

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA**  
**CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E**  
**AMBIENTAL**

**EFICIÊNCIA DE TERRAS ÚMIDAS CONSTRUÍDAS CULTIVADAS**  
**COM ARROZ (*Oryza sativa*) E *Typha* spp EM SUBSTRATOS DE AREIA E**  
**BRITA NO TRATAMENTO DE ÁGUAS CONTAMINADAS COM**  
**ESGOTOS DOMÉSTICOS, PARAÍBA, BRASIL**

**ANA CLEIDE ARRAIS DE OLIVEIRA**

**CAMPINA GRANDE**  
**JULHO/2004**

---

EFICIÊNCIA DE TERRAS ÚMIDAS CONSTRUÍDAS CULTIVADAS  
COM ARROZ (*Oryza sativa*) E *Typha* spp EM SUBSTRATOS DE AREIA E  
BRITA NO TRATAMENTO DE ÁGUAS CONTAMINADAS COM  
ESGOTOS DOMÉSTICOS , PARAÍBA, BRASIL

ANA CLEIDE ARRAIS DE OLIVEIRA

EFICIÊNCIA DE TERRAS ÚMIDAS CONSTRUÍDAS CULTIVADAS  
COM ARROZ (*Oryza sativa*) E *Typha* spp EM SUBSTRATOS DE AREIA E  
BRITA NO TRATAMENTO DE ÁGUAS CONTAMINADAS COM  
ESGOTOS DOMÉSTICOS , PARAÍBA, BRASIL

Dissertação apresentada ao Curso de  
Mestrado em Engenharia Civil e  
Ambiental da Universidade Federal  
de Campina Grande - UFCG, em  
cumprimento às exigências para  
obtenção do grau de Mestre.

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: RECURSOS HÍDRICOS

SUB-ÁREA: ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

ORIENTADOR(A): Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Beatriz Suzana Ovruski de  
Ceballos.

Campina Grande - Paraíba

Julho/2004



048e

Oliveira, Ana Cleide Arrais de.

Eficiência de terras úmidas construídas cultivadas com arroz (*Oryza sativa*) e *Typha* spp em substratos de areia e brita no tratamento de águas contaminadas com esgotos domésticos, Paraíba, Brasil / Ana Cleide Arrais de Oliveira. - Campina Grande, 2004.

83 f.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia, 2004.

"Orientação : Profa. Dra. Beatriz Suzana Ovruski de Ceballos".

Referências.

1. Águas Residuárias - Agricultura - Paraíba. 2. Esgoto Doméstico - Tratamento. 3. Águas Contaminadas - Esgoto Doméstico. 4. Cultura de Arroz - Irrigação. 5. Dissertação - Engenharia Civil. I. Ceballos, Beatriz Suzana Ovruski de. II. Universidade Federal de Campina Grande - Campina Grande (PB). III. Título CDU 628.381(813.3)(043)

ANA CLEIDE ARRAIS DE OLIVEIRA

EFICIÊNCIA DE TERRAS ÚMIDAS CONSTRUÍDAS CULTIVADAS  
COM ARROZ (*Oryza sativa*) E *Typha* spp EM SUBSTRATOS DE AREIA E  
BRITA NO TRATAMENTO DE ÁGUAS CONTAMINADAS COM  
ESGOTOS DOMÉSTICOS , PARAÍBA, BRASIL

Dissertação aprovada em 23/07/2004

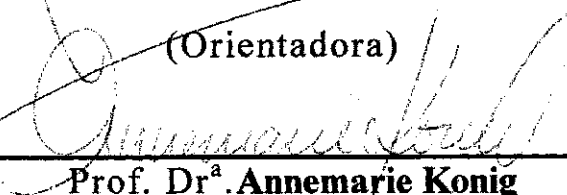
COMISSÃO EXAMINADORA



---

Prof.<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup>. **Beatriz Suzana Ovruski de Ceballos**

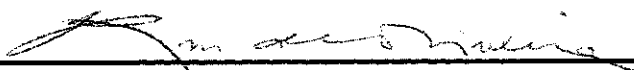
(Orientadora)



---

Prof. Dr.<sup>a</sup>. **Annemarie König**

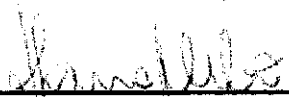
(Co-orientadora)



---

Prof. Dr. **Rui de Oliveira**

(Examinador Interno)



---

Prof. Dr.<sup>a</sup>. **Josette Lourdes de Sousa Melo**

(Examinadora Externa)

Campina Grande- Paraíba

Julho/2004

Aos meus pais, Carlos e Fátima, por toda afetividade, apoio e confiança que me vem sendo revelada ao longo de toda minha vida. Aos meus irmãos André e Valéria, pelo amor estimado e respeito à minha ausência.

## AGRADECIMENTOS

---

Após a conclusão desta dissertação, avaliando cada momento de sua produção e os esforços dispendidos para atingir esta finalidade, vejo, como condição imprescindível, a necessidade de agradecer a todos que se envolveram comigo neste empreendimento. Por isso agradeço:

À Professora Beatriz Ceballos pela orientação firme, apoio constante e ensinamentos de amor ao trabalho científico;

Aos professores da Área de Engenharia Sanitária e Ambiental – AESA – da Universidade Federal de Campina Grande, pelos ensinamentos prestados durante o curso, principalmente ao professor Rui de Oliveira e à professora Annemarie Konig;

Aos meus colegas de turma de mestrado Gustavo e Blake, companheiros nesta jornada de aprimoramento intelectual;

À também colega de mestrado, mas hoje grande amiga, Carolina Baracuchy, a quem admiro como um símbolo de coragem e amor pela vida;

Às amigas Roberta, Michelle, Patrícia e Mônica pelo carinho, paciência e bons momentos juntas;

À Laura Baracuchy pela valiosa contribuição na revisão deste trabalho;

Ao Augusto pela força de seu amor e da solidariedade, demonstradas cotidianamente;

A todas as pessoas que, de muitas formas, com seu aporte pessoal ou técnico contribuíram para meu trabalho.

O aproveitamento das águas residuárias tratadas, principalmente para a irrigação, proporciona a economia de água de boa qualidade que pode ser utilizada para fins mais nobres, além de evitar que os esgotos sejam lançados nos corpos receptores. Os nutrientes contidos nestas águas podem ser utilizados como fertilizantes para as culturas, o que constitui importante vantagem econômica. A agricultura irrigada, mediante o uso de águas residuárias, é uma necessidade que se impõe como alternativa sanitariamente segura, economicamente viável e ambientalmente sustentável, particularmente no semi-árido nordestino, onde a distribuição irregular das chuvas limita as atividades agrícolas de subsistência do homem do campo. As terras úmidas construídas são sistemas artificialmente projetados pelo homem, utilizando os princípios básicos do sistema de terras úmidas naturais. Entre os componentes fundamentais destes ecossistemas, têm-se: o substrato, o biofilme (formado por bactérias, fungos e metazoários, responsáveis por importantes mecanismos de remoção de poluentes), as macrófitas aquáticas e a zona das raízes ou rizosfera e o fluxo hidráulico. Este trabalho teve por objetivo o estudo da eficiência de tratamento por terras úmidas construídas de fluxo subsuperficial, de águas contaminadas com esgotos domésticos e seu uso na produção de culturas úteis ao homem com tempo de detenção hidráulica de 10 dias. Foram instalados 18 leitos (tanques de cimento amianto) com substratos de areia e brita. As espécies de macrófitas emergentes utilizadas foram arroz, (*Oryza sativa*) e *Typha* spp. As terras úmidas construídas vegetadas foram comparadas entre si e com tanques testemunha contendo apenas areia e brita. Em todos os tratamentos foi observada a remoção de nitrogênio (variando de 50 a 90%), de matéria orgânica (variando de 77 a 89%) e de bactérias fecais (variando de 98,78 a 99,92%). Houve excelente crescimento do arroz e da *Typha* spp. Os resultados revelaram as terras úmidas construídas como uma alternativa eficiente para o tratamento de águas superficiais contaminadas com esgotos domésticos, com produção de biomassa aproveitável, além de adequar o efluente para o reuso.



## ABSTRACT

---

The processing of wastewater, mainly for irrigation, promotes the saving of good quality water that can be useful for more noble purposes, besides preventing sewage from being released in the receiving bodies. The nutrients restrained in these waters can be employed as fertilizers for the cultures, resulting into great economic advantage. The irrigated agriculture, through the use of wastewaters, is an asserted need, because it is a safe and a sanitary option, economically feasible and environmentally sustained, particularly in the northeastern semiarid, where the irregular distribution of rains restricts the country-man's agricultural activities for domestic consumption. The wetlands are artificial systems designed by man, which apply the basic criteria of the natural wetlands system. Among these ecosystems' essential elements, the substrate is found, the biofilm formed by bacteria, fungi and metazoans, responsible for important mechanisms of pollutant removal, the aquatic macrophytes and the roots' zone or rhizosphere, and also the hydraulical flow. This work aims at studying the effectiveness of the treatment by means of wetlands of subsurface flow, with a hydraulical detention time of 10 days, from domestic sewage's contaminated water and its application in the production of useful cultures for man. Eighteen beds (asbestos cement tanks) with sand and crushed stone substrates have been settled. The applied emergent macrophytes species have been rice (*Oryza sativa*) and *Typha* spp. The planted wetlands themselves have been compared as well as with witness tanks, bearing only sand and crushed stone. In all treatments, the nitrogen removal has been observed (varying from 50 to 90%), also the removal of organic matter (varying from 77 to 89%) and of fecal bacteria (varying from 98.78 to 99.92%). There was an excellent growth of rice and *Typha* spp. The results have disclosed that the wetlands are an efficient choice for the treatment of domestic sewage's contaminated water and for the reuse of its final effluent.

## ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS.....	i
LISTA DE TABELAS.....	vii
CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO.....	1
CAPÍTULO 2 – OBJETIVOS.....	4
2.1 – Objetivos gerais.....	4
2.2 – Objetivos específicos.....	4
CAPÍTULO 3 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	6
3.1 – Terras úmidas.....	6
3.2 – Tratamento de esgotos por terras úmidas construídas.....	7
3.2.1 – Tipos de terras úmidas construídas.....	8
3.3 – Componentes das terras úmidas construídas.....	10
3.3.1 – Macrófitas.....	10
3.3.1.1 – <i>Typha</i> spp.....	11
3.3.1.2 – Arroz ( <i>Oryza sativa</i> ).....	13
3.3.2 – Substratos.....	15
3.3.3 – Biofilme.....	16
3.4 – Processos que ocorrem no tratamento das águas residuárias nas terras úmidas.....	17
3.5 – Nitrogênio.....	18

CAPÍTULO 4 – MATERIAL E MÉTODOS.....	23
4.1 – Local e período do estudo.....	23
4.2 – Caracterização da área estudada.....	24
4.3 – Descrição do sistema de alimentação.....	27
4.4 – Procedimento para a coleta e a preservação das amostras.....	29
4.5 – Caracterização das espécies vegetais utilizadas no experimento.....	30
4.5.1 – <i>Typha</i> spp.....	30
4.5.2 – Arroz ( <i>Oryza sativa</i> ).....	31
4.6 – Parâmetros analisados.....	32
4.7 – Análises estatísticas.....	34
CAPÍTULO 5 – APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	35
5.1 – Temperatura.....	36
5.2 – pH.....	36
5.3 – Condutividade Elétrica.....	40
5.4 – Turbidez.....	42
5.5 – Alcalinidade Total.....	44
5.6 – Dureza Total.....	46
5.7 – Cloretos.....	48
5.8 – Demanda Química de Oxigênio.....	48
5.9 – Demanda Bioquímica de Oxigênio.....	49
5.10 – Sólidos Totais.....	50
5.11 – Sólidos Suspensos Totais.....	51
5.12 – Nitrogênio NTK.....	57

5.13 – Nitrogênio Amoniacal.....	59
5.14 – Nitrato.....	61
5.15 – Nitrito.....	63
5.16 – Coliformes Termotolerantes.....	63
5.17 – Estreptococos Fecais.....	64
5.18 – NTK nas macrófitas.....	68
5.19 – Eficiências de remoção.....	68
CAPÍTULO 6 – CONCLUSÕES.....	74
CAPÍTULO 7 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	76
CAPÍTULO 8 – APÊNDICE.....	84

**LISTA DE FIGURAS**

Figura 3.1 – Transformação do nitrogênio no processo de tratamento biológico.....	19
Figura 4.1 – Vista aérea do campus da Universidade Federal de Campina Grande/PB.....	23
Figura 4.2 – Representação esquemática do sistema experimental.....	25
Figura 4.3 – Esquema de alimentação de cada tanque do sistema experimental.....	27
Figura 4.4 – Sistema de alimentação do experimento.....	28
Figura 4.5 – Detalhe da alimentação.....	28
Figura 4.6 – Alimentação diária.....	28
Figura 4.7 – Coleta das amostras para análises físicas e químicas.....	29
Figura 4.8 – Detalhe das raízes das plantas do arroz cultivado com substrato de brita.....	32
Figura 4.9 – Detalhe das raízes das plantas do arroz cultivado com substrato de areia.....	32
Figura 5.1 – Variação temporal dos valores médios da temperatura da água afluyente ao sistema experimental (P2) e das terras úmidas construídas com 10 dias de TDH, no período de out/02 a junho/03.....	38
Figura 5.2 – Valores médios da temperatura da água afluyente ao sistema experimental (P2) e das terras úmidas construídas com 10 dias de TDH, no período de out/02 a junho/03.....	38
Figura 5.3 – Variação temporal dos valores médios de pH da água afluyente ao sistema experimental (P2) e das terras úmidas construídas com 10 dias de TDH, no período de out/02 a junho/03.....	39

Figura 5.4 – Análise gráfica (método GT2) do pH das terras úmidas construídas, com 10 dias de TDH, no período de out/02 a junho/03.....	39
Figura 5.5 – Variação temporal dos valores médios de condutividade elétrica da água afluyente ao sistema experimental (P2) e das terras úmidas construídas com 10 dias de TDH, no período de out/02 a junho/03.....	41
Figura 5.6 – Análise gráfica (método GT2) da condutividade elétrica das terras úmidas construídas, com 10 dias de TDH, no período de out/02 a junho/03.....	41
Figura 5.7 – Variação temporal dos valores médios de turbidez da água afluyente ao sistema experimental (P2) e das terras úmidas construídas com 10 dias de TDH, no período de out/02 a junho/03.....	43
Figura 5.8 – Valores médios de turbidez da água afluyente ao sistema experimental (P2) e das terras úmidas construídas com 10 dias de TDH, no período de out/02 a junho/03.....	43
Figura 5.9 – Variação temporal dos valores médios de alcalinidade total da água afluyente ao sistema experimental (P2) e das terras úmidas construídas com 10 dias de TDH, no período de out/02 a junho/03.....	45
Figura 5.10 – Análise gráfica (método GT2) da alcalinidade total das terras úmidas construídas, com 10 dias de TDH, no período de out/02 a junho/03.....	45
Figura 5.11 – Variação temporal dos valores médios de dureza total da água afluyente ao sistema experimental (P2) e das terras úmidas construídas com 10 dias de TDH, no período de out/02 a junho/03.....	47
Figura 5.12 – Análise gráfica (método GT2) da dureza total das terras úmidas construídas, com 10 dias de TDH, no período de out/02 a junho/03.....	47
Figura 5.13 – Variação temporal dos valores médios de cloretos da água afluyente ao sistema experimental (P2) e das terras úmidas construídas com 10 dias de TDH, no período de out/02 a junho/03.....	52

- Figura 5.14 – Análise gráfica (método GT2) dos cloretos das terras úmidas construídas, com 10 dias de TDH, no período de out/02 a junho/03.....52
- Figura 5.15 – Variação temporal dos valores médios de DQO da água afluyente ao sistema experimental (P2) e das terras úmidas construídas com 10 dias de TDH, no período de out/02 a junho/03.....53
- Figura 5.16 – Valores médios da DQO da água afluyente ao sistema experimental (P2) e das terras úmidas vegetadas com 10 dias de TDH, no período de out/02 a junho/03.....53
- Figura 5.17 – Variação temporal dos valores médios de  $DBO_5$  da água afluyente ao sistema experimental (P2) e das terras úmidas construídas com 10 dias de TDH, no período de out/02 a junho/03.....54
- Figura 5.18 – Análise gráfica (método GT2) da  $DBO_5$  das terras úmidas construídas, com 10 dias de TDH, no período de out/02 a junho/03.....54
- Figura 5.19 – Variação temporal dos valores médios de sólidos totais da água afluyente ao sistema experimental (P2) e das terras úmidas construídas com 10 dias de TDH, no período de out/02 a junho/03.....55
- Figura 5.20 – Análise gráfica (método GT2) de sólidos totais das terras úmidas construídas, com 10 dias de TDH, no período de out/02 a junho/03.....55
- Figura 5.21 – Variação temporal dos valores médios de sólidos suspensos totais da água afluyente ao sistema experimental (P2) e das terras úmidas construídas com 10 dias de TDH, no período de out/02 a junho/03.....56
- Figura 5.22 – Análise gráfica (método GT2) de sólidos suspensos totais das terras úmidas construídas, com 10 dias de TDH, no período de out/02 a junho/03.....56

- Figura 5.23 – Variação temporal dos valores médios de NTK da água afluyente ao sistema experimental (P2) e das terras úmidas construídas com 10 dias de TDH, no período de out/02 a junho/03.....58
- Figura 5.24 – Análise gráfica (método GT2) de NTK das terras úmidas construídas, com 10 dias de TDH, no período de out/02 a junho/03.....58
- Figura 5.25 – Variação temporal dos valores médios de nitrogênio amoniacal da água afluyente ao sistema experimental (P2) e das terras úmidas construídas com 10 dias de TDH, no período de out/02 a junho/03.....60
- Figura 5.26 – Análise gráfica (método GT2) de N-amoniacal das terras úmidas construídas, com 10 dias de TDH, no período de out/02 a junho/03.....60
- Figura 5.27 – Variação temporal dos valores médios de nitrato da água afluyente ao sistema experimental (P2) e das terras úmidas construídas com 10 dias de TDH, no período de out/02 a junho/03.....62
- Figura 5.28 – Análise gráfica (método GT2) do nitrato das terras úmidas construídas, com 10 dias de TDH, no período de out/02 a junho/03.....62
- Figura 5.29 – Variação temporal dos valores médios de nitritos da água afluyente ao sistema experimental (P2) e das terras úmidas construídas com 10 dias de TDH, no período de out/02 a junho/03.....65
- Figura 5.30 – Valores médios de nitritos da água afluyente ao sistema experimental (P2) e das terras úmidas construídas com 10 dias de TDH, no período de out/02 a junho/03.....65
- Figura 5.31 – Variação temporal dos valores médios de Coliformes Termotolerantes da água afluyente ao sistema experimental (P2) e das terras úmidas construídas com 10 dias de TDH, no período de out/02 a junho/03.....66



