásticas na qualidade das águas (Sperling, 1995). A recuperação das condições adequadas das águas depende do controle do lançamento dos efluentes e de seu tratamento.

A adequação da qualidade das águas residuárias é realizada utilizando técnicas e equipamentos específicos com custos elevados. A busca de técnicas mais simples e de menor custo tem sido uma das atividades mais importantes nas Universidades e nos Institutos de Pesquisas que estudam esse tema. Em especial, alternativas viáveis para pequenos volumes de efluentes gerados principalmente em pequenas comunidades, condomínios, atividades no meio rural, escolas, indústrias e outros.

A utilização de tanques sépticos, lagoas naturais e/ou artificiais, fazendo uso de vegetais aquáticos e substratos diversos, como pós-tratamento de águas residuárias domésticas, tem sido uma alternativa bastante viável a ser usada. O sistema apresenta remoção de nutrientes, matéria orgânica, gera pouca quantidade de lodo e usa resíduos sólidos como substratos e de plantas

aquáticas que além de servirem como auxiliar na remoção dos nutrientes melhora o aspecto visual do ambiente.

Uma das alternativas mais promissoras são os denominados sistemas construídos de tratamento de efluentes ou *Wetlands* construídas. Esses sistemas não exigem mão de obra especializada, apresentam baixo custo de implantação, de operação e de manutenção, utilizam como substratos materiais descartados e comuns, tais como rochas, plásticos, bambus, pneus picados, resíduos de indústrias de cerâmicas, escórias de indústrias siderúrgicas, etc, encontrados facilmente em todos os locais do país. Estes sistemas simulam as condições naturais com a vantagem de serem conduzidos; promovem a redução das concentrações de matéria orgânica e nutrientes, reduzindo o impacto negativo junto aos locais e corpos de água receptores.

Mais de 16 milhões de domicílios brasileiros por não possuírem sistemas de coletas de esgotos lançam seus esgotos diretamente nos corpos de água ou utilizando fossas sépticas improvisadas. Esses procedimentos contribuem para a degradação do ambiente reduzindo a qualidade de vida das populações locais e adjacentes (IBGE. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, 2009).

No Brasil os recursos destinados aos estudos e serviços de saneamentos ainda são escassos, fato este responsável pela precariedade das condições de saúde de boa parte da população.

Mesmo reduzindo em 27% e atingindo o menor nível em dez anos, as mortalidades infantil, no Estado de São Paulo, permaneceram em 14,5 óbitos de crianças menores de um ano a cada 1.000 nascidas, contra 17 no ano de 2000. Se considerarmos a situação nacional, o quadro torna-se mais acentuado uma vez que a média geral é de 22,5 contra 5,1 a cada 1000 crianças nascidas em Cuba (IBGE. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2009).

O apoio dos órgãos públicos ao setor privado tanto no sentido de ampliar o campo da pesquisa como no incentivo ao desenvolvimento e à implantação de sistemas de tratamentos de esgotos, proporcionarão às pessoas melhores qualidades de vida. Fato este que pode ser viabilizado por meio do uso de tanques sépticos e leitos cultivados, como tratamento secundário e terciário das águas residuárias domésticas.

2. Hipótese

O material suporte, constituído por crostas de eletrofusão da bauxita, altera a eficiência/eficácia da retenção e remoção de nutrientes, o crescimento da vegetação e a qualidade da água do efluente.

3. Objetivo

O objetivo da pesquisa foi verificar a influência do material suporte, crostas de eletrofusão da bauxita, principalmente na dinâmica do pH, nitrogênio e fósforo presentes em águas residuárias domésticas, por meio de leitos ou tanques artificiais construídos, de fluxo vertical saídas subsuperficiais, cultivados com os vegetais *Thypha sp*, *Canna limbata* e *Cyperus prolifer*.

Capítulo. 2.

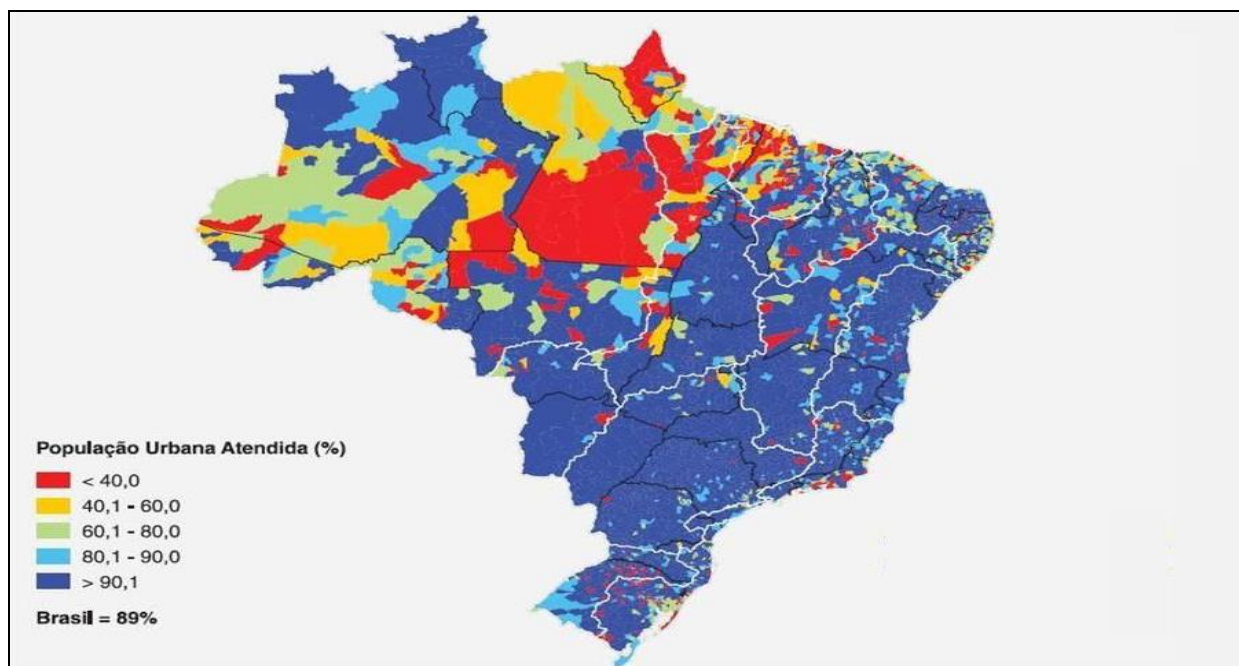
1. Águas residuárias domésticas e saneamento.

A demanda por abastecimento de água e o lançamento de efluentes afetam diretamente a disponibilidade dos rios em termos de quantidade e qualidade, podendo comprometer as condições necessárias para o uso múltiplo das águas (Conjuntura dos recursos hídricos-2009).

Os esgotos domésticos são constituídos por aproximadamente 99% de águas. O restante é composto por sólidos inorgânicos, orgânicos, suspensos e dissolvidos e microrganismos. A característica dos esgotos é definida pela função à qual as águas foram submetidas. Apenas 0,8% da água disponível podem ser utilizadas no abastecimento público, sendo que 3% desta água apresentam-se na forma superficial e fácil de ser extraída. O fato ressalta a importância em preservar os recursos hídricos, uma vez que a fração disponível é considerada pequena e pode ser contaminada facilmente (Sperling, 1995).

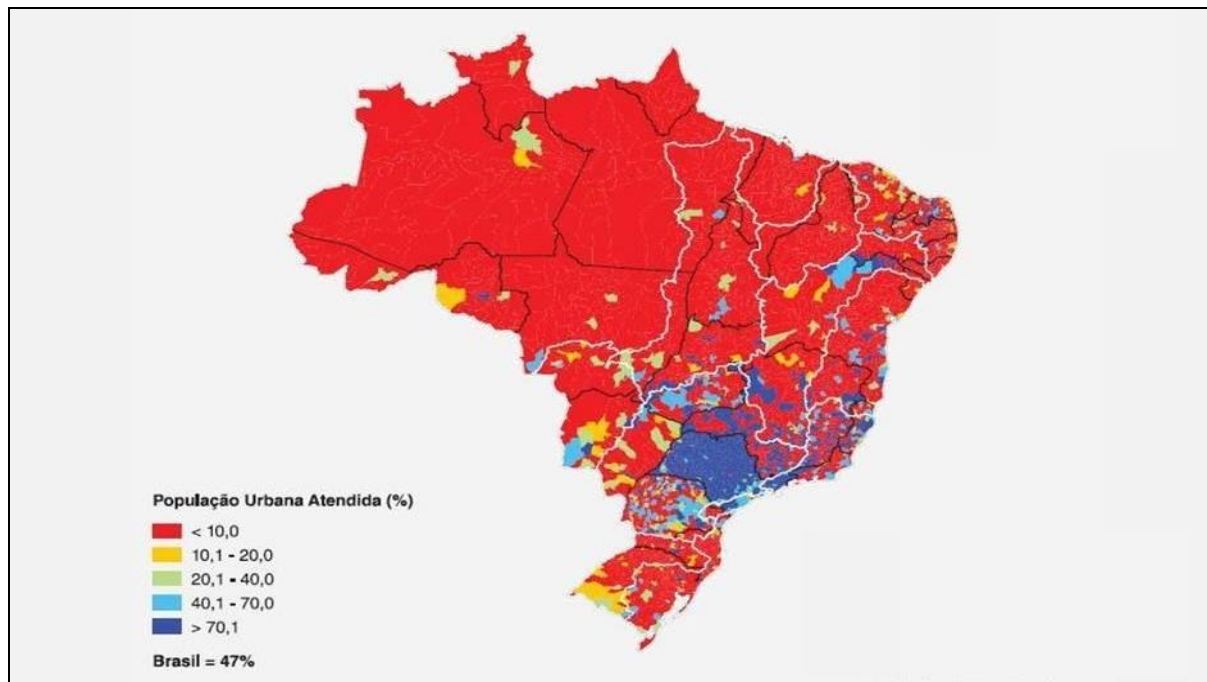
2. Saneamento básico no Brasil

As situações do atendimento urbano de abastecimento de água e rede coletora de esgotos no Brasil podem ser visualizadas através das Figuras 2.1 e 2.2. Em maior proporção, o sistema de abastecimento de águas abrange a maioria dos estados brasileiros, no entanto as coletas de esgotos não atingem 50% dos estados brasileiros, concentrando – se na região sudeste, principalmente no estado de São Paulo.



Fonte: Conjuntura dos recursos hídricos-2009.

Figura 2.1. Atendimento urbano de abastecimento de água no Brasil e por municípios nas regiões hidrográficas – 2006.



Fonte: Conjuntura dos recursos hídricos do Brasil-2009.

Figura 2.2. Atendimento urbano de rede coletora de esgoto no Brasil e por municípios nas regiões hidrográficas- 2006.

No país a taxa de mortalidade infantil caiu 30% entre 1998 e 2008, sendo que no Estado de São Paulo caíram 27%, atingindo o menor nível em dez anos. A mortalidade ficou em 12,4 óbitos de crianças menores de um ano a cada 1.000 nascidas, contra 17 no ano de 2000 (IBGE. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008). O Quadro 2.1 mostra que região nordeste do Brasil apresenta uma taxa média de 33,2 óbitos a cada 1.000 crianças nascidas; na região Sul 15,1; Sudeste 16,6; Centro Oeste 17,8 e Norte 23,5. A média no Brasil é de 22,5 óbitos a cada 1000 crianças nascidas vivas (IBGE. Síntese dos Indicadores Sociais 2009). Na Argentina a média é de 13,5, no Chile 7,2 e no Uruguai 13,1 óbitos a cada 1.000 crianças nascidas.

Quadro 2.1. Taxa de mortalidade infantil (crianças menores de 1 ano de idade ‰).

PAISES		REGIÕES BRASILEIRAS		ESTADOS BRASILEIROS	
BOLIVIA	45,6	NORDESTE	33,2	ALAGOAS	46,4
BRASIL	22,5	NORTE	23,5	AMAZONAS	24,3
ARGENTINA	13,5	CENTRO OESTE	17,8	GOIAS	18,3
CHILE	7,2	SUDESTE	16,6	SÃO PAULO	14,5
CUBA	5,1	SUL	15,1	R.G.SUL	12,7

Fonte: Adaptado de IBGE- Síntese de indicadores. Análise das qualidade de vida da população brasileira- 2009.

O Quadro 2.2 mostra que o Brasil possui 5.564 municípios sendo que o abastecimento de água chega a 99,4% deles. O país produziu 9.730.890x1000m³/ano de esgoto urbano; 5.389.000m³/ano foram coletados e apenas 2.511.476m³/ano do esgoto coletado foi tratado. A rede coletora de esgotos que estava presente em 52,2% dos municípios em 2000, passou para 55,2% dos municípios (Conjuntura dos Recursos Hídricos - 2006/2009).

O número de domicílios brasileiros abastecidos por rede geral de água cresceu 30,8%, passando de 34,6 milhões em 2000 para 45,3 milhões em 2008. O maior crescimento foi no nordeste (39,2%) e no centro oeste (39,1%), e o menor foi no norte (23,1%). Segundo o IBGE-PNSB (2008) em 6,6% dos municípios a água distribuída não recebia nenhum tratamento; a região norte responde por 20,8%, onde o Pará (40,0%) e Amazonas (38,7%) apresentavam os

maiores percentuais. Em seguida vinha o Piauí (24,3%) e o Maranhão (21,8%). O Quadro 2.3 mostra que a maioria dos municípios brasileiros recebe água tratada. A região norte apresenta a menor porcentagem.

Quadro 2.2. Municípios com acesso à rede coletora de esgotos.

Regiões		2000		2008	
	Municípios	Quantidade	%	Quantidade	%
Brasil	5564	2905	52,2	3071	55,2
Norte	449	32	7,1	61	13,4
Nordeste	1793	771	42,9	820	45,7
Sudeste	1668	1552	92,9	1587	95,1
Sul	1188	464	38,9	472	39,7
Centro Oeste	466	84	17,9	131	28,3

O Brasil produz 9.730.890 x 1000 m³ /ano de esgoto , 55,2% é coletado por redes e 46,6% do esgoto coletado é tratado (Conjuntura dos Recursos Hídricos - Saneamento Ambiental– 2009).

Fonte: Adaptado de IBGE- Pesquisa Nacional Saneamento-2008.

Quadro 2.3. Municípios com serviço de abastecimento de água por rede de distribuição.

Regiões		2000		2008	
	Municípios	Quantidade	%	Quantidade	%
Brasil	5564	5391	97,9	5531	99,4 (*)
Norte	449	422	94,0	442	98,4
Nordeste	1793	1722	96,4	1772	98,8
Sudeste	1668	1666	100,0	1668	100,0
Sul	1188	1142	98,5	1185	99,7
Centro Oeste	466	439	98,4	464	99,6

(*) 6,2% recebem água sem tratamento 0,6% não recebem água.

Fonte: IBGE- Pesquisa Nacional Saneamento Básico- 2008.

Mesmo o abastecimento de água alcançando 99,4% dos municípios e a rede coletora de esgotos passando de 52,2% para 55,2% dos municípios em 2008, o país vem enfrentando o desafio de tratar os esgotos produzidos (IBGE 2008).

Segundo a Conjuntura dos Recursos Hídricos do Brasil (2006/2009) o país, além da baixa cobertura dos serviços de coleta de esgotos, a situação dos serviços de tratamento é bem pior.

Em relação aos resíduos sólidos, o Brasil produz e coleta aproximadamente 227.363 toneladas por dia, sendo a região sudeste a maior produtora (Quadro 2.4).

Quadro 2.4. Municípios com serviço de coleta de resíduos sólidos domiciliares e ou públicos. Quantidade diária coletada (t/dia) 2008.

Regiões	2008			
	Municípios	Quantidade	%	
Brasil	5564	183.488	---	
Norte	449	14.639	8%	
Nordeste	1793	47.206	26%	
Sudeste	1668	68.181	37%	
Sul	1188	37.342	21%	
Centro Oeste	466	16.120	9%	

Fonte: Adaptado de IBGE- Pesquisa nacional de saneamento básico-2008.

As informações levam a crer que o maior problema a ser enfrentado no momento atual não é o fornecimento de água e nem o acesso às redes de esgotos, mas sim o tratamento dos esgotos gerados.

Capítulo. 3.

1. Revisão bibliográfica

1.1. Tratamento de águas residuárias

Vários são os sistemas usados nos tratamentos de águas residuárias domésticas, desde os considerados mais complexos que envolvem técnicas e produtos específicos até os considerados mais simples e baratos, como os leitos construídos ou *Constructed Wetlands* que atendem parcialmente pequenas cidades, subúrbios, áreas rurais, etc. (Metcalf & Eddy, 1991; Chan, 2008).

Os primeiros trabalhos utilizando plantas aquáticas no tratamento de águas residuárias, foram desenvolvidos por Kathe Seidel, na Alemanha a partir de 1950. Em 1960 o mesmo autor iniciou trabalho incluindo o fluxo horizontal subsuperficial das águas. O modelo foi aperfeiçoado por Reinhold Kickuth, sob o nome “Método de Sistema de Raízes”, passando a utilizar pedras ou cascalhos de rochas como meio filtrante. De 1970 a 1990 o método expandiu pela Europa. Originalmente o uso de um meio filtrante foi proposto por Kathe Seidel, devido o material proporcionar elevada taxa de condutividade hidráulica. O sistema mostrou ser eficiente na remoção de microrganismos e sólidos suspensos, mas a remoção de nutrientes não foi considerada elevada. O método foi sendo melhorado a partir da utilização combinada de diferentes modelos de *Constructed Wetlands* (Wymasal, 2005). Nos anos 70 e 80 as pesquisas tiveram impulso nos Estados Unidos da América, por meio de estudos realizados pela Agência Espacial Norte Americana, em águas residuárias domésticas.

Rouston (1994) realizou estudos em águas residuárias originadas em residências domésticas rurais, no estado do Colorado, nos Estados Unidos da América. Avaliou o desempenho do vegetal aquático Typha e britas nº 4 como substrato, obtendo reduções de 92% de D.B.O, 74% para nitrogênio total e 94% para coliformes. A ideia foi implantada por Rouston, junto à Faculdade de Engenharia Agrícola – FEAGRI - Unicamp. Campinas, SP, que vem desenvolvendo vários estudos relativos ao uso de Leitos Construídos, vegetais e substratos, na melhora das qualidades das águas residuárias domésticas.

Atualmente o uso de leitos construídos ou *Constructed Wetlands* no tratamento de águas residuárias é uma prática em evidência em várias partes do mundo e a utilização de vegetais aquáticos e substratos apresenta vantagens por conduzir o processo de forma natural e controlada, atuando na remoção de nitrogênio e outros nutrientes presentes em águas residuárias,

responsáveis pela poluição dos recursos hídricos (Zang et al., 2008). Esta técnica simula sistemas naturais, ou seja, alagados, várzeas, etc. que ocorrem naturalmente e é utilizada como forma secundária ou pós-tratamento de esgotos domésticos (Hamouri, 2007). O sistema é constituído por tanques ou alagados artificiais, vegetados ou não, capazes de simular as condições encontradas nos lagos e nas várzeas naturais, operando com vazão afluyente controlada e estabilizada (Metcalf & Eddy, 1991; Zang, 2008). Considerados simples, são fáceis de construir e operar; apresentam baixo custo e promovem remoção de DBO e sólidos suspensos. A remoção de amônia e fósforo é considerada baixa em águas residuárias domésticas, agrícolas e industriais (Pratt, 2004 et al; Volha, et al. 2007; Chan, 2008; Xiong, 2008; Zhang et al., 2008; Cui et al., 2010).

1.2. Substratos em tanques cultivados

A utilização de substratos é justificada principalmente por poder usar materiais descartados sem necessariamente agredir o meio ambiente. Os materiais utilizados permitem não só a fixação das raízes dos vegetais como servem de abrigo a microrganismos, atuam como agentes filtrantes controlam o fluxo das águas e evitam entupimentos.

A elevada quantidade de resíduos sólidos gerados pelas indústrias, a falta de local para a disposição dos mesmos, o pouco conhecimento de como utilizá-los e as consequências geradas ao meio ambiente têm levado os estudiosos a direcionar seus trabalhos em busca de informações capazes de orientar corretamente o manejo destes resíduos (Metcalf & Eddy, 1991).

Pesquisadores têm dirigido seus estudos para o tratamento natural de águas residuárias fazendo uso de resíduos sólidos com o objetivo de auxiliar na remoção de micro-organismos e nutrientes e como meio suporte para as raízes das plantas aquáticas (Vohla, 2007; Chan, 2008; Seo, 2008).

A procura por materiais de enchimento que sirvam como filtros, suporte para as plantas aquáticas e que sejam capazes de proporcionar ambiente favorável às bactérias devem atender objetivos tais como: fácil obtenção, baixo custo, inerte; apresentar rugosidade, porosidade, elevada área superficial por unidade de volume e elevada capacidade de adsorção, etc.(Metcalf & Eddy, 1991; Pratt et al, 2004; Seo, 2008).

1.3. Plantas aquáticas em tanques cultivados

Durante as últimas décadas, os tanques ou leitos artificiais construídos ou “*Constructed Wetlands*” mostraram ser eficientes por ocasião de suas utilizações em tratamentos naturais de águas residuárias domésticas. O processo de remoção de poluentes é baseado em ações físicas, químicas e biológicas que ocorrem no meio aquático com a presença de vegetais aquáticos (Valentim, 2003; Ran, et al., 2004).

As plantas aquáticas mostram-se capazes de depurar águas por estarem naturalmente e morfológicamente adaptadas ao ambiente aquático, além de promoverem contato e interação entre nutrientes e substratos. As raízes atuam na remoção e estocagem de nutrientes e água, na transferência e fornecimento de oxigênio para o meio, promovendo condições de oxidação de substâncias presentes, além de proporcionar ambiente favorável ao desenvolvimento das bactérias que atuam na transformação da matéria orgânica em substâncias moleculares mais simples, fonte de alimentação delas próprias, dos vegetais e outros organismos existentes no local (Branco, 1986; Cui et al, 2010).

Embora os sistemas naturais apresentem boa eficiência na retirada de matéria orgânica, a eficiência na remoção de nitrogênio e fósforo, nutrientes limitantes ao desenvolvimento de algas, bactérias, vegetais, etc., e que, presentes em doses elevadas, causam eutroficação e poluição nas águas, necessitando de unidades complementares de tratamento (Pratt et al. 2004; Zhang, et al. 2008).

Atualmente a utilização de sistemas híbridos, como tratamento terciário, combinando diferentes tipos de substratos, fluxos horizontal e vertical, condições aeróbicas e anaeróbicas, pH, nitrificação e desnitrificação, tem comprovado a sua eficiência na remoção de alguns nutrientes existentes nas águas residuárias domésticas (Hamouri, 2007; Vymazal, 2007; Seo et al, 2008).

Estudos direcionados a características hidráulicas, modelos de estruturas, materiais sólidos de enchimentos, plantas aquáticas, etc., utilizados como substratos e/ou filtros em leitos construídos, estão sendo realizados no sentido de aumentar a remoção de matéria orgânica, sólidos e nutrientes (Prochaska et al, 2007; Chan, 2008; Cui et al, 2010).

1.4. Controle dos parâmetros de qualidade de água

A qualidade das águas brutas ou residuárias pode ser representada por vários fatores ou parâmetros indicadores de características físicas, químicas e biológicas. São utilizados, de modo geral, para caracterizar águas de abastecimento, residuárias, mananciais e corpos receptores, sendo determinados rotineiramente em laboratórios de análises ambientais.

1.4.1. pH

Nas águas residuárias, valores adversos de pH não só interferem no equilíbrio bioquímico do próprio sistema com também altera o equilíbrio das águas receptoras.

Naturalmente, a concentração do íon-hidrogênio, em ambiente aquático, é proporcional à intensidade de dissociação das moléculas das águas. A água pode dissociar em íon hidrogênio e íon hidroxila.

O modo usual para expressar a concentração do íon hidrogênio é o pH, que pode ser definido como logarítmico negativo da concentração do íon hidrogênio; já pOH^- pode ser definido como logarítmico negativo da concentração do íon hidroxila, assim caracterizando condições de acidez, abaixo de 7; neutralidade igual a 7 e alcalinidade acima de 7 (Metcalf & Eddy, 1991). A acidez é definida pela presença de íons Hidrogênio H^+ na solução, originada, principalmente pela decomposição da matéria orgânica, gás carbônico livre, minerais, etc., transmitindo à água capacidade de mudança de pH em presença de bases. A alcalinidade é definida pela quantidade de íons hidroxilas OH^- presente nas águas que reagirão para neutralizar os íons hidrogênio, ou seja, poder de neutralizar os ácidos, também conhecida por resistência à mudança de pH ou poder tampão. Os elementos responsáveis pela alcalinidade são os bicarbonatos, carbonato e hidroxilos (Sperling, 1995).

Pesquisas diversas têm mostrado que substratos utilizados no tratamento natural de águas residuárias, devidos as suas constituições, promovem alterações nos pH, fator este de grande importância, pois interfere nos resultados dos trabalhos (Metcalf & Eddy, 1991; Branco, 1986). Kletecke, 2011, usou britas como substrato e vegetais aquáticos no tratamento natural de esgotos domésticos e cita que no leito cultivado com o vegetal *Hedychium coronarium*, os valores de pH foram reduzidos de 8,1 para 7,8 e de 7,5 para 7,3 conforme entrada e saída do tanque. A redução do pH foi observada praticamente durante todo o período monitorado.

Xu et al., 2006, por ocasião do uso de um tipo de escórias de alto forno, como substrato, no tratamento de águas residuárias, observaram valores de pH de 12,1 e 12,3; Seo et al., 2008, utilizou areia grossa, cascalho de rochas e calcita; valores de pH dos substratos foram 7,9; 7,8 e 11,9 concomitantemente, o fato levou o pesquisador, considerando o objetivo do trabalho, a promover misturas, uma vez que a calcita elevaria o pH das águas, prejudicando o funcionamento de sistema. Chan et al., 2008, por ocasião do uso de escória de um determinado tipo carvão calcinado, observaram pH de 7,1 em esgoto doméstico tratado. Tao et al., 2009, ao utilizar mistura de rochas calcária e areia como substrato, em águas residuárias, observou elevação do pH de 7,2 até 8,4; Cui et al., 2010, utilizaram escoria de alto forno, escoria de carvão e areia em tratamento de esgoto doméstico, os pH observados foram 7,24; 4,74 e 6,06, concomitantemente.

Diferentes valores de pH ocorrem não só devido à constituição dos resíduos utilizados, como também devido aos diferentes tipos de substratos que em virtude dos procedimentos industriais a que são submetidos e os objetivos a que destinam. Se a composição química do substrato for rica em óxidos (CaO, SiO₂, Al₂O₃, MgO, MnO, etc.), a dissociação dos mesmos em meio aquoso libera íons diversos e hidroxilas, responsáveis pela elevação do pH (Bashan et al., 2004; Xu, et al., 2006; Vymasal, 2007; Chan et al., 2008; Bowden, et al., 2009; Lihua et al., 2009).

Vymazal (2007) cita que a elevação do pH, além de promover remoções por sorção e precipitação de elementos, ocasionam volatilização, imobilização, precipitação, etc., de elementos essenciais ao desenvolvimento de vegetais e microrganismos. pH elevado e presença de amônia não ionizada torna o ambiente desfavorável ao desenvolvimento e atuação das bactérias responsáveis pela decomposição da matéria orgânica, produção de dióxido de carbono e ácido carbonico, conversão da amônia em nitrito e nitrato (Moniz, 1975; Malavolta, 1976; Branco, 1986; Sperling, 1996; 2002; Iamchaturapatr, 2007).

O pH do meio é fator chave e importante no desenvolvimento de organismos. Uma grande quantidade de bactérias não toleram faixas de pH acima de 9 ou abaixo de 4. Geralmente, o pH ótimo para o desenvolvimento das bactérias situa-se entre 6,5 e 7,5 (Metcalf & Eddy, 1991).

1.4.2. Temperatura

A temperatura exerce influência nos processos de tratamento biológicos, não só influenciando as atividades biológicas dos microrganismos como também afetando as taxas transferência e solubilidade de gases e promovendo alterações das características dos sólidos biológicos presentes nas águas. (Metcalf & Eddy, 1991; Sperling, 1995). Os diferentes organismos de uma mesma massa de água são diferentemente afetados pela variação da temperatura, sejam pela coagulação das proteínas celulares, aumento da capacidade tóxica de produtos dissolvidos nas águas, proliferação de organismos parasitas, disponibilização ou não de gases e alteração das atividades químicas e biológicas do meio. Elevações de temperatura podem aumentar as taxas de reações químicas e biológicas, diminuem a solubilidade dos gases e aumentam a taxa de transferência de gases (Sperling, 1995).

Prochaska, et al. (2007) trabalhando com wetlands construídas de fluxo vertical, constataram que as variações de temperaturas, conforme as estações do ano, interferiram na demanda química de oxigênio, fato ligado ao desenvolvimento e ação de microrganismos.

Certos tipos de organismos, vegetais diversos e algas se desenvolvem em condições de temperatura variada, determinando obrigatoriamente uma seleção, causando assim ocupação dominante no ambiente (Branco, 1986).

1.4.3. Condutividade Elétrica

Condutividade elétrica é a capacidade que as águas possuem de conduzir a corrente elétrica. O parâmetro está relacionado com a presença de íons mono e multivalentes, carregados eletricamente, tais como cálcio, magnésio, potássio, sódio, cloretos, bicarbonatos, sulfatos, etc., contidos na água. Quanto maior a quantidade de íons dissolvidos, maior será a condutividade elétrica da água. A unidade de medição é $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Micro-Simens por centímetro).

O parâmetro condutividade elétrica não determina especificamente quais íons que estão presentes em determinada amostra, mas auxilia no reconhecimento de impactos ambientais devido aos lançamentos de resíduos industriais, domésticos, mineração, etc., nas fontes receptoras.

1.4.4. Concentração de Oxigênio Dissolvido

O oxigênio disponível ou dissolvido nas águas é um elemento indispensável para o desenvolvimento dos organismos aeróbios e também como elemento necessário por ocasião de reações como no processo de nitrificação que necessita do elemento para transformar de formas de nitrogênio (Wymasal, 2007; Zhang et all, 2008).

Por ocasião da decomposição e estabilização da matéria orgânica as bactérias fazem uso do elemento por ocasião de suas atividades, o que leva à ocorrência de redução da quantidade do elemento no meio em questão; elevados consumos podem comprometer o ambiente em questão. Em situações de elevada redução de oxigênio, bactérias específicas o obtém por meio da quebra de moléculas de compostos orgânicos, tornando o ambiente impróprio aos seres existentes no local, bem como gerando gases como o gás carbônico e outros originados devido à produção de compostos orgânicos como ácidos, álcoois, metano, etc., gerando maus odores (Branco, 1986).

A sua forma é de gás dissolvido, originado através do contato superficial do ambiente com o meio atmosférico e pelo processo da fotossíntese, realizada por organismos fotossintetizantes, aeradores e insufladores mecânicos, etc., (Branco, 1986; Derísio, 2000). O nível de oxigênio existente no ambiente define o grau de poluição, consequência do seu consumo devido principalmente à decomposição de dejetos orgânicos. O seu teor, nos corpos de água, varia conforme a temperatura ambiente e a altitude do local (Derizio, 2000).

O processo de retirada do oxigênio pelos vegetais ocorre por meio da parte aérea que o transporta a todas as partes através dos aerênquimas pelos processos de difusão e convecção. O ar captado é conduzido até as raízes, suprimindo a demanda respiratória bem como a aeração e a oxidação na região abrangida pelas raízes, favorecendo a estabilização da matéria orgânica, desenvolvimento de bactérias e participação de reações como o processo de nitrificação (Brix, 1994).

1.4.5. Demanda Química de Oxigênio

Os processos oxidativos ou demandas de oxigênio causam reduções dos níveis do oxigênio existente nas águas naturais, residuárias domésticas e industriais. Organismos animais e vegetais quando presentes em grandes quantidades nas águas residuárias reduzem a quantidade de oxigênio presente. O material orgânico promove elevada remoção de oxigênio, a ação é

conhecida por demanda respiratória que ocorre devido à oxidação ser exclusivamente realizada por via enzimática (Branco,1986). O fato relatado não pode ser considerado se as águas residuárias contiverem, além de produtos orgânicos facilmente estabilizados, outras substâncias originadas de produtos industriais diversos como os agroquímicos, vegetais, orgânicos, etc. cujo método de análise laboratorial não exprime os resultados reais de oxidação, ou seja, a quantidade real de oxigênio consumida por ocasião do processo de oxidação ocorrido. Desta forma, o uso de agente químico oxidante forte, em meio ácido, irá oxidar todas as formas possíveis inclusive àquelas realizadas via enzimática, sendo possível, dependendo do tipo de água residuárias, obter boas correlações (Metcalf & Eddy, 1991). O método fornece indiretamente o resultado real do potencial ou demanda de oxigênio, ou seja, a exata quantidade da matéria orgânica existente nas águas residuárias. O processo, além de mostrar ser mais preciso, fornece os resultados em aproximadamente 3 horas, tempo bem menor que os 4 dias necessários para a determinação da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), (Sperling, 1995).

1.4.6. Concentração de Alumínio e Ferro

A presença de metais como o alumínio, ferro, manganês, etc., nas águas residuárias domésticas, é considerada inexpressiva uma vez que os mesmos não fazem parte das constituições dos produtos utilizados nas sanitizações.

Originados principalmente pela dissolução dos compostos constituintes do solo, apresentam pouco significado sanitário, segundo as concentrações encontradas. A presença de ferro e manganês, nas formas oxidadas, causam turbidez e mudanças de cor nas águas naturais, parâmetros estes corrigidos por ocasião dos tratamentos convencionais (Sperling, 1995). Níveis significativos destes elementos podem ser encontrados em alguns tipos de águas residuárias originadas através de despejos industriais.

A remoção natural destes elementos, considerados, segundo as quantidades como traços, ocorre principalmente por adsorção e precipitação e, em menores quantidades, pelas ações das raízes dos vegetais. Metais também podem ser removidos através das partículas de solos e sedimentos de sistemas aquáticos, sendo a ação influenciada principalmente pelos níveis de pH (Metcalf & Eddy, 1991).

No estudo em questão, devido à composição química natural do mineral bauxita e à adição de outros componentes, por ocasião do processo de industrialização, o alumínio e o ferro foram considerados, sendo assim determinado as suas concentrações nas águas.

1.4.7. Controle de nutrientes em tanques cultivados

O processo de oxidação de elementos nas águas residuárias, depende dos microrganismos existentes, uma vez que retiram do meio o material necessário, através da nutrição. Parte da massa orgânica existente no meio será convertida em massa bacteriana e parte será colocada à disposição de outros corpos existentes. De modo geral pode-se dizer que há exigência, por parte dos organismos, quer em elementos minerais ou em compostos orgânicos oxidáveis, necessários para o desenvolvimento de suas funções, representando desta forma o material responsável pela poluição dos esgotos (Branco, 1986).

Nutrientes importantes, como o nitrogênio e o fósforo e o parâmetro pH, coordenam o desenvolvimento e proliferação dos diferentes organismos aquáticos. O fato de os nutrientes ocorrerem naturalmente em pequenas concentrações faz com que seja mantido um equilíbrio na proliferação dos organismos. O aumento nas concentrações destes dois elementos e/ou alterações do pH, contribui para o desequilíbrio bioquímico promovendo a proliferação de organismos aquáticos e consequente eutroficação, prejudicando o abastecimento público, recreação, navegação, contaminando solos e lençóis freáticos, etc. (Derisio, 2000).

1.4.7.1. Nitrogênio na água

O nitrogênio pode ser encontrado na biosfera em várias formas e estados de oxidação; molecular, orgânico como constituinte de proteínas, clorofila e compostos orgânicos. Convertidos nas formas de amônia, nitrito, nitrato, etc., desempenham papel importante nos processos de tratamento de águas residuárias. A sua forma predominante pode definir o grau de poluição, ou seja, amônia define poluição recente e nitrato poluição remota ou estabilizada (Sperling, 1995). Quantidades, traços de elementos como ferro manganês, alumínio, cobre, zinco, etc., são necessários para o crescimento de vegetais e animais, mas na maioria dos casos, maiores quantidades de nitrogênio e fósforo são fundamentais (Metcalf & Eddy, 1991).

Nas águas residuárias, o nitrogênio encontra-se nas formas orgânica (proteínas, carboidratos, ureia, ligninas, etc.), molecular livre (N_2), amoniacal livre ou volátil (NH_3^+),

amoniaco ionizada ou estável (NH_4^+), nitrito (NO_2^-) e nitrato (NO_3^-). O processo de nitrificação, primeiro passo na remoção de nitrogênio, transforma amônia em nitrito e após em nitrato, para isso utiliza alcalinidade, oxigênio livre existente nos corpos de água e bactérias dos gêneros *Nitrosomonas* e *Nitrobacter*, estas encontradas em lodo, superfícies de partículas sólidas, raízes de vegetais, etc. (Metcalf & Eddy, 1991).

A desnitrificação é considerada o segundo passo na remoção de nitrogênio. O nitrato é convertido a nitrogênio gás através de bactérias heterotróficas em ambiente anóxico, ou seja, na ausência de oxigênio livre (Pratt et al, 2004; Vymazal, 2007; Chan et al, 2008; Zhang et al., 2008). Valor elevado de nitrogênio amoniacal em efluentes indica que nem as bactérias e nem as raízes estão conseguindo retirá-lo a ponto de promover uma redução dos níveis; o baixo nível de oxigênio existente nos meios saturados também contribui para o fato, ou seja, a amônia ionizada irá acumular devido à inibição do processo de nitrificação, tornando-se a fonte direta de nitrogênio (Metcalf & Eddy, 1991). A nitrificação pode ocorrer de forma lenta; a transformação lenta do nitrogênio amoniacal em nitratos pode ocorrer devido a um número reduzido de organismos nitrificadores, consequências de efeitos inibitórios diversos tais como: elevada salinidade, pH elevado, excesso ou falta de oxigênio, temperatura desfavorável etc. (Branco, 1986; Metcalf & Eddy, 1991). Os microrganismos responsáveis pela nitrificação são sensíveis à variação de pH e níveis de oxigênio disponível; requerem uma faixa de pH de 6,5 a 7,5 e concentração acima de 1 mg l^{-1} de oxigênio dissolvido, para que ocorra o processo de nitrificação (Branco, 1986; Metcalf & Eddy, 1991).

Em pH próximo à neutralidade, devido à presença de íons hidrogênio, a amônia apresenta-se na forma ionizada (NH_4^+), próximo a 9,5, aproximadamente, 50% estão na forma não ionizada (NH_3), 50% na forma ionizada (NH_4^+). Em pH superior a 11, praticamente toda amônia está na forma livre e volátil (NH_3), tóxica aos vegetais e organismos aquáticos (Sperling, 2002; Chernicharo, 2003).

A volatilização da amônia não ionizada (NH_3) é um importante mecanismo de remoção de nitrogênio em leitos de estabilização (Sperling, 2002). Os valores elevados de pH propiciam, além da volatilização da amônia a solubilização e insolubilização de diversos elementos, interação entre elementos essenciais, precipitação de fósforo sob a forma de fosfatos insolúveis (Branco, 1986; Sperling, 2002; Vymazal, 2007). Elevadas concentrações de íons hidrogênio favorece a concentração de amônia ionizada (Chernicharo, 2003).

Vohla, (2007), trabalhando com sistema simulado de tratamento de águas residuárias domésticas, constatou que a produção de biomassa foi afetada devido a interações entre os diferentes níveis de nitrogênio e fósforo utilizado.

O nitrogênio nas formas amoniacal e nitrato são as mais utilizadas pelos vegetais superiores, sendo este último em maior proporção.

O processo o qual o nitrogênio existente nas águas residuárias é convertido em nitrito e, após, em nitrato é conhecido por mineralização ou nitrificação biológica. A nitrificação é realizada por bactérias autótrofas quimiossintetizantes, através da oxidação de compostos nitrogenados, sendo a amônia o principal elemento (Sperling, 1996).

O processo de nitrificação ocorre em dois estágios: a) primeiramente, ocorre a transformação da amônia em nitrito, através das bactérias de gênero nitrossomonas; b) em seguida, ocorre a transformação do nitrito em nitrato por intermédio das bactérias do gênero nitrobacter. Ambos os processos requerem níveis de oxigênio acima de $1,0 \text{ mg l}^{-1}$, temperatura na faixa de 20 a 25° C e níveis de pH na faixa de 6,5 a 8,5; a conversão da amônia em nitrito consome alcalinidade (Sperling, 1996; Pratt et al. 2004). Normalmente os níveis de nitrito e nitrato, observados em águas residuárias domésticas, são baixos ou até inexistentes (Metcalf & Eddy, 1991). O predomínio do nitrato nas águas indica que o sistema encontra-se estabilizado em relação à demanda de oxigênio (Pratt et al. 2004).

Interações positivas e negativas, entre elementos como o nitrogênio e fósforo interferem na produção de massa verde (Moniz, 1975; Malavolta, 1976). Ambas as formas de amônia, ionizada e livre, são predominantes em leitos cultivados (Branco, 1986; Sperling, 1995, 2002).

1.4.7.2. Fósforo na água

O fósforo é um elemento essencial ao desenvolvimento de vegetais, algas e organismos biológicos. Por favorecer desenvolvimento de algas nas superfícies das águas, torna-se necessário controlar a quantidade de compostos de fósforo presentes nas águas residuárias, doméstica e industrial, descartados nos meios hídricos naturais. As águas residuárias domésticas são grandes fontes de fósforo, podendo ser encontradas nas formas orgânicas, como constituinte da matéria orgânica e inorgânica por meio de ortofosfatos e polifosfatos. Os ortofosfatos formas mais simples de fósforo, são metabolizados diretamente por algas e plantas aquáticas sem a necessidade de serem convertidos, podendo ser encontrados na solução do solo, nos detergentes,

fertilizantes, esgotos domésticos, etc. (Wymazal, 2007). Os polifosfatos são moléculas complexas que necessitam ser convertidas a formas mais simples para serem metabolizados. O fósforo pode ser encontrado na forma natural como componente de solos e matéria orgânica e de origem antropogênica como despejos domésticos e industriais, detergentes, excrementos de animais e fertilizantes químicos (Sperling, 1995). A forma orgânica ocorre em maior proporção em esgotos industriais, sendo encontrada principalmente nos tecidos dos organismos existentes e resíduos orgânicos diversos (Sperling, 1995; Vymasal, 2007).

Aproximadamente 10% do fósforo presente nas águas residuárias, encontram - se na forma insolúvel, passível de ser retirado na fase primária do tratamento. Parte do fósforo existente pode ser encontrada como elemento constituinte das células dos tecidos de bactérias e algas; remoções biológicas adicionais ocorrem devido à maioria do fósforo presente, após a sedimentação inicial, encontrar-se na forma solúvel. Os esgotos domésticos são os principais responsáveis pela elevada quantidade de fósforo presentes nas águas residuárias, cerca de 4 a 15 mg l⁻¹ de fósforo são encontrados nas formas de fosfatos orgânicos, ortofosfatos e polifosfatos (Metcalf & Eddy, 1991; Sperling, 1995).

A remoção de fósforo pode ser realizada por meio de métodos químicos e/ou físicos. Precipitação química, na forma de fosfatos não disponíveis aos vegetais, ocorre através da presença de sais de ferro, cálcio, alumínio, etc., ou, mais comumente, através do uso de rochas ou substratos que contenham os referidos elementos e que promovam a elevação do pH (Huett et al, 2005; Vymasal, 2003; Vymasal, 2007). O processo de filtração normalmente é usado através de associações com processos químico, biológico, etc. Remoções significativas de fósforo em condições de tratamento natural ocorrem principalmente em virtude dos processos de precipitação e sorção, devidas o material usado como meio filtrante e/ou suporte de vegetais (Xu et al., 2006).

Os vegetais removem poucas quantidades, sendo que maiores quantidades são retiradas, segundo as quantidades de cortes e, durante o período de crescimento; maiores concentrações são encontradas nas partes subterrâneas (Xu et al, 2006; Chan et al, 2008). Vymasal, (2007); Chan et al, (2008); Cui et al, (2010) Bowden et al, (2009) citam que o processo de sorção ocorre principalmente devido às características físicas e químicas dos materiais utilizados como substratos, compreendendo pelos processos de absorção e adsorção de íons em condições de pH

acima de 7,0; pH acima de 8,5 promove condição desfavorável ao desenvolvimento e atuação de diversos tipos bactérias (Branco, 1976).

A capacidade de retenção de fósforo pelo meio suporte é finita, reduzindo com o passar do período, fato este relacionado à saturação do meio e à formação de biofilmes nas superfícies dos materiais filtrantes (Bashan et al, 2004; Seo et al, 2005; Vohla et al, 2007; Chan et al, 2008). Vymasal (2003) e Vymasal et al, (2007) citam que a remoção de fósforo, varia de 40 a 60%, dependendo principalmente das características físicas e química do substrato utilizado, do vegetal utilizado, do clima, do tempo de detenção hidráulica, etc.