- Figura 5.32 – Análise gráfica (método GT2) de Coliformes Termotolerantes das terras úmidas construídas, com 10 dias de TDH, no período de out/02 a junho/03.....66
- Figura 5.33 – Variação temporal dos valores médios de Estreptococos Fecais da água afluyente ao sistema experimental (P2) e das terras úmidas construídas com 10 dias de TDH, no período de out/02 a junho/03.....67
- Figura 5.34 – Análise gráfica (método GT2) de Estreptococos Fecais das terras úmidas construídas, com 10 dias de TDH, no período de out/02 a junho/03.....67
- Figura 5.35 – Nitrogênio presente nas macrófitas cultivadas nas terras úmidas construídas, no período de out/02 a junho/03.....69

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 4.1 – Configuração do sistema de terras úmidas construídas (UFCG/PB).....	24
Tabela 4.2 – Características físicas e operacionais de cada tanque do sistema experimental.....	26
Tabela 4.3 – Nomenclatura utilizada para designar os tratamentos aplicados.....	26
Tabela 4.4 – Parâmetros físicos, químicos e microbiológicos e métodos analíticos utilizados na caracterização do afluente e dos efluentes das terras úmidas.....	33
Tabela 5.1 – Resumo da análise de variância ANOVA (fator único) para o pH analisado nas terras úmidas construídas, no período de out/02 a jun/03.....	37
Tabela 5.2 – Resumo da análise de variância ANOVA (fator único) para a condutividade elétrica analisada nas terras úmidas construídas, no período de out/02 a jun/03.....	40
Tabela 5.3 – Resumo da análise de variância ANOVA (fator único) para a alcalinidade total analisada nas terras úmidas construídas, no período de out/02 a jun/03.....	44
Tabela 5.4 – Resumo da análise de variância ANOVA (fator único) para a dureza total analisada nas terras úmidas construídas, no período de out/02 a jun/03.....	46
Tabela 5.5 – Resumo da análise de variância ANOVA (fator único) para cloretos analisados nas terras úmidas construídas, no período de out/02 a jun/03.....	48
Tabela 5.6 – Resumo da análise de variância ANOVA (fator único) para a DBO <sub>5</sub> analisada nas terras úmidas construídas, no período de out/02 a jun/03.....	50
Tabela 5.7 – Resumo da análise de variância ANOVA (fator único) para os sólidos totais analisados nas terras úmidas construídas, no período de out/02 a jun/03.....	51

Tabela 5.8 – Resumo da análise de variância ANOVA (fator único) para os sólidos suspensos analisados nas terras úmidas construídas, no período de out/02 a jun/03.....	51
Tabela 5.9 – Resumo da análise de variância ANOVA (fator único) para o NTK analisado nas terras úmidas construídas, no período de out/02 a jun/03.....	57
Tabela 5.10 – Resumo da análise de variância ANOVA (fator único) para o nitrogênio amoniacal analisado nas terras úmidas construídas, no período de out/02 a jun/03.....	59
Tabela 5.11 – Resumo da análise de variância ANOVA (fator único) para o nitrato analisado nas terras úmidas construídas, no período de out/02 a jun/03.....	61
Tabela 5.12 – Resumo da análise de variância ANOVA (fator único) para Coliformes termotolerantes nas terras úmidas construídas, no período de out/02 a jun/03.....	64
Tabela 5.13 – Resumo da análise de variância ANOVA (fator único) para Estreptococos Fecais nas terras úmidas construídas, no período de out/02 a jun/03.....	64
Tabela 5.14 – Eficiência de terras úmidas construídas com relação à carga aplicada.....	70
Tabela 5.15 – Eficiência das terras úmidas construídas durante o período experimental.....	71
Tabela 5.16 – Concentrações de Coliformes termotolerantes e Estreptococos fecais nas terras úmidas construídas.....	72
Tabela 5.17 – Limites máximos para águas doces e padrão de lançamento em corpos d'água, de acordo com a Resolução Conama 20/86.....	73
Tabela 5.18 – Classe de uso e conformidade de lançamento do efluente final do sistema de terras úmidas construídas, conforme a Resolução Conama 20/86.....	73

## **1. INTRODUÇÃO**

---

A relação campo-cidade no Brasil de hoje retrata as mudanças radicais ocorridas a partir da década de 1950 que acelerou a industrialização do país, esvaziando os campos e atraindo seus trabalhadores para as cidades.

O século XXI encontrou as grandes cidades brasileiras envolvidas com os mais diversos problemas de natureza infra-estrutural, ou seja, "inchadas" e sem um planejamento que satisfaça e solucione alguns destes problemas mais prementes.

A utilização intensiva e cada vez maior dos recursos hídricos como fonte de água e diluidores de dejetos tem resultado em problemas de carência dos mesmos e de degradação de sua qualidade. Há que lembrar que a ameaça global da diminuição da oferta de água de boa qualidade no planeta é hoje o problema mais grave a ser enfrentado.

Devido à permanência e o agravamento desses e de outros problemas, a questão ecológica insiste fortemente na busca de soluções que se transformem diretamente em instrumentos de preservação ambiental.

Neste contexto, as terras úmidas construídas têm se tornando uma alternativa simples, de baixo custo e de fácil construção e manutenção para tratamento de diversos tipos de águas residuárias.

A relevância dessa tecnologia está na disponibilidade de terras no Brasil, o que permite pensar nessa alternativa como uma eficiente atenuadora de contaminantes e poluentes hídricos sem envolver grandes investimentos (Bertholdo, 1999). Uma outra vantagem é que sistemas de terras úmidas construídas bem projetados, construídos e operados permitem o cultivo de plantas úteis ao ser humano ou aos animais, que inclusive podem ser utilizadas na sua alimentação.

Por outro lado, é importante estimular e desenvolver pesquisas nessa área a fim de assegurar boas condições de projeto e operação, em particular sob as condições climáticas do Nordeste, além de fornecer subsídios para o licenciamento ambiental.

## *Introdução*

O afluente ao sistema monitorado neste estudo é um córrego tributário do açude de Bodocongó (Campina Grande, PB) e que forma parte do sistema de macrodrenagem urbana da segunda maior cidade do Estado, com 360.000 habitantes. Este corpo aquático apresenta forte impacto por esgotos domésticos e industriais e elevado grau de eutrofização que se reflete na presença de macrófitas aquáticas que cobrem boa parte de seu espelho d'água. A bacia de contribuição é formada por alguns córregos tributários, sendo que a grande maioria apresenta suas nascentes em áreas urbanas. Como o sistema de drenagem urbana é misto, e a cidade não apresenta 100% de coleta de esgotos, esses tributários recebem contribuições de esgotos domésticos, efluentes industriais, postos de serviços além da drenagem das vias de tráfego. Uma maneira de despouir essas águas pode ser através de terras úmidas construídas.

Não existe nenhum sistema de terras úmidas construídas em escala real na cidade e um projeto piloto se tornou uma opção para avaliar a eficiência desse sistema sob as condições do clima local (trópico semi-árido), usando água poluída de um córrego urbano.

Visando uma abordagem ampla do tema em estudo, decidiu-se que a sua exposição abrangerá oito capítulos, que buscarão aprofundar a temática e subsidiar novos campos de pesquisa, assim distribuídos:

No capítulo 1 encontra-se exposta a importância de sistemas simples e baratos no tratamento de águas residuárias, traçando a contextualização em que se insere a temática em estudo, exteriorizando-se os motivos que influenciaram a escolha do tema estudado, e expondo-se a estrutura do trabalho em questão.

O capítulo 2 trata da apresentação dos objetivos da pesquisa, justificando as direções assumidas para o desenvolvimento do estudo.

O capítulo 3 contempla a revisão bibliográfica.

O capítulo 4 está voltado à apresentação do material e métodos utilizados durante a pesquisa, de forma a oferecer subsídios ao capítulo 5, essencial ao entendimento dos resultados analíticos apresentados e discutidos.

O capítulo 6 visa, de forma concisa, expor as conclusões, atingidas quanto aos objetivos do experimento.

## *Introdução*

No capítulo 7 e 8 encontram-se registradas as referências bibliográficas e o apêndice.

## 2. OBJETIVOS

---

### 2.1. Objetivos gerais

Este estudo teve como objetivo geral avaliar a viabilidade e a eficiência de terras úmidas construídas cultivadas com arroz (*Oryza sativa*) e *Typha* spp usando substratos de areia e brita com TDH de 10 dias, na remoção de nutrientes (formas de nitrogênio), de matéria orgânica e na retenção de bactérias indicadoras de contaminação fecal de águas superficiais contaminadas com esgotos domésticos. Analisa também a assimilação de nitrogênio total pela biomassa vegetal.

### 2.2. Objetivos específicos

- Avaliar a variação/remoção, no sistema de terras úmidas construídas, das variáveis físicas e químicas: temperatura, pH, condutividade elétrica, alcalinidade total, turbidez, dureza, cloretos, DBO<sub>5</sub>, DQO, NTK, amônia, nitrito, nitrato, sólidos totais, sólidos suspensos e de Coliformes termotolerantes e *Streptococos* fecais.
- Investigar a influência dos dois tipos de vegetação (arroz - *Oryza sativa* e *Typha* spp) e substratos (areia e brita) na eficiência das terras úmidas construídas.
- Avaliar o teor de nitrogênio total retido nos dois tipos de vegetação.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

---

O aproveitamento das águas residuárias tratadas, principalmente para a irrigação, proporciona a economia de água de boa qualidade que pode ser utilizada para fins mais nobres, além de evitar que os esgotos sejam lançados indiscriminadamente em corpos receptores. Os nutrientes contidos nas águas residuárias podem ser utilizados como fertilizantes para determinadas culturas, o que constitui vantagem econômica importante. Portanto, o aproveitamento das águas residuárias na agricultura irrigada, é uma necessidade que se impõe como alternativa sanitariamente segura, economicamente viável e ambientalmente sustentável.

#### 3.1 – Terras úmidas

Terras úmidas são áreas onde o nível das águas está próximo à superfície, mantendo, continuamente ou durante parte do ano, os solos saturados de água. Apresentam-se, pois, como áreas cobertas com camada de água rasa, durante, pelo menos, certo período do ano, constituindo-se em habitat de inúmeros seres vivos, entre eles as plantas aquáticas. Já o substrato constitui-se de solos pobremente drenados ou de sedimentos saturados por água. Dessa forma, terras úmidas são alagados, brejos, várzeas, pântanos, lagos muito rasos e manguezais (EPA, 1988; Odum, 1971; Marques, 1999).

As terras úmidas, de acordo com Villanueva (1997), devem possuir um ou mais dos três atributos seguintes:

- 1 – pelo menos periodicamente, o substrato suporta predominantemente macrófitas aquáticas;
- 2 – o substrato é predominantemente solo hídrico não drenado e,
- 3 – o substrato é saturado com água ou coberto por água rasa durante algum período do ano.

A vegetação que prevalece nas terras úmidas geralmente consiste em macrófitas, as quais estão adaptadas a áreas de solo saturado. Essas



espécies, através de adaptações morfológicas e fisiológicas, incluindo as reprodutivas, têm a habilidade de crescer, reproduzir ou persistir em ambientes aquáticos ou condições predominantemente anaeróbias no substrato. Os solos por sua vez são genericamente classificados como solos hídricos, os quais possuem características de condições anaeróbias (Vilanueva, 1997).

No Brasil, segundo Esteves (1988), cerca de 100 mil km<sup>2</sup> de área da planície na Amazônia são anualmente inundadas. O rio Paraguai inunda o pantanal Mato-Grossense, uma das maiores áreas de terras úmidas do planeta. Cerca de 6% do território brasileiro são cobertos por áreas de terras úmidas naturais.

As terras úmidas podem funcionar como uma alternativa para o tratamento de esgotos sanitários, o que se torna uma prática de manejo sustentável ao diminuir os impactos no corpo receptor e favorecer o desenvolvimento da biodiversidade. Os sistemas de terras úmidas mantêm a paisagem e a diversidade das populações que ali habitam e das atividades microbiológicas do ecossistema (Denny, 1997).

### **3.2 – Tratamento de esgotos por terras úmidas construídas**

A concepção de tratamento de esgotos por terras úmidas construídas foi desenvolvida na Alemanha em 1970, com escoamento subsuperficial de fluxo horizontal. O primeiro sistema entrou em operação em 1974 em Othfresen e o processo foi chamado de “Root Zone Method”. Na Europa, de um modo geral, é conhecido como “Reed Bed Treatment System”, e nos Estados Unidos como “Vegetated Submerged Bed” (Cooper *et al.*, 1999).

As terras úmidas construídas são sistemas projetados e construídos pelo homem, com diferentes tecnologias, utilizando os princípios básicos do sistema de terras úmidas naturais. Entre os componentes fundamentais das terras úmidas construídas, têm-se o substrato, o biofilme de bactérias, fungos e metazoários, responsáveis direta e indiretamente pela ocorrência de importantes mecanismos de remoção de poluentes, que se encontram associados a esses sistemas, as macrófitas aquáticas e a zona das raízes ou rizosfera e o fluxo hidráulico.

A remoção de poluentes presentes na água poluída através de terras úmidas é realizada por processos físicos, químicos e biológicos, que ocorrem de forma simultânea e que estão influenciados pelo tipo de fluxo do leito, pela planta cultivada, pelo meio suporte utilizado e pelas características da água a ser tratada. Mas, provavelmente, o processo mais importante e que forma a base das terras úmidas é a simbiose entre as plantas e os microrganismos aí fixados.

O uso de terras úmidas para o tratamento de águas tem crescido em todo mundo. Depois de quase trinta anos de uso, ainda estão em operação na Europa, cerca de 500 unidades de tratamento e 600 na América do Norte. Esse interesse internacional tem crescido, e já se encontram sistemas em operação no Sudeste da Ásia, Índia, China e América do Sul (Cole, 1998).

Conte *et al.*, (1992) relatam que através do monitoramento de um sistema de recuperação de efluentes domésticos usando taboa (*Typha latifolia*), junco (*Juncos sellovianus*) e lírio do brejo (*Hedychium coronarium*), observaram alta eficiência de retenção de espécies químicas dissolvidas (fósforo e potássio), além de boa remoção de DBO<sub>5</sub>, DQO e sólidos em suspensão. Observações similares foram relatadas por Reuter *et al.*, (1992) e Roston (1993), ressaltando o uso de plantas como alternativa no controle da carga poluidora.

O conhecimento acumulado no Brasil sobre o tratamento de águas residuárias, utilizando terras úmidas construídas, ainda é reduzido. Todavia, há que se louvar importantes iniciativas de alguns pesquisadores brasileiros, que vêm desenvolvendo experimentos, com esgotos domésticos, conforme demonstra a literatura (Salati Filho *et al.*, 1998; Valentim *et al.*, 2000; Ceballos *et al.*, 2000). Os primeiros experimentos com terras úmidas construídas no Brasil foram desenvolvidos por Roquete Pinto, com enfoque especial no estudo da eficiência de plantas aquáticas flutuantes (*Eichornia* sp) na remoção de metais pesados em efluentes (Salati Filho *et al.*, 1998).

### 3.2.1 –Tipos de terras úmidas construídas

Atualmente estudam-se dois tipos de sistemas de terras úmidas construídas, entre os mais freqüentemente usados: terras úmidas construídas

de fluxo superficial e terras úmidas construídas de fluxo subsuperficial (horizontal e vertical). A seguir, serão tratadas as características destes sistemas, segundo Vymazal (1998).

- **Terras úmidas de fluxo superficial:** constituídas de canais com algum tipo de barreira subsuperficial, geralmente o próprio solo, que fornece condições de desenvolvimento para as plantas, sendo que a água flui a uma pequena profundidade ou numa lâmina fina (0,1 a 0,3m). A disposição por escoamento superficial é utilizada para solos com baixa permeabilidade e em terrenos com declividades reduzidas. O substrato, parte do caule e as raízes das macrófitas ficam submersos. Este tipo de sistema requer menores custos de implantação, operação e manutenção, no entanto, a principal desvantagem é a necessidade de maior área superficial. Além disso, este tipo de configuração favorece a proliferação de mosquitos e pode tornar-se base para a formação de algas. Deve-se registrar que o mesmo tem apresentado melhores resultados no tratamento terciário de águas residuárias.
- **Terras úmidas de fluxo subsuperficial horizontal:** são essencialmente filtros lentos horizontais preenchidos com brita ou areia como meio suporte e onde se desenvolvem as raízes das plantas e o biofilme. Neste tipo de sistema, o nível da água a ser tratada é projetado para permanecer abaixo da superfície do substrato. A água residuária é purificada durante o contato com a superfície do substrato, rizomas e raízes e o biofilme bacteriano. A maior parte da zona subsuperficial é anaeróbia com partes aeróbias, imediatamente adjacentes aos rizomas e raízes.
- **Terras úmidas de fluxo subsuperficial vertical:** filtros de vazão vertical intermitente, preenchidos com areia ou brita. Sofrem inundação na superfície, ocasionando uma percolação/infiltração lenta e uma melhor aeração. Este sistema possui grande potencial de nitrificação e é bom para a remoção de DBO<sub>5</sub>, porém não provoca uma boa desnitrificação e é menos eficiente na remoção de sólidos suspensos e fósforo que os outros sistemas.

O sistema de terras úmidas de fluxo subsuperficial horizontal é o que está proposto no presente trabalho, por se mostrar eficiente quanto ao

tratamento de águas superficiais poluídas com esgotos domésticos, por não oferecer condições para o desenvolvimento de odores e proliferação de mosquitos, assim como impossibilita o contato de pessoas e animais com a lâmina d'água contaminada

### **3.3 – Componentes das terras úmidas construídas**

#### **3.3.1 – Macrófitas**

As macrófitas são plantas vasculares que atuam nas terras úmidas como filtros para águas provenientes de esgotos domésticos, resíduos industriais líquidos, agrotóxicos e águas carregadas de metais pesados. Isso acontece porque suas raízes formam uma verdadeira cortina sobre um substrato sólido que, por ação mecânica, removem das águas partículas em suspensão (Reddy & D'Angelo, 1997). Adicionalmente à ação mecânica, ocorre a ação biológica quando as partículas de matéria orgânica servem como meio de fixação para o desenvolvimento de fungos e bactérias que a consomem (biodegradação da matéria orgânica), depurando a água residuária. O desenvolvimento de comunidades aeróbias de microrganismos ocorre devido à capacidade das macrófitas de transportarem oxigênio para as raízes, criando microzonas aeróbias numa grande zona anaeróbia, que se torna um ambiente propício para os mecanismos importantes de reciclagem de águas poluídas (Brix, 1994).