Sarafraz et al., (2009) observaram remoção de 76% a 81% de fósforo pelos substratos cascalhos de rochas e Zeólita, sendo os vegetais *Phragmites australis* e *Juncus inflexus* responsáveis pela retirada de 13% e 12% respectivamente; Cui et al., (2010) constataram retirada de 8-13% de fósforo pelo vegetal *Canna limbata* e de 44,6% a 88,7% pelo processo de sorção e precipitação, sendo a escórias de alto forno a principal responsável pela maior quantidade removida. O fenômeno é atribuído principalmente às características físicas e aos elementos constituintes do referido substrato. Chan et al., (2008) trabalhando com esgotos domésticos em batelada, escória de carvão mineral como meio filtrante e o vegetal *Cyperus alternifolius* verificaram que remoção média de fósforo pelo sistema em fase de operação foi de 41,7%, sendo que deste montante 69,1%; 26,1% e 4,7% foram retirados concomitante por adsorção, microrganismos e vegetal.

A forma na qual o fósforo se apresenta em águas residuárias depende do pH e da presença de íons cálcio, magnésio, alumínio, ferro, etc.. Valores elevados, além de promover a solubilização, insolubilização e interação entre elementos essenciais ou não, aos vegetais, propiciam a imobilização e precipitação do fósforo, sob a forma de Apatita, Hidroxiapatita, Variscita, Vivianita, Wavelita, etc., tornando-os indisponíveis aos vegetais e algas (Moniz, 1975; Malavolta, 1976; Branco, 1986; Sperling, 2002; de-Bashan et al., 2004; Huett et al., 2005; Xu et al., 2006 ; Vymasal, 2007; Chan et al., 2008; Seo et al., 2008; Zhang et al., 2008; Cui et al., 2010).

Capítulo. 4.

1. Material e Métodos

1.1. Local de instalação e condução do sistema

O sistema foi instalado e conduzido no Campo Experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola-FEAGRI, na Universidade Estadual de Campinas, Cidade Universitária “Zeferino Vaz”, distrito de Barão Geraldo, Município de Campinas, SP, posição geográfica definida pelas coordenadas 22° 53′ 22” Latitude S e 47° 04′ 39” Longitude W, clima mesotérmico com inverno seco e verão úmido, temperaturas acima de 22° C no verão e abaixo de 18° C no inverno, e precipitações médias anuais de 1.383 mm. O trabalho foi conduzido no período de setembro de 2009 a fevereiro de 2010.

1.2. Águas residuárias

As águas residuárias são originadas de sanitários, laboratórios, oficinas mecânicas, cozinhas e lanchonete, da Faculdade de Engenharia Agrícola e parte da Unidade da Genética, que fazem uso de sabões, detergentes, desinfetantes e outros produtos de limpeza.

Atualmente são produzidos em média 14 m³ de águas residuárias por dia. Parte destas águas já é tratada no campus da Faculdade através de sistemas naturais e o restante é destinado à rede coletora local. Inicialmente, as águas passam por um tanque com grades e separador de areia; após, seguem para reatores anaeróbios compartimentados (Figura 4.1). As águas da saída dos reatores são armazenadas em 2 reservatórios de 1.500 litros, cujo objetivo é uniformizar a distribuição dos afluentes nos leitos cultivados (Figura 4.2). As águas residuárias passam inicialmente por uma primeira bateria de leitos cultivados com plantas aquáticas e meio suporte de pedras britas (Figura 4.3). Em seguida os efluentes são conduzidos aos leitos cultivados, contendo vegetais e crostas de eletrofusão do mineral bauxita.



Figura 4.1. Reatores anaeróbios



Figura 4.2. Caixas distribuidoras dos afluentes para os leitos cultivados



(a) Leitos com britas e plantas



(b) Desenvolvimento das plantas

Figuras 4.3. Leitos com britas e plantas aquáticas.

1.3. Leitos cultivados com substrato crostas de eletrofusão da bauxita

O estudo utilizou 6 leitos construídos em fibras de vidro, dispostos em 3 blocos unidos em série de duas unidades, com dimensão de 4m de comprimento por 3m de largura por 1m de profundidade, perfazendo uma área de 12 m² e um volume de 12 m³ cada unidade. Os leitos de montante e jusante foram locados com uma diferença de altura de 30 cm. Todos eles foram posicionados com uma inclinação de 1%, com objetivo foi manter o fluxo das águas residuárias (Konnerup et al.,2009). A Figura 4.4 mostra a disposição do experimento e a designação de cada leito.

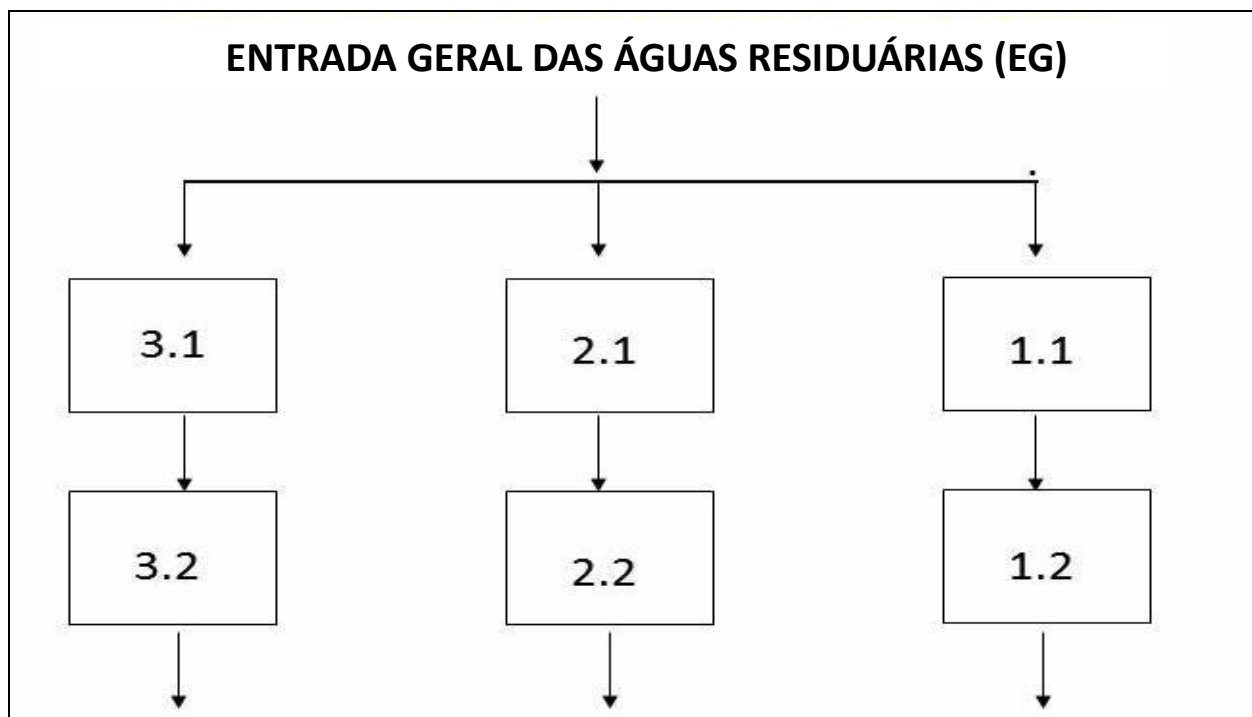


Figura 4.4. Disposição dos leitos e direcionamento dos fluxos.

Inicialmente, o local foi preparado com máquina retroescavadeira e finalizado pelos trabalhadores do Campo experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola (Figuras 4.5). Após o posicionamento dos tanques no solo, os mesmos foram interligados com conexões, tubos, registros de P.V.C. e enterrados a uma altura de 80 cm. O esquema de interligação dos leitos permitiu amostragem das águas de entrada e saídas, separadamente.

Cada leito recebeu, em sua base, placas de isopor, sobre as quais foi colocada uma camada de manta sintética, cujo propósito foi, além de amortecer o peso dos substratos, evitar rupturas (Vohla., et al 2007) (Figura 4.6).

Para a saída das águas dos leitos foram colocados tubos de PVC de 5 cm de diâmetro, 25 cm de comprimento e tampado em uma das extremidades. Os tubos foram totalmente perfurados com orifícios de 8 mm e cobertos com uma camada de crostas de 3cm (Figuras 4.7 e 4.8). Esse procedimento foi realizado para reduzir as possibilidades de entupimento nas saídas dos leitos.



(a) Remoção de solo



(b) Nivelamento das bases



(c) Alocação dos tanques



(d) Interligação



(e) Acomodação do solo



(f) Finalização

Figura 4.5. Locação e posicionamento dos leitos.



(a) Posicionamento das placas



(b) Revestimento total da base



(c) Acomodação da manta



(d) Colocação final

Figuras 4.6. Manta sintética sobre as placas de isopor.



Figura 4.7. Tubo para saída das águas dos leitos



Figura 4.8. Instalação do tubo de saída das águas dos leitos

1.4. Substrato

O mineral Bauxita, formado pela ação do intemperismo sobre os aluminossilicatos em regiões tropicais e subtropicais, é o minério de maior importância para a obtenção do alumínio. Originada de rocha contendo hidróxidos de alumínio hidratados, na forma de minerais de Gipsita, Boemita e Diásporo, reagem com ácidos existentes nos solos formando hidróxidos e silicatos de alumínio hidratados. Outros constituintes importantes da Bauxita são os óxidos de ferro, de silício e de titânio.

Após retirada do solo, a bauxita bruta é transportada para a fábrica de alumínio, onde é moída e incorporada solução de soda cáustica, transformando-a em uma pasta com alta concentração de sólidos, viabilizando a obtenção da alumina e do alumínio. Por meio de precipitadores a alumina hidratada é precipitada e, em seguida, lavada e seca, gerando a alumina, primeiro processo de produção do alumínio (Andrade et al. 2006).

No processo de industrialização do mineral pelas Indústrias Elfusa Geral de Eletrofusão Ltda, a bauxita bruta após ser calcinada em forno rotativo a 1.800° C pela indústria Alcoa alumínio S/A, na cidade Poços de Caldas, MG, é transportada até a indústria Elfusa, localizada no município de São João da Boa Vista, SP, Brasil.

Após ser misturada a carvão e outros produtos, sofre fusão em fornos a arco voltaico a temperatura de 2.200° C durante 21 horas. O bloco fundido de 25 a 30 toneladas, após ser resfriado naturalmente se rompe separando as partes constituídas pelo óxido de alumínio marrom, utilizado na produção de abrasivos pela indústria e material residual inservível. O resíduo gerado, em média 40 toneladas por mês, conhecido pelo nome de crostas de eletrofusão, após ser triturado é depositado em locais próximos da indústria (Figura 4.9).

A composição química desse material residual é constituída principalmente pelos elementos da Bauxita e materiais adicionados no decorrer dos procedimentos industriais. A temperatura à qual é submetido confere ao subproduto as seguintes constituições médias de elementos, na forma de óxidos: TiO_2 (3,28%), SiO_2 (5,33%), Fe_2O_3 (19,65%), ZrO_2 (0,49%), MnO (0,28%), Al_2O_3 (70,10%), P_2O_5 (0,33%), CaO (0,17%), MgO (0,06%), Na_2O (0,21%) e K_2O (0,05%). Os óxidos presentes nos resíduos e suas porcentagens médias foram fornecidos pelas Indústrias Elfusa Geral de Eletrofusão Ltda.



Figura 4.9. Resíduo industrial

1.5. Abastecimento dos leitos

Os leitos foram divididos em 3 blocos, cada bloco constituído por 2 leitos. Cada leito foi abastecido com o substrato até a altura de 60 cm, correspondente ao volume de 7,2 m³. O substrato utilizado foi disponibilizado pela empresa em três diâmetros médios, correspondentes a 3 cm, 2 cm e 1 cm. Assim, cada bloco foi preenchido como:

- Bloco 1- crostas de 1 cm colocadas nos leitos 1.1 e 1.2, densidade de 2,03 toneladas/m³.
- Bloco 2- crostas de 2 cm colocadas nos leitos 2.1 e 2.2, densidade de 2,08 toneladas/m³.
- Bloco 3- crostas de 3 cm colocadas nos leitos 3.1 e 3.2, densidade de 2,15 toneladas/m³.

A Figura 4.10 mostra o abastecimento dos tanques.

Para as amostragens de água no interior dos leitos foram instalados tubos de inspeção nas posições centrais das metades superior e inferior de cada leito (Figura 4.11).

Todos os leitos receberam uma camada superficial de 5 cm de britas 3, cujo objetivo foi evitar aquecimento excessivo da superfície e o contato direto com a atmosfera (Figura 4.12.). Após o abastecimento dos leitos foi realizada a passagem de água comum para retirar o pó fino e outras impurezas presentes.



(a) Movimentação das embalagens



(b) Descarregamento

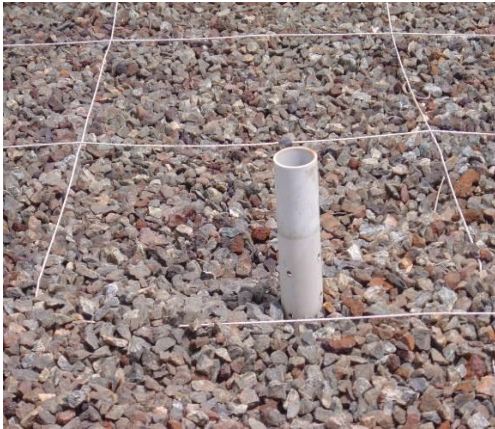


(b) Distribuição



(d) Homogeneização

Figura 4.10. Abastecimento dos leitos



(a) Tubo de inspeção



(b) Posicionamento dos tubos

Figuras 4.11. Tubos de inspeção



(a) Colocação da brita



(b) Passagem de água

Figura 4.12. Camada de britas

1.6. Captação e distribuição das águas residuárias

Os efluentes, após passarem pelos leitos contendo britas e vegetais aquáticos foram captados, através de um tubo de PVC de 15 cm, até uma caixa sifonada de 20cm de diâmetro. A caixa sifonada divide as águas de entrada em 3 saídas sem bloqueio, cuja finalidade é promover vazões livres, distribuições individuais e uniformes (Figuras 4.13, 4.14 e 4.15). A altura da coluna de água, definida pelas alturas das saídas, foi de aproximadamente 60 cm para todos os tanques, a mesma considerada para o substrato.

As entradas das águas foram efetuadas pelas superfícies nas posições superiores (Figuras 4.16 e 4.17). As águas efluentes saídas dos leitos inferiores foram direcionadas para rede local de coletas (figura 4.18).



Figura 4.13. Captação das águas



Figura 4.14. Caixa sifonada e saídas



Figura 4.15. Condução das águas



Figura 4.16. Entrada das águas



Figura 4.17. Entrada das águas.



Figura 4.18. Saída das águas

A determinação dos espaços vazios e os ocupados pelas crostas foram realizados em laboratório. O procedimento foi realizado por meio de provetas de 1 litro, que foram completadas individualmente com crostas e água, determinando as densidades e volumes livres ou os espaços vazios.

1.7. Plantas aquáticas utilizadas

Pesquisas confirmam o efeito positivo por ocasião do uso de plantas aquáticas em leitos cultivados como auxiliares no tratamento natural de efluentes domésticos. Os vegetais não só retiram nutrientes como aumentam a capacidade de transferência de oxigênio na zona de raízes, melhoram a estética do ambiente, atenuam o efeito do odor, reduzem incidência de insetos, e outras (Metcalf & Eddy, 1991). Neste trabalho, foram utilizadas plantas aquáticas emergentes, ou seja, aquelas cujo sistema radicular é fixado ao substrato, sendo que os caules e folhas não ficam submersos. As plantas utilizadas foram as seguintes:

1.7.1. *Typha latifolia*

Planta Monocotiledônea, ordem *Pandanales*, família *Typhaceae*, conhecida popularmente por taboa, paineira-de-flecha, paineira do brejo, etc. São vegetais perenes com folhas lineares e ausência de caule, raízes rizomatosas, desenvolvem em lagos, represas, banhados, possuem com altura média 2,5 metros, inflorescências densas formando panículas cilíndricas. Sua propagação pode ser feita por fragmentos de rizomas ou por sementes (Lorenzi, 1981) (Figura 4.19).

1.7.2. *Canna limbata*

Planta Dicotiledônea, família *Cannaceae*, conhecida popularmente por biri-silvestre, bananeirinha do brejo. São vegetais perenes, originários do continente americano, desenvolvem em solos úmidos ou encharcados e são reproduzidos por rizomas, mudas e sementes. Possuem altura média de 1,2m e suas folhas e flores são ornamentais (Lorenzi, 1981) (Figura 4.20).

1.7.3. *Cyperus prolifer*

Planta Monocotiledônea, família *Cyperaceae*, conhecida popularmente por papiro anão, papiro. São vegetais perenes, originários do continente africano, com desenvolvimento de hastes em cujas pontas inserem as flores e as folhas que são curtas e lineares. Possuem sistema radicular desenvolvido, toleram ambientes alcalinos e se reproduzem por sementes, touceiras, parte de rizomas ou pela inflorescência juntamente com uma pequena porção de haste. Desenvolve em solos úmidos ou encharcados a pleno sol, crescem em média 60 centímetros (Lorenzi, 1981) (Figura 4.21).



Figura 4.19. *Typha*



Figura 4.20. *Canna limbata*



Figura 4.21. *Cyperus prolifer*

1.8. Plantio dos vegetais

Em 01 de Agosto de 2009, foram plantados nos leitos 3.1, 3.2, 2.1, 2.2, 1.1 e 1.2, respectivamente 60, 60 e 150 mudas dos vegetais *Typha*, *Canna Limbata* e *Cyperus prolifer*. As mudas de *Thypha* e *Canna limbata* foram obtidas em viveiro de plantas ornamentais próximo ao local. Quanto às mudas de *Cyperus* foram obtidas nos canteiros vegetados no próprio local do experimento (Figuras 4.22. e 4.23).



(a) Posicionamento



(b) Plantio das mudas

Figuras 4.22. Plantio das mudas nos leitos.



(a) *Cyperus prolifer*



(b) *Canna limbata*



(c) *Typha latifolia*

Figuras 4.23. Plantas em desenvolvimento.

Capítulo. 5.

1. Monitoramento

Monitorar significa acompanhar procedimentos cujas alterações podem ocorrer ao longo de um determinado período, sendo necessário o uso de parâmetros ou dispositivos capazes de identificar o desempenho destas atividades. Neste estudo, vários parâmetros foram utilizados no decorrer das atividades.

1.1. Clima

As informações relativas ao clima foram obtidas através do posto meteorológico situado no campus da Faculdade de Engenharia Agrícola.

1.2. Águas residuárias

Considerando a forma pela qual o sistema foi constituído, os 3 primeiros leitos a montantes, ou seja, 3.1, 2.1 e 1.1, receberam primeiramente as águas residuárias, passando-as para os leitos posteriores ou jusante, ou seja, 3.2, 2.2 e 1.2, desta forma os efluentes originados pelos leitos anteriores passaram a ser considerados afluentes para os leitos posteriores.

O período de monitoração das águas teve início em 01 de agosto de 2009, por ocasião do plantio dos vegetais nos leitos. Passados 45 dias, tempo de aclimação dos vegetais, ou seja, em 15 de setembro do mesmo ano, foi iniciado o acompanhamento semanal por meio da coleta de amostras de águas, até 18 de fevereiro de 2010, totalizando 158 dias de coletas. Foram excluídos os sábados, domingos e feriados.

1.3. Escalas temporais de monitoramento.

1.3.1. Escala Horária

A escala usada por ocasião do monitoramento das águas foi de duas em duas horas, sendo um dia aleatório por semana, utilizado por ocasião das amostragens. O período diário de amostragem de 10 horas teve início às 08:30 horas e terminou às 18:30 horas.

As amostras de águas foram coletadas em apenas uma das Entradas Gerais (EG) e nas saídas dos leitos, conforme os seguintes horários: 9:30; 11:30; 13:30; 15:30 e 17:30 horas, sendo coletados 35 amostras por dia. O volume de cada amostra coletada foi de aproximadamente 500

ml, quantidade superior ao requerido para a realização das análises rotineiras, bem como a realização de repetições.

1.3.2. Escala diária - composição de amostras compostas

Parte do volume das amostras simples, coletadas durante um dia por semana, nos diferentes horários, foram separadas para a determinação da concentração de fósforo. As amostras compostas diárias foram constituídas para a determinação dos demais elementos. A composição foi efetuada considerando das quantidades necessárias para as análises e as vazões de saída de cada leito.

1.3.3. Vazões de entrada e saída de águas nos leitos cultivados

As Vazões (V) de entrada e saída dos leitos foram realizadas pelo método direto, com utilização de uma proveta de 1 litro e fixado um intervalo de coleta de 10 segundos. Os volumes medidos foram utilizados para o cálculo da vazão média horária. Com o cálculo das vazões médias horárias nos horários 09:30; 11:30; 13:30; 15:30 e 17:30 horas, foi possível calcular a vazão média diária de entrada e saída em cada leito.

1.3.4. Tempo de Detenção Hidráulica

Tempo de detenção hidráulica (TDH) é intervalo médio que as águas residuárias permanecem nos leitos. Para obter o tempo de detenção hidráulico diário foram considerados as vazões médias diárias e os volumes ocupados pelas águas em cada leito. Com os valores de vazões médias diárias foi possível calcular os volumes totais de entrada de água.

1.3.5. Monitoramento da qualidade das águas de entrada e saída dos leitos.

1.3.5.1. Análises das amostras simples

As qualidades foram monitoradas por meio dos resultados analíticos das amostras colhidas segundo a escala horária, ou seja, amostragens realizadas às 9:30; 11:30; 13:30; 15:30 e 17:30 horas. Os parâmetros considerados foram os seguintes:

- pH - realizado no local, logo após a coleta das águas, com uso de peagâmetro portátil marca Instrutherm, modelo PH-1800, aferido contra peagâmetro de eletrôdo, marca Digimed DM 20.

- Oxigênio Dissolvido (OD) – realizado no local usando medidor de membrana, marca Instrutherm, modelo PH-1500/ OS- 50753 e sensor de oxigênio dissolvido modelo OS-400/50753, aferidos com aparelho YSI 55 existente no laboratório (mg l^{-1}).

- Condutividade Elétrica (CE) – realizado no local por meio de medidor marca Instrutherm modelo PH-1500/ OS- 50753 e sensor de condutividade modelo SC-100. Aferido com condutivímetro marca Digimed existente no laboratório. Unidade ($\mu\text{S.cm}^{-1}$).

- Temperatura (T) – realizada no local, por meio do medidor de oxigênio livre, que fornece ao mesmo tempo os dois parâmetros ($^{\circ}\text{C}$).

- Fósforo (P) - realizado no laboratório da Faculdade de Engenharia de Alimentos; método Phos Ver3 com digestão e posterior leitura em espectrofotômetro DR 2010 (mg l^{-1}).

1.3.5.2. Análises das amostras compostas

As análises das amostras compostas determinaram os seguintes parâmetros: Amônia, Nitrito, Nitrato, Demanda Química de Oxigênio (DQO). Essas amostras foram obtidas ao final de cada dia de monitoramento com auxílio dos valores de vazão medidos ao longo do dia. Os métodos para determinação dos parâmetros foram os seguintes:

- Amônia - realizada por meio do analisador marca Analyser, método 4500 nitrato D. unidade em miligramas por litro (mg l^{-1}).

- Nitrito (NO_2^{-1}) - realizado por meio do método Nitra Ver 5, leituras em colorimetria por meio de espectrofotômetro DR 2010. Unidade em miligramas por litro (mg l^{-1}).

- Nitrato (NO_3^{-1}) realizado por meio do método Nitra Ver 5, leituras em colorimetria em espectrofotômetro DR 2010. Unidade em miligramas por litro (mg l^{-1}).

- Demanda Química de Oxigênio (DQO) - realizado por meio do uso de dicromato de potássio e reator HACH, faixa de 0 a 150 mg l^{-1} e posterior determinação colorimétrica em espectrofotômetro DR-2010. Unidade em miligramas por litro (mg l^{-1}).

1.3.6. Carga ou vazão mássica

A carga ou vazão mássica representa o fluxo em massa de entrada e de saída dos leitos cultivados dos parâmetros considerados: Fósforo, Amônia, Nitrito, Nitrato. O cálculo das cargas foi realizado considerando os produtos dos valores dos volumes de águas de entrada e saída pelos valores de concentração dos parâmetros considerados.

1.3.7. Monitoramento do desenvolvimento da vegetação

1.3.7.1. Período

O período monitorado iniciou-se após plantio e terminou com a colheita da massa vegetal produzida no de período de 158 dias. Durante esse período foram realizadas apenas remoção de plantas daninhas e replantio de algumas mudas de *Thypha* e *Canna limbata*.

1.3.7.2. Altura

Para determinar a altura das plantas, foi considerado um quadrante aleatório de 0,125m² (0,5m por 0,5m), localizado nas metades superior e inferior de cada leito, constituído por plantas cuja altura média representou a população do local (Figura 5.1). As medições foram realizadas considerando a distância a partir da base, rente ao substrato, até a altura média máxima representativa da unidade. Os dias de medição foram: 29/09/2009; 06/10/2009; 15/10/2009; 27/10/2009; 06/11/2009; 17/11/2009; 03/12/2009; 17/12/2009; 07/01/2010; 11/01/2010 e 26/01/2010.

1.3.7.3. Área foliar

A determinação da área foliar foi realizada, em folhas retiradas dos vegetais, por meio de aproximação de figuras geométricas nas superfícies foliares (Marshall, 1969) (Figuras 5.2 e 5.3).

A determinação foi realizada no local, somente uma vez, por ocasião do corte total da vegetação em 19 de fevereiro de 2010. As plantas foram colhidas integralmente com a utilização de um cortador mecânico movido a gasolina, sendo os cortes realizados próximos aos substratos. Os leitos foram divididos em duas partes (superior e inferior) e em quadrantes de 0,5m por 0,5 m (0,125 m²). Foi escolhido aleatoriamente um quadrante representativo da população de vegetais, recolheu - se parte da vegetação e calculou-se a área foliar de cada uma delas, utilizando

aproximação à figura geométrica. Os valores foram extrapolados para todo leito. Para o *Cyperus prolifer* foi utilizado outro procedimento, uma vez que as suas folhas apresentam a forma de filetes. Parte da vegetação colhida em 19 de fevereiro de 2010 teve os filetes removidos, contados e agrupados segundo diferentes tamanhos. Os comprimentos e diâmetros médios foram determinados por meio do uso de paquímetro digital. De posse destas informações as áreas foliares das plantas selecionadas foram calculadas e extrapoladas para a área total do leito, conforme descrito para os vegetais *Thypha* e *Canna limbata*. (Figuras 5.4).



(a) *Typha latifolia*

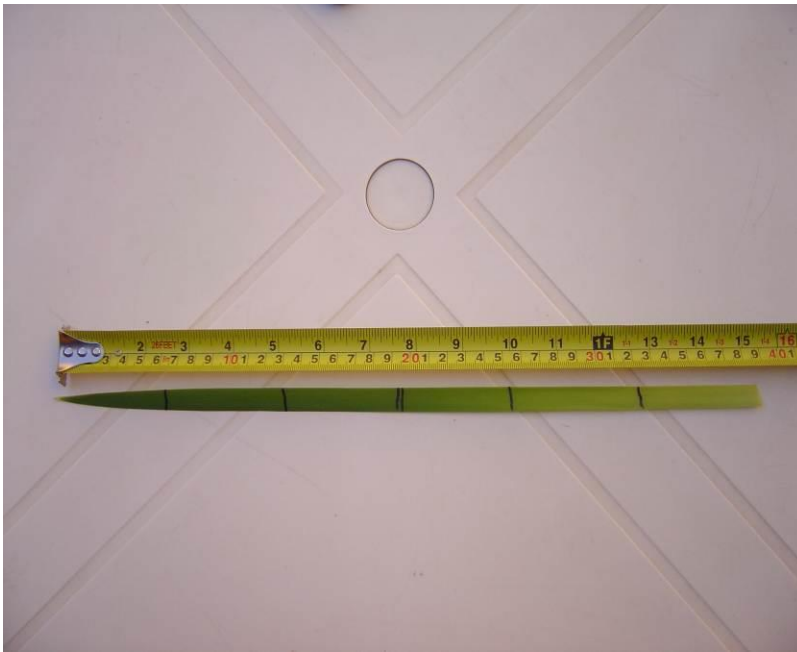


(b) *Canna limbata*



(c) *Cyperus prolifer*

Figura 5.1. Monitoramento das alturas



(a) Medida do comprimento



(b) Medida das larguras

Figuras 5.2. Medição da área foliar da *Typha*.



(a) Medida do comprimento



(b) Medida das larguras

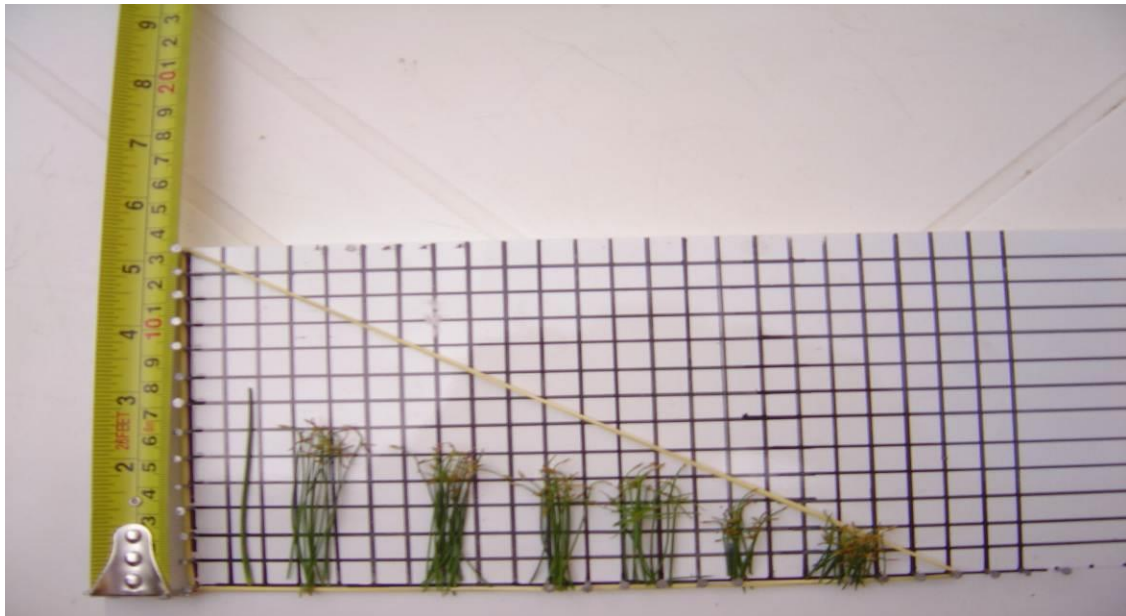
Figuras 5.3. Medição da área foliar da *Canna*



(a) Medida do comprimento



(b) Medida do diâmetro



(c) Quantidades e comprimentos médios de filetes

Figuras 5.4. Medição da área foliar do *Cyperus*

1.3.7.4. Quantificações da massa vegetal produzida

A massa vegetal total foi composta pelas partes aérea e subterrânea, sendo esta última constituída pelas raízes e rizomas dos vegetais. A quantidade de massa vegetal foi definida em 19 de fevereiro de 2010 por ocasião do corte total dos vegetais. As massas foram colhidas separadamente segundo as metades superior e inferior de cada leito.

1.3.7.4.1. Massa vegetal aérea

O material cortado foi colhido, imediatamente pesado e picado em pedaços pequenos por meio de um picador elétrico. Uma determinada quantidade de material foi retirada, embalada em sacos de papel, identificada, pesada e colocada em estufa para secar. Assim, com os valores das massas seca e verde, por extrapolação, calculou-se o valor total da massa de cada leito.

1.3.7.4.2. Massa vegetal subaquática (raízes e rizomas)

Foi escolhido um quadrante representativo para retirar toda massa subaquática. O trabalho foi realizado cuidadosamente de tal maneira que os rizomas e raízes não fossem danificadas ou perdidas. Os rizomas e raízes foram separados, limpos, pesados (massa verde), colocados em sacos de papel, identificados e secos em estufa. Por extrapolação calculou-se a massa total de cada leito.

1.3.7.5. Quantificação química da massa vegetal produzida

Amostras de massas vegetal aérea e subaquática (rizomas e raízes), secas e moídas foram encaminhadas ao Laboratório de Análises de Solos, Fertilizantes e Material Vegetal da Faculdade de Agronomia de Espírito Santo do Pinhal, SP - UNIPINHAL, para serem determinadas apenas as concentrações de fósforo e nitrogênio. Não foi objetivo específico do estudo, considerar o ferro e o alumínio, devido às baixas concentrações apresentadas nas águas residuárias, conforme mostra a Tabela 6.1.

Capítulo. 6.

Resultados do experimento de campo

O período monitorado iniciou – se em 15 de setembro de 2009 e terminou em 18 de fevereiro de 2010, constituído pelas coletas das amostras de águas residuárias e medições das vazões na entrada geral e saídas dos leitos. As coletas de amostras e medições foram realizadas de 2 em 2 horas, 1 dia aleatório por semana, iniciando as 8:30 horas e encerrando as 17:30 horas, perfazendo 10 horas por dia. As informações relativas ao crescimento médio dos vegetais foram obtidas a partir de 29 de setembro de 2009.

A Tabela 6.1 mostra as características das águas residuárias antes de passarem pelos leitos cultivados contendo as crostas.

Tabela 6.1. Características médias das águas residuárias de entrada nos leitos cultivados, ocorridas durante o período monitorado.

Parâmetros	Média	Desvio padrão
Temperatura. (°C)	26,10	2,39
pH	6,80	0,05
Amônia (mg/l)	16,60	0,71
Nitrito(mg/l)	1,00	10,64
Nitrato(mg/l)	0,80	8,01
Fósforo(mg/l)	5,30	0,86
Alumínio(mg/l)	0,02	0,02
Ferro(mg/l)	0,25	0,29
CE(μS/cm)	669	138
OD(mg/l)	2,60	0,24
DQO(mg/l)	51,10	19,55

1. Leitos cultivados com *Typha* nos leitos T3.1 e T3.2. Série *Typha*.

1.1. Vazões de entradas e saídas nos leitos T3.1 e T3.2.

Os leitos cultivados com o vegetal *Typha*, fazem parte do bloco 3. Ambos os leitos, T3.1 e T3.2, foram abastecidos com crostas de eletrofusão de bauxita, diâmetro médio de 3 cm. As posições das amostragens foram representadas pelas siglas: EG - Entrada Geral de afluente; ST3.1- saída do efluente do primeiro leito, rumo ao segundo leito e ST3.2., saída de efluente do segundo leito para a rede geral de esgotos.

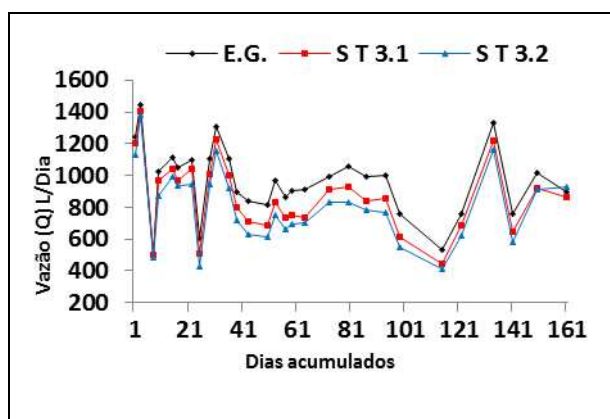
A Figura 6.1 apresenta as vazões médias nas posições de entrada (EG) e saídas dos leitos T3.1 e T3.2. A Figura 6.1a mostra que as vazões médias diárias apresentaram variações, sendo mais acentuadas no início e no final do período monitorado. A figura 6.1b mostra as vazões médias segundo o período monitorado e respectivas posições das amostragens. Observa-se que as vazões decresceram conforme as posições consideradas. As Figuras 6.1c e 6.1d mostram as vazões conforme posições das amostragens, horários das coletas das águas residuárias durante os dias 23/10/09 e 14/01/2010. Verifica-se, no dia 23, que as maiores vazões ocorreram nos horários das 11:30 e 15:30 horas, período de maior concentração de alunos na escola. Já no dia 14 as vazões mostraram - se crescentes, no decorrer do período, provavelmente devido à falta de água no primeiro período e, após, elevação devido a serviços de limpeza nos prédios, etc.

Durante o período monitorado, as vazões médias diárias, mostradas pela tabela 7.1, nas posições EG, ST3.1 e ST3.2, foram respectivamente 962; 864 e 804 l/dia, relativos a evapotranspiração potencial de 158 l/dia; sendo 98 l/dia no T3.1 e 60 l/dia no T3.2, correspondendo a uma lâmina de água evaporada de 13 mm/dia.

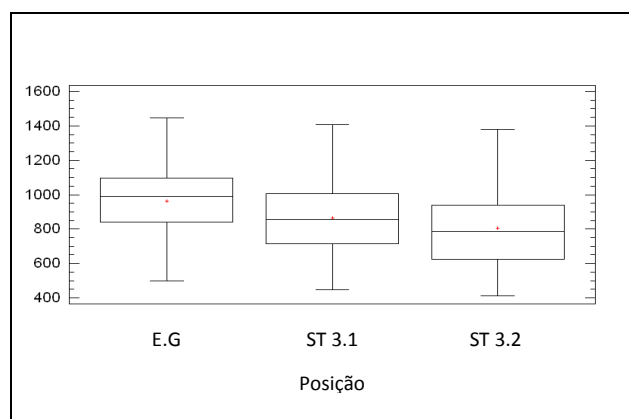
1.2. Tempo de Detenção Hidráulica nos leitos T3.1 e T3.2

A Figura 6.2 mostra os tempos médios de detenções hidráulica nos tanques T3.1 e T3.2. Observa-se por meio da Figura 6.2a que os tempos de detenções aumentaram segundo as saídas ST3.1 e ST3.2, fato observado na Figura 6.2b; observa-se também que os tempos de detenções médios foram menores no decorrer do período de 41 a 101 dias amostrados. Os valores tempos de detenção hidráulica, nos tanques T3.1 e T3.2, conforme as posições, foram de 4,2 e 4,6 dias.

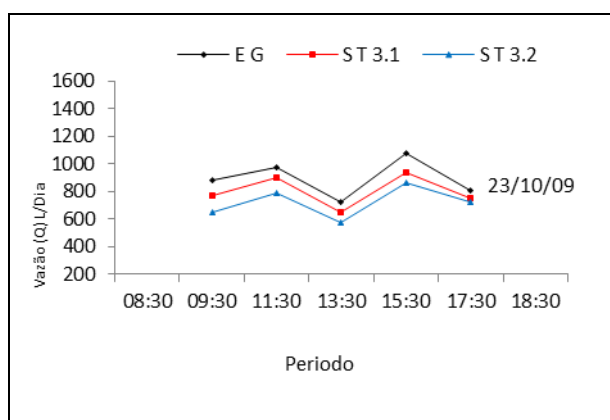
As Figuras 6.1c e 6.2c mostram que os maiores tempos de detenção hidráulica ocorreram de manhã, meio e final do dia 23/10/2009; o mesmo não ocorreu durante o período do dia 14/01/2010, fato já citado anteriormente em Vazões.



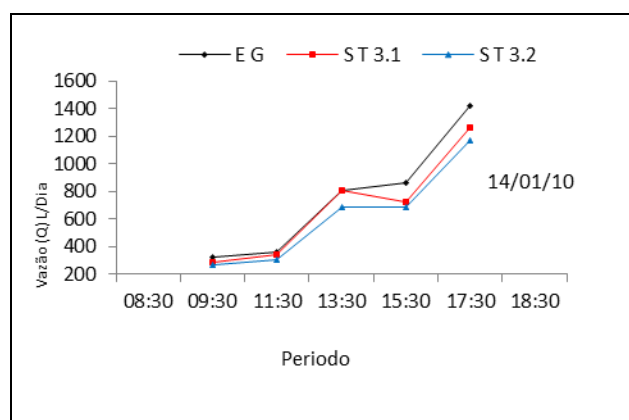
(a) Valores médios – dias acumulados



(b) Valores médios - posições

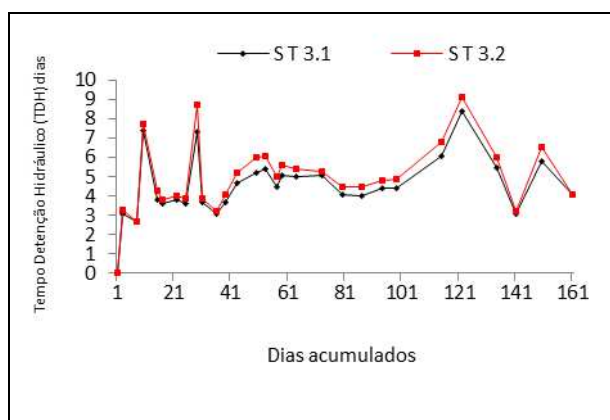


(c) Valores horários - dia

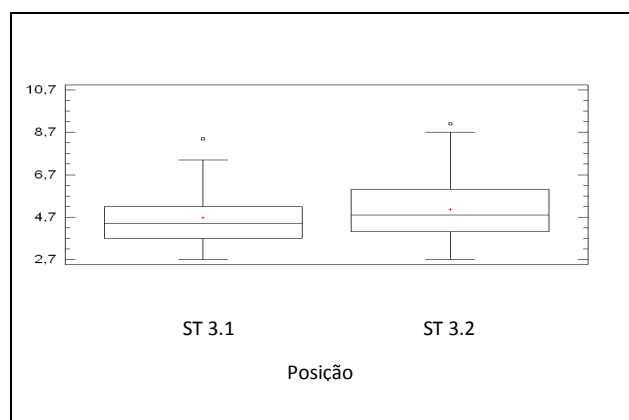


(d) Valores horários - dia

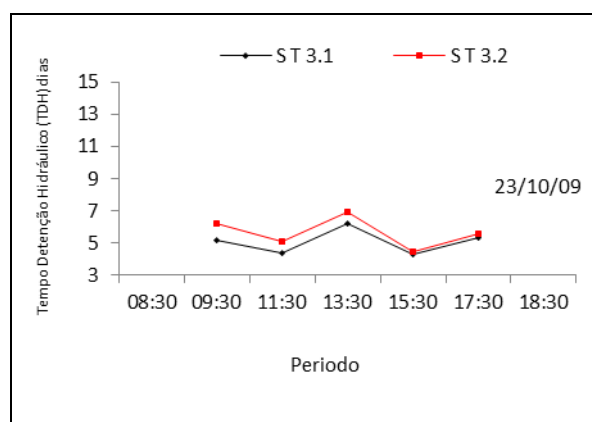
Figura 6.1. Vazões de entrada e saídas nos leitos cultivados T3.1 e T3.2.



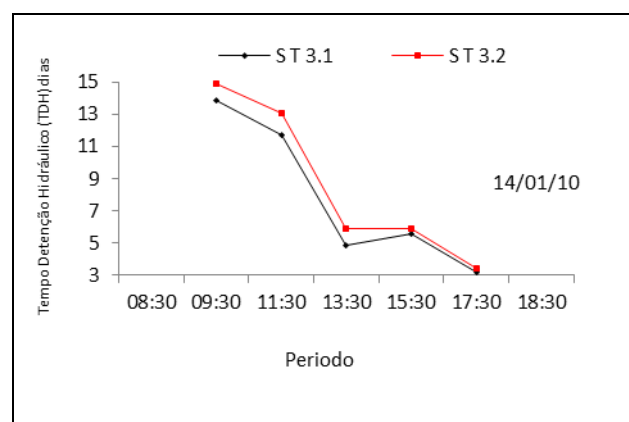
(a) Valores médios - dias acumulados



(b) Valores médios - posições



(c) Valores horários - dia



(d) Valores horários - dia

Figura 6.2. Tempo de Detenção Hidráulica nos leitos cultivados T3.1 e T3.2.

1.3. Parâmetros de qualidade de água nos leitos T3.1 e T3.2

Os parâmetros de qualidade da água para avaliação dos leitos cultivados foram: Temperatura da Água, pH, Concentrações de Amônia, Nitrito, Nitrato, Fósforo Total, Ferro, Alumínio, Oxigênio Dissolvido, Demanda Química de Oxigênio e Condutividade Elétrica.

a. Valores de temperatura da água nos leitos T3.1 e T3.2

A Figura 6.3 mostra os valores de temperatura de entrada e saída dos leitos cultivados. A Figura 6.3a mostra que as temperaturas variaram e aumentou a partir do vigésimo dia de amostragem, período compreendido entre o final de setembro e início de outubro. A Figura 6.3b mostra que as temperaturas médias, segundo as posições consideradas, foram de 26; 25,5 e 25,0; ocorrendo redução da temperatura após as águas passarem pelos leitos T3.1 e T3.2 e, as diferenças foram de 0,4°C e 0,5°C.

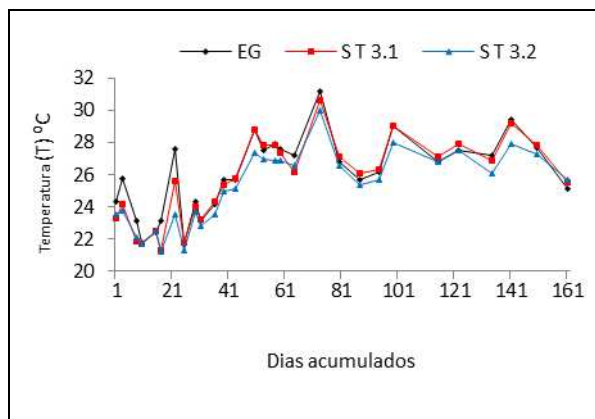
As Figuras 6.3c e 6.3d mostram aumento das temperaturas no decorrer das horas dos dias considerados.

b. Valores de pH da água nos leitos T3.1 e T3.2

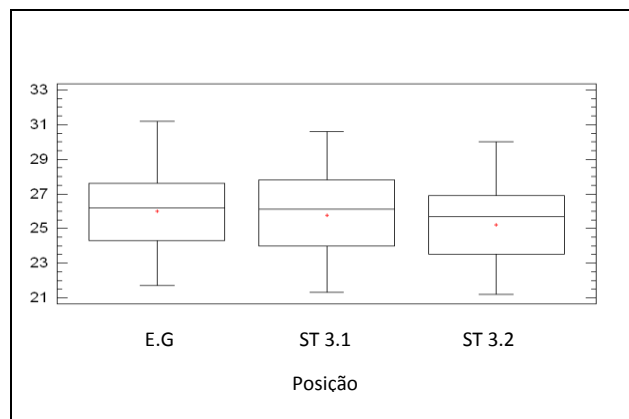
Os valores médios dos pH podem ser visualizados na Figura 6.4. Durante o período monitorado, os pH das águas residuárias que entraram no sistema (EG) permaneceram inferiores aos das saídas dos leitos ST3.1 e ST3.2. Observa-se que os valores médios diários na posição EG permaneceram próximos a 7,0, tal como o valor médio observado nas águas residuárias domésticas. Os valores médios dos efluentes, observados nas saídas ST3.1 e ST3.2, foram elevados, caracterizando as águas, em ambas as saídas, como alcalinas. Os valores médios observados na EG, ST3.1 e ST3.2 foram 6,9; 8,6 e 8,9 e as diferenças foram de 1,7 e 0,3.

A Figura 6.4b mostra, os pH médios ocorridos no período, conforme as posições consideradas.

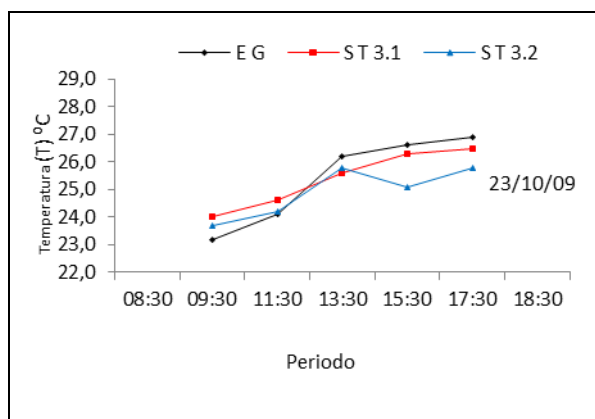
As Figuras 6.4c e 6.4d mostram os valores de pH ao longo dos dias 23/10/2009 e 14/01/2010, segundo os horários das amostragens. Nota-se, em ambos os dias, que valores variaram pouco conforme os períodos de amostragem.



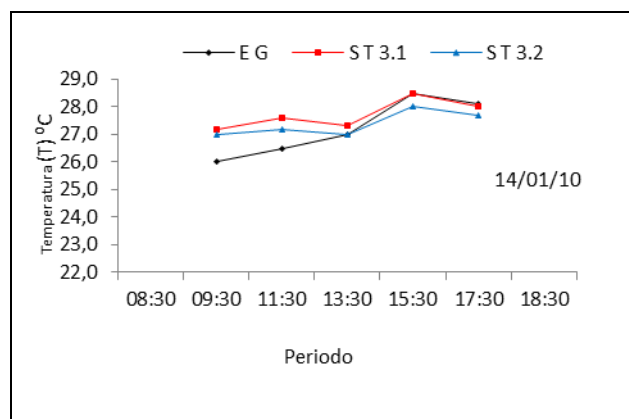
(a) Valores médios – dias acumulados



(b) Valores médios - posições

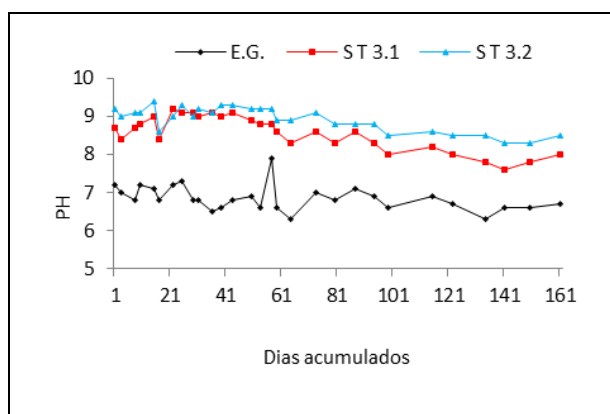


(c) Valores horários - dia

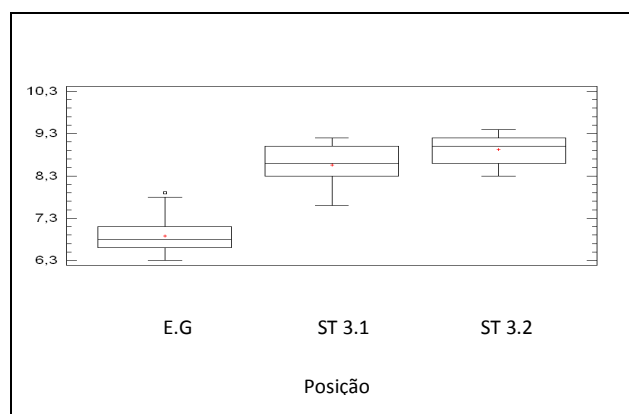


(d) Valores horários - dia

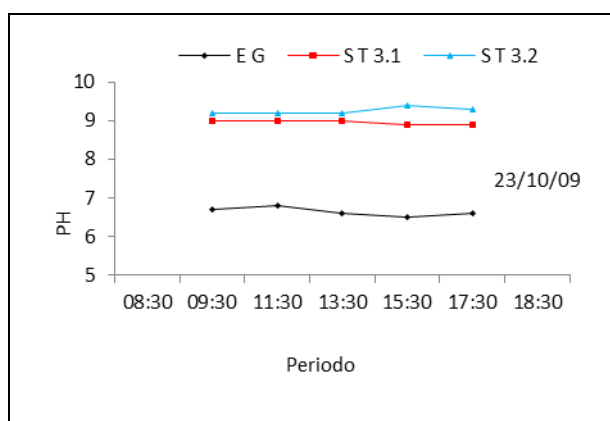
Figura 6.3. Temperatura da água nas entradas e saídas dos leitos cultivados T3.1 e T3.2.



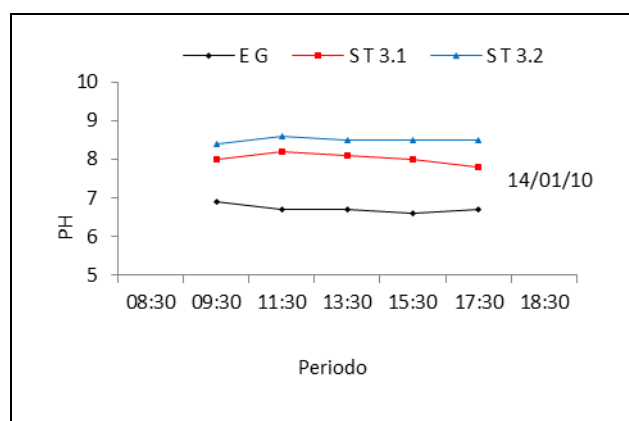
(a) Valores médios – dias acumulados



(b) Valores médios - posições



(c) Valores e horários - dia



(d) Valores e horários - dia

Figura 6.4. Valores de pH nas entradas e saídas dos leitos cultivados T3.1 e T3.2.

c. Concentração de Amônia da água nos leitos T3.1 e T3.2

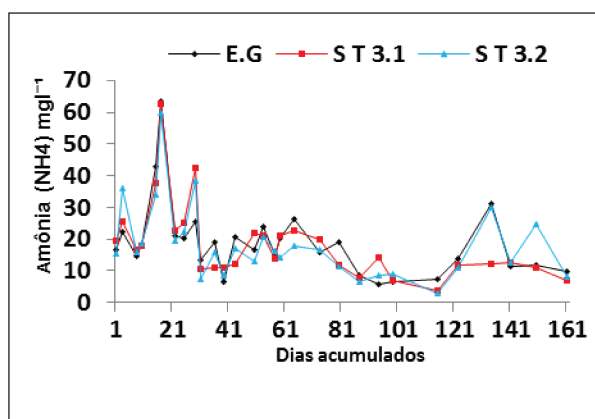
As concentrações médias de amônia, observadas nas amostras compostas, são mostradas na Figura 6.5. A Figura 6.5a mostra que durante todo o período monitorado ocorreram variações nas concentrações. Concentrações mais elevadas ocorreram, principalmente, na fase inicial do trabalho, sendo que, após este período, os valores foram menores. A Figura 6.5b mostra que as concentrações médias de amônia no efluente, ou seja, ST3.1 e ST3.2, não apresentaram muita diferença do afluente, ou seja, na EG. Os valores médios das concentrações no período foram 19,0; 18,5 e 18,4 mg l⁻¹, segundo as posições EG, ST3.1 e ST3.2, situação que mostra a ocorrência de baixos níveis de retenções de amônia nos leitos. As Figuras 6.5c e 6.6d mostram as concentrações médias diárias, segundo os dias 23/10/2009 e 14/01/2010.

As diferenças, relativas aos leitos 3.1 e 3.2, foram 0,5 mg l⁻¹ e 0,1 mg l⁻¹, ou 2,6% e 0,05%. O fato mostra que houve problemas no sistema, uma vez que as concentrações médias de saída e entrada nos leitos foram próximas.

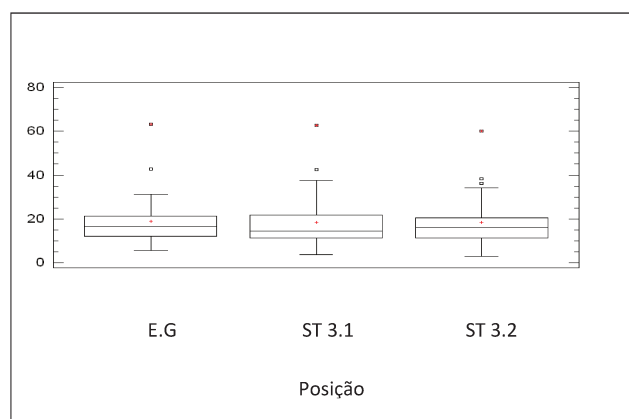
d. Concentração de Nitrito da água nos leitos T3.1 e T3.2

As concentrações médias de nitrito podem ser visualizadas na Figura 6.6. As Figuras 6.6a e 6.6b mostram que durante quase todo o período, as concentrações permaneceram baixas, valores maiores foram observadas no período inicial e final do período. De modo geral os valores das concentrações foram bastante baixos. Variações mais acentuadas foram observadas durante os meses de setembro e outubro de 2009 e janeiro de 2010. Fato também observado com a amônia. Após esse período as variações, bem como as concentrações permaneceram baixas.

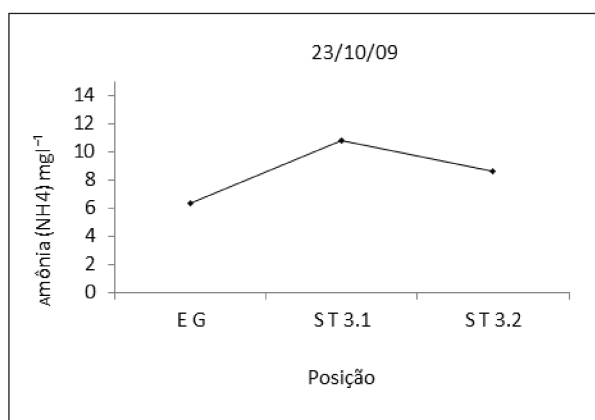
Os valores médios das concentrações de nitrito, nas entradas e saídas dos leitos cultivados, foram 6,0; 3,6 e 2,8 mg l⁻¹; as diferenças nos leitos 3.1 e 3.2 foram de 2,4 mg l⁻¹ e 0,8 mg l⁻¹ ou 56% e 22%. As Figuras 6.6c e 6.6d mostram as concentrações médias diárias de nitrito nas posições e dias 23/10/2009 e 14/01/2010.



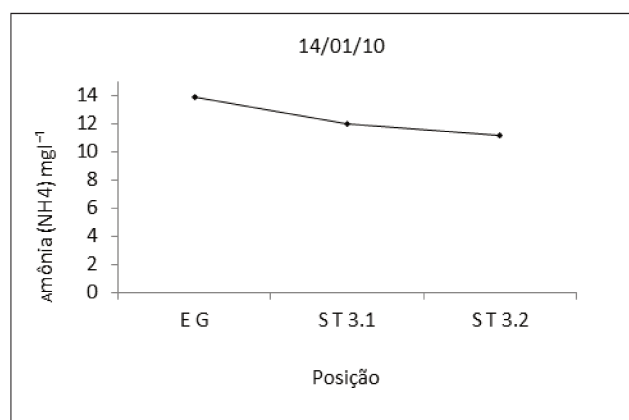
(a) Concentrações médias – dias acumulados



(b) Concentrações médias - posições

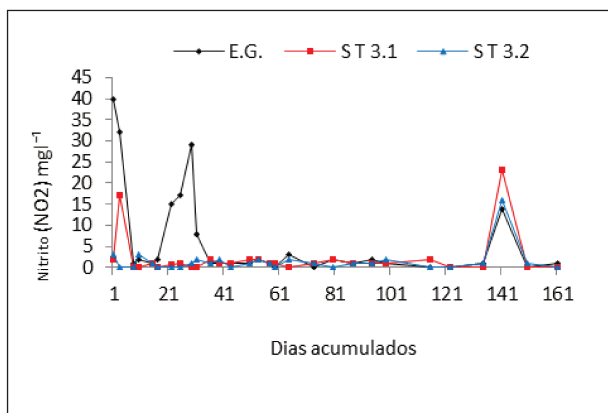


(c) Concentrações médias/ dia - posições

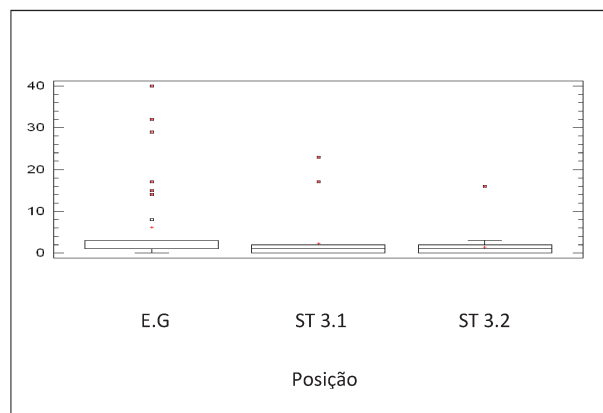


(e) concentrações médias/ dia - posições

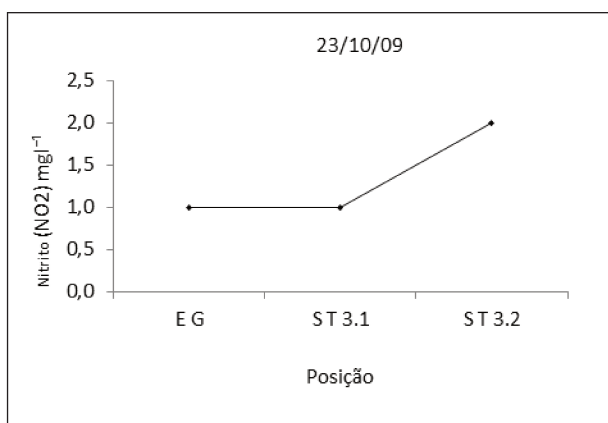
Figura 6.5 - Valores de concentração amônia nas entradas e saídas dos leitos cultivados T3.1 e T3.2.



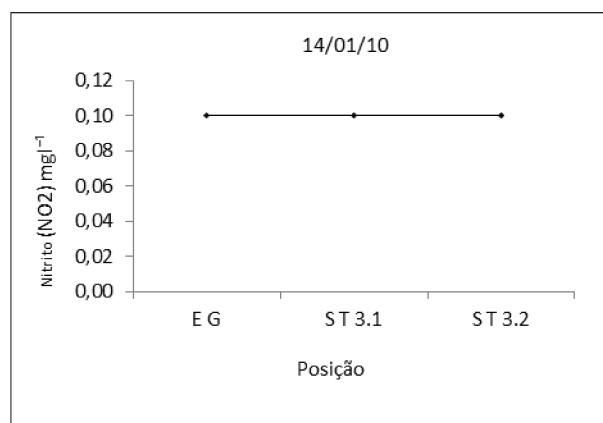
(a) Concentrações médias - dias acumulados



(b) Concentrações médias - posições



(c) Concentrações médias/ dia - posições



(d) Concentrações médias/ dia - posições

Figura 6.6. Valores de concentração nitrito nas entradas e saídas dos leitos cultivados T3.1 e T3.2.

e. Concentração de Nitrato da água nos leitos T3.1 e T3.2

As concentrações médias diárias de nitrato em amostras compostas são observadas nas Figuras 6.7a e 6.7b. A Figura 6.7a mostra que maiores concentrações foram observadas nas águas residuárias, na fase inicial dos trabalhos junto à EG. Os valores médios das concentrações nas posições EG, ST3.1 e ST3.2 foram respectivamente, 4,6; 1,0 e 0,5 mg l⁻¹. Observa-se, por meio da Figura 6.7b que ocorreram retenções em ambas as saídas. As Figuras 6.7c e 6.7d mostram os valores médios diários de nitrato, segundo as posições consideradas, nos dias 23/10/2009 e 14/01/2010. A Figura 6.7c mostra que ocorreram reduções nas concentrações, segundo as posições EG, ST3.1 e ST3.2, o mesmo não foi verificado na Figura 6.7d.

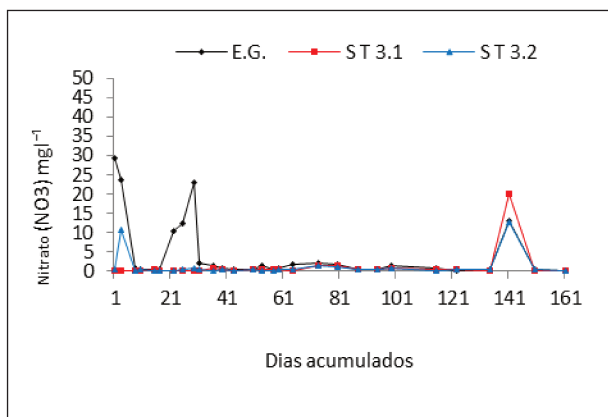
As diferenças médias diárias, ocorridas nos leitos 3.1 e 3.2, no período monitorado, foram de 3,6 mg l⁻¹ ou 78% e 0,5 mg l⁻¹ ou 50%.

f. Concentração de Fósforo total da água nos leitos T3.1 e T3.2

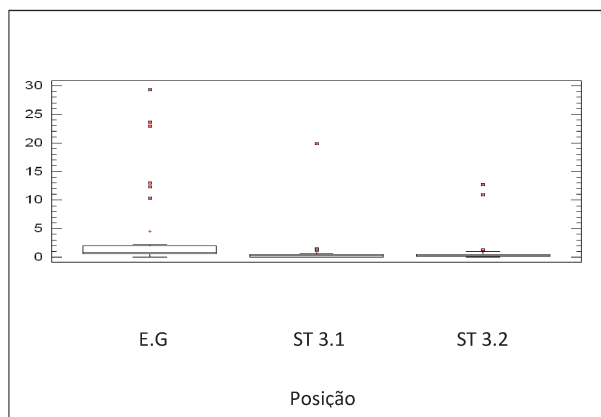
A Figura 10.37 mostra as concentrações médias de fósforo durante os dias acumulados, posições e dias considerados, na EG, ST3.1 e ST3.2. Observa-se por meio das Figuras 6.8a e 6.8b variações durante todo o período monitorado e acentuadas retenções nos leitos 3.1 e 3.2, principalmente no leito 3.1. No leito 3.2 a retenção foi menor, uma vez que o mesmo recebeu as águas já passadas pelo leito 3.1.

Observa-se, por intermédio das Figuras 6.8c e 6.8d, que as concentrações de fósforo variaram pouco no decorrer dos períodos dos dias considerados.

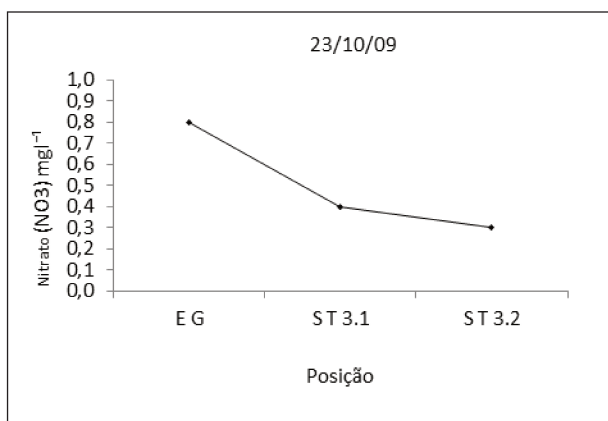
As concentrações médias de fósforo observadas durante o período nas posições EG, ST3.1 e ST3.2, foram de 5,3; 1,8 e 1,3 mg l⁻¹ mostrando que as diferenças foram de aproximadamente 3,5 mg l⁻¹ ou 66% e 0,5 mg l⁻¹ ou 28% nos leitos 3.1 e 3.2 respectivamente.



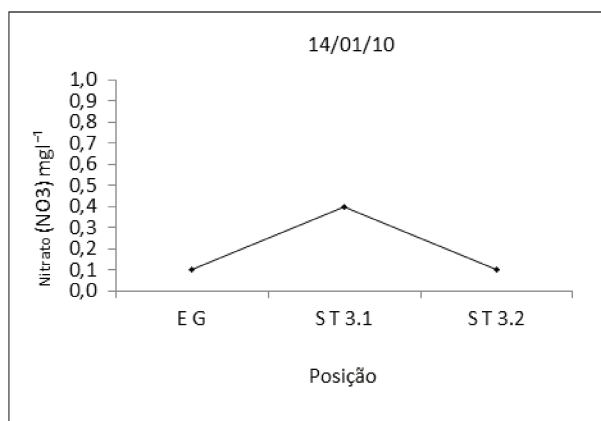
(a) Concentrações médias – dias acumulados



(b) concentrações médias - posições

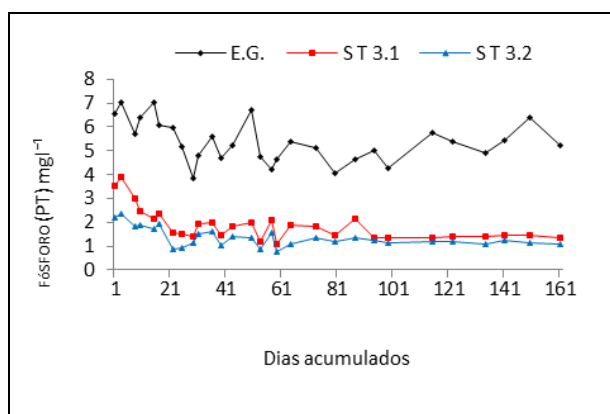


(c) Concentrações médias/dia-posições

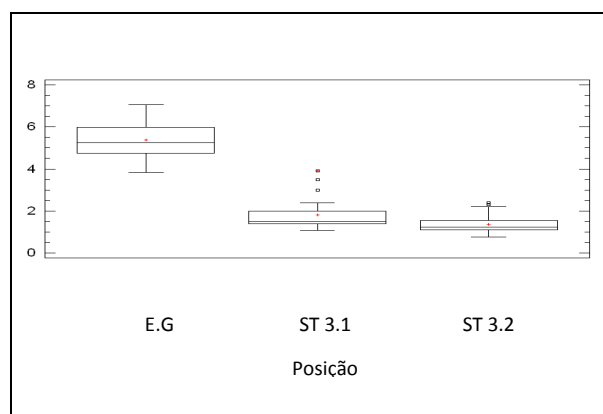


(d) Concentrações médias/dia - posições

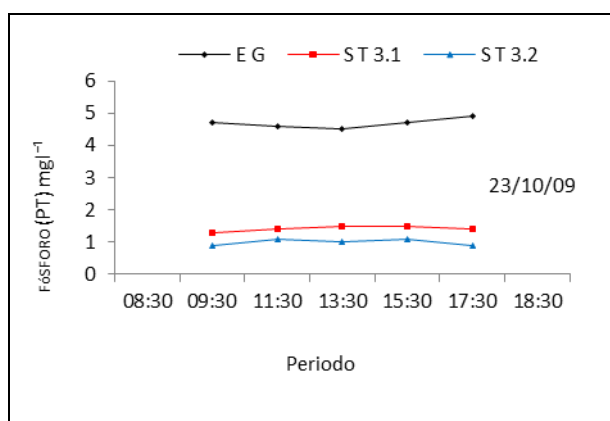
Figura 6.7. Valores de concentração nitrato nas entradas e saídas dos leitos cultivados T3.1 e T3.2.



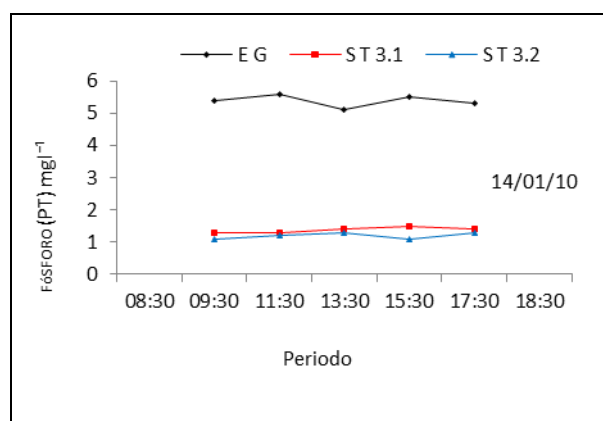
(a) Concentrações médias – dias acumulados



(b) Concentrações médias - posições



(c) Concentrações médias/dia - posições



(d) Concentrações médias/ dia - posições

Figura 6.8. Valores de concentração fósforo total nas entradas e saídas dos tanques cultivados T3.1 e T3.2.

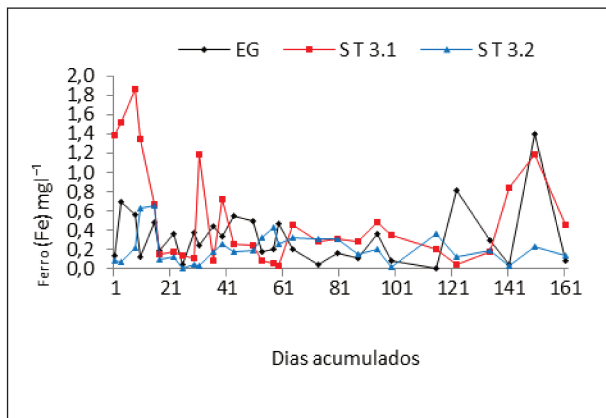
g. Concentração de Ferro da água nos leitos T3.1 e T3.2

A Figura 6.9 mostra as concentrações do ferro durante o período de amostragem. Observa-se que as variações foram constantes em ambos os leitos e de modo geral as concentrações foram baixas. A Figura 6.9a mostra que as concentrações elevaram-se na ST3.1, no período de setembro a outubro de 2009 e janeiro de 2010. A Figura 6.9b mostra que a ST3.1 apresentou maiores concentrações médias, mostra também que os valores médios das concentrações, nas posições EG; ST3.1 e ST3.2, foram 0,3; 0,5 e 0,2 mg l⁻¹.

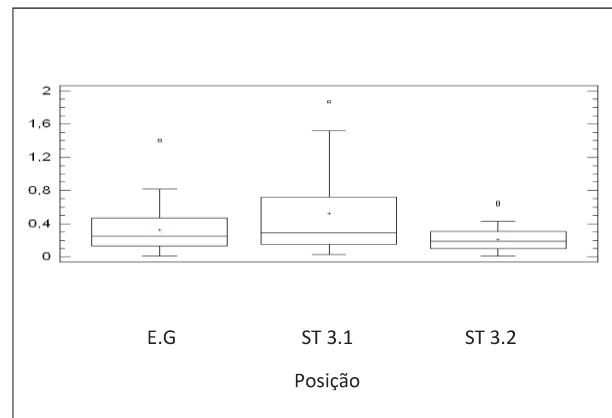
h. Concentração de Alumínio da água nos leitos T3.1 e T3.2

As determinações de alumínio em amostras compostas foram iniciadas em dezembro de 2009, o fato ocorreu em virtude de perdas de amostras devido à ocorrência de vazamento e ruptura das embalagens plásticas, armazenadas em freezers. As concentrações médias de alumínio, considerando os dias acumulados, podem ser visualizadas através das Figuras 6.10a e 6.10b. A Figura 6.10a mostra que houve aumento das concentrações nas ST3.1 e ST3.2, mas o mesmo, devido aos baixos valores apresentados, não foram observados na Figura 6.10b. Os valores médios das concentrações foram 0,02; 0,03 e 0,04 mg l⁻¹ considerando as posições EG, ST3.1 e ST3.2 respectivamente.

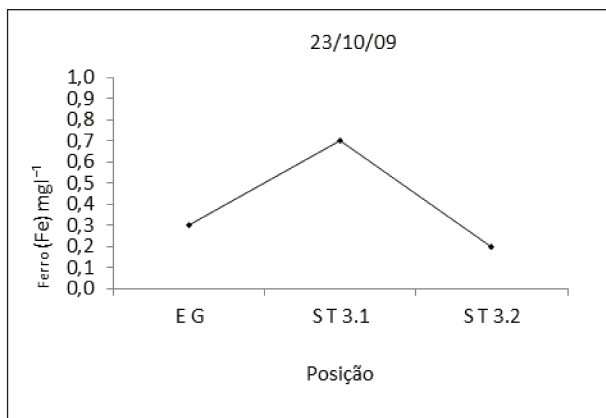
De modo geral os valores observados foram muitos baixos.



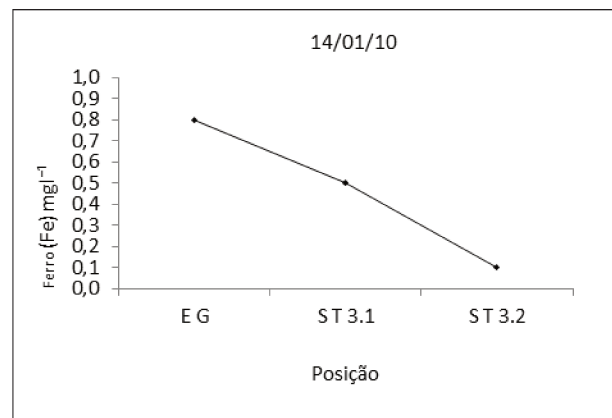
(a) Concentrações médias – dias acumulados



(b) Concentrações médias - posições

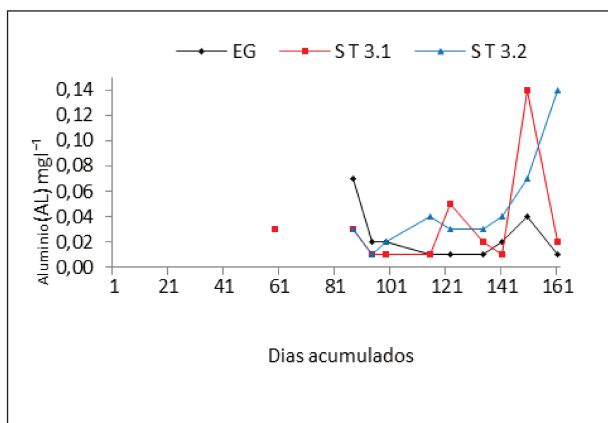


(c) Concentrações médias/dia - posições

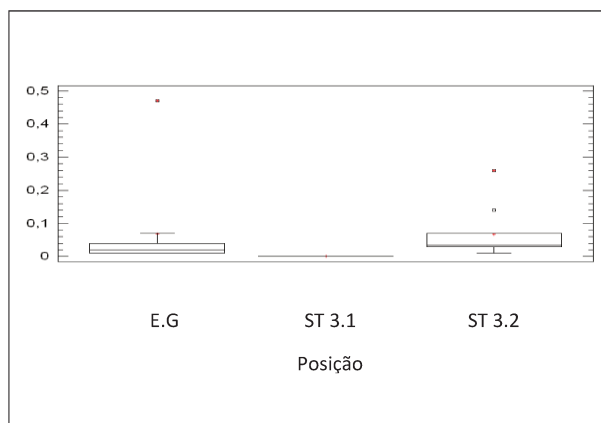


(d) Concentrações médias/ dia - posições

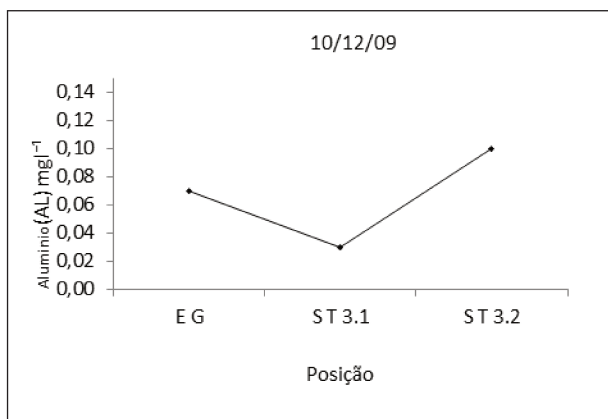
Figura 6.9. Valores de concentração de ferro nas entradas e saídas dos leitos cultivados T3.1 e T3.2.



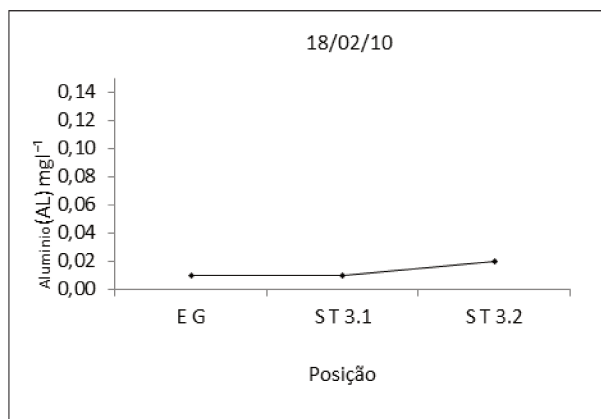
(a) Concentrações médias – dias acumulados



(b) Concentrações médias - posições



(c) Concentrações médias/dia - posições



(d) Concentrações médias/dia - posições

Figura 6.10. Valores de concentração de alumínio nas entradas e saídas dos leitos cultivados T3.1 e T3.2.

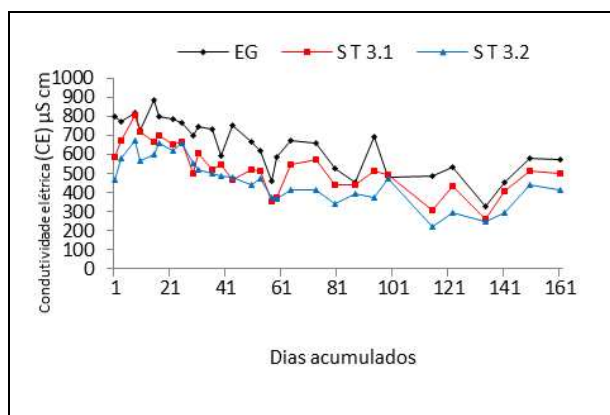
i. Valores de condutividade elétrica nos leitos T3.1 e T3.2

A Figura 6.11 mostra as condutividades elétricas médias conforme os dias de amostragens, posição e dias considerados. As Figuras 6.11a e 6.11b mostram que maiores valores foram observados nas águas que entraram no T3.1. Observa-se também que no decorrer do período e nas posições, os valores das condutividades afluentes e efluentes foram decrescendo. As Figuras 6.11c e 6.11d mostram uniformidades nas condutividades médias segundo os dias considerados, observa-se a uma tendência de redução da condutividade no afluente, no período de 11:30h a 15:30, nos dois dias considerados. A Figura 6.11b mostra que as condutividades médias foram próximas de 669; 516 e 467 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

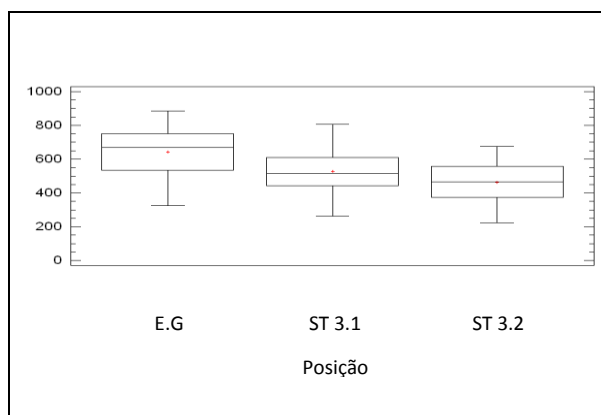
j. Concentração de Oxigênio dissolvido nos leitos T3.1 e T3.2

A Figura 6.12 mostra as concentrações médias de oxigênio dissolvido no período monitorado, nas posições de amostragens e nos dois dias considerados. A Figura 6.12a mostra que ocorreram variações e retenções durante o período monitorado em ambos os leitos. Maiores retenções foram observados no T3.1 por onde chegaram as águas residuárias. Valores menores foram retidos no T3.2, devido às águas já terem passado pelo T3.1, fato observado pela Figura 6.12b.

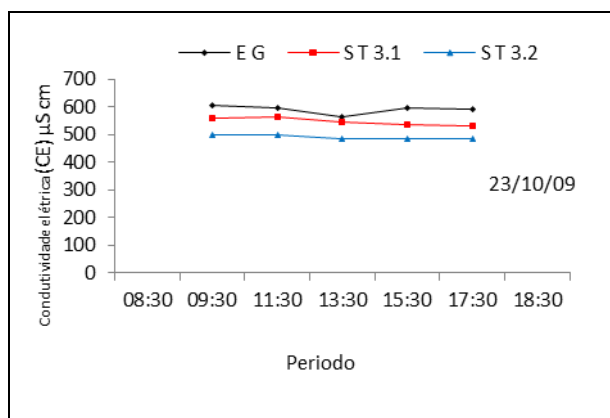
As Figuras 6.12c e 6.12d mostram as concentrações ocorridas durante os dias 23/10/2009 e 14/01/2010. Notam-se concentrações mais elevadas no início do período. As diferenças médias diárias, mostradas pela Figura 6.12b, conforme as posições EG, ST3.1 e ST3.2, foram de 2,6; 1,8 e 1,3 mg l^{-1} . As retenções médias foram de 0,8 mg l^{-1} e 0,5 mg l^{-1} ou 31% e 28%.



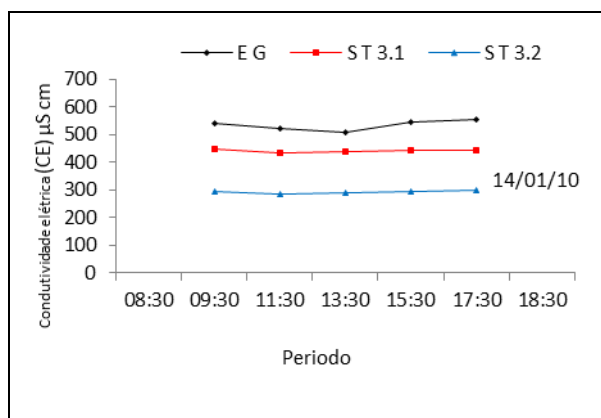
(a) Concentrações médias – dias acumulados



(b) Concentrações médias - posições

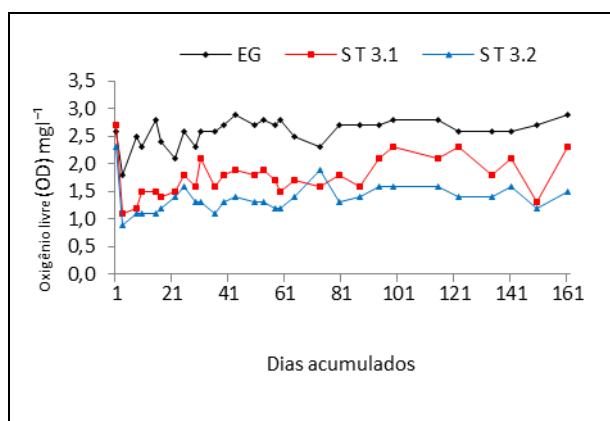


(c) Concentrações médias/dia - posições

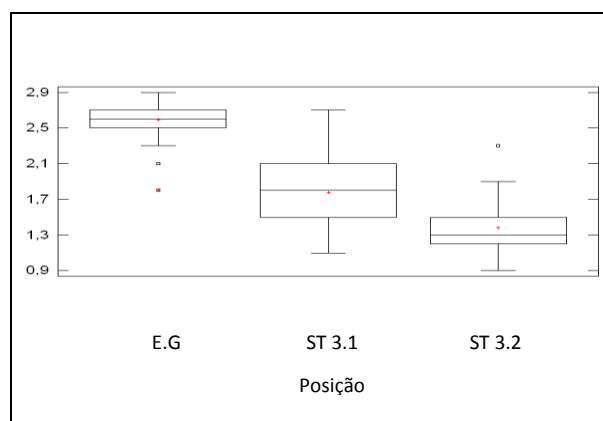


(d) Concentrações médias/ dia - posições

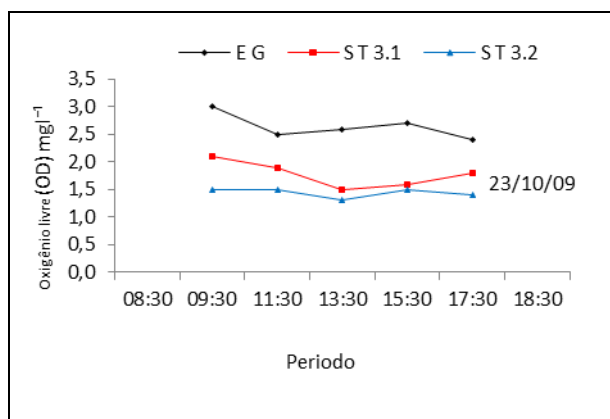
Figura 6.11. Valores de condutividade elétrica nas entradas e saídas dos leitos cultivados T3.1 e T3.2.



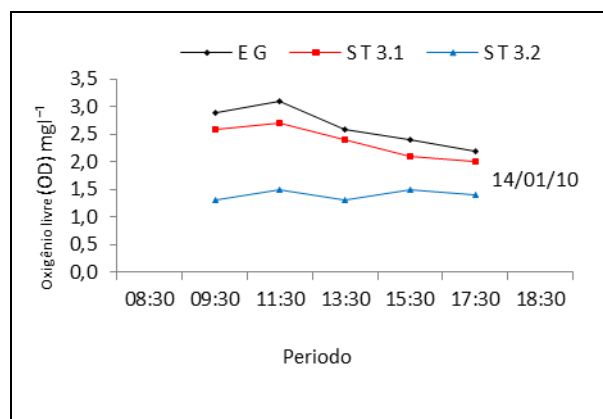
(a) Concentrações médias – dias acumulados



(b) Concentrações médias - posições



(c) Concentrações médias/dia - posições



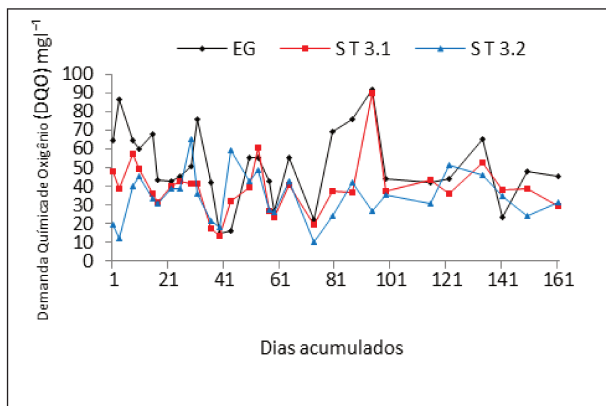
(d) Concentrações médias/ dia - posições

Figura 6.12. Valores de concentração oxigênio livre, nas entradas e saídas dos leitos cultivados T3.1 e T3.2.

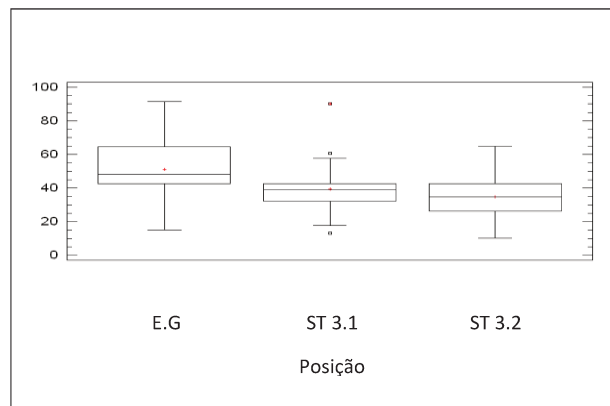
k. Demanda química de oxigênio nos leitos T3.1 e T3.2

A Figura 6.13 mostra as concentrações médias de demanda química de oxigênio nas amostras compostas, segundo os dias acumulados, posições e dias considerados. A Figura 6.13a mostra que ocorreram variações durante todo o período monitorado, sendo observados maiores concentrações na fase inicial dos trabalhos. A Figura 6.13b mostra que as concentrações médias, segundo as posições EG, ST3.1 e ST3.2, foram 51,1; 39,3 e 34,5 mg l⁻¹, sendo as diferenças de 11,8 mg l⁻¹ e 4,8 mg l⁻¹ ou 23% e 12%, conforme as posições ST3.1. e ST3.2.