Entre as funções fisiológicas das macrófitas aquáticas, incluem-se:

- a retirada de nutrientes e de outros constituintes das águas residuárias, tais como metais pesados, sólidos suspensos, microrganismos;
- a transferência do oxigênio para a rizosfera;
- o desenvolvimento de rizomas e raízes que servem de suporte para o crescimento de biofilme microbiano (Marques, 1999);
- a função de filtro, que simplesmente retem partículas na malha constituída pelas raízes e biofilme.

As maiores representantes das macrófitas são as plantas aquáticas florescentes, porém os musgos e a maioria das algas de água doce também participam do ecossistema. Podem ocupar extensas áreas e seu desenvolvimento reflete a qualidade da água em que vivem. Em água doce

encontram-se desde as minúsculas *Wolffia* spp (tamanho de uma cabeça de alfinete), passando pelas taboas (*Typha* spp) até as árvores de ciprestes (*Taxodium* spp).

As macrófitas são divididas em três categorias (Esteves, 1988):

- flutuantes: podem estar fixadas ou não ao fundo e sua folhagem principal flutua na superfície da água;
- submergentes: crescem sob a água e podem ou não estar fixas por raízes. São pouco utilizadas em sistemas de terras úmidas construídas devido a turbidez excessiva que causam no efluente;
- emergentes: sua folhagem principal está em contato com o ar e suas raízes estão fixadas ao solo.

A distribuição e a presença destes tipos de macrófitas são determinadas por: concentração dos nutrientes na água, tipo de sedimentos onde estão fixadas, profundidade da lâmina d'água, presença ou não de correnteza, turbidez, ataque de herbívoros e atividades humanas (Vymazal 1998).

O uso das macrófitas nas terras úmidas construídas deve obedecer a critérios seletivos, tais como: (1) crescimento rápido e facilidade de propagação; (2) elevada capacidade de absorção de poluentes; (3) tolerância a ambientes eutrofizados; (4) tolerância a prolongados períodos de submersão ou permanência em substrato saturado a maior parte do ano no sistema; (5) facilidade de colheita e de manejo e (6) valorização econômica. (Marques, 1999)

Uma grande variedade de macrófitas tem sido usadas em terras úmidas construídas, em particular, as emergentes. Entre as mais comuns estão as espécies pertencentes aos gêneros *Typha*, *Juncus*, *Scirpus*, *Carex*, *Sparagium*, *Lemna* e *Phragmites*.

### 3.3.1.1 – *Typha* spp

Macrófita pertencente à ordem Pandanales, ordem de monocotiledôneas, família Typhaceae, apresenta folhas lineares, com bainha bem desenvolvida, não tendo caule lenhoso (Joly, 1979).

A família Typhaceae compreende plantas herbáceas perenes, com altura entre 2 e 3 metros, que cresce em brejos e alagadiços; seu caule

apresenta uma porção rizomatosa rastejante e outra ereta que transporta as folhas, sendo estas sésseis (fixadas diretamente à parte principal-rizoma), lineares, e quase todas se inserem próximas da base e possuem nervação paralela. Esta família é monotípica, contendo o único gênero *Typha* que é de distribuição cosmopolita, sendo encontrado em ambos os hemisférios nas regiões temperadas e tropicais (Joly, 1979; Lorenzi, 1982).

Segundo Lorenzi (1982), a macrófita do gênero *Typha* é popularmente conhecida como taboa, tabua, partasana (AM), paineira-de-flecha (SP), paineira-do-brejo (SP), espadana (MG), landim (MG), capim-de-esteira, pau-de-lagoa, tabebuia, erva-de-esteira, pina-se-flexa.

A *Typha* spp é uma planta aquática muito freqüente nas margens de lagoas ou represas, canais de drenagem e baixadas pantanosas em geral. É bastante agressiva chegando a produzir 7 mil quilos de rizomas por hectare, possuindo um teor de proteínas igual ao do milho e de carboidratos igual ao da batata, além de propriedades medicinais (adstringente, diurético e emoliente) (Lorenzi, 1982).

As folhas e as hastes servem para o fabrico de pasta de papel, devido à grande porcentagem de celulose. Das folhas pode-se fazer esteiras, chapéus, cestas e sandálias. De seu fruto aproveita-se a paina de seda para encher travesseiros, almofadas e acolchoados e a própria flor como ornamento.

As macrófitas do gênero *Typha* tendem a dominar em sistemas de terras úmidas construídas em função de sua resposta positiva à concentração de nutrientes.

Roston (1994) desenvolveu um sistema de leitos cultivados com *Typha latifolia* para tratar esgoto doméstico nos Estados Unidos. Nesse sistema foram avaliadas a redução de DBO<sub>5</sub> (92%), de NTK (74%) e de coliformes termotolerantes (94%).

Souza & Bernardes (1996) trataram o esgoto doméstico de uma comunidade próxima a Brasília/DF por uma combinação de reator anaeróbico de fluxo ascendente (UASB) com pós-tratamento em terras úmidas de fluxo subsuperficial com *Typha latifolia*. Três leitos foram operados e apresentaram boa remoção de nutrientes (54% para NTK e 40% para fósforo) e DQO (63%).

Mansor (1998) avaliou o desempenho de quatro terras úmidas de fluxo subsuperficial cultivados com *Typha* spp em substrato de brita, no tratamento

de águas residuárias primárias do Centro Pluridisciplinar de Pesquisas Químicas, Biológicas e Agrícolas da UNICAMP. Nessas terras úmidas a redução de DQO foi igual a 82,7% e a máxima redução de fósforo foi igual a 86,4%.

Valentim (1999), utilizou *Typha* spp em terras úmidas de fluxo subsuperficial no tratamento de efluente de tanque séptico, por ser uma macrófita bem adaptada e abundante na região de Campinas/SP.

Bertholdo (1999), estudou a eficiência de terras úmidas construídas cultivadas com *Typha subulata* em substrato de areia no pós-tratamento de efluente de reator anaeróbio (UASB) em escala real na ETE Parque da Matriz em Cachoeirinha/RS. Este sistema apresentou eficiência média de 49,9% para a remoção de DQO; 46,9% para nitrogênio amoniacal; 76,2% para fosfatos; 59,8% para sólidos suspensos e 43,6% para remoção de zinco.

Guimarães (2001), utilizou terras úmidas construídas para o tratamento de esgoto doméstico pré-tratado anaerobiamente em Campina Grande/PB, obtendo eficiência de remoção de 78 a 83% para DQO e 45 a 75% para NTK.

Silveira Neto (2003) pesquisou terras úmidas artificiais cultivadas com *Typha latifolia* em substratos de areia e brita no tratamento adicional de efluentes de estações de tratamento de esgoto de indústrias têxteis em Fortaleza/CE.

### 3.3.1.2 – Arroz (*Oryza sativa*)

As evidências históricas indicam que o arroz foi, provavelmente, o principal alimento e a primeira planta cultivada na Ásia. As mais antigas referências a ele são encontradas na literatura chinesa, há cerca de 5.000 anos. Certas diferenças entre as formas de arroz cultivadas na Índia e sua classificação em grupos, de acordo com ciclo, exigência hídrica e valor nutritivo, foram mencionadas cerca de 1.000 anos a.C.. Essa cultura estendeu-se à China e à Pérsia, difundindo-se, mais tarde, para o sul e o leste, passando pelo arquipélago malaio, e alcançando a Indonésia, em torno de 1.500 anos a.C.. A cultura é muito antiga nas Filipinas e, no Japão, foi introduzida pelos chineses cerca de 100 anos a.C.. Até sua introdução pelos árabes no delta do Nilo, o arroz não era conhecido nos países mediterrâneos. Os sarracenos

levaram-no à Espanha e os espanhóis, à Itália. Foram, provavelmente, os portugueses que introduziram esse cereal na África Ocidental, e os espanhóis, os responsáveis pela sua disseminação nas Américas. O Brasil foi o primeiro país a cultivar esse cereal no continente americano. O arroz era o "milho d'água" (abati-uaupé) que os tupis, muito antes de conhecerem os portugueses, já colhiam nos alagados próximos ao litoral. Consta que integrantes da expedição de Pedro Álvares Cabral, após uma peregrinação por cerca de 5km em solo brasileiro, traziam consigo amostras de arroz, confirmando registros de Américo Vespúcio que trazem referência da existência desse cereal em grandes áreas alagadas do Amazonas. Em 1587, lavouras arrozeiras já ocupavam terras na Bahia e, por volta de 1745, no Maranhão. Em 1766, a Coroa Portuguesa autorizou a instalação da primeira descascadora de arroz no Brasil, na cidade do Rio de Janeiro. A prática da orizicultura no Brasil, de forma organizada e racional, aconteceu em meados do século XVIII e daquela época até a metade do século XIX, o país foi um grande exportador de arroz.

O arroz se constitui no principal alimento para a grande maioria da população da América Latina, Caribe e países asiáticos. No Brasil, é o responsável por 18% das calorias e 12% das proteínas da dieta básica da população. A Comissão Internacional do Arroz (*IRC — International Rice Commission*, 1989) realça a importância estratégica deste cereal em muitas regiões: "O arroz é a fonte de alimento com o mais rápido crescimento em diversos países africanos. A rápida aceleração da produção de arroz nas três últimas décadas foi um contributo da maior importância para o melhoramento da segurança alimentar mundial."