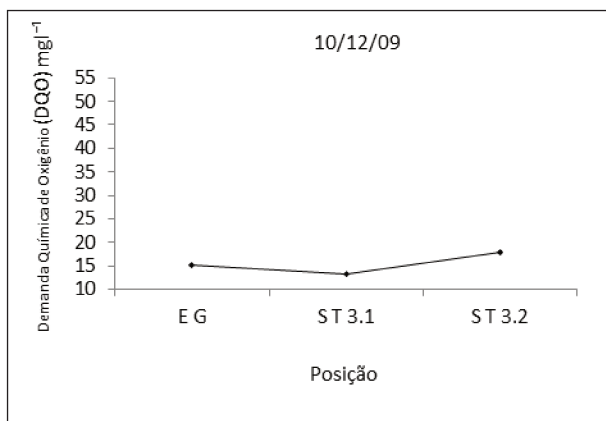
As Figuras 6.13c e 6.13d mostram que as concentrações foram menores na posição ST3.1 e maiores nas posições EG e ST3.2 em ambos dias.



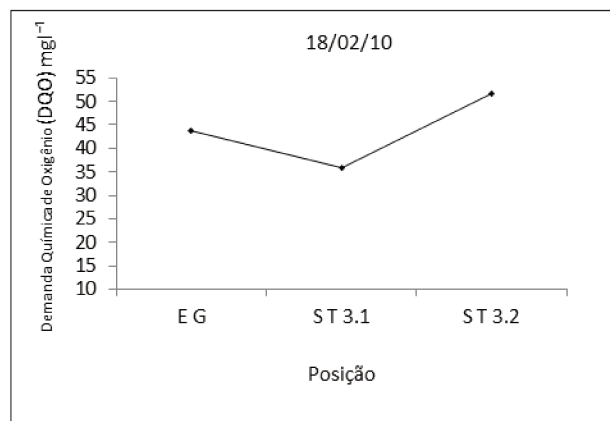
(a) Concentrações médias – dias acumulados



(b) Concentrações médias - posições



(c) Concentrações médias/dia - posições



(d) Concentrações médias/ dia - posições

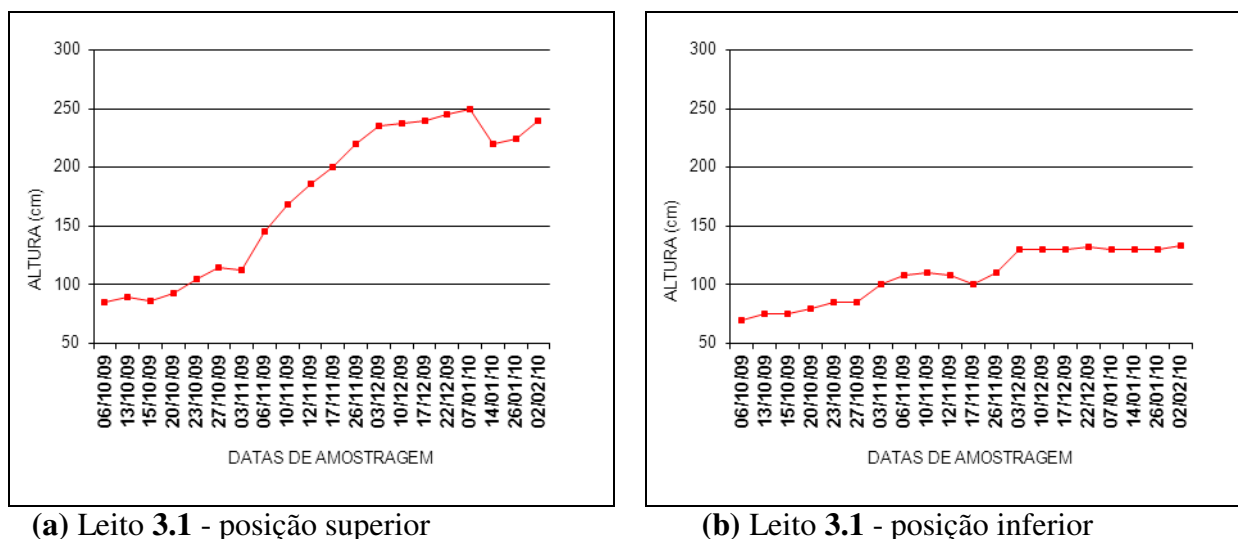
Figura 6.13. Valores de concentração da demanda química de oxigênio nas entradas e saídas dos leitos cultivados T3.1 e T3.2.

1.4. Desenvolvimento da vegetação nos leitos T3.1 e T3.2

Os parâmetros relacionados com desenvolvimento da vegetação foram: altura, área foliar e índice, biomassa produzida e a remoção de nitrogênio e fósforo.

1.4.1. Monitoramento da altura da vegetação nos leitos T3.1 e T3.2

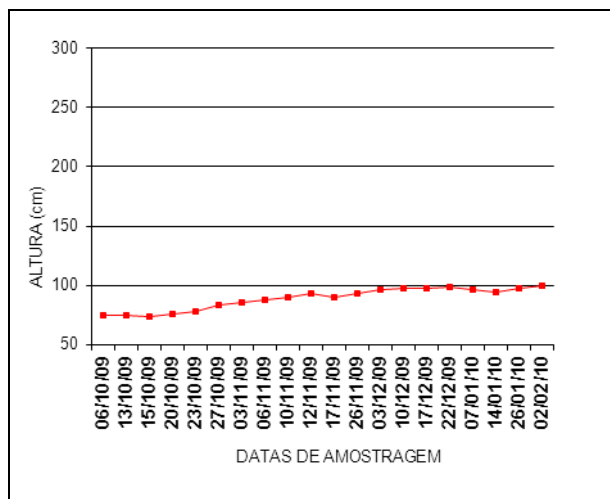
As Figuras 6.14 e 6.15 mostram o crescimento da vegetação nas posições superior e inferior (montante e jusante) dos leitos 3.1 e 3.2. As Figuras 6.14a e 6.14b mostram as condições nas posições superior e inferior do T3.1. A Figura 6.14a mostra que a vegetação apresentou crescimento máximo de 250 cm, na posição superior do T3.1, no período de 22/12/09 a 07/01/2010. A Figura 6.14b mostra que a vegetação apresentou um crescimento máximo de 130 cm em 03/12/09, na posição inferior do T3.1. As Figuras 6.15c e 6.15d do leito 3.2, posições superior e inferior, mostram que em ambas as posições a vegetação atingiu altura máxima 100 cm. A Figura 6.16 ilustra melhor o desenvolvimento diferenciado da vegetação nos leitos T3.1 e T3.2, conforme posições superior e inferior (montante e jusante).



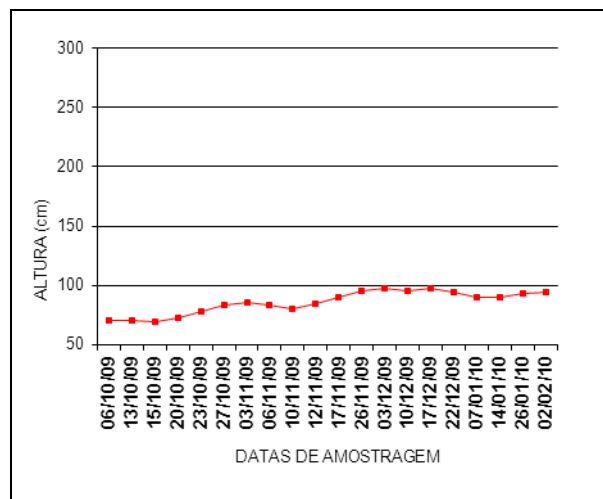
(a) Leito 3.1 - posição superior

(b) Leito 3.1 - posição inferior

Figura 6.14. Crescimento da vegetação segundo as posições superior e inferior no leito T3.1



(c) Leito 3.2 - posição superior



(d) Leito 3.2 - posição inferior

Figura 6.15. Crescimento da vegetação segundo as posições superior e inferior no leito T3.2



(a) T3.1 metades superior e inferior



(b) T3.2 metades superior e inferior

Figura 6.16. Desenvolvimento da vegetação, segundo as metades superior e inferior dos leitos T3.1 e T3.2

1.4.2. Área foliar nos leitos T3.1 e T3.2

A área foliar do vegetal *Typha* foi determinada por ocasião da colheita final. As medidas foram tomadas em uma série de folhas de plantas selecionadas, segundo um quadrante representativo, nas posições superior e inferior de cada tanque. O valor foi extrapolado para a área total segundo as posições inferior e superior. A área de cada posição considerada, ou seja, metade do tanque, foi de 6 m².

Os valores obtidos foram: 475.920 cm² para a metade superior do T3.1 e 132.807 cm² para a metade inferior do mesmo leito, totalizando 608.727 cm².

Para o leito 3.2 os valores foram 79.368 cm² para a metade superior e 47.256 cm² para a metade inferior do mesmo leito, totalizando 126.624 cm².

1.4.3. Biomassa produzida nos leitos T3.1 e T3.2

A quantidade de biomassa seca produzida foi conhecida por ocasião do corte final da vegetação, realizado em 19 de fevereiro de 2010. Ambas as massas, aérea, representada pelas folhas, colmos e flores e subterrânea, representada pelas raízes e rizomas, foram obtidas conforme o procedimento descrito em material e métodos.

As quantidades de massas secas aérea produzidas nos leitos T3.1 e T3.2 foram 26.390 g e 7.600 g respectivamente, totalizando 33.990 g.

As quantidades de massas secas de raízes produzidas nos leitos T3.1 e T3.2 foram 4.872 g e 1.406 g respectivamente, totalizando 6.278 g.

As quantidades de massas secas de rizomas produzidas nos leitos T3.1 e T3.2 foram 8.700 g e 2.204 g, respectivamente, totalizando 10.903 g.

O total de massa seca produzida em ambos os leitos foi de 51.172 g.

2. Leitos cultivados com *Canna limbata* nos leitos T2.1 e T2.2. Série *Canna*.

2.1. Vazão de entrada e saída nos leitos T2.1 e T2.2

Os leitos cultivados com o vegetal *Canna limbata* fazem parte do bloco 2, ambos, 2.1 e 2.2, foram abastecidos com crostas de diâmetro médio de 2 cm. As posições foram representadas pelas siglas: EG- Entrada Geral de afluente; ST2.1, saída de efluente do primeiro para o segundo tanque e ST2.2, saída de efluente do segundo tanque para a rede de esgotos local.

As Figuras 6.17a e 6.17b apresentam as vazões médias diárias, considerando os dias acumulados, posição de entrada (EG) e saídas dos tanques 2.1(ST2.1) e 2.2 (ST2.2). A Figura 6.17a mostra que os volumes apresentaram variações durante todo o período monitorado. A Figura 6.17b mostra valores médios segundo as posições consideradas. As Figuras 6.17c e 6.17d mostram as vazões horárias nos dias 23/10/09 e 14/01/2010. A Figura 6.17c mostra que maiores vazões ocorreram nos períodos de 11:30 h e 15:30 h, ocasião de maior presença de alunos na faculdade.

Durante o período monitorado as vazões médias diárias nas posições EG, ST2.1 e ST2.2 foram respectivamente 953,8; 797,4 e 735,6 l/hora, correspondendo a 156,4 l/dia e 61,8 l/dia de água evaporada em cada um dos leitos, ou o correspondente a uma lâmina evaporada de 13 mm/dia e 5,1 mm/dia. Maior taxa de evapotranspiração ocorreu no T2.1.

2.2. Tempo de detenção hidráulica nos leitos T2.1 e T2.2

As Figuras 6.18a e 6.18b mostram os tempos de detenção nos leitos 2.1 e 2.2. O tempo de detenção médio no tanque 2.2 foi maior que no leito 2.1. Os valores médios ocorridos no período foram de 4,0 e 4,6 dias.

As Figuras 6.18c e 6.18d mostram as variações dos tempos de detenção hidráulica nos dias 23/10/2009 e 14/01/2010. Valores maiores foram observados no dia 23/10/09, pela manhã ao meio e final do dia.

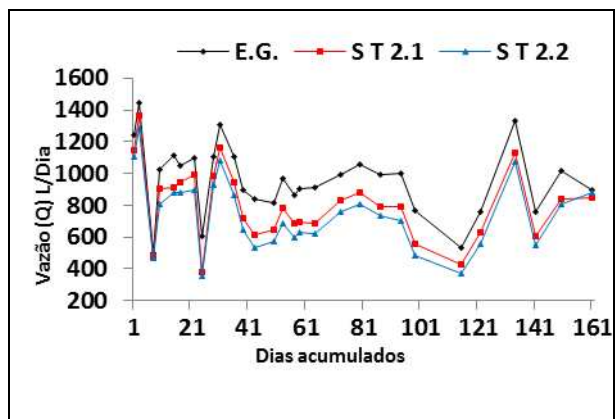


Figura a. Valores médios, dias acumulados.

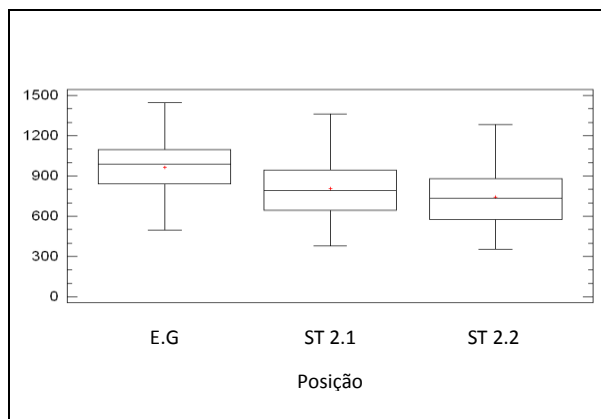


Figura b. Valores médios e posições.

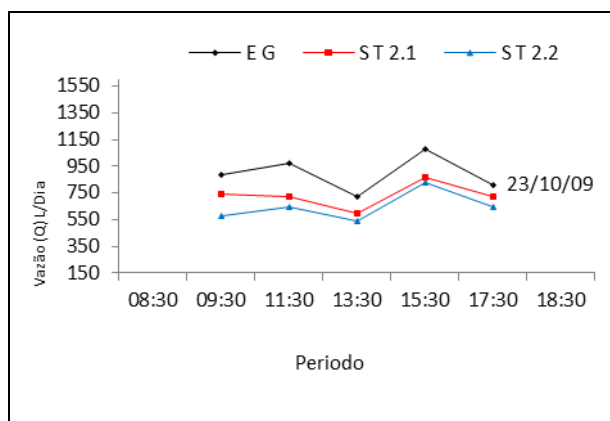


Figura c. Valores e horários de amostragem.

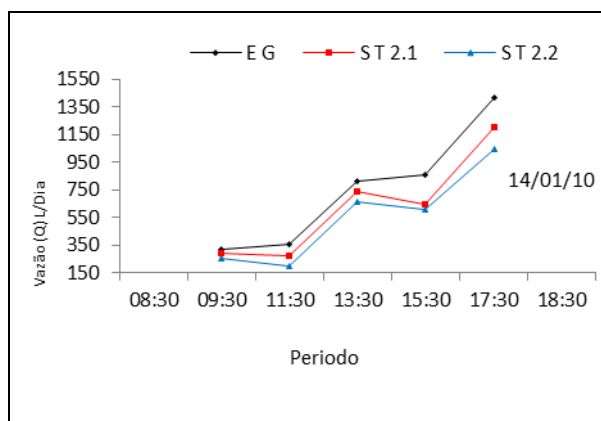


Figura d. Valores e horários de amostragem.

Figura 6.17. Vazões de entrada e saídas nos leitos cultivados T2.1 e T2.2.

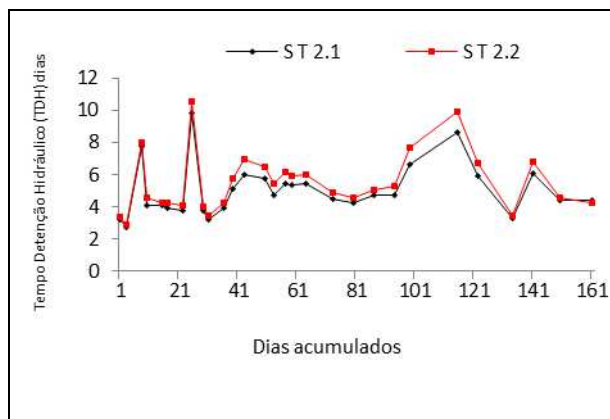


Figura a- Valores médios, dias acumulados.

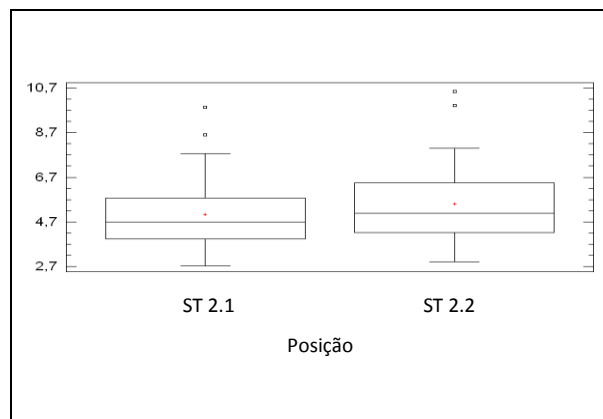


Figura b- Valores médios e posições

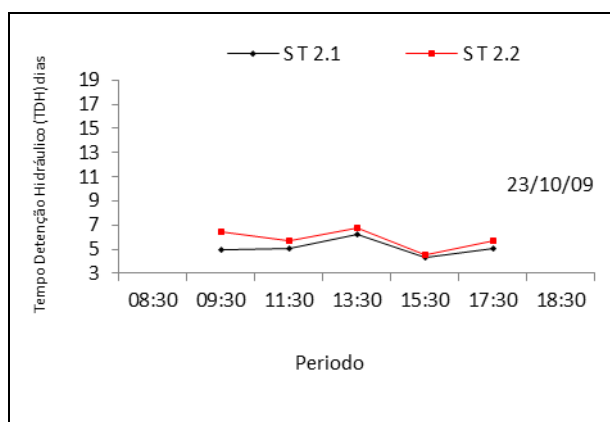


Figura c- Valores e horários de amostragem.

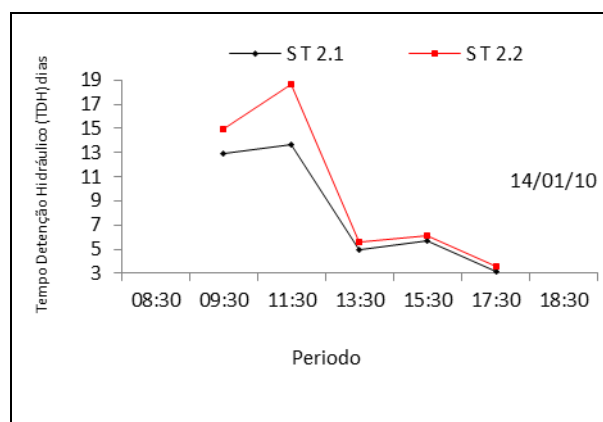


Figura d- Valores e horários de amostragem

Figura 6.18. Tempo de detenção hidráulica para os leitos cultivados T2.1 e T2.2.

2.3. Parâmetros de qualidade de água

Os parâmetros de qualidade da água para avaliação dos leitos cultivados foram: Temperatura da Água, pH, Concentração de Amônia, Concentração de Nitrito, Concentração de Nitrato nas Amostras, Concentração de Fósforo Total, Concentração de Ferro, Concentração de Alumínio, Condutividade Elétrica Medidos, Concentração de Oxigênio Dissolvido e Concentração de Demanda Química de Oxigênio nas Amostras

a. Valores de Temperatura da água nos leitos T2.1 e T2.2

A Figura 6.19 mostra os valores das temperaturas na entrada e saídas dos leitos cultivados. A Figura 6.19a mostra aumento das temperaturas médias a partir do mês de setembro; aumento também ocorreu segundo os horários de amostragens conforme observados nas figuras 6.19c e 6.19d. A Figura 6.19b mostra que as temperaturas médias observadas foram 26,2° C, 25,2° C e 25,2° C, diminuição de 1,0° C e 0,0° C após as águas passarem pelo T2.1 e T2.2.

b. Valores de pH da água nos leitos T2.1 e T2.2

Os valores de pH podem ser visualizados por meio da Figura 6.20. As Figuras 6.20a e 6.20b mostram que durante o período monitorado os valores dos pH das águas da entrada (EG) permaneceram menores que os valores observados nas saídas dos leitos ST2.1 e ST2.2. A Figura 6.20b mostra que os valores médios foram 6,9; 9,2 e 9,3. As diferenças foram de 2,3 ou 33% e 0,1 ou 3,5% relativas aos dois leitos; a maior diferença, observada no T2.1, foi devido ao fato de o mesmo ter recebido, primeiramente, as águas residuárias.

As Figuras 6.20c e 6.20d mostram os valores de pH ao longo dos dias 23/10/2009 e 14/012010, segundo os horários de amostragem. Nota-se que em ambos os dias, os valores apresentam pouca variação.

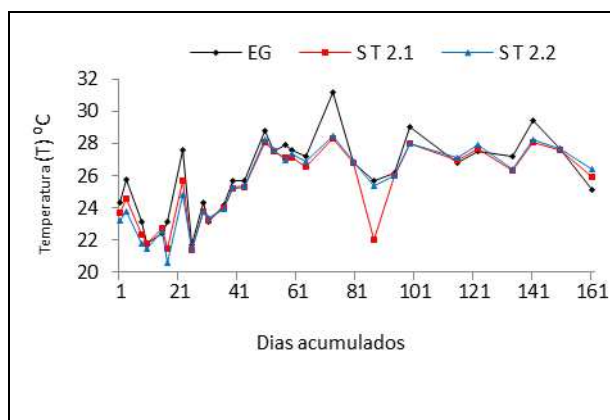


Figura a. Valores médios, dias acumulados.

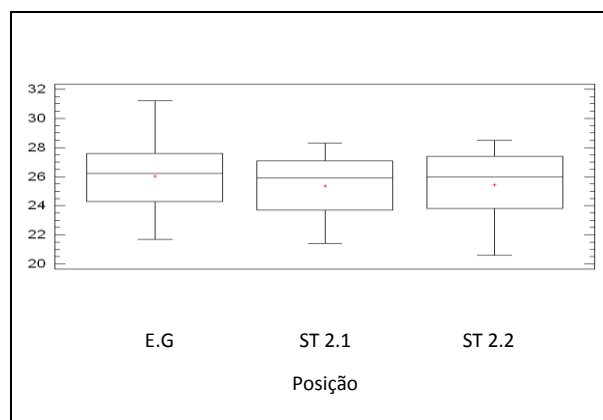


Figura b. Valores médios e posições

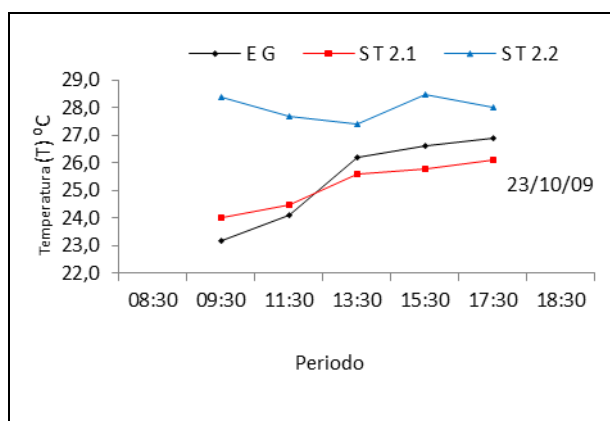


Figura c. Valores e horários de amostragem.

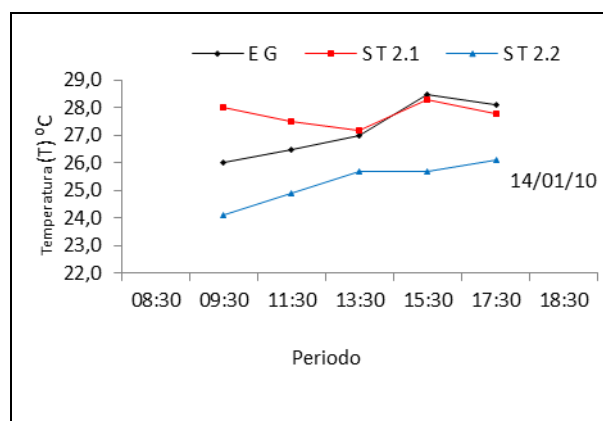


Figura d. Valores e horários de amostragem

Figura 6.19. Valores de temperatura da água nas entradas e saídas dos leitos cultivados T2.1 e T2.2.

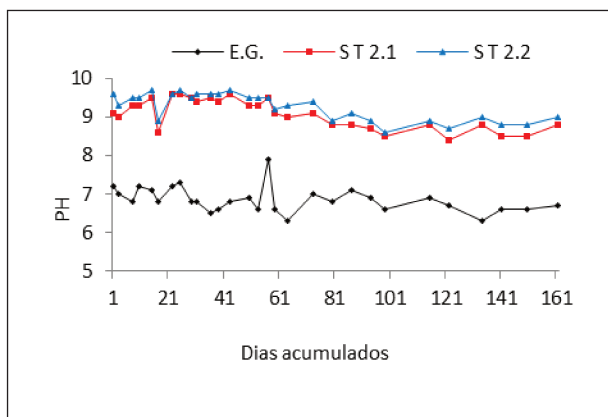


Figura a. Valores médios, dias acumulados.

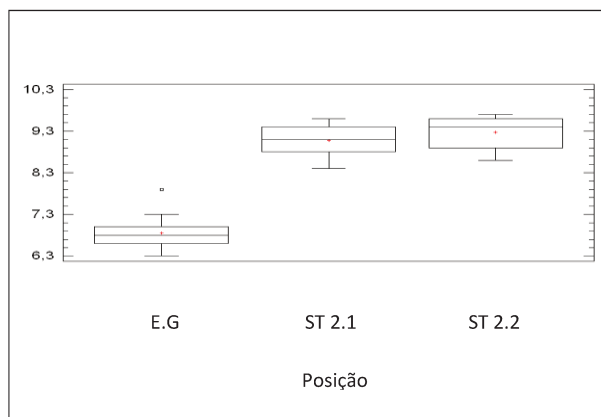


Figura b. Valores médios, posições amostradas.

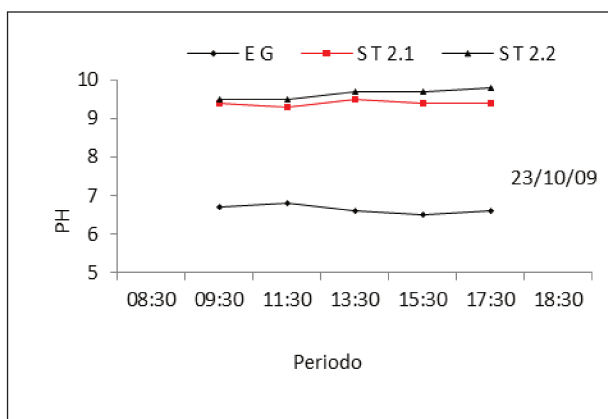


Figura c. Valores e horários de amostragem.

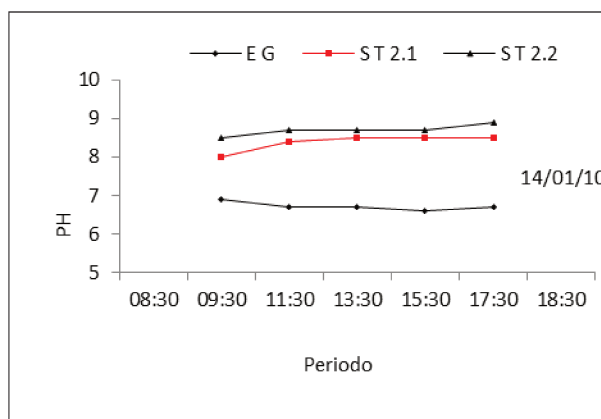


Figura d. Valores e horários de amostragem.

Figura 6.20. Valores de pH nas entradas e saídas dos leitos cultivados T2.1 e T2.2.

c. Concentração de Amônia da água nos leitos T2.1 e T2.2

As concentrações médias de amônia são mostradas na Figura 6.21. A Figura 6.21a mostra que durante todo o período monitorado, ocorreram variações nas concentrações. As variações mais acentuadas e os valores mais elevados ocorreram no início e no final do período monitorado. A Figura 6.21b mostra que as concentrações médias na entrada e nas saídas dos leitos foram de 18,0; 15,0 e 12,4 mg l⁻¹, segundo as posições EG, ST2.1 e ST2.2; as diferenças foram de 3 mg l⁻¹ e 2,6 mg l⁻¹ ou 17% e 21%. As Figuras 6.21c e 6.21d mostram as concentrações médias, nas posições amostradas, nos dias 23/10/2009 e 14/01/2010.

d. Concentração de Nitrito da água nos leitos T2.1 e T2.2

As concentrações médias de nitrito, obtidas por meio das análises compostas, podem ser visualizadas na Figura 6.22. A Figura 6.22a mostra que, durante quase todo o período, as concentrações permaneceram baixas. Algumas variações acentuadas foram observadas durante os meses de setembro e outubro de 2009, fato também verificado com as concentrações de amônia. Após esse período as variações e as concentrações permaneceram baixas. A Figura 6.22b mostra pontos considerados extremos, nas 3 posições. Os valores médios das concentrações diárias de nitrito, nas entradas e saídas, foram respectivamente 9,0; 0,7 e 0,6 mg l⁻¹ as diferenças foram de 8,3 mg l⁻¹ ou 92% e 0,1 mg l⁻¹ ou 14%. As Figuras 6.22c e 6.22d mostram as concentrações médias de nitrito nas posições consideradas, durante os dias 23/10/2009 e 14/01/2010.

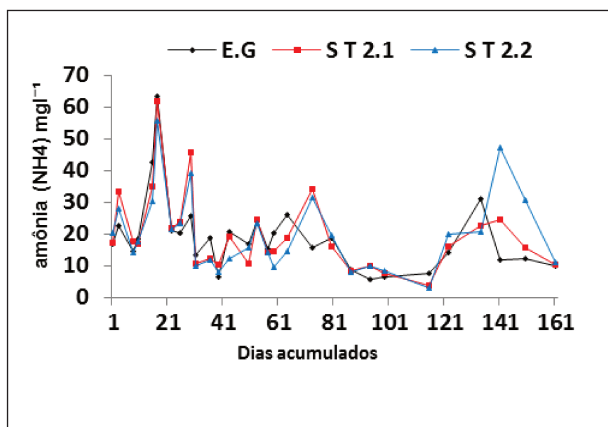


Figura a. Concentrações médias e período.

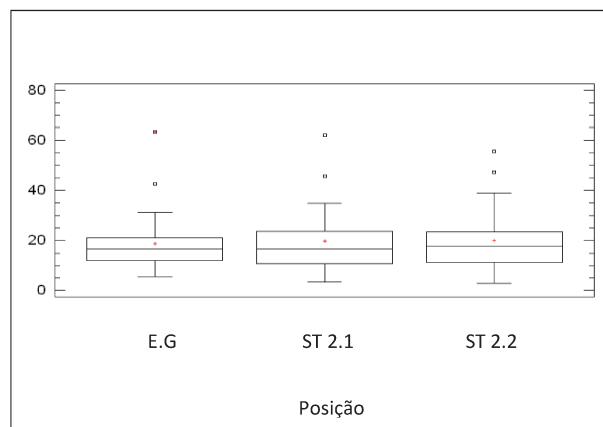


Figura b. Concentrações médias e posições.

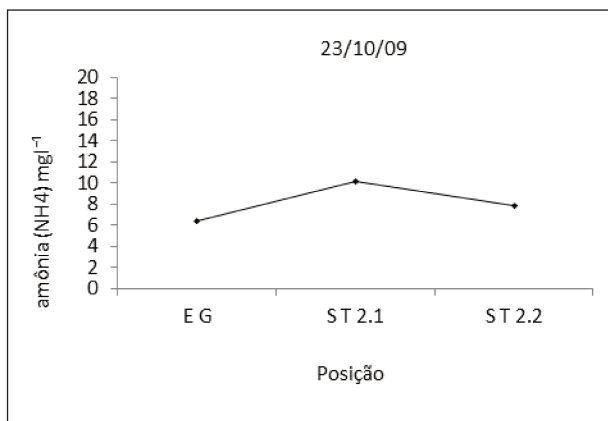


Figura c. Valores médios e posições.

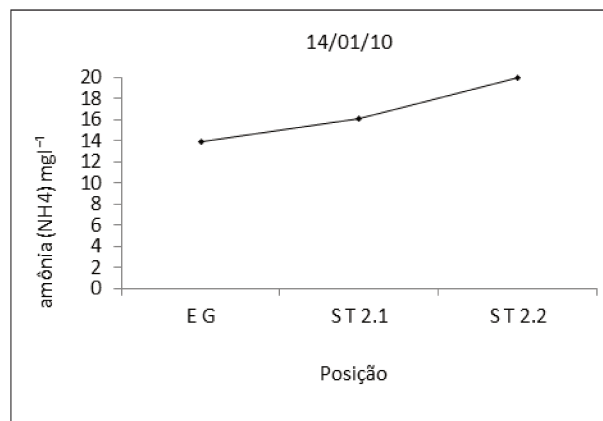


Figura e. Valores médios e posições.

Figura 6.21. Valores de concentração amônia nas entradas e saídas dos leitos cultivados T2.1 e T2.2.

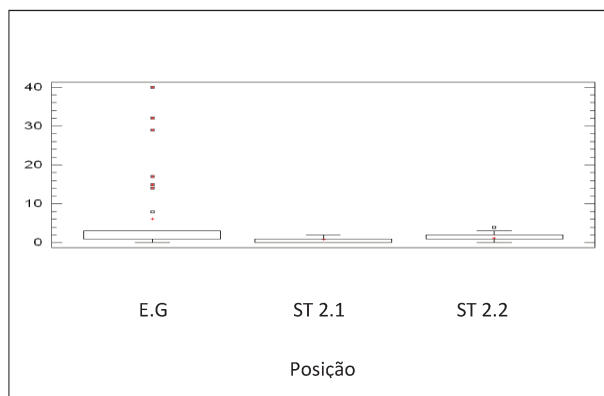
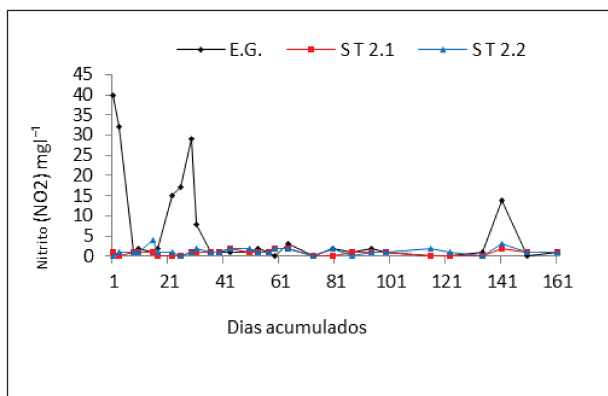


Figura a. Concentrações médias, dias acumuladas. **Figura b.** Valores médios, posições amostradas.

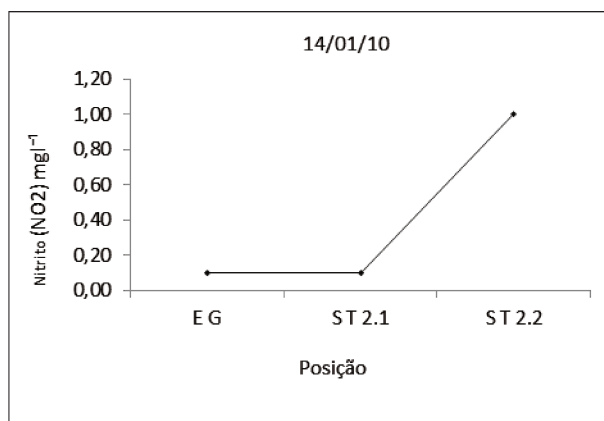
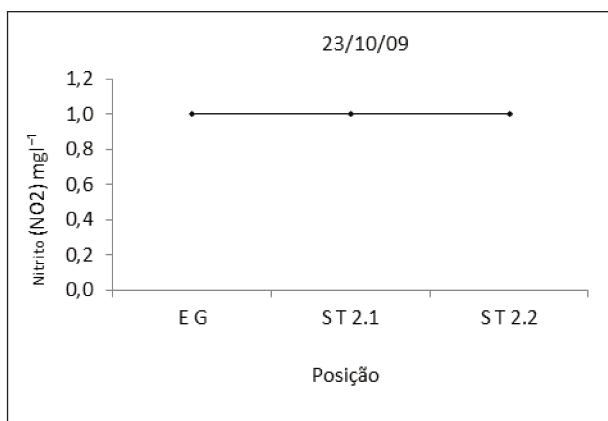


Figura c. Valores médios, dia e posições.

Figura d. Valores médios, dia e posições.

Figura 6.22. Valores de concentração nitrito nas entradas e saídas dos leitos cultivados com *Canna limbata* T2.1 e T2.2.

e. Concentração de Nitrato da água nos leitos T2.1 e T2.2

As concentrações médias diárias de nitrato, ao longo do período monitorado, podem ser visualizadas por meio da Figura 6.23. A Figura 6.23a mostra algumas posições de aumento, principalmente no início do período monitorado. A Figura 6.23b mostra que os valores médios das concentrações, nas posições EG, ST2.1 e ST2.2 foram próximos de 5,0; 0,4 e 0,2 mg l⁻¹, sendo as retenções 92% e 50%; mostra também diversos valores considerados extremos na posição EG. As Figuras 6.23c e 6.23d mostram as concentrações médias de nitrato nos dias 23/10/2009 e 14/01/2010, segundo as posições das amostragens.

Observa-se que, de modo geral, as concentrações de nitrato foram baixas.

f. Concentração de Fósforo total da água nos leitos T2.1 e T2.2

A Figura 6.24 mostra as concentrações médias de fósforo considerando os dias acumulados, posições e períodos nos dias 23/10/09 e 14/01/10. A Figura 6.24a mostra que ocorreram variações das concentrações durante o período monitorado e que as remoções foram acentuadas, principalmente no T2.1 que recebeu primeiramente as águas residuárias. O leito 2.2 mostrou menor retenção, uma vez que receberam as águas residuárias vindas do leito 2.1.

As Figuras 6.24c e 6.24d mostram que as variação das concentrações, considerando as EG, ST2.1 e ST2.2, dias e períodos das amostragens, foram bastante uniformes.

Os valores médios das concentrações foram 4,9; 1,5 e 1,1 mg l⁻¹ sendo as diferenças 3,4 mg l⁻¹ e 0,4 mg l⁻¹ ou 69% e 27%, respectivamente para os leitos T2.1 e T2.2.

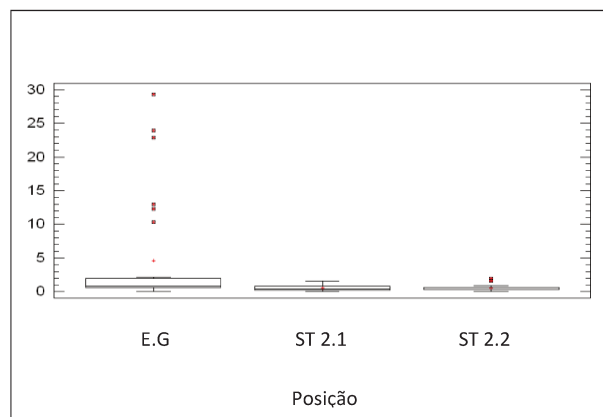
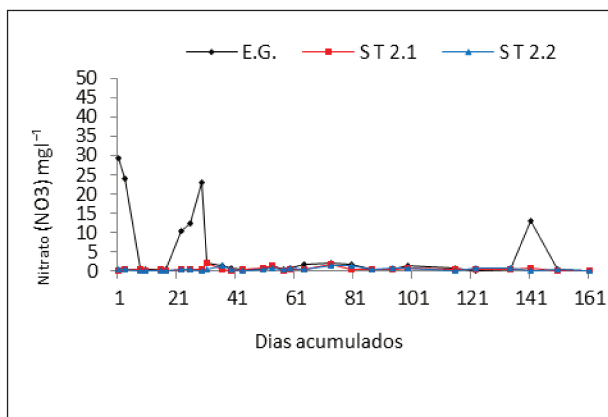


Figura a. Concentrações médias, dias acumulados. **Figura b.** Valores médios, posições amostradas.

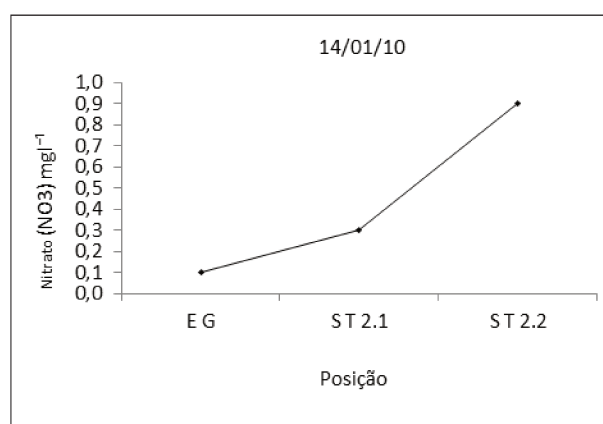
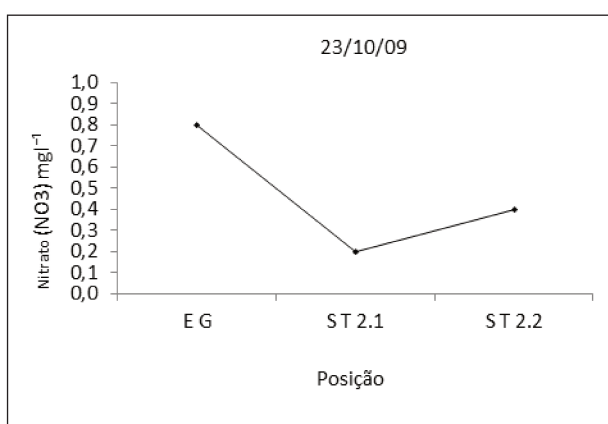


Figura c. Valores médios, dia e posições.

Figura d. Valores médios, dia e posições.

Figura 6.23. Valores de concentração nitrato nas entradas e saídas dos leitos cultivados T2.1 e T2.2.

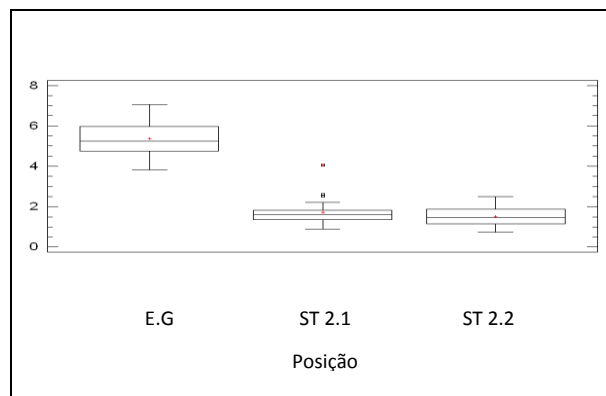
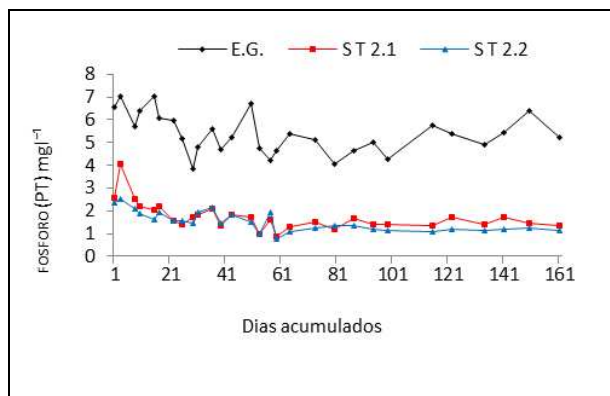


Figura a. Concentrações médias, dias acumulados. **Figura b.** Valores médios, posições.

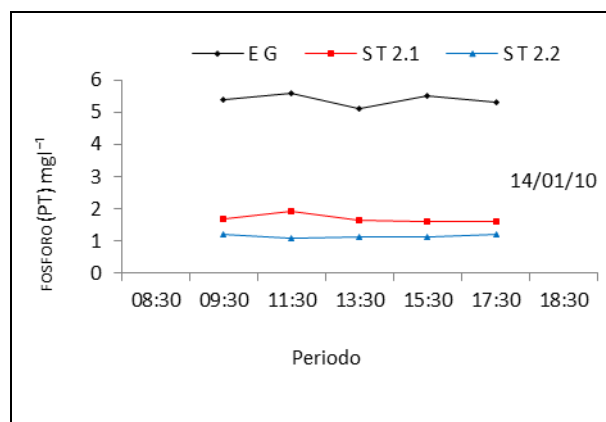
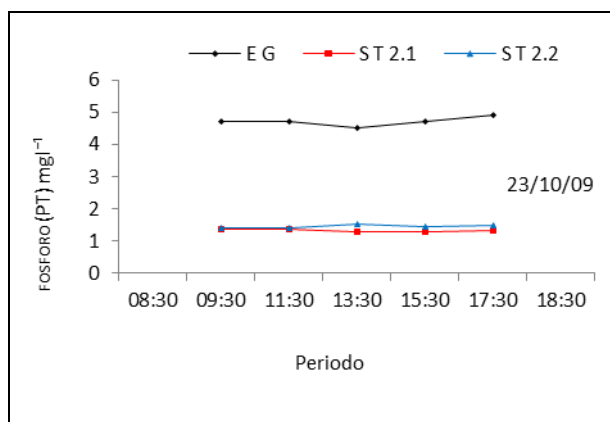


Figura c. Valores médios, dia e posições.