O arroz no Brasil é cultivado em dois ecossistemas, várzeas e terras altas. O ecossistema de várzeas representou cerca de 40% da área total sob a cultura de 3,5 milhões de hectares, contribuindo com 60% da produção de 10 milhões de toneladas, na safra 98/99. Nesse ecossistema predomina o sistema de cultivo com irrigação controlada, que ocupa cerca de 1 milhão de hectares na região subtropical (RS e SC), onde a cultura é manejada sob alto nível tecnológico e apresenta rendimento médio ao redor de 5,5t/ha. Na região tropical, e especialmente nas regiões Norte (vale do Araguaia) e



Nordeste (perímetro irrigado do São Francisco) são cultivados cerca de 150.000 hectares sob irrigação controlada. No Tocantins predominam grandes lavouras e alto nível tecnológico, sob o sistema de cultivo mecanizado convencional, enquanto no Nordeste o cultivo é tipicamente de pequenas áreas, usando mão de obra familiar, no sistema de transplântio e cultivado sob o sistema de várzea úmida, sem controle de irrigação, por pequenos produtores (EMBRAPA: [www.cnpaf.embrapa.br/pesquisa/arroz.htm](http://www.cnpaf.embrapa.br/pesquisa/arroz.htm)).

### **3.3.2 – Substratos**

Os substratos são essenciais na construção de terras úmidas artificiais, já que servem como meio suporte para as macrófitas aquáticas e o biofilme microbiano. Os principais tipos de substratos utilizados em terras úmidas artificiais são areia e brita com diferentes granulometrias, no entanto, existem sistemas em estudo utilizando palha de arroz, casca de coco, resíduos da mineração de carvão, lodo de estações de tratamento, entre outros. Substratos locais podem ser misturados com outros materiais para melhorar o fluxo hidráulico e ao mesmo tempo manter uma certa capacidade de absorção de íons. Deve ser evitado, no entanto, o uso de solos diretamente como substrato porque ocorre o envelhecimento precoce dos sistemas, com perda de eficiência para remover matéria orgânica e redução do volume entre as partículas constituintes (Marques, 1999).

Nos sistemas de terras úmidas de fluxo subsuperficial horizontal, os espaços vazios do substrato servem como canais de vazão e facilitam o escoamento da água residuária.

Os microrganismos aderidos aos substratos possuem um papel fundamental na transformação da matéria orgânica, decompondo os compostos orgânicos, incorporando os nutrientes de menor peso molecular e liberando metabólitos intermediários por produção extracelular.

O substrato pode reter nutrientes, íons, metais pesados, bactérias, vírus, protozoários, helmintos e outros microrganismos. A interferência é feita através de vários processos, onde se destacam: sedimentação, filtração, adsorção iônica e eliminação por exposição à radiação solar na superfície das terras

úmidas, ou por condições adversas (Cartaxo, 2003). A filtração na camada superficial do substrato (aproximadamente a 1,5cm de espessura) é capaz de reter ovos de helmintos, protozoários e bactérias (Paganini, 1997).

A interação microbiana (predação e competição), é muito efetiva na superfície das terras úmidas, especialmente quando esta contém matéria orgânica. A presença do oxigênio fomenta a atividade intensa dos microrganismos aeróbios, que associada à dessecação, exposição do esgoto à radiação solar e à elevação da temperatura, são responsáveis pela eliminação de 92 a 97% dos microrganismos patogênicos, dispostos na superfície (Paganini, 1997).

O tempo de sobrevivência dos microrganismos patogênicos depositados nos solos e nas plantas é apresentado em diversas publicações, que registram informações díspares sobre o assunto. Feachem *et al.* (1983), analisaram vários trabalhos técnicos e concluíram que tais informações diferem, na maioria dos casos, devido a fatores climáticos, variação de cepas e utilização de técnicas analíticas distintas.

### **3.3.3 – Biofilme**

Biofilmes são sistemas complexos onde comunidades de microrganismos (bactérias, fungos e metazoários) produtores de mucilagem crescem sobre um substrato constituindo um ecossistema estruturado, altamente dinâmico, que atua de maneira coordenada.

A biomassa microbiana é um componente muito importante de todos os sistemas de terras úmidas naturais e construídas pelo homem, por ser considerado o agente regulador da taxa de decomposição da matéria orgânica e da ciclagem dos elementos (Jenkinson & Ladd, 1981). Também aumenta a retenção do fluxo hidráulico e o efeito filtrador do sistema; favorece a sedimentação e a biodegradação, assim como a morte dos microrganismos exógenos, entre eles os patogênicos.

No biofilme, os compostos necessários para o desenvolvimento bacteriano, como matéria orgânica, oxigênio e nutrientes, são adsorvidos à superfície. Após sua aderência, eles são transportados através do biofilme por

mecanismos de difusão, onde são metabolizados pelos microrganismos. Sólidos de natureza coloidal ou suspensa não conseguem se difundir no biofilme, necessitando ser hidrolisados a moléculas de menores dimensões por bactérias hidrolíticas que colonizam as áreas mais externas do biofilme. Entretanto, o biofilme não deve ser concebido como uma biomassa compacta e, sim como um ambiente mucilaginoso com espaços vazios que permitem o fluxo hidráulico, embora lento.

Nas terras úmidas o oxigênio é consumido à medida que penetra no biofilme, até atingir valores que definem condições anóxicas ou anaeróbias. Tem-se, portanto, zonas com oxigênio, e outras desprovidas de oxigênio. Nas camadas onde se desenvolvem condições anóxicas, ocorre a redução dos nitratos. Esta coexistência entre condições aeróbias, anóxicas e anaeróbias é uma importante característica do biofilme (Surman *et al.*, 1996).

O meio suporte das terras úmidas consiste de elementos com elevada superfície específica (brita e areia), o que permite que a matéria orgânica presente no esgoto seja digerida pela população de microrganismos que agem no biofilme aderido ao substrato.

A biomassa dos microrganismos aderida nas raízes das macrófitas e no substrato, além de atuar como agente da transformação bioquímica dos compostos orgânicos, é também um reservatório de nitrogênio e fósforo. (Siqueira *et al.*, 1988). Por isso o biofilme é de fundamental importância, atuando como um compartimento de retenção de nutrientes, quando a ele se incorpora matéria orgânica.

### **3.4 – Processos que ocorrem no tratamento das águas residuárias nas terras úmidas**

O tratamento da água residuária é o resultado da integração entre as interações físicas, químicas e biológicas que ocorrem nas terras úmidas pela presença do meio suporte, das comunidades microbianas (biofilme) e das macrófitas. Entre esses, as bactérias merecem destaque, pois realizam a degradação da matéria orgânica presente no afluente através de processos metabólicos anaeróbios, anóxicos e aeróbios. Como o ambiente dos leitos cultivados – terras úmidas – é predominantemente anaeróbio, as condições

aeróbias somente são conseguidas graças ao fornecimento de oxigênio pelas raízes das macrófitas (Valentim, 1999).

O movimento interno do oxigênio para as partes inferiores das plantas serve para suprir a demanda respiratória dos tecidos das raízes, e também para oxigenar a rizosfera. O escape de oxigênio das raízes cria condições de oxidação aeróbia, que juntamente com as condições anóxicas presentes, estimulam a decomposição aeróbia do material orgânico e o crescimento de bactérias nitrificantes (Brix, 1994).

Na rizosfera ocorre a justaposição de uma micro região aeróbia (com oxigênio) com outra anóxica (presença de nitrato) ambas envoltas em uma grande região anaeróbia. Essa situação de diferentes potenciais de oxiredução geram o desenvolvimento de vários tipos de bactérias que motivam os processos de nitrificação-desnitrificação.

O sistema radicular recebe o oxigênio atmosférico pelo transporte no interior das macrófitas aquáticas através de grandes espaços internos de ar chamados aerênquimas, que podem ocupar até 60% do volume dos tecidos do vegetal (Armstrong *et al*, 1990). Os aerênquimas são estruturas características das macrófitas aquáticas, tendo essencialmente função estrutural e de promover a estocagem e o movimento de gases (Guntenspergen *et al.*, 1988).

### 3.5 – Nitrogênio

O nitrogênio é um elemento indispensável à vida, pois faz parte das moléculas de aminoácidos e estes das proteínas. Sua fonte primária é a atmosfera, onde se apresenta na forma molecular altamente estável ( $N_2$ ) no estado gasoso, que não é prontamente assimilável pelos vegetais superiores. A fixação de  $N_2$  é feita por cianobactérias e microrganismos do solo e da água, dentre eles bactérias do gênero *Clostridium*, *Azotobacter* e *Rhizobium*.

As principais fontes artificiais de nitrogênio são as águas residuárias domésticas, industriais e agropecuárias. Nestas águas, o nitrogênio pode ser encontrado na forma de nitrogênio amoniacal (aproximadamente 60%), nitrogênio orgânico (cerca de 40%), nitratos e nitritos, que representam menos de 1% do nitrogênio total (Barnes e Bliss, 1983).

O nitrogênio presente em esgotos domésticos é oriundo, principalmente das fezes e da urina (Sawyer, McCarty e Parkin, 1994). Na urina, aproximadamente 80% do nitrogênio encontra-se na forma de uréia, que é rapidamente hidrolisada pela enzima urease. As fezes contribuem principalmente com nitrogênio orgânico, através de proteínas não assimiladas, que são decompostas por bactérias em condições aeróbias ou anaeróbias com a conseqüente liberação de amônia.

O nitrogênio dos materiais orgânicos e o  $N_2$  do ar é transformado através de processos químicos e biológicos, constituindo-se um dos ciclos biogeoquímicos fundamentais para a manutenção da biota e do equilíbrio nos ecossistemas aquáticos e terrestres.

De acordo com a representação esquemática (Figura 3.1), pode-se observar que, durante a transformação do nitrogênio da forma orgânica até a molecular ( $N_2$ ), todo o processo é biológico e participam microrganismos heterotróficos e autotróficos anaeróbios e aeróbios ocorrendo amonificação, nitrificação, assimilação e desnitrificação, de forma que a remoção de nitrogênio ocorre sob esses três mecanismos básicos (Metcalf & Eddy, 1991).

A assimilação é o processo responsável por aproximadamente 60% das transformações que ocorrem com o nitrogênio atmosférico. O  $N_2$  entra no ciclo biológico através de sua fixação microbiana, da assimilação de  $NH_4^+$  e  $NO_3^-$  e através da ação biológica sobre o nitrogênio gasoso ( $N_2$ ). As várias formas de nitrogênio reduzido ( $NH_4^+$ ) ou oxidado ( $NO_3^-$ ) são assimiladas por organismos vivos durante o seu crescimento e reprodução (Sousa, 1988). A amônia é assimilada por algas e bactérias passando a constituir material celular protéico (de Oliveira, 1990).

Parte dos compostos nitrogenados presentes no biofilme e nos substratos são nitrificados e parte é convertida pela ação das bactérias desnitrificantes em gás nitrogênio, que retorna à atmosfera. Essa atividade é fundamental na reciclagem do nitrogênio disponível no ambiente (Moore, 1985).

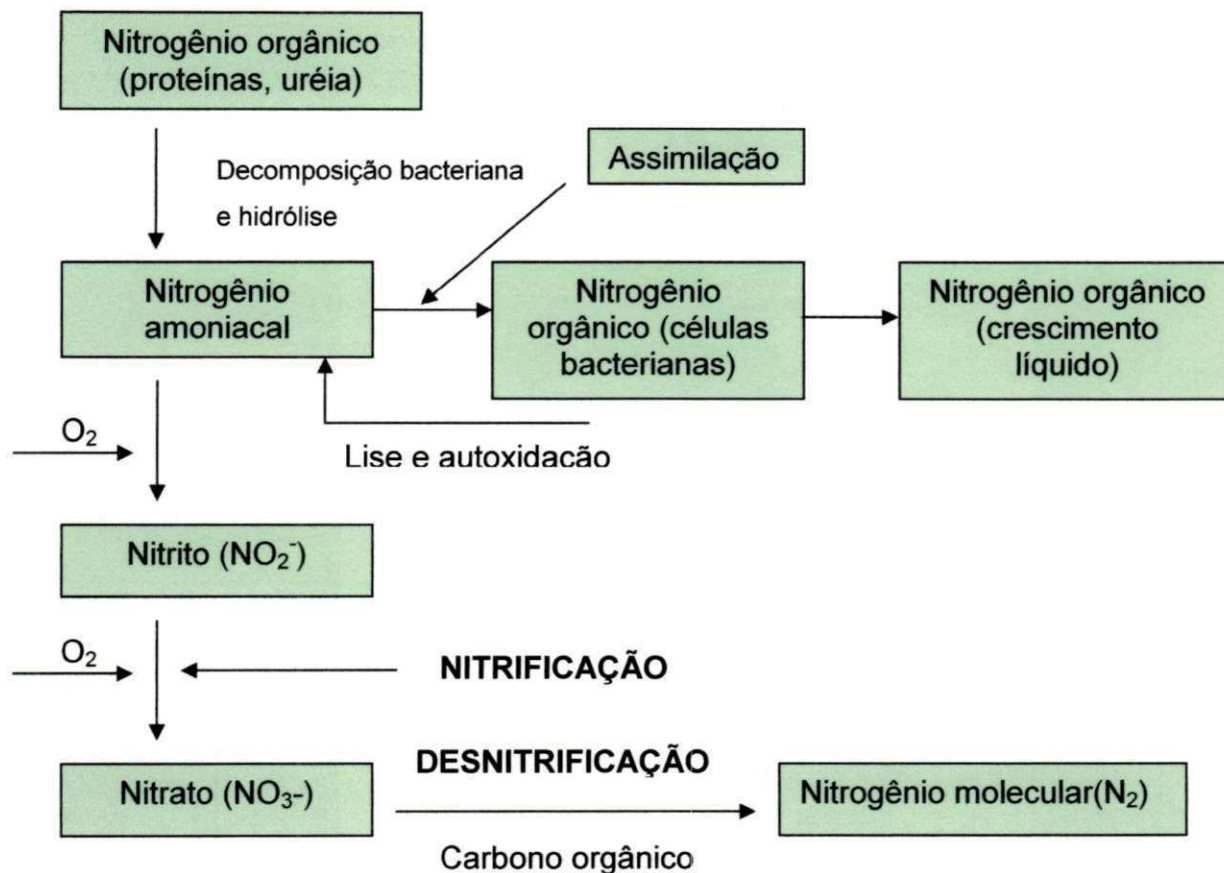


Figura 3.1: Transformação do nitrogênio no processo de tratamento biológico (Metcalf & Eddy, 1991).

Muitos sistemas de tratamento utilizando terras úmidas construídas são efetivos na remoção de nitrogênio porque promovem uma diversidade de ambientes físicos, químicos e biológicos e têm relativamente longo tempo de reação.

Segundo Reddy e D'Angelo (1997), os sistemas de terras úmidas construídas possuem boa capacidade de remoção de nitrogênio. Essa remoção ocorre por meio de processos biogeoquímicos. Na forma de amônia e, principalmente, de nitrato, o nitrogênio é incorporado pelas macrófitas, passando a fazer parte de suas moléculas orgânicas, principalmente das proteínas.

A nitrificação ocorre na presença de oxigênio e envolve a oxidação do íon amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) para nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ). A nitrificação é realizada pelas bactérias do gênero *Nitrosomonas*, *Nitrobacter*, *Nitrosococcus*, *Nitrospira*, *Nitrosocystis* e *Nitrosoglea*. *Nitrobacter* e *Nitrosocystis* oxidam nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ) para nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) sendo as *Nitrosomonas* e *Nitrobacter* as mais comuns no processo. Estas bactérias, que são obrigatoriamente autotróficas, podem sintetizar todas as suas enzimas usando o  $\text{CO}_2$  como única fonte de carbono (Barnes & Bliss, 1983). O pico da população de bactérias nitrificantes ocorre na camada junto ao substrato, raramente ocorrem na forma livre-flutuante.

As taxas de nitrificação são fortemente influenciadas pela temperatura e pH. Em temperaturas abaixo de  $5^\circ\text{C}$  e acima de  $40^\circ\text{C}$ , elas são baixas. Temperaturas ótimas estão entre  $30$  e  $35^\circ\text{C}$ . As taxas de nitrificação declinam com  $\text{pH} < 6,0$  e são quase inexistentes a  $\text{pH} < 5,0$ . Em solos alcalinos com alta concentração de sais, a produção de  $\text{NO}_3^-$  é retardada devido às bactérias nitrificantes serem intolerantes à salinidade (Hammer & Knight, 1994).

A desnitrificação microbiana é o maior mecanismo de perda de nitrogênio nas terras úmidas, com  $\text{N}_2$  como produto dominante. Bactérias desnitrificantes incluem *Pseudomonas*, *Achromobacter*, *Bacillus* e *Micrococcus*, sendo as duas primeiras dominantes no solo (Barnes & Bliss, 1983). Compostos de nitrogênio são utilizados quando a demanda de oxigênio excede a reserva disponível. Estas bactérias são facultativas, podem crescer aerobiamente sem nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) ou anoxicamente com o nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ).

Temperaturas ótimas para a desnitrificação estão entre  $25$  e  $65^\circ\text{C}$ . Temperaturas acima e abaixo desta faixa causam taxas declinantes. A desnitrificação é também reduzida se o suprimento de carbono for baixo, isto acontece somente quando as reservas de oxigênio são inadequadas para demanda microbiana (Hammer & Knight, 1994).

Taxas moderadas a altas de nitrificação em terras úmidas exigem moderadas condições de temperatura e pH, fixação microbiana no substrato, e adequadas reservas de oxigênio. A fixação microbiana no substrato e o oxigênio disponível são fatores limitantes comuns, e muito importantes nas terras úmidas. A disponibilidade do substrato fixo e a ausência de oxigênio influenciam fortemente as taxas de desnitrificação.

O nitrogênio é efetivamente reduzido em muitos sistemas de terras úmidas. Taxas médias de remoção de massa de nitrogênio total são encontradas em torno de 1,89 kgN/ha/dia para terras úmidas naturais de fluxo superficial; 3,46 kgN/ha/dia para terras úmidas construídas de fluxo superficial e 15,63 kgN/ha/dia para terras úmidas construídas de fluxo subsuperficial. A taxa de remoção de nitrogênio total em terras úmidas naturais é altamente variável devido à dependência da forma de nitrogênio no afluente, do nível d'água e da concentração de OD (Hammer & Knight, 1994).

Terras úmidas de fluxo superficial têm um alto potencial de zonas aeradas, especialmente próximas da superfície da água devido à difusão do O<sub>2</sub> atmosférico. Embora, não freqüentemente, podem ser limitadas no potencial de desnitrificação devido à falta de condições anaeróbias, especialmente em sistemas mais jovens com baixa carga interna de matéria orgânica ou durante o inverno, quando a solubilidade do oxigênio é maior pelas baixas temperaturas. Deste modo, altas concentrações de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> no efluente podem ser observadas em terras úmidas de fluxo superficial que são jovens ou durante os meses mais frios (Hammer & Knight, 1994).