Figura d. Valores médios, dia e posições.

Figura 6.24. Valores de concentração fósforo total nas entradas e saídas dos leitos cultivados T2.1 e T2.2.

g. Concentração de Ferro da água nos leitos T2.1 e T2.2

A Figura 6.25 mostra as concentrações médias de ferro observadas durante o período de amostragem. Observa-se que as concentrações foram baixas e as variações foram constantes em ambos os leitos. A Figura 6.25a mostra que as concentrações foram maiores na EG, no período de 21 a 61 dias e 121 a 161 dias acumulados, em relação às posições ST2.1. e ST2.2. Os valores médios das concentrações, observadas nas posições EG; ST2.1. e ST2.2 foram 0,3; 0,2 e 0,1 mg l⁻¹ sendo retido as diferenças 0,1 mg l⁻¹ ou 33% e 0,1 mg l⁻¹ ou 50% respectivamente.

h. Concentração de Alumínio da água nos leitos T2.1 e T2.2

As determinações de alumínio foram realizadas em amostras compostas a partir de dezembro de 2009, o fato se deu devido a ruptura das embalagens plásticas e perdas de material. As concentrações médias de alumínio, considerando os dias acumulados, foram muito baixas, podendo ser observadas por meio das Figuras 6.26a e 6.26b. Nota-se que houve aumento das concentrações nas ST2.1. De modo geral os valores das concentrações foram baixos; as figuras 6.26c e 6.26d mostram as concentrações médias diárias. Os valores médios foram próximos a 0,025; 0,03 e 0,02 mg l⁻¹ nas posições EG, ST2.1 e ST2.2.

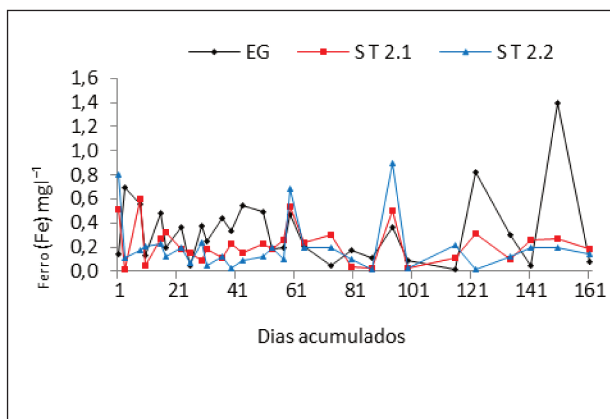


Figura a. Valores médios, dias acumulados.

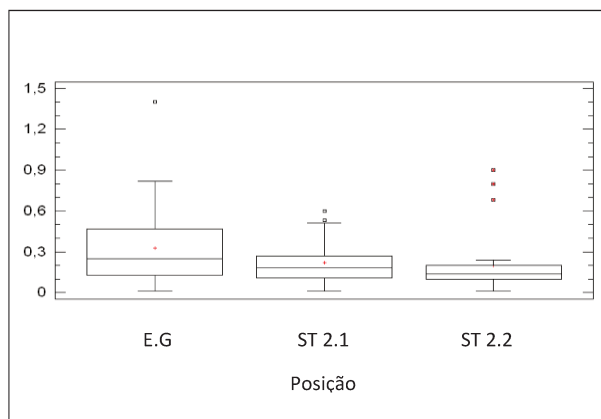


Figura b. Valores médios, posições.

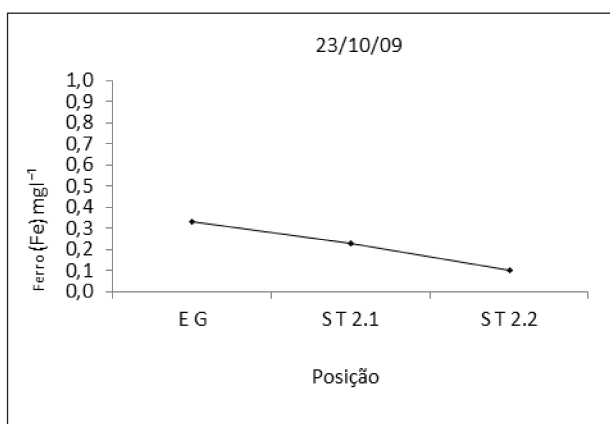


Figura c. Valores médios, dia e posições.

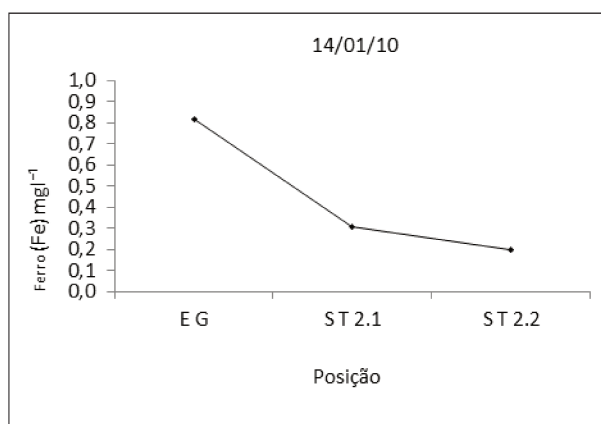


Figura d. Valores médios, dia e posições.

Figura 6.25. Valores de concentração de ferro nas entradas e saídas dos leitos cultivados T2.1 e T2.2

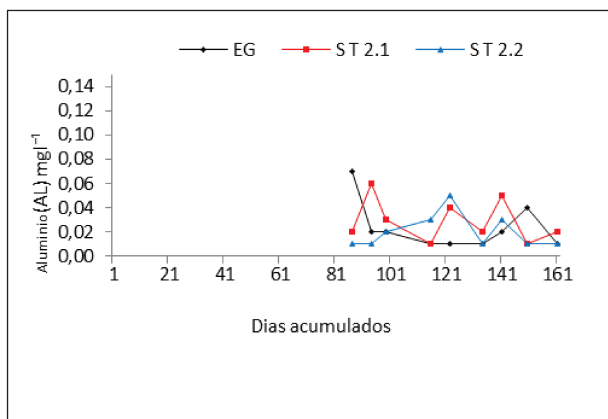


Figura a. Valores médios, dias acumulados.

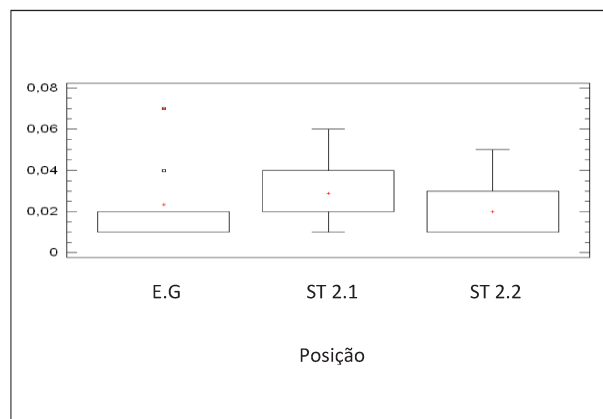


Figura b. Valores médios, posições.

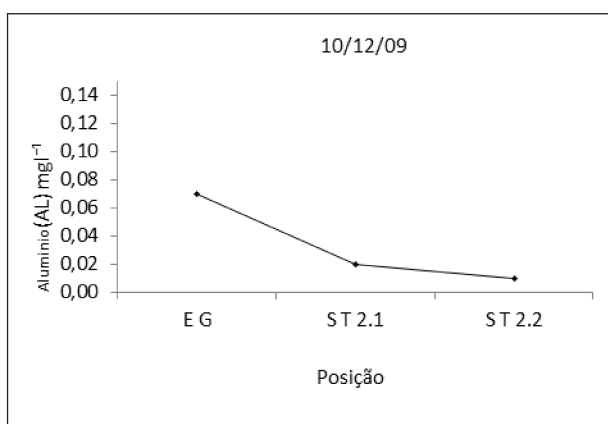


Figura c. Valores médios, dia e posições.

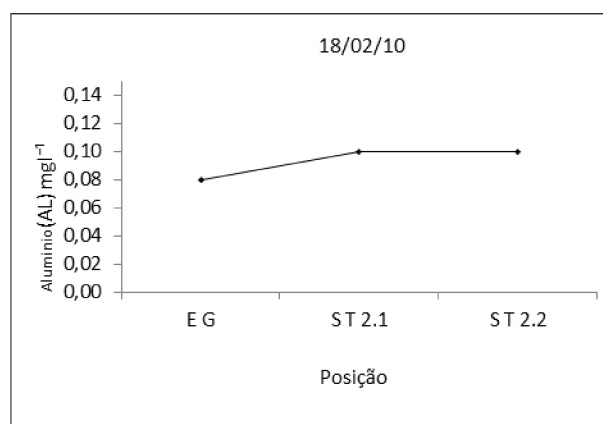


Figura d. Valores médios, dia e posições

Figura 6.26. Valores de concentração alumínio nas entradas e saídas dos leitos cultivados T2.1 e T2.2.

i. Condutividade elétrica nos leitos T2.1 e T2.2

A Figura 6.27 mostra as condutividades elétricas médias no período monitorado e posições. A Figura 6.27a e 6.27b mostram que as condutividades, nas 3 posições, foram diminuídas ao longo dos dias acumulados e posições consideradas. Os valores médios observados foram 669; 516 e 467 $\mu\text{S}/\text{cm}$; sendo as diferenças 153 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ou 23% e 49 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ou 9,5%, conforme as posições ST2.1. e ST2.2.

As Figuras 6.27c e 6.27d mostram que condutividades médias segundo os dois dias considerados sofreram poucas variações.

j. Concentração de oxigênio dissolvido nos leitos T2.1 e T2.2

A Figura 6.28 mostra as concentrações médias de oxigênio dissolvido no período monitorado. A Figura 6.28a mostra que as remoções foram mais acentuadas na posição ST2.1 onde as águas residuárias passaram primeiramente, fato observado na figura 6.28b. Os valores médios das concentrações de oxigênio dissolvido, segundo as posições EG, ST2.1 e ST2.2 foram 2,6; 1,7 e 1,4 mg l^{-1} ; as diferenças foram de 0,9 mg l^{-1} ou 35% no T2.1 e 0,3 mg l^{-1} ou 25% no T2.2 respectivamente.

As Figuras 6.28c e 6.28d mostram as concentrações relativas aos dias 10/12/2009 e 18/12/2010; nota-se, tal como o ocorrido no T3.1, que maiores concentrações de oxigênio dissolvido ocorreram nos períodos das manhãs.

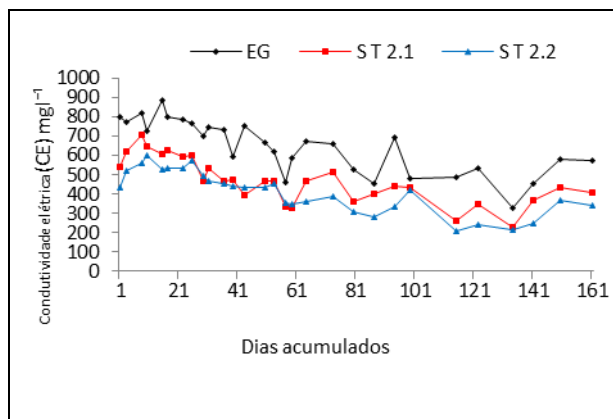


Figura a. Valores médios, dias acumulados.

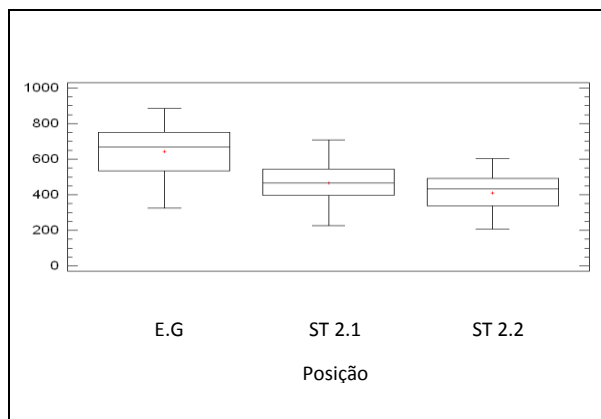


Figura b. Valores médios, posições.

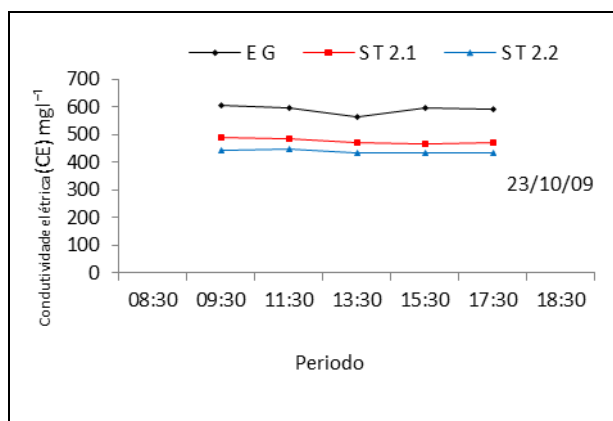


Figura c. Valores médios, dia e posições.

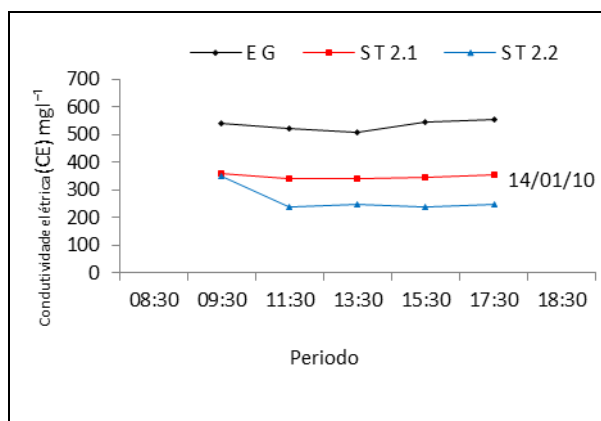


Figura d. Valores médios, dia e posições.

Figura 6.27. Valores de condutividade elétrica nas entradas e saídas dos leitos cultivados T2.1 e T2.2.

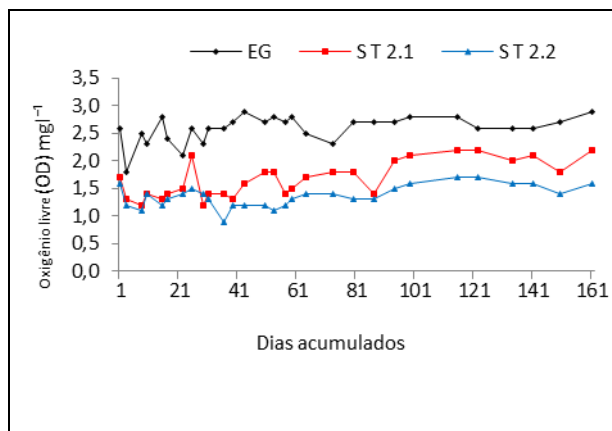


Figura a. Valores médios, dias acumulados.

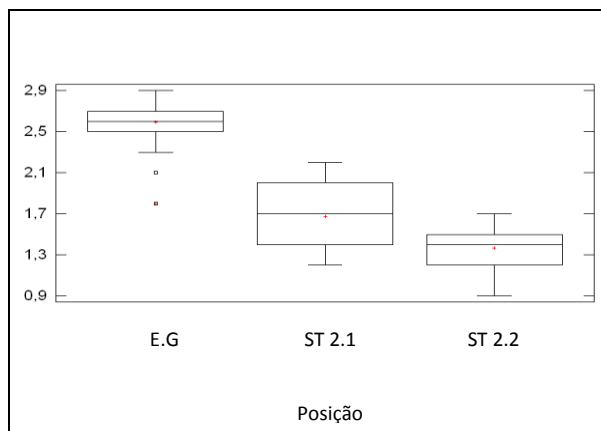


Figura b. Valores médios, posições.

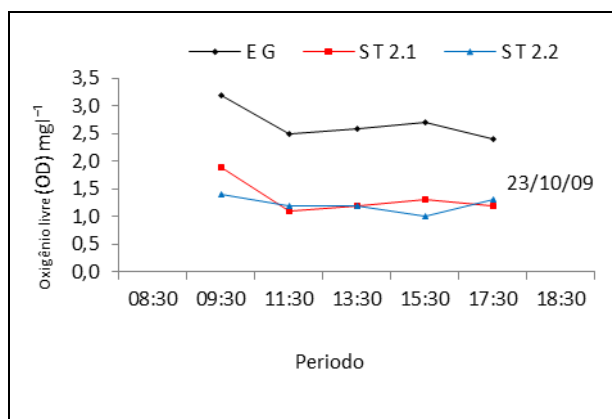


Figura c. Valores médios, dia e posições.

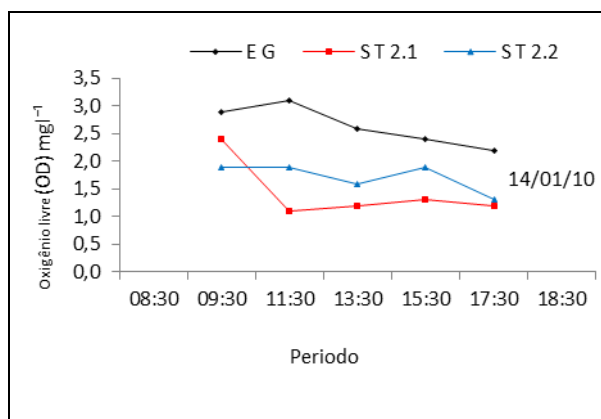


Figura d. Valores médios, dia e posições.

Figura 6.28. Valores de concentração oxigênio livre nas entradas e saídas dos leitos cultivados T2.1 e T2.2.

k. Demanda Química de Oxigênio nos leitos T2.1 e T2.2.

A Figura 6.29 mostra as concentrações médias de demanda química de oxigênio, observadas nas análises das amostras compostas, no período monitorado. A Figura 6.29a mostra que ocorreram muitas variações durante todo o período monitorado. A Figura 6.29b mostra que as concentrações médias, segundo as posições consideradas, foram de 51, 36 e 37 mg l^{-1} diferença de 15 mg l^{-1} ou 29% e 1,0 mg l^{-1} ou 2,7% , segundo as posições T2.1. e T2.2. As Figuras 6.29c e 6.29d mostram as concentrações durante os dois dias nos períodos.

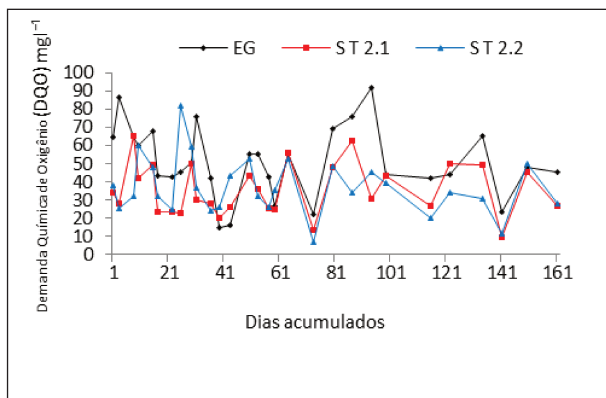


Figura a. Valores médios, dias acumulados.

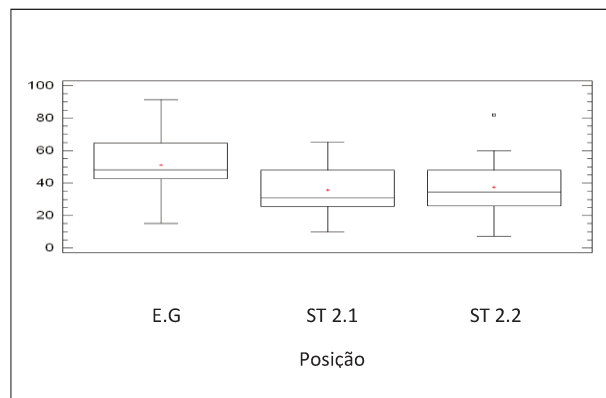


Figura b. Valores médios, posições.

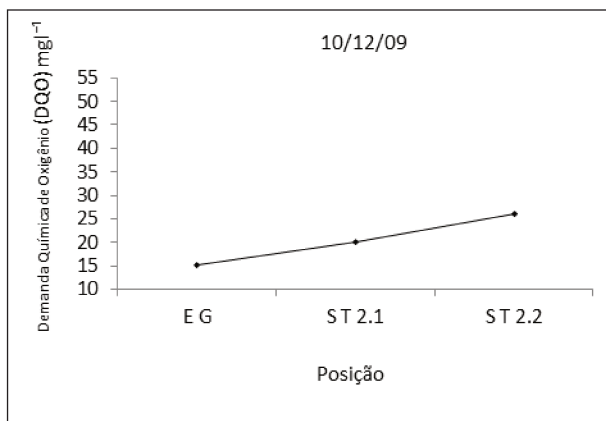


Figura c. Valores médios, dia e posições.

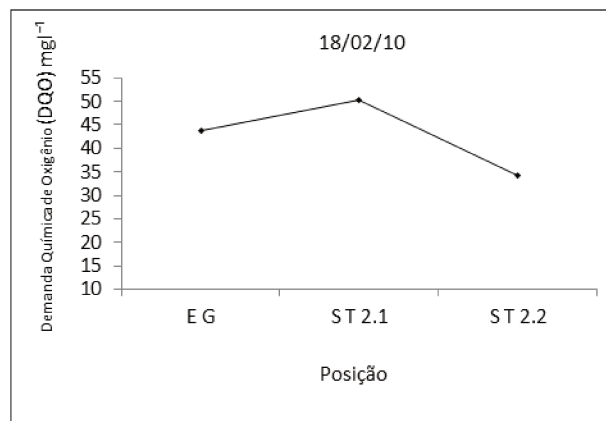


Figura d. Valores médios, dia e posições.

Figura 6.29. Valores de concentração da demanda química de oxigênio nas entradas e saídas dos leitos cultivados T2.1 e T2.2.

2.4. Desenvolvimento da vegetação nos leitos T2.1 e T2.2.

Os parâmetros relacionados ao desenvolvimento da vegetação foram: altura, área e índice de área foliar, biomassa produzida e remoção de nitrogênio e fósforo.

2.4.1. Monitoramento da altura

As Figuras 6.30 e 6.31 mostram o desenvolvimento da vegetação nas posições superior e inferior (montante e jusante) dos leitos 2.1 e 2.2. As Figuras 6.30a e 6.30b apresentam as condições observadas nas posições superior e inferior do T2.1. A Figura 6.30a mostra que a vegetação atingiu um crescimento de 190 cm, em 10/12/09, na posição superior do T2.1. A Figura 6.30b mostra que a vegetação apresentou um crescimento máximo de 55 cm, em 06/11/09, na posição inferior do T2.1.

As Figuras 6.31a e 6.31b do leito 2.2, posições superior e inferior, mostram que em ambas as posições a vegetação atingiu alturas próximas de 40 cm. A Figura 6.32 ilustra melhor o desenvolvimento diferenciado da vegetação nos T2.1 e T2.2, conforme posições superior e inferior (montante e jusante).

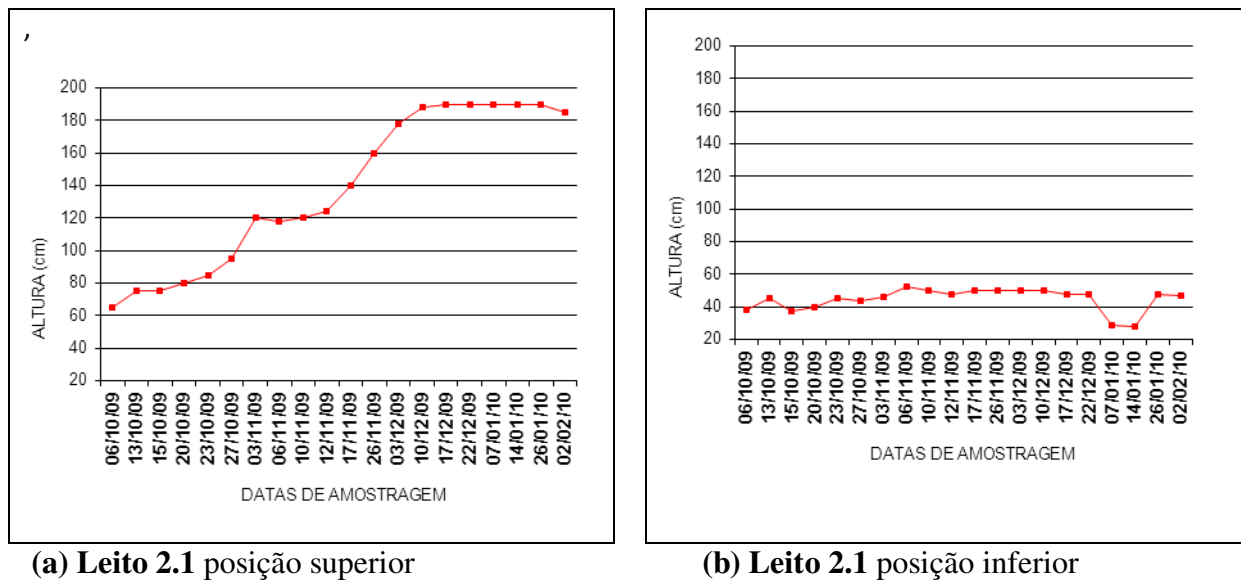
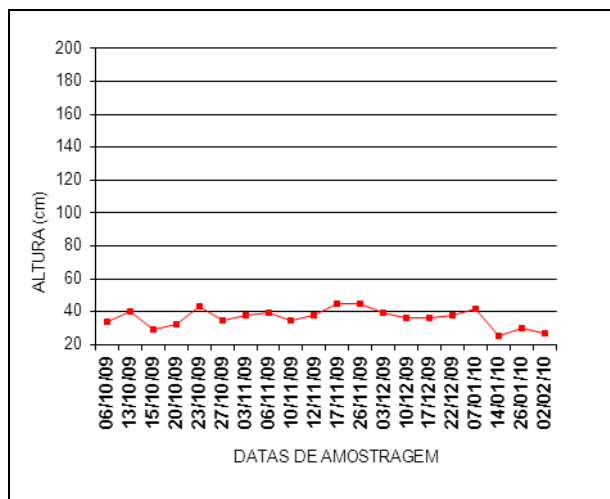
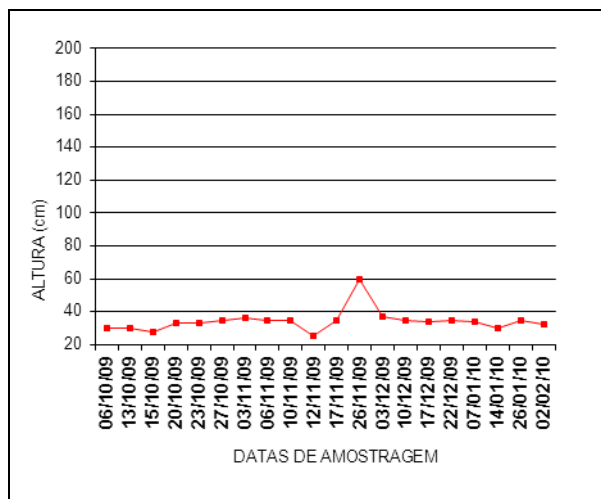


Figura 6.30. Crescimento da vegetação segundo as posições no leito T2.1



(a) Leito 2.2 posição superior



(b) Leito 2.2 posição inferior

Figura 6.31. Crescimento da vegetação segundo as posições no leito T2.2



(a) T2.1 metades inferior e superior



(b) T2.2 metades inferior e superior

Figura 6.32. Desenvolvimento da vegetação, segundo as metades inferior e superior dos leitos T2.1 e T2.2.

2.4.2. Área foliar nos leitos T2.1 e T2.2.

A área foliar do vegetal *Canna limbata* foi determinada por ocasião da colheita final, por meio de aproximações de figuras geométricas. As medidas foram tomadas em uma série de plantas selecionadas, segundo um quadrante representativo nas posições superior e inferior de cada leito. O valor foi extrapolado para a área total segundo as referidas posições. A área de cada posição considerada, ou seja, metade do leito, foi de 6 m².

Os valores obtidos foram: 1.461.240 cm² para a metade superior do T2.1 e 46.958 cm² para a metade inferior do mesmo leito, totalizando 1.508.198 cm². Para o leito 2.2 os valores foram 16.880 cm² para a metade superior e 53.116 cm² para a metade inferior do mesmo leito, totalizando 69.996 cm².

2.4.3. Biomassa produzida nos leitos T2.1 e T2.2.

A quantidade de biomassa produzida foi conhecida por ocasião do corte final da vegetação, realizado em 19 de fevereiro de 2010. Ambas as massas, aérea, representada pelas folhas, colmos e flores e subterrânea, representada pelas raízes e rizomas, foram obtidas conforme o procedimento descrito em material e métodos.

As quantidades de massas secas aérea produzidas nos leitos T2.1 e T2.2, mostrados nas tabelas 10c e 11c, foram 26.813g e 2.599g respectivamente, totalizando 29.412g.

As quantidades de massas secas de raízes produzidas nos leitos T2.1 e T2.2 foram 10.173g e 2.785g respectivamente, totalizando 12.958g.

As quantidades de massas secas de rizomas produzidas nos leitos T2.1 e T2.2 foram 13.764g e 1.699g, respectivamente, totalizando 15.463g. A quantidade total de massa seca produzida no período monitorado, em ambos os leitos, foi de 57.833,0 g.

3. Leitos cultivados com *Cyperus prolifer* nos leitos T1.1 e T1.2..Série *Cyperus*.

3.1. Vazão de entrada e saída nos leitos T1.1 e T1.2

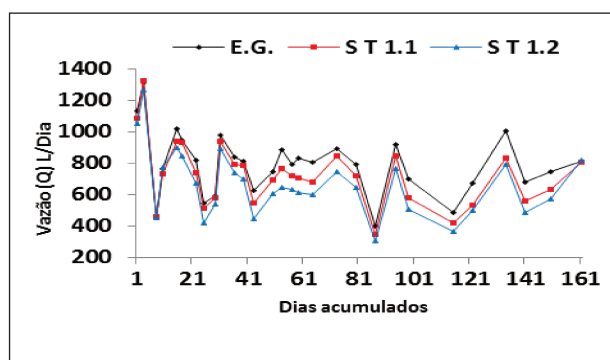
Os leitos cultivados com o vegetal fazem parte do bloco 1, ambos, T1.1 e T1.2, foram abastecidos com crostas de diâmetro médio de 1 cm. As posições foram representadas pelas siglas: EG- Entrada Geral de afluente; ST1. 1- Saída de efluente do primeiro leito ST1. 2 - Saída de efluente do segundo leito. A Figura 6.33 apresenta as vazões médias diárias em dias acumuladas, nas posições de entrada (EG) e saídas dos tanques 1.1 e 1.2. e nos dias considerados. A Figura 6.33a mostra que as vazões variaram muito durante o período monitorado; mostra também as diferenças conforme as posições EG, ST1.1 e ST1.2., fato mostrado também pela Figura 6.33b. Durante o período de amostragem as vazões médias diárias nas posições EG, ST1.1 e ST1.2 foram 792; 723 e 664 l/dia; as evapotranspirações foram 69 l/dia e 79 l/dia, as alturas das lâminas d'águas evaporadas foram de 5,7mm/dia e 6,6 mm/dia.

As Figuras 6.33c e 6.33d apresentam as vazões médias nos dias 10/12/09 e 18/02/2010. Observa-se, por intermédio da figura 6.33c, que as vazões aumentaram nos períodos de 9:30 horas até 11:30h e 13:30 horas até 15:30 horas, fato justificado pela maior concentração de alunos.

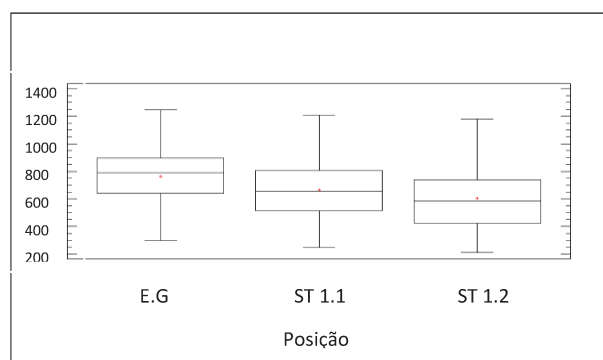
3.2. Tempo de Detenção Hidráulica para leitos T1.1 e T1.2

As Figuras 6.34a e 6.34b mostram os tempos de detenção nos tanques 1.1 e 1.2. O tempo de detenção médio no tanque 1.2 foi maior que no tanque 1.1.

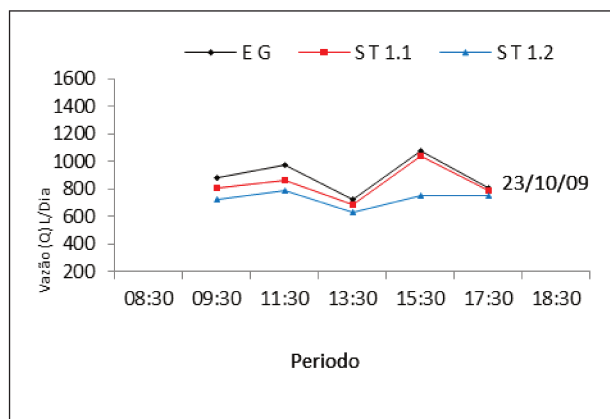
Os valores médios dos tempos de detenção, para os leitos 1.1 e 1.2 foram 4,3 e 4,7. As Figuras 6.34c e 6.34d mostram as variações dos tempos de detenção hidráulicas durante os dias 23/10/2009 e 14/01/2010. Observa-se que os valores são inversos às vazões.



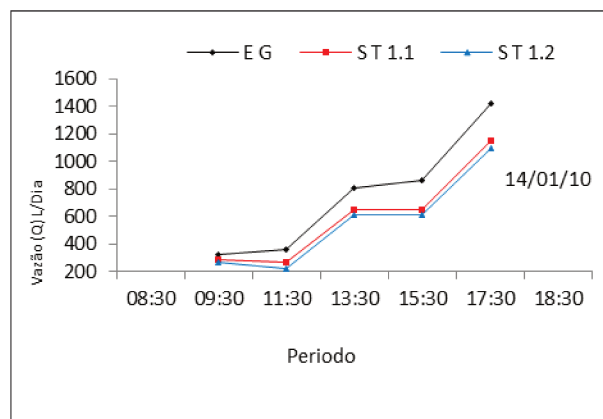
(a) Valores médios – dias acumulados



(b) Valores médios - posições

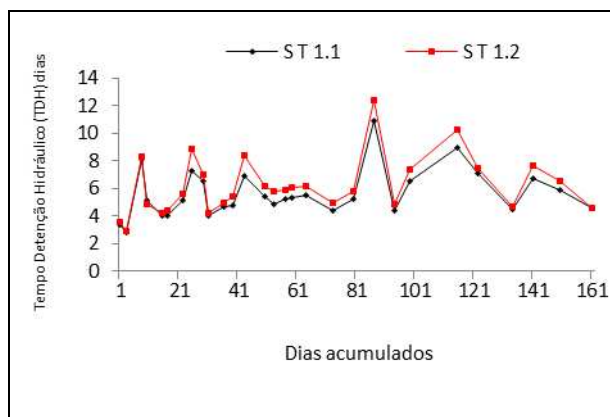


(c) Valores horários - dia

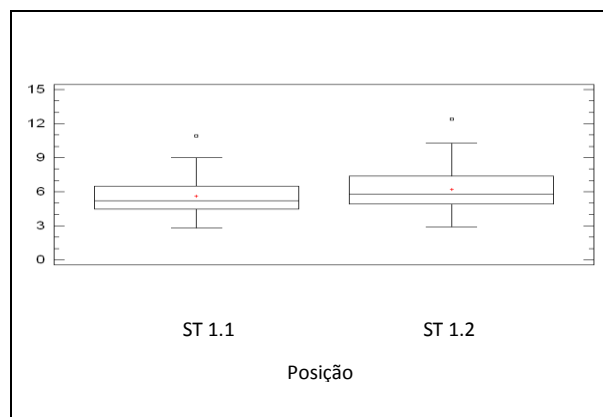


(d) Valores horários - dia

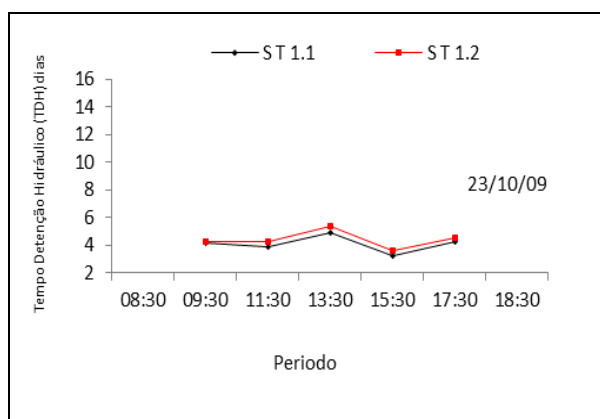
Figura 6.33. Vazões de entrada e saídas nos leitos cultivados T1.1 e T1.2.



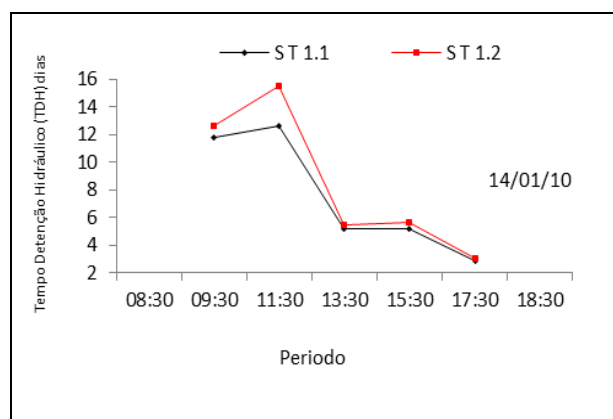
(a) Valores médios - dias acumulados



(b) Valores médios - posições



(c) Valores horários - dia



(d) Valores horários - dia

Figura 6.34. Tempo de detenção hidráulica para os leitos cultivados T1.1 e T1.2..

3.3. Parâmetros de qualidade de água nos leitos T1.1 e T1.2

Os parâmetros de qualidade da água para avaliação dos leitos cultivados foram: Temperatura da Água, pH, Concentração de Amônia, Concentrações de Nitrito e Nitrato, Concentração de Fósforo Total, Concentração de Ferro, Concentração de Alumínio, Condutividade Elétrica, Concentração de Oxigênio Dissolvido e Concentração de Demanda Química de Oxigênio.

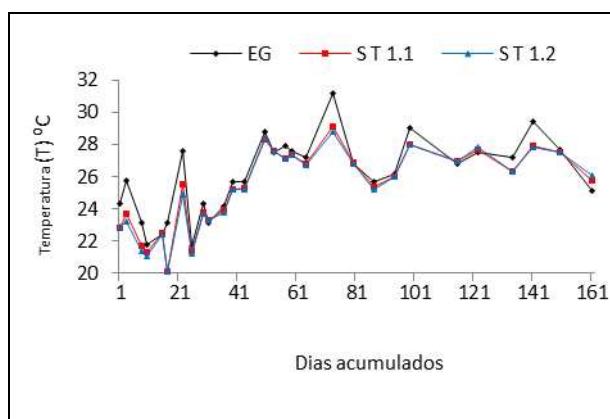
a. Valores de Temperatura da água nos leitos T1.1 e T1.2

A Figura 6.35 mostra os valores de temperatura de entrada e saída dos leitos cultivados. As Figuras 6.35a, 6.35c e 6.35d, mostram aumento das temperaturas a partir do mês de novembro e nas horas dos dias A Figura 6.35b mostra que houve redução da temperatura conforme as posições EG, ST1.1 e ST1.2.

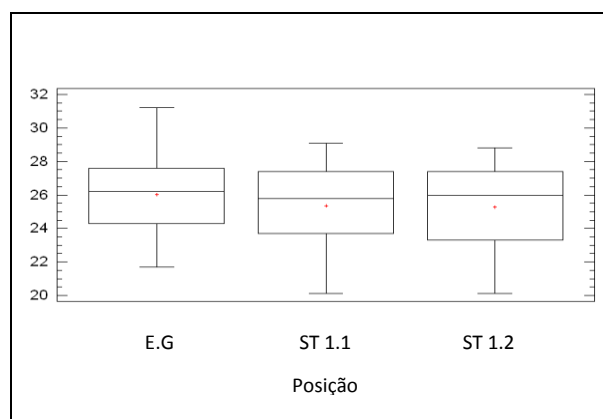
b. Valores de pH da água nos leitos T1.1 e T1.2

Os valores de pH podem ser visualizados por intermédio da Figura 6.36. As Figuras 6.35a e 6.35b mostram que durante o período monitorado os valores dos pH das águas da entrada (EG) permaneceram menores que os valores de pH nas saídas dos leitos ST1.1 e ST1.2 Os valores médios, nas posições EG, ST1.1 e ST1.1, foram respectivamente 6,9;9,0 e 9,1 variação de 2,1 e 0,1 unidades ou 30% e 1,1%.

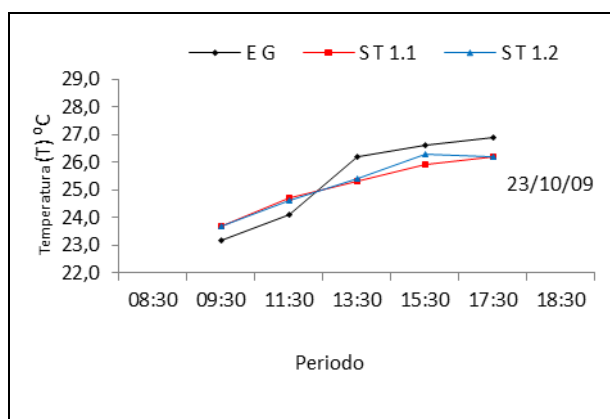
As Figuras 6.35c e 6.35d mostram os valores de pH ao longo dos dias 23/10/2009 e 14/012010. Nota-se que, em ambos os dias, nos períodos amostrados, os valores apresentaram pouca variação.



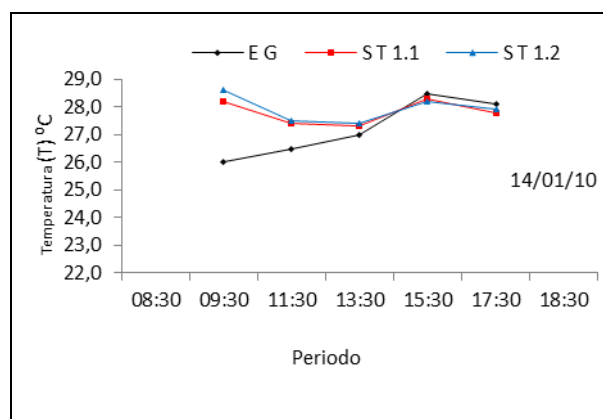
(a) Valores médios – dias acumulados



(b) Valores médios - posições

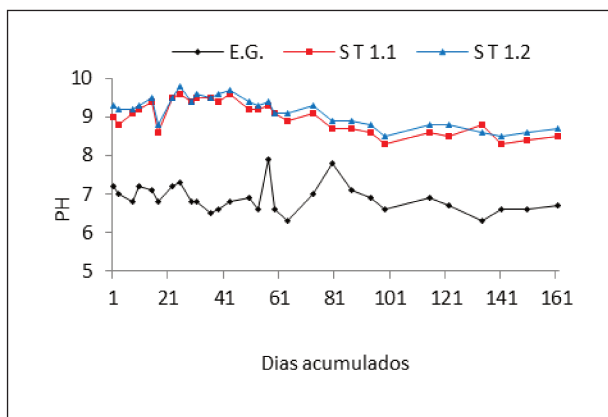


(c) Valores horários - dia

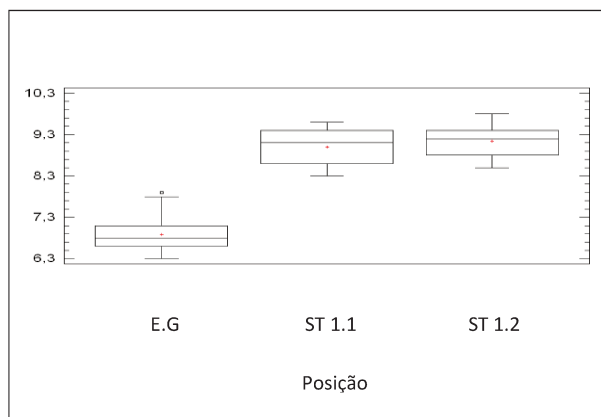


(d) Valores horários - dia

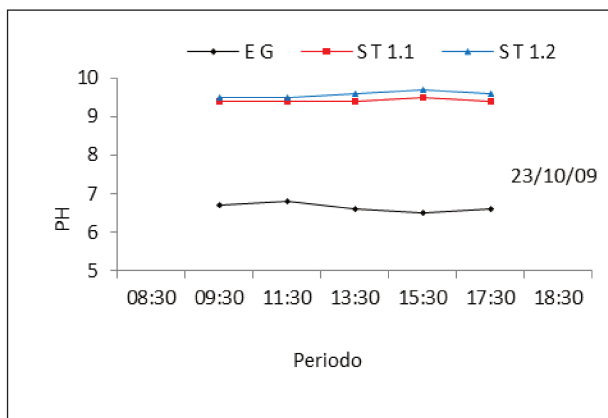
Figura 6.35. Valores de temperaturas das águas nas entradas e saídas dos leitos cultivados T1.1 e T1.2.



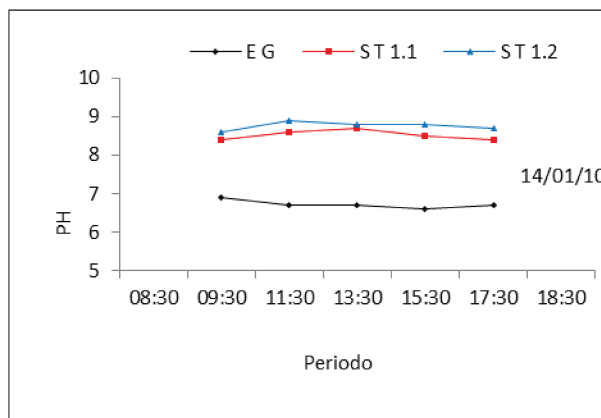
a) Valores médios – dias acumulados



(b) Valores médios - posições



(c) Valores horários - dia



(d) Valores horários - dias

Figura 6.36. Valores de pH das águas das entradas e saídas dos leitos cultivados T1.1 e T1.2.

c. Concentração de Amônia da água nos leitos T1. 1 e T1.2

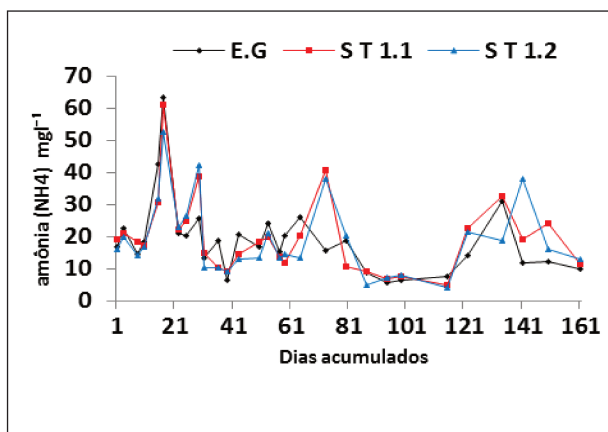
As concentrações médias de amônia são mostradas na Figura 6.37. A Figura 6.37a mostra que, durante todo o período, ocorreram variações nas concentrações. As variações irregulares e acentuadas e os valores mais elevados ocorreram principalmente no mês de setembro e outubro de 2009 e janeiro de 2010.

A Figura 6.37b mostra que as concentrações médias na entrada e nas saídas dos leitos apresentaram poucas diferenças. Os valores médios observados, segundo as posições EG, ST1.1 e ST1.2, foram 18,8; 19,8 e 19,0 mg l⁻¹; diferenças negativas ou ausentes ocorreram devido às diferenças serem pequenas.

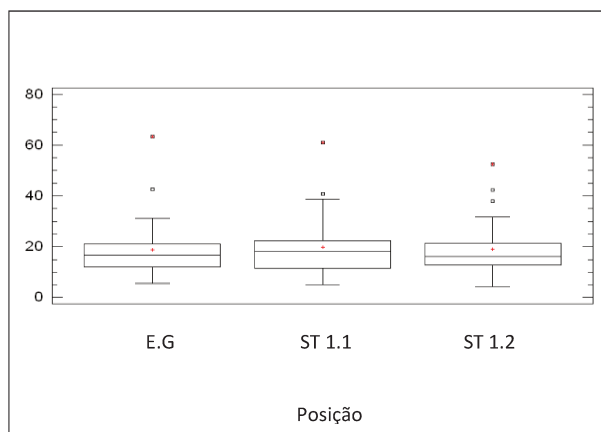
As Figuras 6.37c e 6.37d mostram que as concentrações médias diárias observadas nos dias 23/10/2009 e 14/01/2010 aumentaram conforme as posições consideradas.

d. Concentração de Nitrito da água nos leitos T1. 1 e T1.2

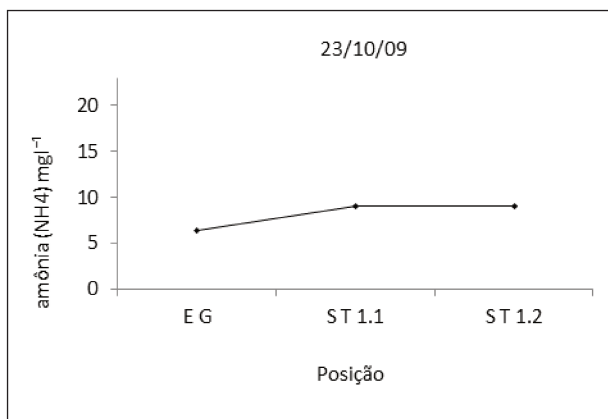
As concentrações médias de nitrito podem ser visualizadas por meio da Figura 6.38. A Figura 6.38a mostra que, durante o período, as concentrações permaneceram baixas. As variações acentuadas foram observadas no início e no final do período monitorado, fato verificado com a amônia. A Figura 6.38b mostra vários pontos considerados extremos, principalmente na posição EG. Os valores médios das concentrações de nitrito, nas posições EG, ST1.1 e ST1.2 foram respectivamente 6,3; 1,8 e 0,9 mg l⁻¹, 4,5 mg l⁻¹ ou 71% e 0,9 mg l⁻¹ ou 50%. As Figuras 6.38c e 6.38d mostram as concentrações médias diárias de nitrito nas posições amostradas nos dias 23/10/2009 e 14/01/2010.



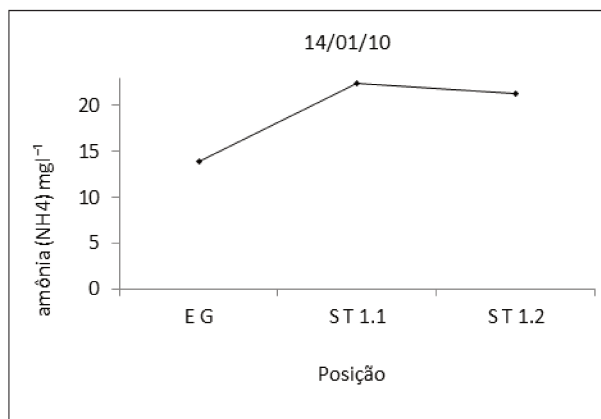
(a) Concentrações médias – dias acumulados



(b) Concentrações médias - posições

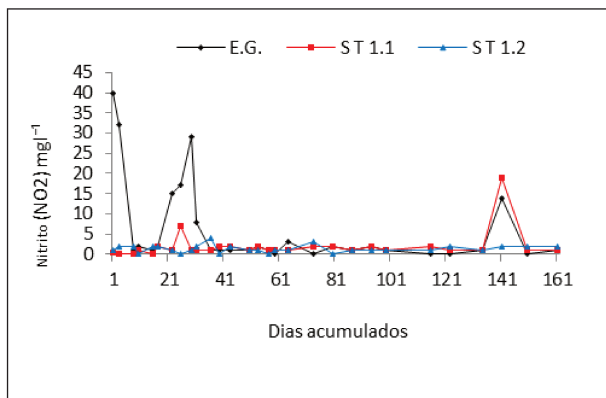


(c) Concentrações médias dia - posições

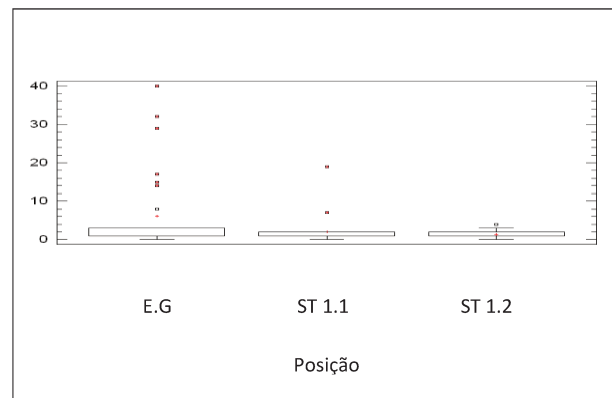


(e) concentrações médias dia - posições

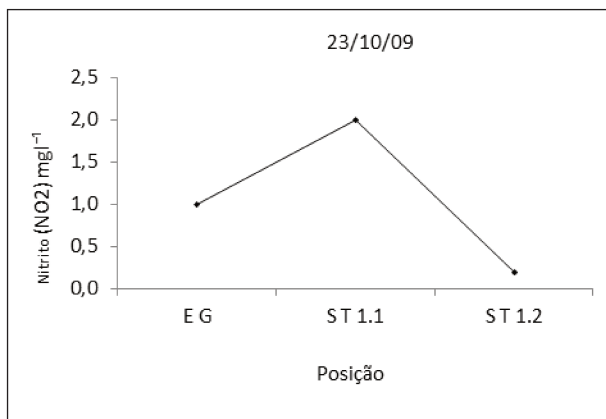
Figura 6.37. Valores de concentração amônia nas entradas e saídas dos leitos cultivados T1.1 e T1.2 .



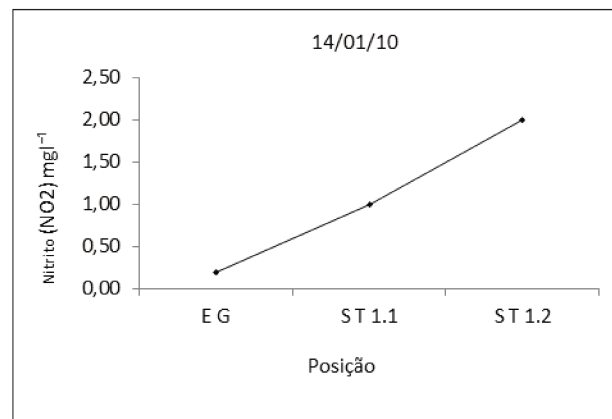
(a) Concentrações médias - dias acumulados



(b) Concentrações médias - posições



(c) Concentrações médias dia - posições



(d) Concentrações médias dia - posições

Figura 6.38. Valores de concentração nitrito nas entradas e saídas dos leitos cultivados T1.1 e T1.2.

e. Concentração de Nitrato da água nos leitos T1. 1 e T1.2

As concentrações médias diárias de nitrato, durante o período de monitoramento, podem ser observadas por meio da Figura 6.39. De modo geral as concentrações de nitrato e nitrito, nas águas residuárias domésticas, são consideradas baixas. A Figura 6.39b mostra que a retenção foi elevada em ambos os tanques.

Os valores médios das concentrações nas posições EG, ST1.1 e ST1.2 foram 4,5; 0,9 e 0,4 mg l⁻¹ e as diferenças foram de 3,6 mg l⁻¹ ou 80% e 0,5 mg l⁻¹ ou 55%.

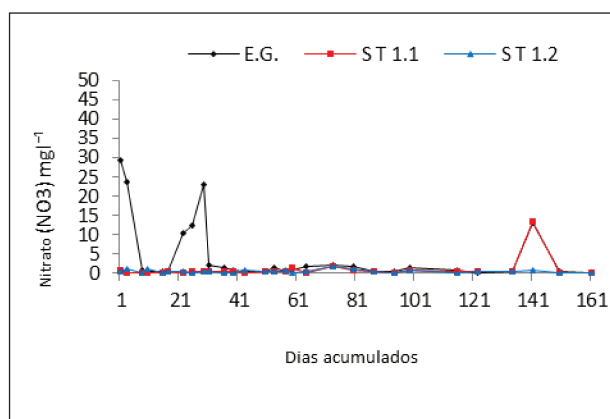
A Figura 6.39b, posição EG, mostra diversos valores considerados extremos, tal como o ocorrido no nitrito. As Figuras 6.39c e 6.39d mostram os valores médios diários de nitrato nos dias 23/10/2009 e 14/01/2010, segundo as posições das amostragens. Observa-se que o ocorrido na Figura 6.39d é aparentemente anormal.

f. Concentração de Nitrato da água nos leitos T1.1 e T1.2

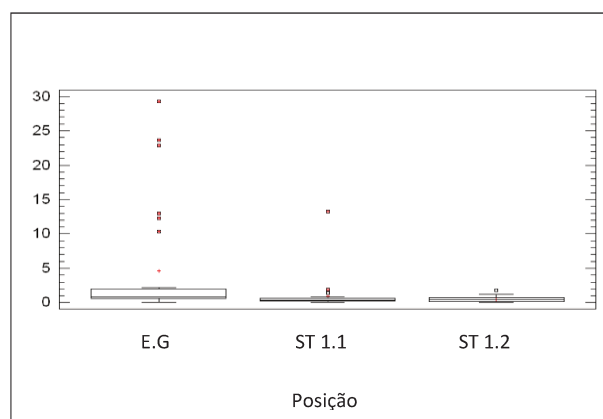
A Figura 6.40 mostra as concentrações médias de fósforo no período de dias acumulados, posições e no período diário de dois dias considerados.

A Figura 6.40a mostra que ocorreram variações nas concentrações durante o período monitorado. A Figura 6.40b mostra que no leito 1.1 ocorreu elevada retenção de fósforo; o leito 1.2 mostrou menor retenção, uma vez que recebeu as águas residuárias do leito 1.1. Os valores médios das concentrações foram 5,4; 1,1 e 0,5 mg l⁻¹ para EG, ST1.1 e ST1.2; as diferenças foram de 4,3 mg l⁻¹ ou 79% para o T1.1 e 0,6 mg l⁻¹ ou 54% para o T1.1.

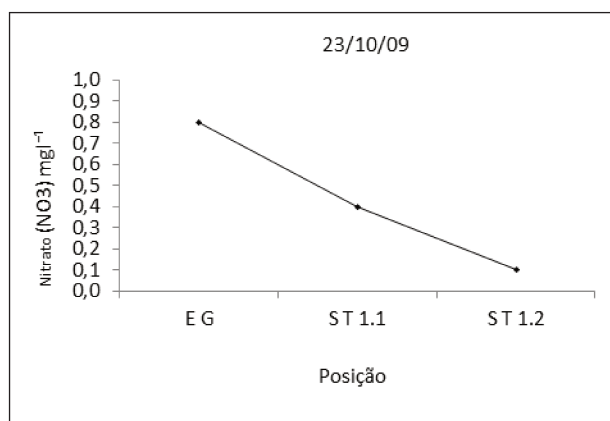
As Figuras 6.40c e 6.40d mostram as variações das concentrações do fósforo, considerando as EG, ST1.1 e ST1.2, dias e os horários das amostragens.



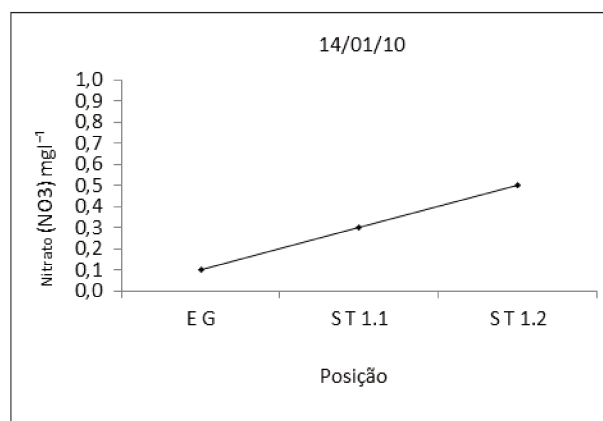
(a) Concentrações médias – dias acumulados



(b) concentrações médias - posições

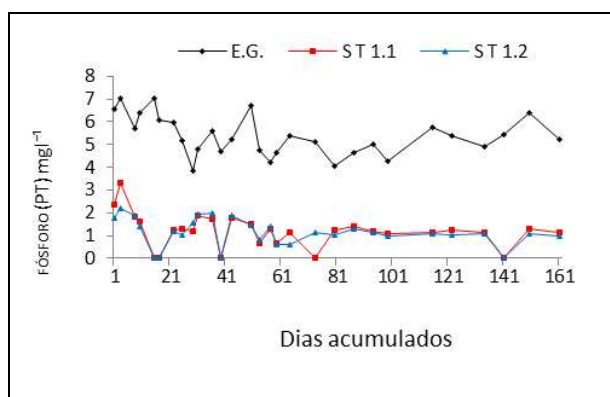


(c) Concentrações médias dia - posições

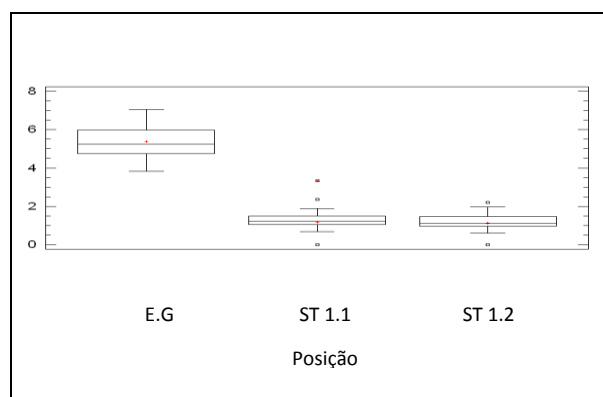


(d) Concentrações médias dia - posições

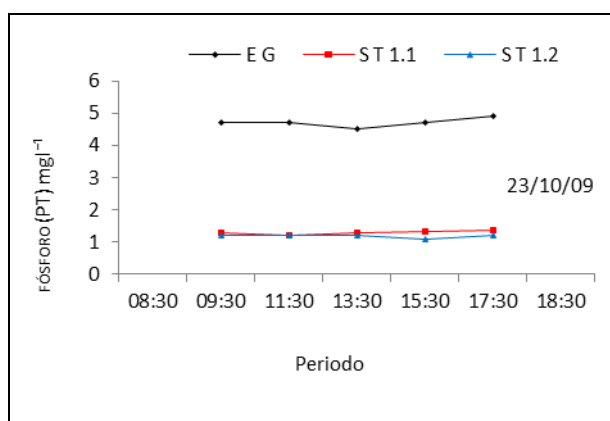
Figura 6.39. Valores de concentração nitrato nas entradas e saídas dos leitos cultivados T1.1 e T1.2.



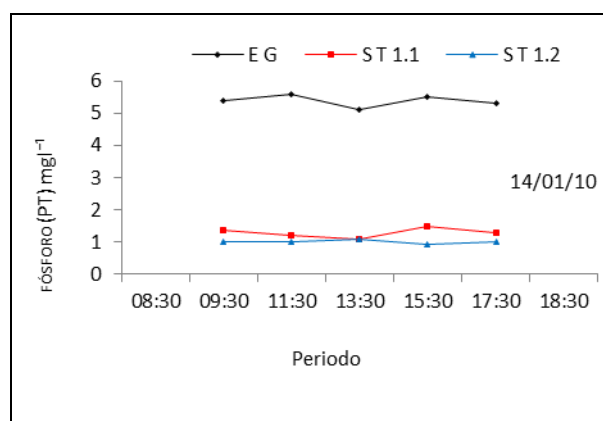
(a) Concentrações médias – dias acumuladas



(b) Concentrações médias - posições



(c) Concentrações médias/dia - posições



(d) Concentrações médias/ dia - posições

Figura 6.40. Valores de concentração fósforo total nas entradas e saídas dos leitos cultivados T1.1 e T1.2

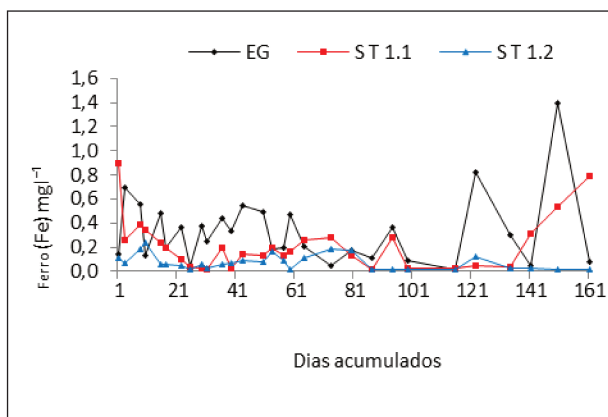
g. Concentração de Ferro da água nos leitos T1. 1 e T1.2

A Figura 6.41 mostra as concentrações médias de ferro durante o período monitorado. Observa-se que as variações foram constantes em ambos os leitos e as concentrações, de modo geral, foram baixas. A Figura 6.41a mostra que as concentrações na EG, nos meses de setembro e outubro de 2009 e janeiro de 2010, foram mais elevadas que as observadas nas saídas 1.1 e 1.2.. A Figura 6.41b mostra os valores médios do período e que a EG apresentou maior concentração que ST1.1 e ST1.2. Os valores observados conforme as posições EG; ST1.1. e ST1.2., foram 0,3; 0,2 e 0,1 mg l⁻¹, sendo as diferenças 0,1 mg l⁻¹ ou 33% e 50% em ambos os leitos respectivamente.

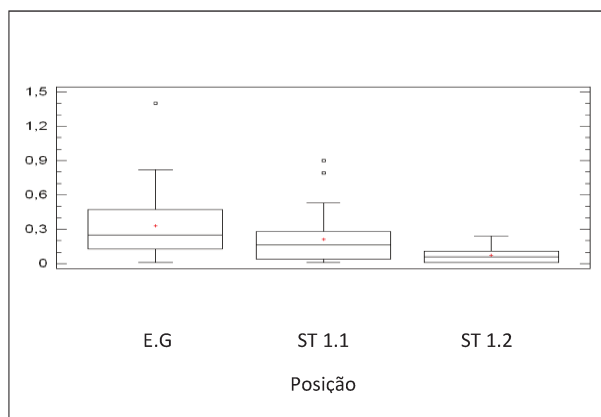
h. Concentração de Alumínio da água nos leitos T1.1 e T1.2

As determinações de alumínio foram realizadas a partir de dezembro de 2009, o fato se deu devido a perdas de amostras devido vazamento e ruptura das embalagens plásticas. As concentrações médias de alumínio, considerando os dias acumulados e posições podem ser visualizadas através das Figuras 6.42a e 6.42b. Nota-se que houve aumento da concentração na ST1.1; e modo geral os valores foram baixos. As concentrações médias, no período monitorado, foram próximos de 0,02 mg l⁻¹.

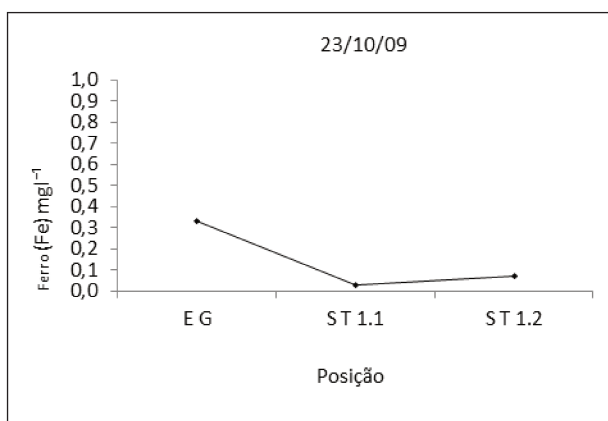
As figuras 6.42c e 6.42d mostram as médias diárias nas posições.



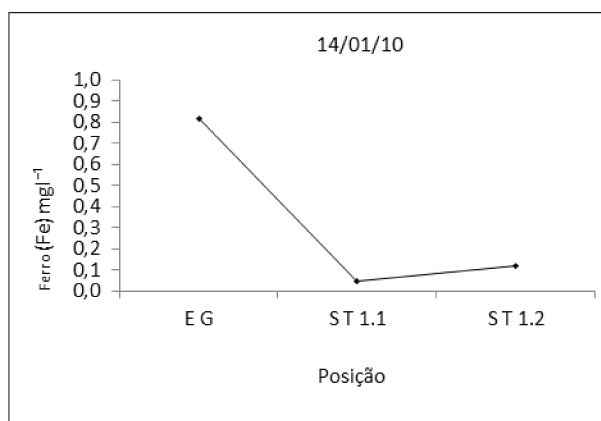
(a) Concentrações médias – dias acumulados



(b) Concentrações médias – posições

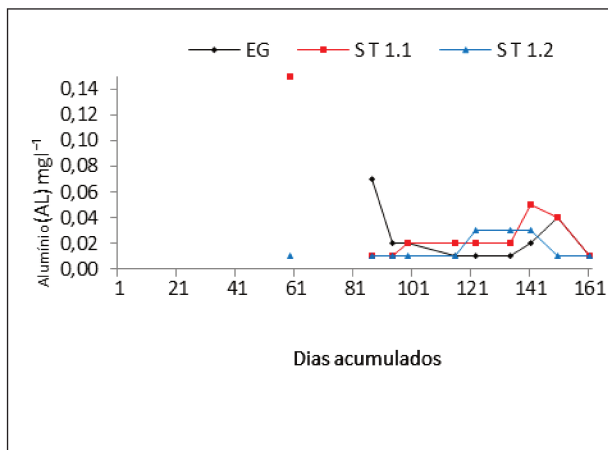


(c) Concentrações médias/dia - posições

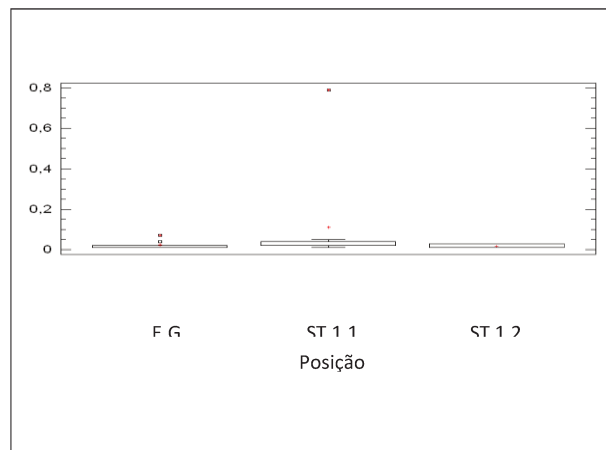


(d) Concentrações médias/ dia - posições

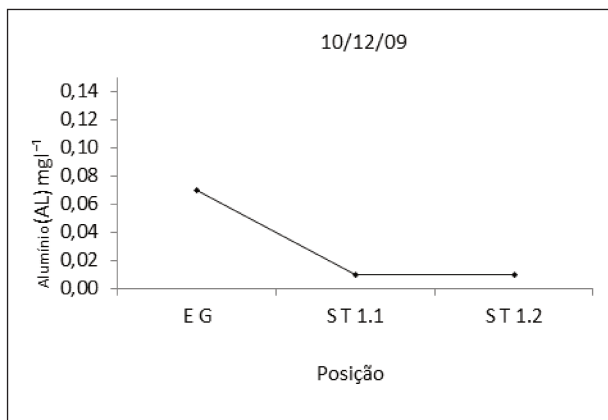
Figura 6.41. Valores de concentração de ferro nas entradas e saídas dos leitos cultivados T1.1 e T1.2.



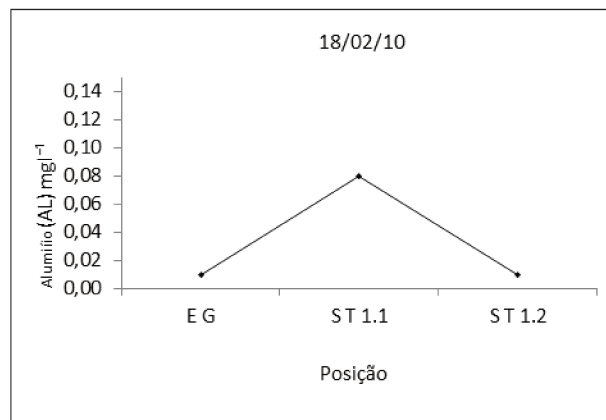
(a) Concentrações médias – dias acumulados



(b) Concentrações médias – posições



(c) Concentrações médias/dia - posições



(d) Concentrações médias/ dia - posições

Figura 6.42. Valores de concentração alumínio nas entradas e saídas dos leitos cultivados T1.1 e T1.2.

i. Valores de Condutividade Elétrica nos leitos T1. 1 e T1.2

A Figura 6.43 mostra as condutividades elétricas médias no período monitorado e posições. A Figura 6.43a e 6.43b mostram que as condutividades, nas posições ST1.1 e ST1.2, decresceram ao longo dos dias acumulados e posições.

Os valores médios das condutividades nas posições EG, ST1. 1 e ST1.2 foram 642; 481 e 423 $\mu\text{S cm}^{-1}$, redução de 161 $\mu\text{S cm}^{-1}$ ou 255 e 58 $\mu\text{S cm}^{-1}$. As Figuras 6.43c e 6.43d mostram as condutividades médias segundo os períodos amostrados e dias considerados.

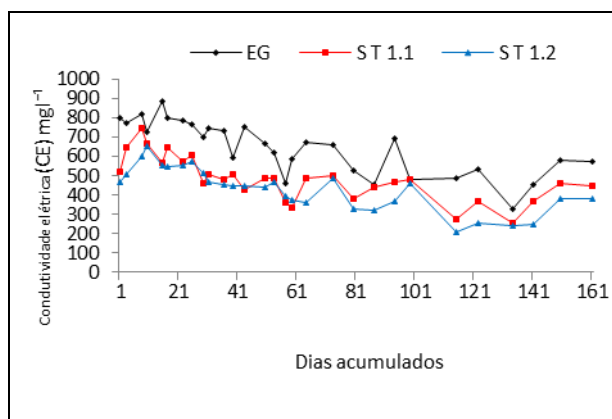
j. Concentração de Oxigênio Dissolvido nos leitos T1.1 e T1.2

A Figura 6.44 mostra as concentrações médias de oxigênio livre no período monitorado. A Figura 6.44a mostra que as concentrações diminuíram, segundo as posições ST1.1 e ST1.2, também observado na figura 6.44b.

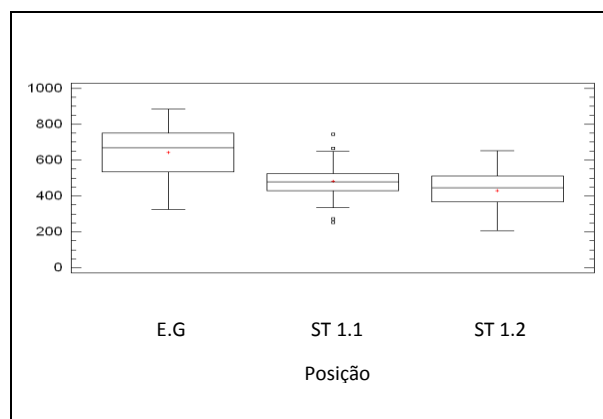
As Figuras 6.44c e 6.44d mostram as concentrações relativas aos dias 10/12/2009 e 18/12/2010. Observam-se valores elevados no início dos períodos diários. Os valores médios foram 2,6; 1,4 e 1,2 mg l^{-1} , 1,2 mg l^{-1} ou 46% e 0,2 mg l^{-1} ou 50% nos leitos 1.1 e 1.2.

A baixa concentração de oxigênio observada nas águas residuárias, conforme mostrado pela EG, podem ser devido às mesmas já terem passadas anteriormente em tanques contendo britas e vegetais aquáticos.

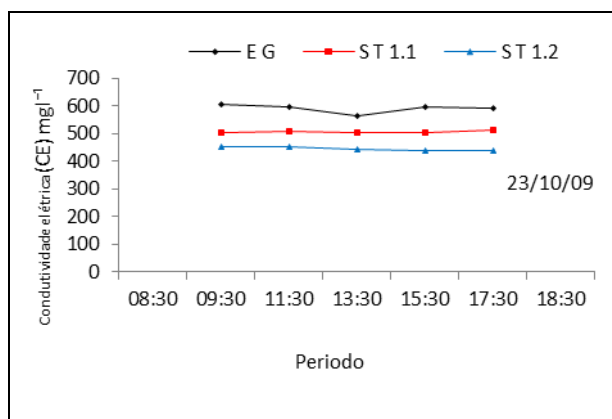
Tal como observado com os vegetais *Typha* e *Canna limbata*, as concentrações de oxigênio livres mostradas pelas Figuras 6.44c e 6.44d, são mais elevadas no início do período e reduzem durante o transcorrer do dia.



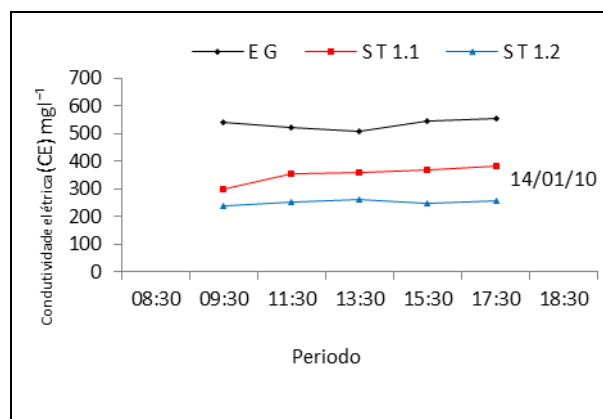
(a) Concentrações médias – dias acumulados



(b) Concentrações médias – posições

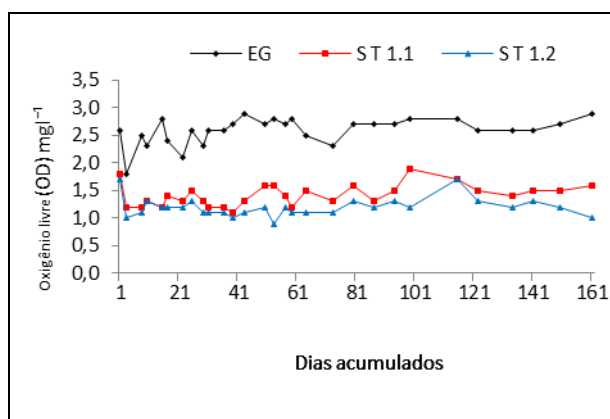


(c) Concentrações médias/dia - posições

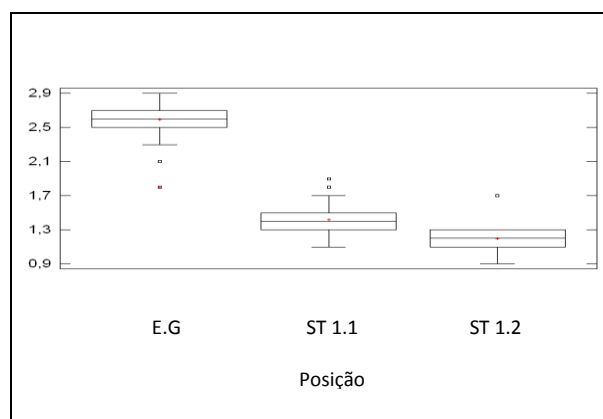


(d) Concentrações médias/ dia - posições

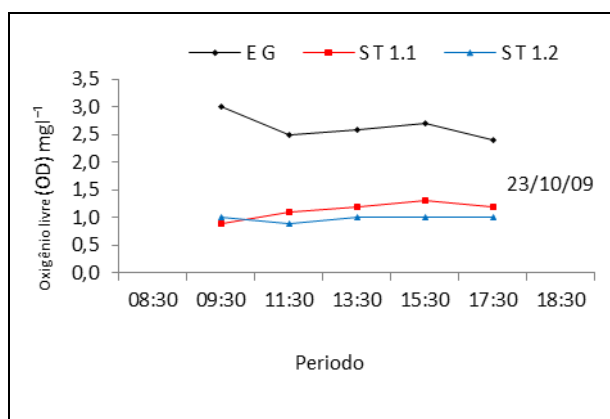
Figura 6.43. Valores de condutividade elétrica nas entradas e saídas dos leitos cultivados T1.1 e T1.2.



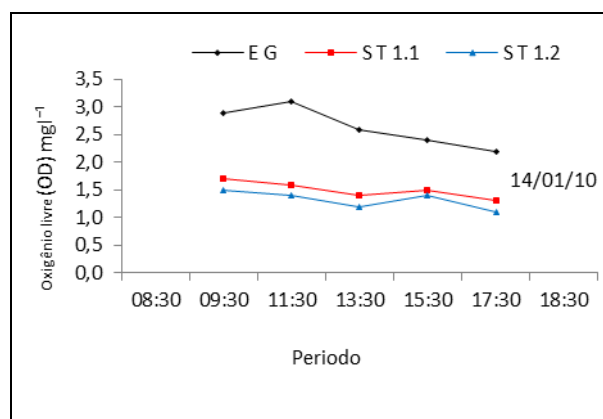
(a) Concentrações médias – dias acumulados



(b) Concentrações médias – posições



(c) Concentrações médias/dia - posições



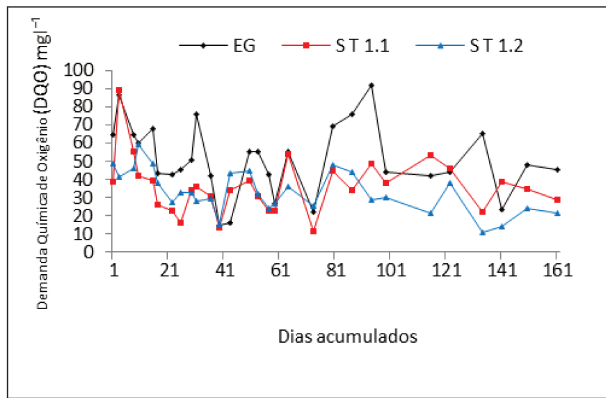
(d) Concentrações médias/ dia - posições

Figura 6.44. Valores de concentração oxigênio livre nas entradas e saídas dos leitos cultivados T1.1 e T1.2.

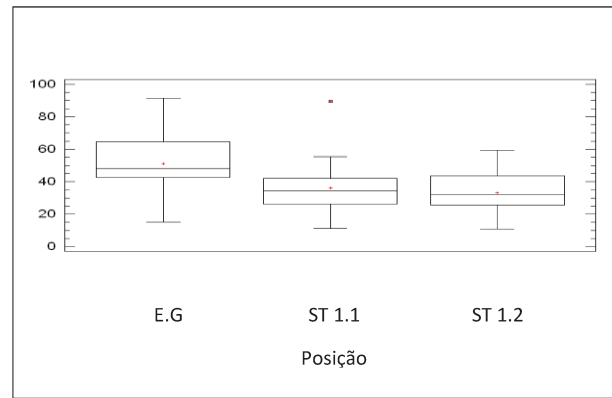
k. Demanda Química de Oxigênio nos leitos T1. 1 e T1.2

A Figura 6.45a mostra as concentrações durante o período acumulado. Nota-se que ocorreram variações nas 3 posições amostradas. A Figura 6.45b mostra que ocorreram retenções da demanda química de oxigênio, mostra também que os valores foram 51; 36 e 33 mg l⁻¹, sendo as diferenças 15 mg l⁻¹ ou 29% e 3,0 mg l⁻¹ ou 8% conforme os leitos T1.1 e T1.2.

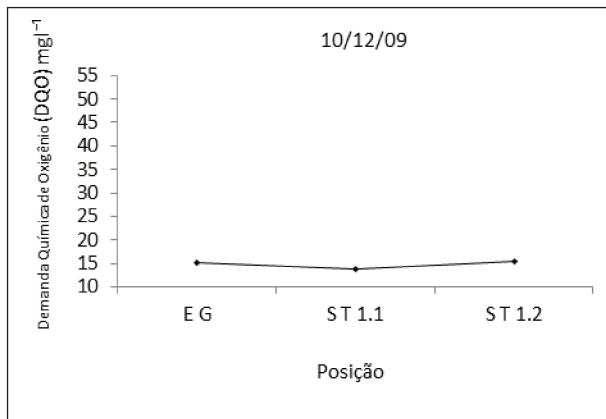
As Figuras 6.45c e 6.45d mostram as concentrações médias, nas posições consideradas, nos dias 10/12/09 e 18/02/10.



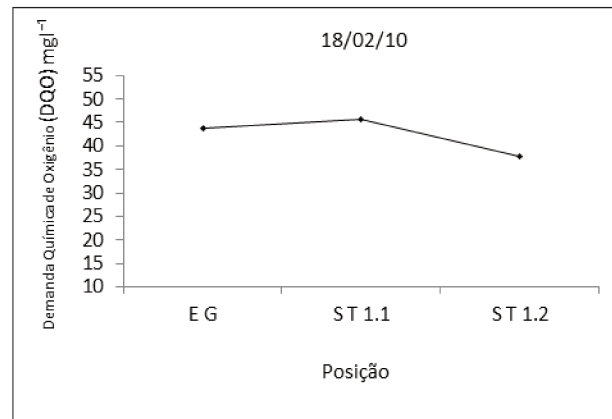
(a) Concentrações médias – dias acumulados



(b) Concentrações médias – posições



(c) Concentrações médias/dia - posições



(d) Concentrações médias/ dia - posições

Figura 6.45. Valores de concentração da demanda química de oxigênio nos leitos cultivados T1.1 e T1.2.

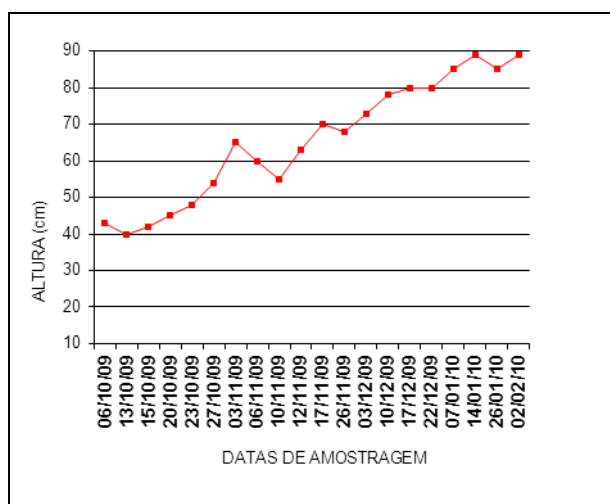
3.4. Desenvolvimento da vegetação nos leitos T1. 1 e T1.2

Os parâmetros relacionados com desenvolvimento da vegetação foram: altura da vegetação, área foliar, biomassa e a relação biomassa produzida e remoção de nitrogênio e fósforo.

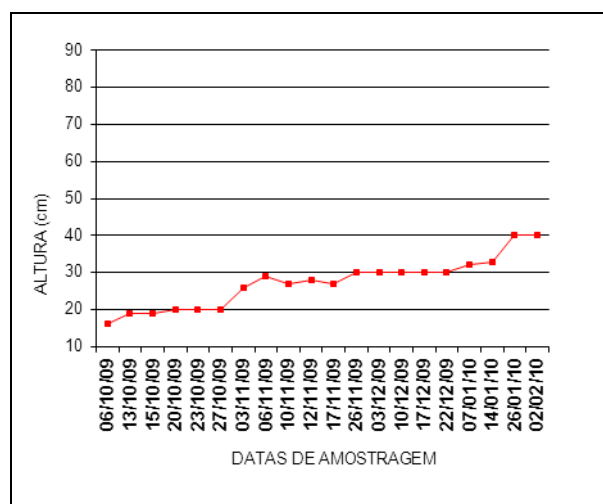
3.4.1. Monitoramento da altura nos leitos T1. 1 e T1.2

As Figuras 6.46 e 6.47 mostram o desenvolvimento da vegetação nas posições superior e inferior (montante e jusante) dos leitos 1.1 e 1.2 na ocasião do corte. As Figuras 6.46a e 6.46b apresentam as condições nas posições superior e inferior do T 1.1. A Figura 6.46a mostra que a vegetação apresentou um crescimento de 90 cm, na posição superior do T1.1. A figura 6.46b mostra que a vegetação apresentou um crescimento de 40 cm, na posição inferior do T1.1.

As Figuras 6.47c e 6.47d do leito 1.2, posições superior e inferior, mostram que as vegetações atingiram as alturas próximas de 50 e 40 cm. A Figura 6.48 ilustra melhor o desenvolvimento diferenciado da vegetação nos T1.1 e T1.2, conforme posições superior e inferior (montante e jusante).

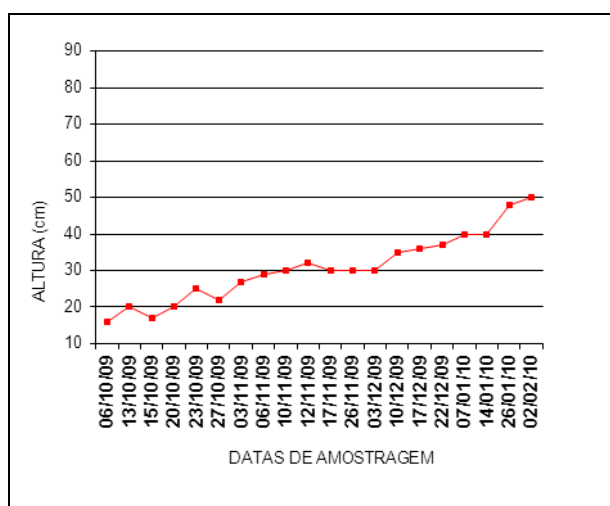


(a) Leito 1.1 posição superior

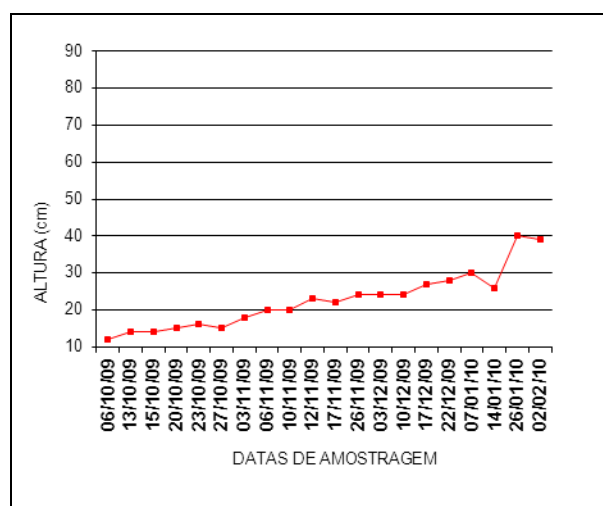


(b) Leito 1.1 posição inferior

Figura 6.46. Crescimento da vegetação segundo as posições leito T1.1



(c) Leito 1.2 posição superior



(d) Leito 1.2 posição inferior

Figura 6.47. Crescimento da vegetação segundo as posições leito T1.2.



(a) T1. 1 metades inferior e superior



(b) T1.2 metades inferior e superior

Figura 6.48. Desenvolvimento da vegetação, segundo as metades inferior e superior nos leitos T1.1 e T1.2

3.4.2. Área foliar nos leitos T1.1 e T1.2

A área foliar do vegetal *Cyperus prolifer* foi determinada na ocasião da colheita final, por meio de medidas dos diâmetros e comprimentos médios e, quantidades de filetes. As medidas foram obtidas em uma série de plantas selecionadas, segundo um quadrante representativo nas posições superior e inferior de cada tanque. O valor obtido foi extrapolado para a área de 6 m², ou seja, a metade do tanque.

Os valores obtidos foram: 180.323 cm² para a metade superior do T1.1 e 35.313 cm² para a metade inferior do mesmo tanque, totalizando 215.636 cm². Para o tanque 1.2 os valores foram 22.785 cm² para a metade superior e 12.792 cm² para a metade inferior do tanque, totalizando 35.577 cm².

3.4.3. Biomassa produzida nos leitos T1.1 e T1.2

A quantidade de biomassa produzida foi conhecida por ocasião do corte final da vegetação, realizado em 19 de fevereiro de 2010. Ambas as massas, aérea, representada pelas folhas, colmos e flores e subterrânea, representada pelas raízes e rizomas, foram obtidas conforme o procedimento descrito em material e métodos.

As quantidades de massas secas aérea produzidas nos leitos T1.1 e T1.2 foram 18.300g e 7.860g respectivamente, totalizando 26.160g.

As quantidades de massas secas de raízes produzidas nos leitos T1.1 e T1.2 foram 3.403g e 4.399g respectivamente, totalizando 7.802g.

As quantidades de massas secas de rizomas produzidas nos leitos T1.1 e T1.2 foram 4.742g e 2.776g, respectivamente, totalizando 7.518g. A quantidade total de massa seca produzida durante o período monitorado foi de 41.480 g.

Capítulo. 7.

1. Análise e Discussão dos Resultados

1.1. Vazão e Tempo de Detenção Hidráulica

As vazões médias diárias ocorridas durante o período monitorado, nos leitos cultivados são observadas na Tabela 7.1. As vazões médias de entrada e saída variaram de 792 l/dia a 962 l/dia e de 664 l/dia a 864 l/dia, respectivamente; as alturas das lâminas d'água evaporadas variaram de 5 mm/dia a 13 mm/dia, sendo o maior valor observado no leito 2.1, vegetado com *Canna*, seguidos pela *Typha* e *Cyperus*. Os tempos de detenções hidráulicas variaram de 4,0 a 4,7 dias.

Vohla et al. (2007) observou que o aumento do tempo de detenção hidráulica e o maior contato das águas residuárias com as partículas de substratos, são fatores importantes na promoção de pH ótimo e aumento na taxa de retenção do fósforo. Gottschall, et al. (2007) citam que períodos longos de tempo de detenção hidráulica, quantidades de tanques e espécies de plantas, mostram aumento na remoção de nutrientes, não só devido aos substratos utilizados, mas também devido à quantidade de massa vegetal produzida durante o período.

Os leitos T2.1 e T2.2, plantados com o vegetal *Canna limbata*, apresentaram taxas médias de evapotranspiração compreendida por 13 mm/dia e 5 mm/dia, aos tempos médios de detenção hidráulica de 4,0 e 4,6 dias. Os leitos T3. 1 e T3.2, plantados com *Typha*, apresentaram taxas médias de evapotranspiração de 8 mm/ dia e 5mm/dia, nos tempos médios de detenção 4,6dias e 4,2 dias; os leitos T1.1 e T1.2, plantados com *Cyperus*, apresentaram taxas médias de evapotranspiração de 6 mm/dia e 5mm/dia nos tempos de detenção médio de 4,3 e 4,7 dias. Observaram-se menores taxas de evapotranspiração nos leitos T3. 2, T2.2 e T1.1, principalmente devido às baixas produções de massas vegetal. Konnerup et al. (2009) trabalhando com os vegetais *Canna generalis*, *Heliconia psittacorum* e *Heliconia Spathocircinata*, ao tempo de detenção de 12 horas e 4 dias, constataram, no meio do dia, taxa de evapotranspiração de 15 mm/dia a 28 mm/dia para a *Canna* e de até 8 mm/dia para as *Heliconias*. A integração das curvas demonstraram taxas médias de evapotranspiração de 8,3 mm/dia e 3,0 mm/dia para a *Canna* e *Heliconia*, respectivamente. Citam também que a elevada taxa de evapotranspiração ocorrida no leito plantado com a *Canna* é devido, principalmente, à grande quantidade de massa vegetal

produzida e à elevada taxa de crescimento. Observam que a elevada taxa de evapotranspiração contribui na perda de água principalmente se o tempo de detenção hidráulica for longo.

Kletecke (2011) observou altura de lâmina d'água evaporada de 13,1 mm/dia, em leitos cultivados com *Cyperus alternifolius*, ao tempo de detenção de 1,2 dias. Piedade (2010) observou taxa de evapotranspiração média de 8,9 mm/dia em leitos contendo águas residuárias domésticas, britas e o vegetal *Typha*, no tempo de detenção de 1,9 dias. Scuderi (2010) observou, em leitos cultivados com o vegetal *Zizaniopsis bonariensis*, taxa média diária de evapotranspiração 5,2 mm/dia. Constatou evapotranspirações médias de 1,7 mm/dia, 5,7 mm/dia e 6,2 mm/dia, conforme as estações de inverno, primavera e verão. Senzia et al (2003) constatarem evapotranspirações médias de 220 l/dia e de 190 l/dia em tanques primários e de maturação, de fluxo horizontal e saída subsuperficial, contendo cascalhos como substratos e os vegetais *Typha* e *Phragmites australis*.

A Tabela 7.1 mostra que os leitos 3.2, 2.2 e 1.2, a jusante, que receberem as águas já passadas pelos leitos 3.1, 2.1 e 1.1, a montante, principalmente devido à baixa produção de massa vegetal, apresentaram valores menores de alturas de laminas d'águas evaporadas.

Tabela 7.1 Vazões médias das águas residuárias que entraram e saíram dos leitos nos dias de monitoramento, alturas das lâminas d'agua evaporadas e Tempo de Detenção Hidráulica.

	Leitos					
	<i>Typha</i>		<i>Canna</i>		<i>Cyperus</i>	
	3.1	3.2	2.1	2.2	1.1	1.2
Vazão entrada (l/dia)	962	864	954	797	792	723
Vazão saída (l/dia)	864	804	797	735	723	664
Total retido (l/dia)	98	60	157	62	69	59
Valores retidos (%)	10	7	16	8	9	8
Altura lâmina d'agua evaporada (mm/dia)	8	5	13	5	6	5
Tempo de detenção hidráulica (dias)	4,2	4,6	4,0	4,6	4,3	4,7

1.2. Qualidades de águas

- Temperatura da água

A Tabela 7.2 mostra as temperaturas médias observadas nas entradas e saídas dos leitos cultivados, bem como as diferenças ocorridas, no período monitorado. As Figuras 6.3, 6.19 e 6.36 mostram as temperaturas médias ocorridas nas entradas e saídas dos leitos, durante o período de dias acumulados, posições e os dois dias considerados. Observa – se que as temperaturas médias diárias aumentaram a partir do mês de setembro de 2009. O maior valor observado ocorreu na EG, em 26/11/2009, sendo 30,6° C as 15:30 horas. Nota-se, por meio da Tabela 7.2, que as diferenças foram negativas em todos os leitos cultivados, sendo a maior delas, 0,8° C ou 3,1%, observada no leito 2.1 cultivado com o vegetal *Canna*.

Tabela 7.2 Temperaturas médias diárias das águas residuárias que entraram e saíram dos tanques nos dias de monitoramentos. Valor total das diferenças e porcentagem em relação à temperatura média de entrada das águas.

	Leitos					
	<i>Typha</i>		<i>Canna</i>		<i>Cyperus</i>	
	3.1	3.2	2.1	2.2	1.1	1.2
Temperatura entrada (°C)	26,0	25,6	26,0	25,2	26,0	25,5
Temperatura saída (°C)	25,6	25,2	25,2	25,1	25,5	25,0
Total da diferença (°C)	0,4	0,4	0,8	0,1	0,5	0,5
Total da diferença %	1,5	1,5	3,1	0,4	2,0	2,0

A temperatura média observada nas entradas das águas, nos leitos 3.1, 2.1 e 1.1 foram de 26°C; em todas as saídas ocorreram reduções das temperaturas; a maior diferença ocorreu no leito 2.1, 0,8° C ou 3,1%. Metcalf & Eddy (1991) e Prochaska (2007) citam que as temperaturas das águas residuárias variam conforme as origens, climas, período do dia, tempo de detenção hidráulica, etc., podendo ocorrer diminuições após passarem por Wetlands naturais ou por leitos construídos contendo substratos com ou sem vegetais. Senzia et al (2003) constataram redução nas temperaturas das águas residuárias, nas entradas e saídas de leitos primários e de maturação, de fluxo horizontal e saída subsuperficial, contendo cascalhos como substratos e os vegetais *Typha* e *Phragmites australis*; as temperaturas médias nas entradas das águas residuárias foram de 27,7° C e 29,5° C; nas saídas foram de 26,7° C e 28,4° C. As diferenças foram de 1,0° C e 1,1°

C . Kletecke (2011) observou diferenças de temperaturas em leitos contendo britas e o vegetal *Cyperus alternifolius* de 1,1° C e 1,4° C, antes e depois do processo de poda.

- Valores de pH das águas

A Tabela 7.3 mostra os valores médios de pH observados nas entradas e saídas dos leitos cultivados, bem como as diferenças ocorridas no período monitorado. As Figuras 6.4, 6.19 e 6.36 mostram os valores médios diários ocorridos nas entradas e saídas dos tanques, durante o período de dias acumulados, posições e os dois dias considerados.

Observa-se, por meio da Tabela 7.3, que os valores constados nas saídas dos leitos, de modo geral, foram elevados; as diferenças foram de 1,7, 2,3 e 2,1 para os leitos 3.1 (*Typha*), 2.1 (*Canna*) e 1.1 (*Cyperus*). Diferenças menores, 0,4, 0,1 e 0,1, foram observadas nos leitos 3.2, 2.2 e 1.2, fato este devido às águas residuárias haverem passadas primeiramente pelos leitos 3.1, 2.1 e 1.1. O valor médio do pH de entrada ou das águas residuárias foi de 6,9; nas saídas dos leitos 3.1 e 3.2 foram 8,6 e 9,0; nas saídas dos leitos 2.1 e 2.2 foram 9,2 e 9,3 e nos leitos 1.1 e 1.2 foram 9,0 e 9,1. Maiores valores de pH foram observados nas saídas dos leitos contendo os vegetais *Canna* e *Cyperus*; valores menores ocorreram no leito vegetado com *Typha*.

Tabela 7.3 Valores médios diários de pH das águas residuárias que entraram e saíram dos leitos nos dias de monitoramento. Valores totais das diferenças e porcentagens em relação aos valores médios das entradas.

	Leitos					
	<i>Typha</i>		<i>Canna</i>		<i>Cyperus</i>	
	3.1	3.2	2.1	2.2	1.1	1.2
pH entrada	6,9	8,6	6,9	9,2	6,9	9,0
pH saída	8,6	9,0	9,2	9,3	9,0	9,1
Total da diferença	1,7	0,4	2,3	0,1	2,1	0,1
Total da diferença %	24	8	33	1	30	1

Pesquisas diversas têm mostrado que alguns substratos, utilizados em tratamento natural de águas residuárias, devidos às suas constituições, promovem alterações nos valores de pH. Kletecke (2011), usou britas como substrato e diversos vegetais aquáticos no tratamento natural de esgotos domésticos, observou que, exceto no leito constituído unicamente por britas, todos os leitos vegetados apresentaram diferenças positivas entre os valores de pH. As variações foram de 0,0 a 0,6, consideradas pequenas, sendo o maior valor observado no leito contendo britas e o

vegetal *Cyperus alternifolius*. Valentim (2003) observou, por ocasião do tratamento natural de águas residuárias, valores de pH de 6,6; 6,8 e 7,0 em leitos contendo britas e os vegetais *Typha*, *Eleocharis* e *Scirpus*.

Xu et al. (2006) e Avelar (2009) por ocasião do uso de escórias de alto forno e pó de aciaria, como substrato no tratamento de águas residuárias domésticas, observaram valores de pH de 12,1 a 12,3 e 11,5. Seo et al. (2008), utilizaram areia grossa, cascalho de rochas e Calcita; os valores de pH dos substratos foram 7,9; 7,8 e 11,9 concomitantemente, o fato levou o pesquisador, considerando o objetivo do trabalho a promover misturas, uma vez que a Calcita foi a principal responsável pela elevação do pH das águas. Chan et al. (2008) por ocasião do uso de escória de carvão mineral calcinado, observaram pH de 7,1 em esgoto doméstico. Tao et al. (2009) ao utilizarem mistura de rochas calcária e areia como substrato, em águas residuárias, observaram elevação do pH de 7,2 a 8,4. Cui et al. (2010) utilizaram escoria de alto forno, escoria de carvão e areia no tratamento natural de águas residuárias domésticas; observaram valores de pH de 7,2; 4,7 e 6,0, concomitantemente. Diferentes valores de pH podem ocorrer não só devido às composições das águas residuárias utilizadas como também devido aos substratos, em virtude das suas constituições (Metcalf & Eddy, 1991).

A Tabela 7.3 mostra que valores de pH apresentados nas saídas dos leitos, foram elevados, concordando com aqueles observados em pesquisas que fizeram uso de alguns substratos originados de indústrias siderúrgicas.

- Fluxo da massa de Amônia das águas

As Figuras 6.5, 6.21 e 6.37 mostram os valores médios diários das concentrações ocorridas nas entradas e saídas dos leitos, durante o período de dias acumulados, posições e os dois dias considerados. As Figuras 6.5b, 6.21b e 6.37b mostram que as concentrações médias observadas nas saídas dos leitos, de modo geral, não foram elevadas. Fato comum ocorrido em todos os leitos.

Tabela 7.4. Totais médios diários das massas de nitrogênio amoniacal que entraram e saíram dos leitos, nos dias de monitoramento. Valores de retenção de massas e porcentagem em relação ao valor médio de entrada.

	Leitos					
	<i>Typha</i>		<i>Canna</i>		<i>Cyperus</i>	
	3.1	3.2	2.1	2.2	1.1	1.2
Total entrada (g)	2006	1659	2221	1829	1745	1425
Total saída (g)	1659	1364	1829	1492	1425	1140
Total retida (g)	347	295	392	337	320	285
Total retida %	17	18	17	18	18	20

A Tabela 7.4 mostra as quantidades médias das massas de nitrogênio amoniacal que entraram, saíram e ficaram retidas nos leitos. A maior porcentagem de massa retida, 20%, foi observada no leito 1.2, cultivado com *Cyperus*, mas a maior quantidade retida foi observada no leito 2.1, 392 g, cultivado com *Canna*. Outro fato observado foi que em todos os leitos ocorreram saídas elevadas de nitrogênio amoniacal; a média retida foi 18%.

Konnerup et al. (2009) citam que leitos cultivados com *Canna* apresentam elevada capacidade de remoção de nitrogênio devido à quantidade de massa vegetal produzida. Cui et al. (2010) obtiveram retenções de 50% a 70% de nitrogênio amoniacal em águas residuárias domésticas. Utilizaram resíduos de siderurgia como substrato e o vegetal *Canna limbata*, em diferentes cargas hidráulicas e tempos de detenção. Citam que as maiores remoções ocorreram no tempo de detenção de 2 anos.

Souza (2003) utilizou *Typha*, areia e britas no tratamento de águas residuárias domésticas; obteve retenções de 34 % a 65% de nitrogênio amoniacal no tempo de detenção de 25 hs. Almeida (2005) utilizou diversos substratos e os vegetais *Uruculhoa mutica*, *Coix lacunajobi* L, *Hedychium coronarium* e *Typha angustifolia* no tratamento natural de águas residuárias domésticas. O valor médio do pH efluente foi de 6,9. Obteve remoções médias de nitrogênio amoniacal de 32,8%, 19,9%, 53,4% e 50,1%. Kletecke (2011) obteve retenção de 11,7% de nitrogênio amoniacal e eficiência de 11% a 33,3 % em leito contendo britas e cultivado com o vegetal *Cyperus alternifolius*, antes da poda, no tempo de detenção de 1 e 1,2 dias. Chan et al.(2008) obtiveram retenção de 50% de nitrogênio amoniacal por ocasião do tratamento natural de esgotos domésticos; utilizaram escórias de carvão mineral calcinado e o vegetal *Cyperus alternifolius* no tempo de detenção de 18 hs.

De modo geral as retenções apresentadas pelos autores foram superiores às obtidas neste trabalho.

As Figuras 6.5, 6.21 e 6.37 mostram valores elevados de nitrogênio amoniacal nas saídas dos leitos, fato este que deixa claro que o processo de nitrificação foi prejudicado. Envolvendo esta situação estão a baixa quantidade de oxigênio disponível, elevada quantidade de amônia ionizada, pH elevado e a baixa atuação das bactérias nitrificadas (Branco, 1986; Metcalf & Eddy, 1991).

- Fluxo de massa de Nitrito e Nitrato das águas

As Figuras 6.6, 6.22 e 6.38; 6.7 e 6.23, 6.39 mostram os valores médios diários das concentrações de nitrito e nitrato ocorridas nas entradas e saídas dos leitos 3.1, 3.2; 2.1, 2.2; 1.1 e 1.2, durante o período de dias acumulados, posições e os dois dias considerados. Nos três casos, as figuras demarcadas com as letras a e b mostram valores de concentrações médias elevadas nas entradas das águas. Mostram também que as concentrações médias de saídas nos leitos de foram baixas. A quantidade de pontos considerados como outliers denuncia que os referidos valores podem não estar representando a realidade, uma vez que estes elementos encontram – se em baixas concentrações nas águas residuárias domésticas (Metcalf & Eddy, 1991; Sperling, 1996; Pratt et al., 2004). Almeida (2005) observou concentrações de 0,04 e 2,7 mg l⁻¹ de nitrito e nitrato. Kletecke (2011) observou concentrações médias de 0,7 a 3,5 mg l⁻¹ de nitrato, nas águas residuárias afluentes.

As Tabelas 7.5 e 7.6 mostram as quantidades médias de massas de nitrogênios nitrito e nitrato que entraram, saíram e ficaram retidas nos leitos cultivados. Considerando as massas de entradas; as maiores quantidades retidas de nitrito e nitrato foram observadas no leito 2.1, 410 g ou 94%, e 188g ou 94%, cultivados com o vegetal *Canna*. As massas de nitrogênio nitrato foram retidas em maiores porcentagens nos leitos a jusante, ou seja, 93% leito com *Typha*; 94% leito *Canna* e 92% leito com *Cyperus*. O leito 2.2 mostrou maior retenção, ou seja, 58%, porcentagens menores foram observadas nos leitos 3.2, 20% e 1.2, 33%.

Tabela 7.5. Totais médios diários das massas de nitrogênio nítrito que entraram e saíram dos leitos nos dias de monitoramento. Valores de retenção e porcentagem em relação ao valor médio das massas de entrada.

	Leitos					
	<i>Typha</i>		<i>Canna</i>		<i>Cyperus</i>	
	3.1	3.2	2.1	2.2	1.1	1.2
Total entrada (g)	251	67	435	34	303	53
Total saída (g)	67	22	25	27	53	24
Total retida (g)	183	45	410	7	250	29
Total retida %	73	67	94	21	82	55

Tabela 7.6. Totais médios diários das massas de nitrogênio nítrato que entraram e saíram dos leitos, nos dias de monitoramento. Valores de retenção e porcentagem de retenção em relação ao valor médio das massas de entrada.

	Leitos					
	<i>Typha</i>		<i>Canna</i>		<i>Cyperus</i>	
	3.1	3.2	2.1	2.2	1.1	1.2
Total entrada (g)	110	8,9	199	15	146	11
Total saída (g)	8,9	7,1	12	8	11	7
Total retida (g)	102	1,8	188	7	135	4
Total retida %	93	20	94	58	92	33

Hussar (2001) observou remoções de 69% de nítrato em águas residuárias de suinocultura em leitos artificiais contendo britas e o vegetal *Typha* no tempo de detenção de 6,2 a 12,5 dias. Souza (2003) obteve retenções negativas de nítrito e nítrato em tanques vegetados. Almeida (2005) obteve remoção negativa de nítrito e remoção de 50,4 % a 80,7% de nítrato, utilizando vegetais aquáticos e substratos diversos no tempo de detenção de 4,1 dias. Huett et al. (2005) observaram retenções de 74% de nitrogênio nítrato em tanques de 55 litros, contendo britas e vegetais diversos, águas residuárias de viveiros de plantas no tempo de detenção de 3,5 e 7 dias. Sarafranz (2009) observou retenções de 70 % e 87% de nítrato por ocasião do uso de britas e Zeolita como substratos e os vegetais *Phragmites australis* e *Juncus inflexus* no tempo de retenção de 1,2 dias. Reilly et al., (2000) observaram remoções de 80 % de nítrato em Wetlands construídas em áreas livres ou “pântanos” vegetados naturalmente no tempo de detenção de aproximadamente 10 dias.

Considerando os leitos superiores, os valores obtidos neste trabalho foram, de modo geral, superiores aos observados pelos os autores citados.

- Fluxo de massa de Nitrogênio total das águas

A Tabela 7.7 mostra os totais médios diários das massas dos nitrogênios, que entraram nos leitos cultivados nos dias monitorados, bem como as quantidades saídas e retidas. Observa-se que a maior quantidade de massa de nitrogênio total retido ocorreu no leito 2.1, cultivado com *Canna*, 990 g ou 35%; em seguida veio o leito 1.1 com 705 g ou 32% e o leito 3.1 com 632 g ou 27%.

Tabelas 7.7 Totais médios diários das massas dos nitrogênios que entraram e saíram dos leitos, nos dias de monitoramento. Valores das massas retidas e porcentagem de retenção em relação às massas totais de entrada.

	Leitos					
	<i>Typha</i>		<i>Canna</i>		<i>Cyperus</i>	
	3.1	3.2	2.1	2.2	1.1	1.2
Total entrada (g)	2367	1735	2856	1878	2194	1489
Total saída (g)	1735	1393	1866	1527	1489	1171
Total retida (g)	632	342	990	351	705	318
Total retida %	27	20	35	18	32	21

Observa-se que a maior quantidade retida ocorreu no leito 2.1, 35%, vegetado com *Canna*, seguidos pelos vegetais *Cyperus* e *Typha*. Nos leitos a jusante o *Cyperus* apresentou a maior porcentagem de retenção, 21%.

Huet et al. (2005) obtiveram retenção de até 90 % de nitrogênio total por ocasião do uso de britas e o vegetal *Phragmites australis*, no tratamento de águas residuárias de viveiros de plantas, no tempo de detenção hidráulica de 3,5 dias. Konnerup (2009) observou que tanques com *Typha* promoveram retenções de nitrogênio total de 85 g/ m⁻²/ yi⁻¹, retenções superiores a 50%, em regiões de clima tropical, considerando as quantidades de massas vegetal produzidas em várias colheitas. Hussar (2001) observou retenções de até 70,6% de nitrogênio total em águas residuárias de suinocultura contendo britas e o vegetal *Typha*, no tempo de detenção de 6,2 e 12 dias. Almeida (2008) obteve retenção de 61 % de nitrogênio total em tanques contendo britas, areias diversas e os vegetais *Typha* e *Eleocharis*, no tempo de detenção de 12,4 h. Avelar (2008) em seu trabalho utilizou os vegetais *Typha* e *Eleocharis*, areia, britas e escória de aciaria, no tratamento natural de águas residuárias domésticas nos tempos de detenções de 12,5 h e 19 h., observou retenções de nitrogênio total de 40% a 59% em leitos contendo britas, areias e o vegetal *Typha*; 30 % a 61% em leitos contendo escória de aciaria e o vegetal *Eleocharis* e de 40

% a 48% em leitos contendo somente escória de aciaria. Whola (2007) observou retenção de 20% de nitrogênio em leitos contendo cinzas de altos fornos como substrato.

Esta pesquisa mostrou que os leitos retiveram menores quantidades de massas, mas não tão distantes das quantidades de massas de nitrogênio total, observadas pelos autores citados.

- Fluxo de massa de Fósforo total das águas

As Figuras 6.8, 6.24 e 6.40 mostram os valores médios diários das concentrações de fósforo ocorridas nas entradas e saídas dos leitos, durante o período de dias acumulados, posições e os dois dias considerados. As Figuras 6.8a, 6.24a e 6.40a mostram que as concentrações médias de fósforo, observadas nas saídas dos leitos, durante todo o período monitorado, foram elevadas. As Figuras 6.8b, 6.24b e 6.40b mostram as concentrações médias observadas nas posições de entradas e saídas dos leitos vegetados com *Typha*, *Canna* e *Cyperus*. Observa-se, através das figuras apresentadas, expressiva diferença entre as concentrações das águas residuárias que entraram nos leitos e das saídas. As concentrações observadas nas saídas foram bem menores.

A Tabela 7.8 mostra as quantidades totais médias de massas diárias de fósforo que entraram, saíram e foram retidas nos leitos, durante o período monitorado. Os totais de massas retidas nos leitos 3.1, 2.1 e 2.1 foram 474 g ou 70%, 496 g ou 73% e 489 g ou 74%. Retenções menores foram observadas nos leitos 3.2, 2.2 e 1.2. O leito 3.2 com o vegetal *Typha* mostrou maior retenção de massa em relação aos leitos 2.2 e 1.2.

Tabela 7.8. Totais médios diários das massas de fósforo que entraram e saíram dos leitos, nos dias de monitoramento. Valores das massas retidas e porcentagem de retenção em relação às massas totais de entrada.

	Leitos					
	<i>Typha</i>		<i>Canna</i>		<i>Cyperus</i>	
	3.1	3.2	2.1	2.2	1.1	1.2
Total entrada (g)	679	205	682	186	663	174
Total saída (g)	205	142	186	150	174	126
Total retida (g)	474	63	496	36	489	47
Total retida %	70	31	73	19	74	27

Huet et al.(2005) observaram retenção de fósforo de 90 % em águas residuárias de viveiros de plantas, em sistema de batelada, ao tempo de detenção de 3,5 a 7,0 dias, usando britas como substrato e o vegetal *Phragmites australis*. Vohla et al. (2007) obtiveram retenções de 71% de fósforo por ocasião do tratamento de águas residuárias, usando carvão mineral calcinado e areia como substrato e o vegetal *Phragmites australis*, no tempo de detenção de 1,5 a 2,5 dias. Avelar (2008) utilizou pó de aciaria e os vegetais *Typha e Eleocharis* por ocasião do tratamento natural de águas residuárias domésticas; obteve retenção de 78 % a 92% de fósforo, no tempo de detenção de 19 e 12,5 hs. Cita que o valor do pH elevou próximo de 11,5. Sarafranz et al. (2009) observaram retenções de 89 a 93 % de fósforo em águas residuárias; utilizaram britas e Zeolita como substratos e os vegetais *Phragmites australis e Juncus inflexus* no tempo de detenção de 1,2 dias e carga hidráulica de 0,12 cm/dia. Cui et al (2010) observaram, por intermédio de múltiplas comparações, remoções médias de 88 % de fósforo ao utilizar escórias de altos fornos como substrato e o vegetal *Canna limbata* em diferentes tempos de detenção. Vymasal (2004 e 2007) constatou, após várias consultas bibliográficas, que as detenções de fósforo ocorreram de 40 % a 50%. Cita que o fato ocorre devido, principalmente, à baixa capacidade de sorção dos substratos usados em tanques vegetados. Kyambadde et al. (2004) constataram retenções de fósforo de 89 % em tanques contendo águas residuárias e o vegetal *Cyperus papyrus*; em tanques contendo o vegetal *Miscanthidium violaceum* a retenção foi de 31 % no tempo de detenção de 5 dias. Chan et al. (2008) observaram retenção de fósforo de 40 % utilizando escórias de carvão mineral e o vegetal *Cyperus alternifolius* no tempo de detenção de 18 horas.

Substratos usados no tratamento de águas residuárias, como algumas escórias originadas de altos fornos de indústrias siderúrgicas, devido às suas composições, promovem a elevação do pH produzindo efeitos positivos na sorção do fósforo por meio das reações com os óxidos de ferro, alumínio, etc., promovendo precipitações na forma de fosfatos insolúveis, não removidos pelos vegetais (de Bashan et al., 2004; Xu et al., 2006; Vymasal 2007, Vohla et al., 2007; Seo et al., 2008; Bowden et al.,2009; Sihua et al., 2009; Idris et al. (2010). Brix et al. (2001) observaram que a retenção de fósforo pode ser aumentada por precipitação pela adição de íons ferro e alumínio, citam que em tanques contendo os íons e o vegetal *Cyperus* a remoção de fósforo foi de 88%.

- Fluxo de massa de Ferro e Alumínio das águas

As Figuras 6.9, 6.10, 6.25, 6.26, 6.41 e 6.42 mostram os valores médios diários das concentrações de ferro e alumínio ocorridas nas entradas e saídas dos leitos 3.1, 3.2, 2.1, 2.2, 1.1 e 1.2, durante o período de dias acumulados, posições e os dois dias considerados. As Figuras 6.9a, 6.10a, 6.25a, 6.26a, 6.41a e 6.42a mostram que as concentrações médias dos dois elementos foram baixas e variaram bastante durante todo o período monitorado. Cabe lembrar que as determinações do alumínio foram iniciadas tardiamente devido a problemas ocorridos com as amostras de águas. As Figuras 6.9b, 6.10b, 6.25b, 6.26b, 6.41b e 6.42b mostram as concentrações médias observadas nas posições de entradas e saídas dos leitos vegetados com *Typha*, *Canna* e *Cyperus*. Observa-se, através da Figura 6.41b, que a concentração média de ferro constatada nas águas residuárias de entrada foi maior que nas águas de saídas nos leitos ST1.1 e ST1.2. A Figura 6.26b mostra que as concentrações de alumínio, observadas nas saídas ST 2.1 e ST2.2 foram mais elevadas que a observada na entrada EG. De modo geral ambos os elementos apresentaram baixas concentrações médias nas saídas dos leitos, embora o substrato os apresente na sua composição.

As Tabelas 7.9 e 7.10 mostram as concentrações médias de ferro e alumínio, ocorridas nas entradas, saídas e retidas nos leitos, durante o período monitorado. Observa-se que as concentrações foram baixas, porcentagens negativas de remoções foram observadas em vários leitos.

Brix et al (2001); Vymasal (2007); Seo et al., (2008); Bowden et al.,(2009); Sihua et al., (2009); Idris et al. (2010), citam que a presença de óxidos de ferro, alumínio, cálcio, etc., originadas pelos substratos, em águas residuárias produzem, por meio de reações, efeitos positivos na sorção do fósforo, promovendo precipitações na forma de fosfatos insolúveis. Vohla et al. (2007) e Idris et al. (2010) citam que as condições anaeróbias favorece o processo de redução do sulfato e do ferro hidratado, convertendo-os em sulfeto de ferro e diversas formas de fosfatos, reduzindo os seus teores e removendo-os do sistema. Observou, durante 4 meses de acompanhamento, por ocasião do uso de cinzas de carvão mineral no tratamento de águas residuárias, no tempo de detenção de 1,5 dias, remoção de 52 % da quantidade de ferro existente nos substratos.

Tabela 7.9. Concentrações médias de ferro, obtidas em amostras compostas diárias que entraram e saíram dos leitos nos dias monitorados. Valores das concentrações médias retidas e porcentagem de retenção considerando as concentrações médias de entrada.

	Leitos					
	<i>Typha</i>		<i>Canna</i>		<i>Cyperus</i>	
	3.1	3.2	2.1	2.2	1.1	1.2
Concentração entrada (mg l ⁻¹)	0,3	0,5	0,3	0,2	0,3	0,2
Concentração saída (mg l ⁻¹)	0,5	0,2	0,2	0,1	0,2	0,1
Concentração retida (mg l ⁻¹)	-0,2	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1
Concentração retida %	(-)	60	33	50	33	50

Tabela 7.10 Concentrações médias de alumínio, obtidas em amostras compostas diárias, que entraram e saíram dos leitos nos dias monitorados. Valores das concentrações médias retidas e porcentagem de retenção considerando as concentrações médias de entrada.

	Leitos					
	<i>Typha</i>		<i>Canna</i>		<i>Cyperus</i>	
	3.1	3.2	2.1	2.2	1.1	1.2
Concentração entrada (mg l ⁻¹)	0,02	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02
Concentração saída (mg l ⁻¹)	0,03	0,04	0,03	0,02	0,02	0,02
Concentração retida (mg l ⁻¹)	-0,01	-0,01	0,00	-0,01	0,00	0,00
Concentração retida %	-	-	0	-	0	0

A presença destes dois metais é considerada inexpressiva nas águas residuárias domésticas. Apresentados por dissolução de compostos constituintes do solo ou de produtos industriais apresentam pouco significado sanitário (Metcalf & Eddy, 1991). Se presentes nas águas residuárias, as formas iônicas diminuem as suas concentrações por meio do processo de adsorção e absorção, atuantes na remoção de elementos como o fósforo. Neste trabalho a presença dos dois elementos era esperada uma vez que os mesmos fazem parte do substrato utilizado. Se presentes nas águas residuárias, além de serem removidos, em pequenas quantidades por plantas e microrganismo, adsorvidos por partículas de minerais presentes no meio, atuam nas reações de remoções de elementos como o fósforo, sendo precipitados na forma de composto insolúvel, não removidos pelos vegetais (Vymasal, 2004; Xu et al., 2006; Vohla et al., 2007; Seo et al., 2008; Idris et al., 2009).

- Condutividade elétrica das águas

As Figuras 6.11, 6.27 e 6.43 mostram os valores médios diários das condutividades elétricas ocorridas nas entradas e saídas dos leitos, durante o período de dias acumulados, posições e os dois dias considerados. As Figuras 6.11a, 6.27a e 6.43a mostram que as condutividades médias observadas na entrada e nas saídas dos tanques decresceram durante o decorrer do período monitorado. As Figuras 6.11b, 6.27b e 6.43b mostram as condutividades elétricas médias observadas nas posições de entradas e saídas dos leitos vegetados com *Typha*, *Canna* e *Cyperus*.

Tabela 7.11. Totais médios diários de condutividade elétrica, que entraram e saíram dos leitos nos dias monitorados. Valores médios de condutividades elétricas removidas e porcentagem, considerando o valor médio da condutividade elétrica média de entrada. Unidades de medidas em $\mu\text{S/cm}$.

	Leitos					
	<i>Typha</i>		<i>Canna</i>		<i>Cyperus</i>	
	3.1	3.2	2.1	2.2	1.1	1.2
Condutividade entrada($\mu\text{S/cm}$)	669	516	650	443	642	481
Condutividade saída($\mu\text{S/cm}$)	516	467	443	425	481	423
Condutividade removida($\mu\text{S/cm}$)	153	49	207	18	161	58
Condutividade retida %	23	9	32	4	25	12

A Tabela 7.11 mostra que as variações ocorridas nas entradas dos leitos apresentaram poucas diferenças. A maior remoção foi observada no leito 2.1, cultivado com o vegetal *Canna*, 207 $\mu\text{S/cm}$, 32% de eficiência na remoção. Em seguida vieram os leitos 1.1, cultivado com *Cyperus*, com 161 $\mu\text{S/cm}$ ou 25 % de eficiência e o leito 3.1, cultivado com *Typha*, com 153 $\mu\text{S/cm}$ ou 23 %. Valores inferiores foram observados nos tanques a jusante, sendo as remoções 12%, 9% e 4% nos leitos cultivados com *Cyperus*, *Typha* e *Canna*.

- Oxigênio dissolvido nas águas

As Figuras 6.12, 6.28 e 6.44 mostram as concentrações de oxigênio dissolvido ocorridas nas entradas e saídas dos leitos, durante o período de dias acumulados, posições e os dois dias considerados. Observa - se que as variações ocorridas no decorrer do período não foram muito acentuadas. A concentração média de entrada nos leitos foi de 2,6 mg l^{-1} . Kletecke (2011)

observou concentração média de $2,4 \text{ mg l}^{-1}$ e acréscimos de até $2,0 \text{ mg l}^{-1}$ em leitos cultivados com *Cyperus alternifolius*; Almeida (2005) observou concentração média de $1,1 \text{ mg l}^{-1}$ no esgoto bruto e $0,9 \text{ mg l}^{-1}$ pós saído dos reatores. Considerando a concentração média de $1,6 \text{ mg l}^{-1}$, observou redução de 45,7% em relação ao esgoto bruto e de 82% considerando o esgoto saído dos leitos vegetados.

A Figura 6.44a, posição ST1.2 mostra que nos últimos 40 dias de monitoramento o leito contendo o vegetal *Cyperus* mostrou maior remoção de oxigênio.

A Tabela 7.12 mostra as concentrações médias diárias de oxigênio que entraram, saídas e retidas nos leitos. A maior concentração retida, $1,2 \text{ mg l}^{-1}$ ou 46% foi observada no leito 1.1, vegetado com *Cyperus*. O leito 3.2, vegetado com *Typha* mostrou remoção de 28%.

Valentim (1999) cita que as plantas aquáticas transportam oxigênio das partes aéreas para a região das raízes suprimindo as suas demandas respiratórias; a liberação de parte do oxigênio para o ambiente exterior, predominantemente anaeróbico, favorece a decomposição de material orgânico, crescimento de bactérias, ativação de elementos importantes ou inativando elementos tóxicos ao vegetal.

Tabela 7.12. Concentrações médias diárias de oxigênio livre, que entraram e saíram dos leitos nos dias monitorados. Valores das concentrações médias retidas e porcentagem de retenção considerando as concentrações médias de entrada.

	Leitos					
	<i>Typha</i>		<i>Canna</i>		<i>Cyperus</i>	
	3.1	3.2	2.1	2.2	1.1	1.2
Concentração entrada (mg l^{-1})	2,6	1,8	2,6	1,7	2,6	1,4
Concentração saída (mg l^{-1})	1,8	1,3	1,7	1,4	1,4	1,2
Concentração removida (mg l^{-1})	0,8	0,5	0,9	0,3	1,2	0,2
Concentração removida %	31	28	34	17	46	14

Não sendo observadas concentrações negativas nas saídas, supõe - se que os vegetais possam ter sido prejudicados, uma vez que o oxigênio excedente promove a oxigenação da rizosfera (Valentim,1999).

- Demanda química de oxigênio das águas

As Figuras 6.13, 6.29 e 6.45 mostram os resultados médios das concentrações de demanda química de oxigênio, obtidas em amostras compostas diárias que entraram, saíram e foram retidas nos leitos durante o período monitorado. Observa-se que as variações ocorridas no decorrer do período foram bastante acentuadas. As Figuras 6.13b, 6.29b e 6.45b mostram as concentrações médias observadas nas entradas e saídas dos leitos, segundo as posições consideradas. A Tabela 7.13 mostra que a concentração média de entrada nos leitos foi de 51 mg l⁻¹. Kletecke (2011) observou variações médias diárias de 31,9 mg l⁻¹ a 162,7 mg l⁻¹. Valentim (2003) observou concentrações médias de 152 mg l⁻¹ e 253 mg l⁻¹. Silva Pinto (1995) trabalhando, com águas residuárias domésticas e escória de alto forno como meio suporte, observou concentração de DQO filtrada de afluente, variando de 116 e 412 mg l⁻¹.

Tabela 7.13. Concentrações médias de Demanda Química de Oxigênio (DQO), obtidas em amostras compostas, que entraram e saíram dos leitos nos dias monitorados. Valores de concentrações médias retidas e porcentagem, considerando a concentração de entrada.

	Leitos					
	<i>Typha</i>		<i>Canna</i>		<i>Cyperus</i>	
	3.1	3.2	2.1	2.2	1.1	1.2
DQO - entrada (mg l ⁻¹)	51	39	51	36	51	36
DQO - saída (mg l ⁻¹)	39	34	36	35	36	33
DQO - removidas (mg l ⁻¹)	12	5	15	1	15	3
DQO - removidas %	23	13	29	3	29	8

A Tabela 7.13 mostra que as remoções médias de concentrações de DQO foram mais elevadas nos leitos superiores (3.1, 2.1 e 1.1) sendo de 29% para os leitos 2.1 e 1.1 e 23 % para o leito 3.1. Nos leitos inferiores as remoções foram menores devido às águas residuárias já terem passado pelos leitos superiores. Kletecke (2011) observou remoções de DQO de 34,2 %, antes da poda dos vegetais, em leitos cultivados com *Cyperus alternifolius*, nos tempos médios de detenções hidráulicas de 1,2 e 1,3 dias. Observa também que a maior remoção, 39,7% ocorreu em tanques vegetados com o vegetal *Heliconia psittacorum*. Valentim (2003) observou remoções médias de DQO de 51,5 % e 58 %, em leitos vegetados com *Typha*, nos tempos de detenções hidráulicas de 2 e 1 dia. Silva Pinto (1995) observou remoções de DQO de 42% a 59%, durante o período de 99 a 225 dias (fases 3 e 4), nos tempos de detenções de 12 e 8h. Avelar (2008) constatou remoções de DQO em tanques contendo britas, areia e o vegetal *Typha*;

Aciária, areia e *Eleocharis* e somente aciaria, de 73%, 74% e 85% no tempo de detenção de 12,5h e vazão de 75ml/seg. As remoções apresentadas neste trabalho foram próximas às observadas por Kletecke (2011), mas menores que as observadas pelos outros autores.

1.3. Vegetação nos leitos cultivados

- Desenvolvimento da vegetação

Tabela 7.14 mostra que as vegetações desenvolveram mais nas posições jusantes dos 3 leitos, nas quais os valores do pH foram menores. Lorenzi (1981) cita que os vegetais *Typha*, *Canna limbata* e *Cyperus prolifer*, em condições normais, crescem em média 2,5 m, 1,2 m e 0,6m.

Tabela 7.14. Alturas médias máximas atingidas pelos vegetais, observadas no final do período monitorado, considerando as metades. Montante (M) e Jusante (J) de cada um dos leitos no período monitorado. Valores de pH observados nas posições centrais de cada metade considerada.

	Leitos											
	<i>Typha</i>				<i>Canna</i>				<i>Cyperus</i>			
	3.1		3.2		2.1		2.2		1.1		1.2	
	M	J	M	J	M	J	M	J	M	J	M	J
Alturas (cm)	250	130	100	100	190	55	40	40	90	40	50	40
pH	7,5	8,5	8,8	9,0	7,5	8,5	9,2	9,0	7,5	9,0	9,0	9,0
Montante - M				Jusante - J								

Em pH médio de 7,5 a *Typha*, a *Canna* e o *Cyperus* atingiram as alturas máximas de 250 cm, 190 cm e 90 cm. Em pH médio de 8,5 ou mais, os vegetais desenvolveram menos. As menores alturas observadas ocorreram em posições de pH próximo ou acima de 9,0. Valentim (2003) observou, em níveis de pH de 6,9 a 7,4, crescimentos médios de 210 cm, 80 cm e 110cm em vegetais *Typha*, *Eleocharis* e *Scirpus*, respectivamente. O período considerado foi de Outubro de 2002 a fevereiro de 2003, ocasião esta que coincide com o trabalho desenvolvido. Piedade (2010) observou crescimento de 173 cm do vegetal *Typha* em águas residuárias de mesma origem das utilizadas por Valentim (2003) e as utilizadas neste trabalho. Os valores elevados de pH observados neste trabalho ocorreram devido à composição química do substrato utilizado, que não somente elevaram os pH das águas como provavelmente tenham participado

de reações químicas, contribuindo negativamente no fornecimento de nutrientes necessários ao desenvolvimento dos vegetais.

- Área foliar e índice de área foliar (AF e IAF)

As áreas foliares e índices estão apresentados na tabela 7.15. Ambos os valores foram obtidos por ocasião da colheita final dos vegetais.

Tabela 7.15. Valores médios de áreas foliares obtidos por ocasião do corte final dos vegetais e índices de áreas foliares, considerando as posições a montantes e jusantes de cada leito cultivado.

	Leito			
	<i>Typha</i>			
	3.1		3.2	
	Posições		Posições	
	Montante	Jusante	Montante	Jusante
Áreas foliares (cm ²)	475.920	132.807	79.368	47.256
Índices	7,9	2,2	1,3	0,8

	Leito			
	<i>Canna</i>			
	2.1		2.2	
	Posições		Posições	
	Montante	Jusante	Montante	Jusante
Áreas foliares (cm ²)	1.461.240	46.958	16.480	53.116
Índices	24	0,7	0,2	0,9

	Leito			
	<i>Cyperus</i>			
	1.1		1.2	
	Posições		Posições	
	Montante	Jusante	Montante	Jusante
Áreas foliares (cm ²)	180.313	35.313	22.785	12.792
Índices	3	0,6	0,4	0,2

As informações obtidas são relativas às metades superiores (montante) e inferiores (jusante) de cada leito utilizado, uma vez que os vegetais apresentaram maiores desenvolvimento nas posições montantes ou superiores, próximas às entradas das águas residuárias, locais estes

que apresentaram valores menores de pH e maiores quantidades de elementos disponíveis, trazidos pelas águas residuárias que entraram nos leitos.

Os leitos 3.2, 2.2 e 1.2, de forma geral apresentaram valores menores de áreas e índices de áreas, comprovado pelo baixo nível de crescimento dos vegetais, provavelmente o fato ocorreu devido receberem as águas residuárias já passadas pelos leitos 3.1, 2.1 e 1.1. Valores elevados de pH foram observados principalmente nas metades inferiores dos leitos a montante e na totalidade dos leitos a jusante.

O Leito 2.1 (posição superior) vegetado com *Canna*, apresentou a maior área foliar, 1.461.240 cm² e o maior IAF 24, seguidos pela *Typha* com 475.920 cm² e IAF de 7,9 e *Cyperus* com 180.313 cm² e IAF de 3. Observa-se que a *Canna* devido a sua elevada produção de massa vegetal apresentou o maior IAF. Konnerup et al. (2009) citam que o vegetal *Canna* apresenta uma elevada taxa de evapotranspiração e um rápido crescimento, citam que o vegetal produziu 3.128 g/m² de matéria seca contra 545 g/m² produzida pelo vegetal *Heliconia*. Este fato estaria em acordo com o IAF apresentado.

O leito 3.2, vegetado com *Typha* apresentou IAF de 1,3 na posição montante, embora baixo, foi o maior observado, seguido pelo *Cyperus* com 0,4 e *Canna* com 0,2.

Kletecke (2011) observou valores de IAF no vegetal *Cyperus alternifolius* de 1,4; 10,6 e 11,6 em diferentes períodos de monitoramento; observou valores de 4,1 e 13,7 no vegetal *Heliconia*. Farias (2001) observou IAF de 6,3 e 6,5 nas culturas da cana de açúcar de sequeiro e irrigado, 180 dias após plantio. Strieder et al. (2001) observaram IAF de 5,0 na cultura de milho. Rodrigues et al. (2001) observaram IAF de 4,5 na cultura da soja.

O índice de área foliar é um importante parâmetro, pois por meio dele é possível observar o nível de desenvolvimento dos vegetais. Os índices observados neste trabalho confirmaram o elevado grau de desenvolvimento e produção de massa vegetal apresentado pelo vegetal *Canna limbata*, em relação aos outros vegetais utilizados.

- Biomassa vegetal seca produzida, nitrogênio e fósforo removidos pelos vegetais *Typha*, *Canna* e *Cyperus*.

As Tabelas 7.16 e 7.17 mostram as quantidades de biomassas secas produzidas nos leitos vegetados, bem como as massas de nitrogênio e fósforo que entraram no sistema, foram retidas nos leitos e removidas pelas vegetais.

Tabela 7.16. Quantidade total de massa vegetal seca produzida durante o período monitorado. Total médio das massas de nitrogênio que entraram e foram retidas nos leitos e total de massas removidas pelos vegetais. Porcentagens de remoções, considerando as massas totais de entradas.

	Leitos					
	<i>Typha</i>		<i>Canna</i>		<i>Cyperus</i>	
	3.1	3.2	2.1	2.2	1.1	1.2
Massa vegetal (g)	39.962	11.210	50.750	7.083	26.445	15.035
Massa nitrogênio entrada (g)	2.367	1.735	2.856	1.866	2.194	1.171
Massa nitrogênio retida (g)	633	341	990	352	705	318
Massa nitrogênio retida (%)	27	19	35	19	32	21
Massa nitrogênio removida (g)	612	159	1.203	208	492	224
Massa nitrogênio removida %	26	9	42	11	22	15

... Massa de Nitrogênio removido pela *Typha*

A Tabela 7.16 mostra que os tanques 3.1 e 3.2 produziram 39.962 g ou 33 t/há ou 3,3 kg/m² e 11.210 g ou 9,3 t/há ou 0,93 kg/m², de massa seca, constituída pelas folhas, caules, flores raízes e rizomas. Avelar (2008) observou produção de 107 t/ha, 10,7 kg/m², de massa verde aérea em tanques contendo britas como substrato, durante de 1 ano de monitoramento; o autor não faz referência à umidade observada no material colhido. Valentim (2003) observou produção média de 28 t/ha de massa aérea seca ao ambiente, durante 7 meses de monitoramento. Adhikare (2011) observou produção de 9,7 kg/m² de massa seca. Vymasal (2011) cita que a *Typha* produz em média 5 kg/m² de massa seca ou 50 t/há, em condição normal. Konnerup et al. (2009) citam produção de 3,1 kg/m²/yr⁻¹ matéria seca.

Observa-se neste trabalho, que a produção de massa vegetal seca total, constituída pelas partes aérea e subterrânea, foi inferior às massas aéreas observadas pelos autores citados.

As massas vegetais dos leitos 3.1 e 3.2 removeram 612 g (51 g/m²) ou 26% e 159 g (13,2 g/m²) ou 9% da massa de nitrogênio que entrou nos referidos leitos. Senzia et al. (2003) observaram remoção de 44,2% de nitrogênio.

... Massa de Nitrogênio removido pela *Canna limbata*

A Tabela 7.16 mostra que o leitos 2.1 e 2.2 produziram 50.750 g ou 42 t/há ou 4,2 kg/m²; 7.083 g ou 7,1 t/há ou 0,7 kg/m², de massa seca, constituída pelas folhas, caules, flores raízes e rizomas.

Konnerup et al (2009) citam produção de 31 t/ha de massa seca aérea ou 3,1 kg/m². Liang et al (2011) citam produção aproximada de 2,5 kg/m² de massa seca aérea.

Observa-se, neste trabalho, que a produção de massa vegetal seca total, constituída pelas partes aérea e subterrânea, foi inferior às partes aéreas observadas pelos autores citados.

As massas vegetais dos leitos 2.1 e 2.2 removeram 1.203 g (100,2 g/m²) e 208 g (17,3 g/m²) ou 42% e 11% da massa de nitrogênio que entrou no referidos leitos. Observa-se que no leito 2.1 ocorreu remoção acima da quantidade de massa retida no referido leito, que foi de 990g de nitrogênio. O fato pode ter sido devido a erro cometido por ocasião da análise do material vegetal ou das águas residuárias.

Konnerup et al. (2009) citam, que o vegetal, em regiões de clima tropical, remove acima de 50% de nitrogênio, sendo 7 semanas o intervalo ótimo de colheita, na qual 66% a 71% de nitrogênio é removido.

... Massa de Nitrogênio removido pelo *Cyperus prolifer*

A Tabela 7.16 mostra que os leitos 1.1 e 1.2 produziram 26.445 g ou 22 t/há ou 2,2 kg/m²; 15.035 g ou 13 t/há ou 1,3 kg/m², de massa seca, constituída pelas folhas, caules, flores raízes e rizomas.

Kletecke (2011) observou produção de 8,0 t/ha, 0,8 kg/m², de massa seca aérea em tanques contendo britas como substrato.

Observa-se neste trabalho, que a produção de massa vegetal seca total, constituída pelas partes aérea e subaquática, foi superior à massa aérea observada pela autora.

As massas vegetais dos leitos 1.1 e 1.2 removeram 492 g (41 g/m²) ou 22% e 224 g (18,9 g) ou 15% da massa de nitrogênio que entrou nos referidos tanques. Kletecke (2011) observou

remoção de 81,6g de nitrogênio pela massa vegetal ou 19,9 g/m². Grenway (2003) observou remoção de 54 g/m² yr⁻¹. Kyambadde et al. (2004) observaram remoção de 69,5% de nitrogênio por ocasião do tratamento natural de águas residuárias em leitos contendo o vegetal *Cyperus papyrus*.

A remoção apresentada neste trabalho foi superior á remoção obtida por Ketlecke (2011) e inferior à obtida por Kyambadde et al. (2004).

As remoções de nitrogênio verificadas nos leitos 3.1, 2.1 e 1.1, pelos vegetais *Canna limbata*, *Typha* e *Cyperus prolifer*, foram de 42%, 26% e 22%.

... Massa de Fósforo removido pela *Typha*

A Tabela 7.17 mostra as quantidades de massa vegetal total e fósforo nos leitos vegetados com os vegetais *Typha*, *Canna* e *Cyperus*.

Tabela 7.17. Quantidade total de massa vegetal seca produzida durante o período monitorado. Total médio das massas de fósforo que entraram e foram retidas nos leitos, e total de massas removidas pelos vegetais. Porcentagens de remoções considerando as massas totais de entradas.

	Leitos					
	<i>Typha</i>		<i>Canna</i>		<i>Cyperus</i>	
	3.1	3.2	2.1	2.2	1.1	1.2
Massa vegetal (g)	39.962	11.210	50.750	7.083	26.445	15.035
Massa fósforo entrada (g)	679	205	682	186	663	174
Massa fósforo retida (g)	474	63	496	36,3	490	47
Massa fósforo retida (%)	70	31	73	19	74	27
Massa fósforo removida (g)	77	8	119	8,5	49	19
Massa fósforo removida (%)	11	4	17	4	7	11

As massas de fósforo retidas nos leitos 3.1 e 3.2 foram 70% e 31%. As massas vegetais removeram 77 g (6,4 g/m²) ou 11% e 8,0 g (0,7 g) ou 4% da massa de fósforo que entrou no referido leito.

Adhikare (2011) observou remoção de 6,6 g P/m² em leitos construídos naturais, contendo diversas espécies de plantas aquáticas. Piedade (2010) obteve remoção de 10,6% de fósforo em leitos construídos, cultivados com *Typha* e britas como substrato. Gottschall et al. (2007) observaram remoção de 5% de fósforo em águas residuárias de estábulos, em leitos artificiais naturais, sendo a maior parte vegetada com *Typha*. Cita que ocorreram remoções diferenciadas segundo as espécies de *Typha* existentes no local.

... Massa de Fósforo removido pela *Canna limbata*

As massas de fósforo retidas nos leitos 2.1 e 2.2 foram 73% e 19%. As massas vegetais removeram 119 g (9,9 g/m²) ou 17% e 8,5 g (0,7 g/m²) ou 4% da massa de fósforo que entrou no referido leito.

Konnerup (2009) observou remoções de 10%, 12%, 23% e 35% de fósforo com cargas aplicadas de 440, 220, 110 e 55 mm d⁻¹. O vegetal *Heliconia* apresentou remoções de 6%, 6%, 7% e 13%. Cita que maiores taxas de remoções ocorreram em cargas mais baixas.

... Massa de Fósforo removido pelo *Cyperus prolifer*

As massas de fósforo retidas nos leitos 1.1 e 1.2 foram 74% e 27%. As massas vegetais removeram 49 g (4,1 g/m²) ou 7% e 19 g (1,6 g/m²) ou 11% da massa de fósforo que entrou no referido leito.

Kyambadde et al (2004) citam que leitos contendo *Cyperus papyrus* retiveram 89% de fósforo, enquanto que em leitos contendo *Miscanthidium* a retenção foi de 31%.

Chan et al (2008) observaram remoção de 5,5%, após a fase inicial de implantação do sistema. Kletecke (2011) observou remoção de 2,3g/m².

Capítulo. 8.

1. Considerações finais

O uso indiscriminado dos recursos hídricos tem provocado perdas na qualidade das águas, gerando despejos que são depositados, sem terem sido tratados adequadamente, diretamente no meio ambiente. Os despejos ou as águas residuárias, antes de serem descartadas devem ser tratadas com o objetivo de obterem qualidades que as permitam não comprometerem o local utilizado no descarte (Sperling, 1995).

A utilização de tanques sépticos, lagoas naturais ou artificiais, fazendo uso de vegetais aquáticos e substratos, no tratamento das águas residuárias, é uma prática simples de baixo custo. O sistema apresenta remoção de nutrientes, matéria orgânica, gera pouca quantidade de lodo e melhora o aspecto visual do ambiente local (Metcalf & Eddy, 1991; Kyambadde, 2004; Konnerup et al. (2009). A prática fundamenta-se nas ações biológicas, físicas e químicas (Valentim, 1999, 2003; Vymasal, 2003, 2007).

O sistema, instalado na Faculdade de Engenharia Agrícola da Unicamp, Campinas, SP. foi composto por 3 blocos de 2 tanques artificiais em cada bloco, unidos em série de duas unidades cada um, preenchidos com escórias de eletrofusão do mineral Bauxita e plantados com os vegetais *Typha sp*, *Canna limbata* e *Cyperus prolifer*, conhecidos por promoverem melhoras nas qualidades das águas residuárias domésticas a serem tratadas. Suas raízes atuam como fontes de oxigênio ao ambiente local, predominantemente anaeróbico, estimulando a decomposição da matéria orgânica, desenvolvimento de bactérias, promovendo reações químicas com os elementos presentes (Valentim, 2003, Vymasal, 2007).

O sistema teve como objetivo tratar naturalmente as águas geradas pela Faculdade de Engenharia Agrícola e unidade da Faculdade de Genética. As águas residuárias geradas pela utilização e lavagens dos sanitários, laboratórios, lanchonete, oficinas, etc., são direcionadas a reatores anaeróbios, em seguida são conduzidas aos tanques sépticos, conforme citados por Valentim, 2003; Piedade, 2010; Kletecke, 2011.

As vazões médias das águas que entraram nas séries de leitos cultivados variaram de 792 l/dia a 962 l/dia e os tempos de detenções hidráulicas de 4,0 dias a 4,7 dias. As amostras das águas que saíram dos leitos foram coletadas semanalmente, em 1 dia aleatório, durante o período monitorado, compondo amostras simples conforme os horários das amostragens e amostras compostas diárias. As amostras foram analisadas pelos laboratórios de Saneamento Ambiental da

Faculdade de Engenharia Agrícola, laboratório da Faculdade de Engenharia de Alimentos da UNICAMP e laboratório de análises Químicas de Solos e Fertilizantes da Unipinhal.

Os parâmetros pH, Temperatura, Condutividade Elétrica, Vazão e Oxigênio Livre foram determinados nas amostras coletadas no local (Derizio, 2.000). Os parâmetros nitrogênio, ferro, alumínio e demanda química de oxigênio foram determinados em amostras compostas diárias; o fósforo foi determinado em amostra simples coletadas segundo os horários das amostragens, conforme métodos preconizados por Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater, 1998.

A massa verde foi colhida de uma única vez no final do período monitorado. Amostras representativas foram trituradas, secas em estufas e enviadas para o laboratório de análises de solos da Unipinhal, onde foram determinadas as concentrações de nitrogênio e fósforo, conforme métodos preconizados por Malavolta et al. (1976).

Nos leitos 3.1 e 3.2; 2.1 e 2.2 e 1.1 e 1.2 foram plantados os vegetais *Typha sp*, *Canna limbata* e *Cyperus prolifer*, como já dito anteriormente, devido suas raízes removerem nutrientes, servirem de abrigo a microrganismos e fornecerem oxigênio para as raízes e regiões da rizosfera (Valentim, 2003; Chan et al. 2008; Cui et al. 2010).

O substrato utilizado no preenchimento dos leitos, conhecido por escórias de eletrofusão da Bauxita, é um tipo de resíduo originado durante o processo industrial de eletrofusão do mineral Bauxita. O material apresenta algumas características semelhantes a alguns resíduos originados nos altos fornos das indústrias siderúrgicas (Almeida, 2005; Avelar, 2008; Cui et al, 2010).

Observou - se que os leitos 3.2, 2.2 e 1.2, por receberem as águas residuárias passadas pelos leitos 3.1, 2.1 e 1.1, apresentaram baixas concentrações de elementos, reduzidas quantidades de massas vegetais e áreas foliares.

O pH médio das águas residuárias local foi de 6,9 (Sperling, 1995); os valores observados nas saídas dos leitos 3.1, 3.2 foram 8,6 e 9,0; nos leitos 2.1 e 2.2 foram 9,2 e 9,3 e nos leitos 1.1 e 1.2 foram 9,0 e 9,1. A maior diferença em relação ao valor de entrada, 33%, foi observada no leito cultivado com *Canna limbata*, seguidos pelo leito cultivado com *Cyperus*, 30% e 24% no leito cultivado com *Typha*. Almeida (2005); Xu et al. (2006); Avelar (2008); Bowden et al. (2009) observaram que alguns resíduos originados pelas indústrias siderúrgicas e

de minerações, devido às suas constituições químicas, promovem liberação de diversos íons e a elevação do pH das águas.

Foi observado no leito 1.1, vegetado com *Cyperus*, 46% de concentração média retida de oxigênio livre, 34% no leito vegetado com *Canna* e 34% no leito vegetado com *Typha*. Chan et al. (2008) utilizaram o vegetal *Cyperus alternifolius* e observaram que umas das características apresentadas pelo vegetal é o rápido crescimento e a elevada quantidade de raízes. Cita também que o vegetal desenvolve-se normalmente em diferentes condições climáticas.

A concentração média de DQO observada nas águas que entraram nos leitos foi de 51 mg/L, identificando as águas como de natureza doméstica (Sperling, 1995). As porcentagens de concentrações médias retidas verificadas nas saídas, dos leitos 3.1, 2.1 e 1.1 contendo *Typha*, *Canna* e *Cyperus*, foram de 23%, 29% e 29%.

As porcentagens das massas de nitrogênio amoniacal retidas nos referidos leitos ficaram entre 17% e 18%. Almeida observou remoção de 30% após plantio do vegetal *Typha* em leitos contendo diversos substratos. Cita que o pH das águas foi de 6,5. Neste trabalho a remoção de nitrogênio amoniacal não foi considerada elevada e as retenções dos nitrogênio nítrico e nítrico foram consideradas elevadas, principalmente o nítrico. Observou que o valor médio pH, nas saídas dos leitos foi de 9,0 e a porcentagem de concentração média de oxigênio nas águas residuárias que entraram nos leitos foi de 2,6 mg/l. Almeida (2005) observou pH de 6,5, remoção negativa (acima do valor de entrada) de nítrico e 26,6% de remoção de nítrico, cita ainda que a concentração média de oxigênio livre foi de 1,0 mg/l.

Os valores elevados dos pH de saídas e as baixas concentrações médias retidas de amônia e oxigênio, demonstram que o processo de nitrificação pode ter sido prejudicado (Branco, 1986; Metcalf & Eddy, 1991). Em condições de pH elevado ocorre a volatilização da amônia não ionizada, solubilização e insolubilização de diversos elementos essenciais e a precipitação do fósforo sob as formas de fosfatos insolúveis, fato este que prejudica o desenvolvimento dos vegetais (Chernicharo, 2003; Vohla, 2007).

As porcentagens das massas retidas de nitrogênio total, nos leitos 3.1, 2.1 e 1.2 foram de 27%, 42% e 32%; porcentagens menores foram observadas nos leitos 3.2, 2.2 e 1.2. A maior porcentagem retida, 42%, foi observada no leito contendo o vegetal *Canna*. Avelar (2008) observou retenção de nitrogênio na faixa de 41% a 61% em leitos contendo os vegetais *Typha* e *Eleocharis*.

As porcentagens de massas retidas de fósforo, observadas nos leitos superiores foram consideradas elevadas, sendo que o tanque plantado com *Canna* reteve 73%. Porcentagens menores foram observadas nos leitos 3.2, 2.2 e 1.2. Pratt et al. (2004) citam que o uso de escórias de altos fornos, como substratos, em tratamento de águas residuárias, proporciona elevada retenção de fósforo devido aos processos de adsorção e precipitação do elemento. A precipitação ocorre devido à complexação dos íons ferro, alumínio, cálcio, etc., presentes nas escórias. Cui et al. (2010) constataram retenção acima de 80% de fósforo por ocasião do uso de escórias de altos fornos e o vegetal *Canna indica*.

Em relação às massas vegetais totais secas produzidas, observou-se que o leito 2.1, plantado com o vegetal *Canna limbata* produziu a maior quantidade, 50,7 kg ou 4,2 kg/m²; os leitos cultivados com *Typha* e *Cyperus* produziram 39,9 kg ou 3,3 kg/m² e 26,4 kg ou 2,2 kg/m² respectivamente. Quantidades menores de massas foram produzidas nos leitos inferiores por receberem as águas residuárias já passadas pelos leitos superiores.

As remoções de nitrogênio e fósforo pelos vegetais foram de 26% e 11% para a *Typha*; 42% e 17% para a *Canna* e 22% e 7% para o *Cyperus*, respectivamente. Quantidades menores foram removidas pelos vegetais, nos leitos 3.2, 2.2 e 1.2. Ficou constatado que a *Canna limbata* mostrou maior eficiência na remoção de ambos os elementos e maior produção de massa vegetal seca. O vegetal é considerado robusto, produz elevada quantidade de massa seca, remove maiores quantidades de elementos principalmente se forem consideradas diversas colheitas (Russeau et al. 2004). Konnerup et al. (2009) observaram produção de 3,1 kg/m² de massa seca aérea e remoção de 10 a 35% de fósforo, citam que o vegetal é capaz de remover mais de 50% de nitrogênio em regiões de clima tropical.

O vegetal *Typha* produziu 39,9 kg ou 3,3 kg/m² de massa seca total no leito 3.1. Avelar (2008) obteve produção de 10,7 kg/m² e Adhikare (2011) 9,7 kg/m² de massa seca aérea. O vegetal removeu 26% da massa de nitrogênio que entrou no leito por meio das águas residuárias. Senzia et al. (2003) constataram remoção de 44,2% de nitrogênio. Em relação ao fósforo o vegetal removeu 11% da massa que entrou no leito. Piedade (2011) constatou remoção de 10,6% e Gottschall et al (2007) constataram remoção de 5%.

O vegetal *Cyperus* produziu 26,4 kg de massa seca total, no leito 1.1, ou 2,2 kg/m² e remoção de 22% ou 41 g/m² de nitrogênio e de 7% ou 4,1 g/m² da massa total de nitrogênio e fósforo que entrou no leito por meio das águas residuárias. Kleteck (2011) observou produção de

3,2 kg/m² de massa aérea seca, em *Cyperus alternifolius*, sendo que foram removidos, pelo vegetal, 19,9 g/m² de nitrogênio e 2,3 g/m² de fósforo.

O vegetal *Typha* removeu 26% de nitrogênio, valor menor ao observado por Senzia et al. (2003) que foi de 44,2%. A *Canna* removeu 42% de nitrogênio, valor próximo ao observado por Konnerup et al. (2009). O *Cyperus* mostrou remoção de nitrogênio acima do citado por Kleteck (2011).

Em relação ao fósforo, a *Canna* removeu 17% do total da massa de fósforo que entrou no leito 2.1; Konnerup et al. (2009) observaram remoção de 10 a 35%. A *Typha* removeu 11% do total da massa de fósforo que entrou no leito 3.1; Piedade (2011) constatou remoção de 10,6%. O *Cyperus* removeu 7% da massa de fósforo que entrou no leito 1.1 ou 4,1 g/m², valor acima do observado por Kleteck (2011) que foi de 2,3 g/m². O vegetal mostrou de remoção 11% de fósforo no leito 1.2, contra 4% de remoção nos leitos 3.2 e 2.2.

As alturas máximas dos vegetais foram verificadas nas posições próximas às entradas das águas residuárias nos leitos 3.1, 2.1 e 1.1 onde os valores médios dos pH, no período monitorado, foram menores, ou seja, 7,8, 7,5 e 7,5. A altura média máxima observada na *Typha* foi de 2,5 m; Valentim observou altura média máxima de 2,0 m; Piedade (2011) observou altura media máxima de 1,7.

A altura média máxima observada na *Canna* foi de 1,9 m; Liang et al. (2001) observaram altura de 1,8 m.

A altura média máxima observada no *Cyperus* foi de 0,9 m; Liang et al. (2011) observaram altura de 0,9 m em *Cyperus flabelli formis*.

O maior valor médio de índice de área foliar foi observado na *Canna*, 24 cm; a *Typha* e o *Cyperus* apresentaram índices de 7,9 e 3,0. Os valores representam os vegetais desenvolvidos nas posições a montante dos leitos, onde os desenvolvimentos foram maiores. Os índices de áreas foliares médios, considerando as áreas totais dos leitos 3.1 e 3.2, 2.1 e 2.2 e 1.1 e 1.2, foram de 5,1 e 1,1, 12,3 e 0,5 e 1,8 e 0,3, respectivamente. O maior índice foi constatado na *Canna*.

2. Conclusões

Os resultados obtidos nesta pesquisa permitiram verificar que o substrato utilizado nos leitos cultivados ou Wetlands construídos de fluxos verticais e saídas subsuperficiais, cultivados com os vegetais *Typha sp*, *Canna limbata* e *Cyperus prolifer*, devido a sua constituição natural e procedimentos ocorridos nos processos industriais, promoveu alterações na eficiência da retenção e na remoção do nitrogênio e do fósforo existentes nas águas residuárias domésticas.

O substrato utilizado, devido a sua constituição ser quase que exclusivamente composta por óxidos, promoveu a liberação de íons diversos, bem como a elevação do pH das águas.

As massas de nitrogênio amoniacal retidas nos tanques foram consideradas baixas, fato este que pode estar relacionado ao processo de nitrificação, uma vez que o mesmo pode ter sido prejudicado pelo elevado valor de pH e também devido à baixa concentração de oxigênio observada nas águas residuárias que entraram nos leitos.

A elevada porcentagem de retenção dos nitrogênios nitrito e nitrato, embora presentes em baixas concentrações nas águas residuárias que entraram nos leitos, podem ter sido ocasionados, principalmente, pela volatilização de parte da amônia não ionizada e nitrito e, também, devido à remoção do nitrato pelos vegetais e microrganismos.

As massas de fósforo retidas nos leitos a montante, acima de 70%, foram consideradas elevadas, fato que pode ser justificado pela presença de íons de alumínio, ferro, cálcio, etc., liberados pelo substrato, que reagiram com as formas de fósforo existentes nas águas residuárias, tornando-os insolúveis, indisponíveis aos vegetais e promovendo precipitações.

O desenvolvimento dos vegetais foi prejudicado nas metades a jusante dos leitos 3.1, 2.1 e 1.2 na totalidade dos leitos 3.2, 2.2 e 1.1, provavelmente, pela escassez de nutrientes essenciais disponíveis e pH elevado.

O vegetal *Canna limbata* produziu maior quantidade de massa seca e o maior índice de área foliar. O leito 2.1, mostrou remoção de 42% da massa total de entrada de nitrogênio e 17% da massa total de entrada fósforo, as maiores observadas, seguidos pelos vegetais *Typha*, leito 3.1, com 26% e 11% e *Cyperus prolifer*, leito 1.1, com 22% e 7%.

O vegetal *Cyperus prolifer* apresentou bom desenvolvimento em ambos os leitos cultivados, mostrou remoção de 15% e 11% das massas de nitrogênio e fósforo que entraram no leito 1.2, porcentagens estas superiores às ocorridas com os outros vegetais, nos seus respectivos leitos.

O leito 2.1, vegetado com *Canna*, demonstrou maior porcentagem de retenção de nitrogênio total.

O substrato, em contato com as águas residuárias, mostrou ser instável quimicamente, promovendo a elevação do pH; os íons liberados podem ter sido os principais responsáveis pelas retenções do fósforo, fato observado, principalmente, nos leitos 3.1, 2.1 e 1.1. A baixa retenção da amônia pode ser justificada por problemas ocorridos no processo de nitrificação, uma vez que as bactérias nitrificadoras necessitam de elevadas quantidades de oxigênio livre e pH na faixa de 6,5 a 8,5.

Seria interessante desenvolver um estudo integrado constituído por 3 etapas individuais, conforme sequência, ou seja: a) Primeiramente a remoção e retenção do nitrogênio amoniacal em leitos contendo vegetais diversos e outros substratos que não as escórias utilizadas neste estudo; b) Remoção e retenção de fósforo em tanques contendo vegetais diversos e as escórias utilizadas como substrato, e, c) correção dos valores do pH, caso necessário, e uso ou descarte das águas efluentes para o meio ambiente.

Estudos também devem ser realizados com o objetivo de verificar a viabilidade do uso das escórias com fonte de nutrientes para os vegetais e como auxiliar na correção da acidez dos solos; como auxiliar no tratamento de águas residuárias ácidas, como cascalhos a serem depositados em estradas rurais e de base de apoio para dormentes em linhas férreas, etc. Considerando a elevada densidade apresentada, as escórias poderiam ser utilizadas como peso de equilíbrio para portões eletrônicos e comportas.

Cabe também lembrar que a massa vegetal produzida poderá ser usada diretamente nos solos como fertilizante orgânico, utilizada como elemento na compostagem de fertilizantes orgânicos, usada como alimento volumoso, complementando a alimentação de animais, etc..

Uma das dificuldades a ser enfrentada, por ocasião do uso da escória, será o transporte, uma vez que ela apresenta densidade elevada.

O material, pela sua característica química, deve ser protegido das águas pluviais, uma vez que os íons liberados podem ser carregados para o interior dos solos, causando poluição nas águas dos lençóis freáticos.

3. Literatura citada

- ADHIKARE, A.R.; ACHARYA, K.; SHANAHAN, S.A.; AHOU, X. Removal of Nutrients and Metals by Constructed and Naturally Created Wetlands in the Las Vegas Valley. Environment Monit Assess. Nevada. U.S.A. 2001.
- ALMEIDA, R. de A. Substratos e Plantas no Tratamento de Esgotos por Zona de Raízes. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO. 2005.
- ANDRADE, J. C. de; ABREU, M. F. de. Análise Química de Resíduos Sólidos para Monitoramento e Estudos Agroambientais. Instituto Agronômico, Campinas, SP. 2006.
- AVELAR, J. C. Avaliação da Escória de Aciária como Leito Cultivado e Leito Filtrante no Pós-Tratamento de Efluente de Reator UASB Compartimentado. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória. ES. 2008.
- .BOWDEN, I.L., JARVIS, A.P.; YONGER, P.L.; JOHNSON, K.L. Phosphorus Removal from Waste Waters Using Basic Oxygen Steel Slag. Environment Science Technology 42. p 2476-2481. 2009.
- BRANCO, S. B. Hidrobiologia Aplicada à Engenharia Sanitária. 3.edição. São Paulo: CETESB/ASCETESB. 1986.
- BRANCO, S. B.; AZEVEDO, S.M. F. O.; TUNDISI, J.G. Água e Saúde Humana em Águas Doces no Brasil. Capital Ecológico, Uso e Conservação. p 241-267. 2006.
- BRIX, H. Treatment of Wastewater in the Rhizosphere of Wetland plants. Water Science Technology. 19. 1987.
- BRIX, H.; ARIAS. C.A.; DEL BUBBA. M. Média Selection for Sustainable Phosphorus Removal in Subsurface Flow. Water Science Technologies. 44-57. 2001.
- CHAN, S.Y.; TSANG, Y.f.; CHUA, H.; SIN,S.N.; CUI, L.H. Performance Study of Sequencing Batch Coal Slag Bed Treating domestic Wastewater in Suburban Area. Science Direct. Bioresource Technology 99. p 3774- 3781. 2008.
- CHERNICHARO, C. A. de L. Reatores Anaeróbios. Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. UFMG. Belo Horizonte, MG. 1997.
- CLARKE, E.; BALDWIN, A. H. Responses of Wetland Plants to Ammonia and Water Level. Elsevier. Ecological Engineering 18. p 257-264. 2002.

- CONJUNTURA DOS RECURSOS HÍDRICOS DO BRASIL. CRHB. Agência Nacional de Aguas. Brasil. 2009.
- CUI, L.; OUYANG, O.; LOU, Q.; YANG, F.; CHEN, Y.; ZHU, W.; LUO, S. Removal of Nutrients from Wastewater with *Canna Indica L.* under Different vertical-flow constructed condictiones. Science Direct.Ecological Engineering. p 1083-1088. 2010.
- De BASHAN, L. E.; BASHAN, Y. Recents Advances in Phosphorus from Wastewater and its Future use as Fertilizer. Water Research. 38. p 4222-4264. 2004.
- DERISIO, J.C. Introdução ao Controle de Poluição Ambiental. Editora Signus, 2000. São Paulo. SP.
- DOBBIE, K.E. ; HEAL, K.V.; AUMONEER, J.; SMITH, K.A.; JOHNSTON, A. ; YANGER, P.L. Evaluation of Iron from Mine Drainage Treatment for Removal of Phosphorus from Wastewater. Chemosphere. 75. 795-800. 2009.
- FARIAS, C. H. de A. Desempenho Morfofisiológico da Cana de Açúcar em Regime Irrigado e de Sequeiro na Zona da Mata Paraibana. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal da Paraíba. Pb. 2001.
- FÓRUM 2004- Fórum Universal das Culturas. Barcelona, Espanha 2004.
- FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico. 2008.
- FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA - IBGE. Síntese dos Indicadores Sociais. 2009.
- GREN WAY. Suitability of Macrophytes for Nutrients Removal from surface Flow Constructed Wetland Receiving Secondary Treated Sewage Effluent in Quensland. Water Science Tecnology. 48 p 121-128. 2003.
- HAMOURI EL. B.; Nazih, J.; Lahjouj, J. Subsurface-Horizontal FlowConstructed Wetland for Sewage Treatment under Moroccan Climate Conditions. Science Direct. Desalination 215. p 153-158. 2007.
- HEAL, K.; YONGER, P.; SMITH, K.; QUINN, P. et al. A Sustainable use of Ochre from Mine Water Treatment Plants for Phosphorus Removal and Recycling. Land Contamination & reclamation. 11. 2003.

- HODGON, C.J.; PERKINS, J.; LABADDZ, J.C. The Use of Microbial Tracers to Monitor Seasonal Variations in Effluents Retention in a Constructed Wetland. *Water Research* 18. P 3833- 3844. 2004.
- HUETT, D.O.; MORRIS, S.G.; SMITH, G.T.; HUNT, N. Nitrogen and Phosphorus Removal from Plant Nursery Runoff in Vegetated and Unvegetated Subsurface Flow Wetlands. *Water Research* 39, p 329-3277. 2009.
- IDRIS, A.; ABDULLAH, A.G.L.; TSE HUNG, YUNG - WANG, L.K. Wetlands for Wastewater Treatment. *Environmental Engineering*. Volume 11. 2010.
- IAMCHATURAPATR, J.; YI, S.W.; RHEE, S.W. Nutrient Removal by 21 Aquatic Plants for Vertical Free Surface-Flow (VFS) Constructed Wetland. *Science Direct. Ecological Engineering* 29. p 287-293. 2007.
- IMHOFF, R. K. Manual de Tratamento de Aguas Residuárias. Editora Edgard Blucher Ltda. São Paulo. S.P.
- KETLECKE, R.M. Remoção/Exportação de Nutrientes de Esgoto Doméstico Utilizando Plantas Ornamentais: *Hedychium coronarium*, *Heliconia psittacorum*, *Cyperus alternifolius* e *Colocasia esculenta*. Tese de Doutorado. Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas. FEAGRI-UNICAMP. 2011.
- KINSLEY, C. ; CHAMPAGNE, P. The Role of Plants in the Removal of Nutrients at a constructed Wetland Treaty Agricultural (dairy) Wastewater. Ontario. Canada. *Science Direct Ecological Engineering*. 2007.
- KONNERUP, D.; KOOTTATEP, T.; BRIX, H. Treatment of Domestic Wastewater in Tropical, Subsurface Flow Constructed Wetlands Planted With *Canna* and *Heliconia*. *Science Direct. Ecological Engineering* 35. P 248-257. 2009.
- KYAMBADDE, J., KANSIIME, F.; GRUMAEILIUS, L.; DALHAMMAR, G. A Comparative Study of *Cyperus papyrus* and *Miscanthidium violaceum*- Based Constructed Wetlands for Wastewater Treatment in a Tropical Climate. *Water Research* 38 . P 475-485. 2004.
- LIANG, M. Q.; ZHANG, C.F.; PENG, C.L.; LANG LAR, Z. et al. Plant Growth, Community Structure and Nutrient Removal in Monoculture and Mixed Constructed Wetlands. *Ecological Engineering. Science Direct*. 37. P 309-316. 2011.
- LORENZI, H. Plantas Daninhas do Brasil: Terrestres, Aquáticas, Parasitas, Tóxicas e Medicinais. Editora Plantarum Ltda. Nova Odessa, SP. 1981. p. 402.

- MALAVOLTA, E. Manual de Química Agrícola. Nutrição de Plantas e Fertilidade do Solo. Editora Agronômica Ceres. São Paulo. Brasil. 1976.
- MALAVOLTA, E. VITTI, G.G.; OLIVEIRA, S.A. de. Avaliação do Estado Nutricional das Plantas. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. Piracicaba. São Paulo. Brasil. 1989.
- MEIRA, C. Wetlands Vegetados no Polimento de Águas Superficiais Poluídas. XXI Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. João Pessoa. Paraíba. Pb. 2001.
- MARSHALL, J. K. Methods of Leaf Area Measurement of Large and Small Leaf Samples. Photosynthetica. V.2. 1968.
- METCALF & EDDY, INC. Wastewater Engineering. Treatment, Disposal, and Reuse. McGraw-Hill, Inc. 1991.
- MONIZ, A.C. Elementos de Pedologia. Rio de Janeiro. Brazil. 1975.
- OGUS. E. Removal of Phosphate from Aqueous Solution with Blast Furnace Slag. Environmental Problems Reserch Center University Ataturk. Turkiye. 2004.
- PIECADE, A. R. Dinâmica da Remoção de Fósforo em Leitos Cultivados com *Typha sp.* Tese de Doutorado. Faculdade de Engenharia Agrícola. Universidade Estadual de Campinas. UNICAMP. Campinas SP. 2010
- PRATT, S; MILLER, D.R.; BANKER, S.; SHILTON, A. Protecting our Waterways Research of Novel Methods for Nutrients from Wastwaters. Centre for Environmental Technology and Engineering, Massey University. New Zeland, 2004.
- PROCHASKA, C.A.; ZOUBOULIS, A.I.; ESKRIDGE, K.M. Performance of Pilot-scale Vertical-flow Constructed Wetlands, as Afected by Season, Substrate, Hydraulic Load and Frequency of Simulated Urban Sewage. Science Direct. Ecological Engineering 31, p 57-66. 2007.
- RAN, N.; AGAMI, M., ORON. G. A Pilot Constructed Wetlands Using Duckweed (*Lemna gibba L.*) for Treatment of Domestic Primary Effluent in Israel. Water Research 38. P 2241-2248. 2004.
- REDD, K.R., DEBRUSK, W.F. Growth Characteristics of Aquatic Macrophytes in Nutrient Enriched Water. Economic Botanic 38. 1984.

- REILLY, J.F; HORNE, A.J.; MILLER, C.D. Nitrate Removal from a Drinking Water Supply With Large Free-Surface Constructed Wetlands Prio to Groundwater Recharge. Elsevier. Ecological Engineering 14. p 33-47.2000.
- RODRIGUES, O.; DIDONET, A.D.; LHANBY, J.C.; et al. Resposta Quantitativa do Florescimento da Soja à Temperatura a ao Fotoperíodo. Pesquisa Agropecuária Brasileira. Vol 36. . 2001.
- ROSEN, G. UMA Historia de Saúde Publica. Editora Hucitec. Brasil. 1994.
- SALATI, E. Método Fitopedológico de Despoluição de Águas. Fundação Salim Sara Maluf, 1984.
- ROUSSEAU, D.P.L.;VAUROLLEGHEM, P.A.; de PAUW N. Constructed wetlands in Flanders - a Performance Analysis. Science Direct. Ecological Engineering. 23 p 151-163. 2004.
- SARAFRAZ, S. MOHAMMAD, T.A.; NOOR, M.J.M.M.; LIAGHAT, A. Wastewater Treatment Using Horizontal Subsurface Flow Constructed Wetland. American Journal of Environmental Sciences 5 (1), p 99-105, 2009.
- SCUDERI, C. M. Estimativa de Taxa de Evapotranspiração da Macrófita Aquática *Zizaniopsis bonariensis*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2010.
- SENZIA, M.A.; MASHAURI, D.A.; MAYO, A.W. Suitability of Constructed Wetlands and Waste Stabilization Ponds in Wastewater Treatment e NitrogenTransformation and Removal. Science Direct. Physical Chemistry of the Earth. 28. P 1117-1124. 2003.
- SEO, D.C.; HAWANG, S.H.; KIM, H.J., et al. Evaluation of 2- and 3- Stage Combinations of Vertical and Horizontal Flow Constructed Wetlands for Treating Greenhouse Wastewater. Science Direct. Ecological Engineering 32. p 121-132. 2008.
- SEVERINO, L.S.; CARDOSO, G.D.; VALE, L.S.; SANTOS, J.M. Métodos para Determinação da Área Foliar em Mamoneira. Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas. Vol 8. N° 1. 2004.
- SILVA PINTO, J.D. Tratamento de Esgotos Sanitários Através de Filtro Anaeróbio de Fluxo Ascendente Utilizando Escória de Alto Forno como Meio Suporte. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. M.G. 1995.

- SONG, Z.; ZHENG, Z.; LI, J.; SUN, X.; HAN, X.; WANG, W.; XU, M. Seasonal and Annual Performance of a Full-Scale Constructed Wetland System for Sewag Treatment in China. Science Direct. Ecological Engineering 26. p 277-282. 2006.
- SPERLING, M.V. Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias. Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos. Universidade Federal de Minas Gerais. UFMG. Belo Horizonte. MG. 1995.
- SPERLING, M.V. Princípios Básicos do Tratamento de Esgotos. Universidade Federal de Minas Gerais. UFMG. Belo Horizonte. M.G. 1996.
- SPERLING, M.V. Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias. Lodos Ativados. Universidade Federal de MINAS Gerais. UFMG. Belo Horizonte. M.G. 2002.
- STRIEDER, M.L., SILVA, P.R.F.; RAMBO, L.; BERGAMASCHI, H. Características de Dossel e Rendimento de Milho em Diferentes Espaçamentos e Sistemas de Manejo. Pesquisa Agropecuária Brasileira. Vol. 43.3 . 2008. Disponível em [http:// www.scielo.br](http://www.scielo.br).
- TAO, W.; WANG, J. Effects of Vegetation, Limestone and Aeration on Nitrification, Anammox and Denitrification in Wetland Treatment Systems. Science Direct. Ecological Engineering 35. p 836-842.2009.
- OKURUT et al. Plant Growth and Nutrient Uptake in a tropical Constructed Wetland. Back Hinds Publishers. Leiden, the Netherlands. 2001.
- U.S.E.P.A. - U.S. Environmental Protection Agency. Constructed Wetlands Treatments of Municipal Wastewaters. EPA.625-R. USA. Cincinnati, Ohio 1999/2000.
- VALENTIM, M. A. A. Uso de Leitos Cultivados no Tratamento de Efluentes de Tanque Séptico Modificado. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia Agrícola – Universidade Estadual de Campinas. UNICAMP. Campinas SP. 1999.
- VALENTIM, M. A. A. Desempenho de Leitos Cultivados para o Tratamento de Esgoto: Contribuição para a Concepção e Operação. Tese de Doutorado. Faculdade de Engenharia Agrícola – Universidade Estadual de Campinas. UNICAMP - Campinas SP, 2003.
- VOHLA, C.; ALAS, R.; NURK, K.; BAATZ, S.; MANDER, U. Dynamics of Phosphorus, Nitrogen and Carbon Removal in a Horizontal Subsurface Constructed Wetland. Science Directed. Science of the Total Environment. 380. p 66-74. 2007.
- VYMASAL, J. Removal of Phosphorus in Constructed Wetlands with Horizontal Sub – Surface Flow in the Czech Republic. Water, Air and Pollution. 20003.

- VYMASAL, J. Removal of Phosphorus in Constructed Wetlands with Horizontal Sub-Surface Flow in The Czech Republic water Science and Pollution - 4p 657-670. 2004.
- VYMAZAL, J. Removal of Nutrients in Various Types of Constructed Wetlands. Science Directed. Science of the Total Environment. p 48-65. 2007.
- XIONG, J.; HE.Z.; MAHMOOD, Q.; LIU,D.; YANG,X.; ISLAM, E. Phosphate Removal from Solution Using Steel Slag Thorught Magnetic Separation. College of Natural Resources and Environmental Sciences. China 2008.
- XU, D.; XU J.; WU, J.; MUHAMMAD, A. Studies on the Phosphorus Sorption Capacity of Substrates Used in Constructed Wetland Systems. Chemosphere 63. P 344-352. 2006.
- ZHANG, Z.; RENGEL, Z.; MENEY, K. Interactive Effects of Nitrogen and Phosphorus Loadings on Nutrient Removal from Simulated Wastewater using *Schoenoplectus validus* in Wetland Microcosms. Science Direct. Chemosphere. 2008. .