Nas terras úmidas de fluxo subsuperficial a difusão do oxigênio atmosférico é reduzida e o transporte de oxigênio das plantas através de seus aerênquimas e raízes pode ser insuficiente para satisfazer a demanda de oxigênio, resultando em condições anaeróbias e severas limitações na nitrificação (Watson *et al.*, 1989). A demanda de oxigênio para nitrificação é equivalente a cerca de 4,2g/g de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> nitrificada (Metcalf & Eddy, 1991). Nesta situação, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> dissolvida geralmente aumenta devido à amonificação do nitrogênio orgânico.

Segundo Hunt *et al.*, (1999), as perdas de nitrogênio são mais altas nos sistemas de terras úmidas com menor profundidade. As profundidades menores podem promover uma interface mais efetiva de nitrificação e desnitrificação devido ao suprimento de nitrogênio vindo das raízes das plantas, da assimilação microbiana e da mineralização do sedimento orgânico.

Hunt *et al.* (1999) obtiveram remoções consistentes em terras úmidas de fluxo superficial de pelo menos 80% de nitrogênio total em sistemas com cargas variando de 0,3 a 2,5 gNH<sub>4</sub><sup>+</sup>/m<sup>2</sup>/dia (3 a 25Kg/ha/dia). Estes autores também encontraram que baixas taxas de carregamento, a acumulação nas



plantas e nos substratos constituem uma porção significativa ( $\pm 30\%$ ) da quantidade total aplicada, mas a altas taxas, as transformações microbiológicas são os fatores mais dominantes no tratamento.

Pelo exposto, as terras úmidas agem como importantes redutoras das concentrações de nitrogênio, produzindo um efluente menos eutrofizante que o líquido afluente ao sistema.

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi desenvolvida utilizando água superficial poluída na alimentação de terras úmidas construídas vegetadas com arroz (*Oryza sativa*) e *Typha* spp. Os materiais, os métodos e os recursos técnicos aplicados, bem como outras informações necessárias para caracterização do estudo, estão apresentadas a seguir.

### 4.1 – Local e período do estudo

O experimento foi desenvolvido numa área próxima ao córrego que atravessa na direção leste – oeste o campus da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) (Figura 4.1), na cidade de Campina Grande, PB (35°52'31"O e 7°13'11"S; 550m acima do nível do mar). O córrego recebe águas de drenagem urbana contaminadas com esgotos domésticos e é um dos tributários do açude de Bodocongó, que forma parte do sistema de macrodrenagem urbana da cidade de Campina Grande/PB.



Figura 4.1 – Vista aérea do campus da Universidade Federal de Campina Grande/PB.

● Curso do córrego do campus da UFCG.

#### 4.2 – Caracterização da área estudada

A área do experimento media aproximadamente 48m<sup>2</sup> (8m de comprimento por 6m de largura) e apresentava topografia plana.

O sistema foi construído utilizando-se 18 tanques cilíndricos, fabricados em cimento amianto, com capacidade aproximada de 250 litros cada um e com área interna de 0,413m<sup>2</sup>. Destes, 6 tanques foram cultivados com arroz (*Oryza sativa*), 6 cultivados com *Typha* spp e os outros 6 eram tanques controles sem vegetação. Os substratos utilizados na experiência foram brita e areia, para cada cultivo, 3 tanques possuíam substrato de areia e os outros 3 de brita, sendo da mesma forma os tanques controles (Tabela 4.1 e Figura 4.2).

Tabela 4.1 – Configuração do sistema de terras úmidas construídas (UFCEG – PB).

Substrato	Nº. de Tanques Controles	Cultura	
		Nº. de Tanques vegetados com Arroz ( <i>Oryza sativa</i> )	Nº. de Tanques vegetados com <i>Typha</i> spp
Areia	3	3	3
Brita Nº19	3	3	3
<b>Nº. total de tanques</b>		<b>18</b>	

Cada tanque foi preenchido até a altura de 40cm com os substratos escolhidos, a granulometria da brita foi de 19mm. As características físicas e operacionais do sistema estão apresentadas na Tabela 4.2.

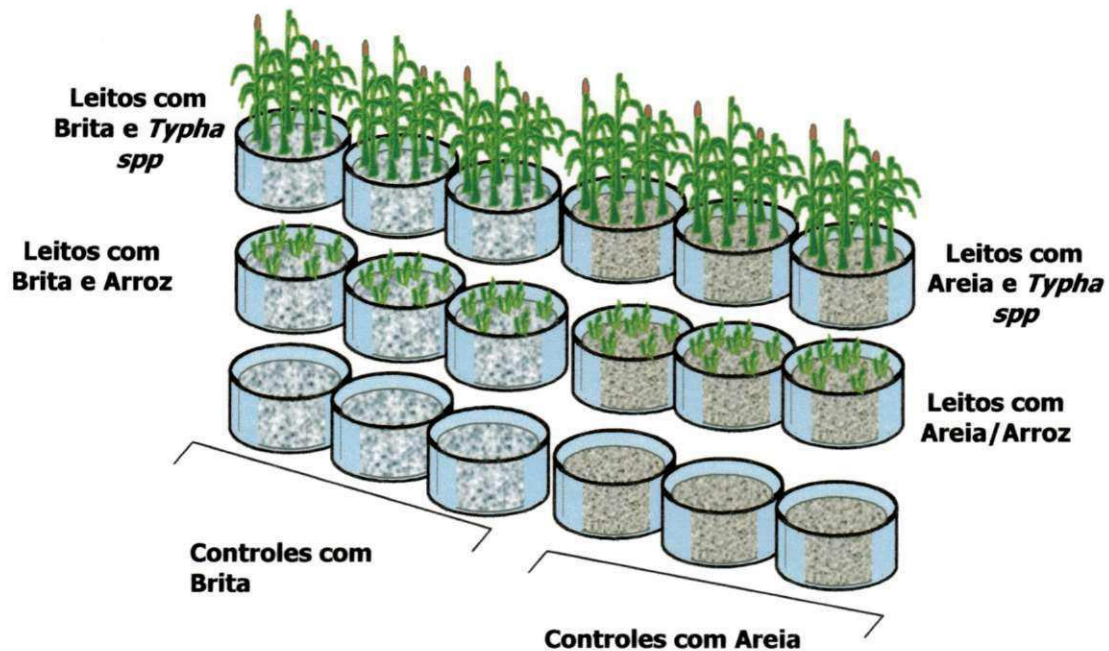


Figura 4.2 – Representação esquemática do sistema experimental.

O experimento foi montado para um tempo de detenção hidráulica (TDH) de 10 dias. Para atingir esse TDH, a alimentação foi de 8L/dia, obtida da equação 4.1:

$$Alimentação = \frac{volume(tan\ que) \times i_v}{TDH} \quad (4.1)$$

Onde:

$i_v$  = índice de vazios.

$V_t$  = Volume útil do tanque = área ( $0,413m^2$ ) x altura útil da camada do substrato ( $0,40m$ ).

Os tanques receberam denominações de acordo com o substrato utilizado e com a vegetação cultivada, como mostra a Tabela 4.3.

Tabela 4.2 – Características físicas e operacionais de cada tanque do sistema experimental.

Características físicas e operacionais do sistema	
Altura (m)	0,570
Diâmetro (m)	0,730
Área interna (m <sup>2</sup> )	0,413
Volume (m <sup>3</sup> )	0,250
T.D.H (dias)	10
Alimentação (L/dia)	8
Altura do nível d'água (m)	variável
Altura da camada do substrato (m)	0,400
Carga hidráulica (mm/dia)	19
Índice de vazios da areia	0,43
Índice de vazios da brita	0,47
Granulometria da brita	N <sup>o</sup> . 19

Tabela 4.3 – Nomenclatura utilizada para designar os tratamentos aplicados.

Tratamentos	Sigla
Tanques controles com brita	B1, B2 e B3
Tanques controles com areia	A1, A2 e A3
Tanques com brita e <i>Typha</i> spp	BT1, BT2 e BT3
Tanques com brita e arroz	BA1, BA2 e BA3
Tanques com areia e <i>Typha</i> spp	AT1, AT2 e AT3
Tanques com areia e arroz	AA1, AA2 e AA3

### 4.3 – Descrição do sistema de alimentação

O sistema foi conduzido em batelada. As terras úmidas recebiam alimentação subsuperficial, diariamente, no mesmo horário (17:00h) com água proveniente do córrego (ponto P2). O sistema de alimentação (Figura 4.3) foi constituído por um balde plástico, com capacidade para 20 litros, colocado acima de cada tanque num suporte de madeira com uma torneira na sua parte inferior. A plataforma de madeira possuía altura de 1,0m de forma que o dispositivo de saída do afluyente ao sistema situava-se a 40cm do nível do tanque correspondente. A torneira foi conectada a uma mangueira plástica flexível de 25mm de diâmetro, que desaguava em um tubo de PVC de 75mm de diâmetro e 15cm de altura o qual foi colocado dentro da camada do substrato, a uma profundidade de 20cm. O efluente deslocava-se lentamente, dos baldes para os tanques, através das mangueiras, a fim de se evitar a ruptura da estrutura substrato/rizoma/raízes e assegurar um tempo de contato suficiente entre o líquido e o biofilme, para o tratamento.

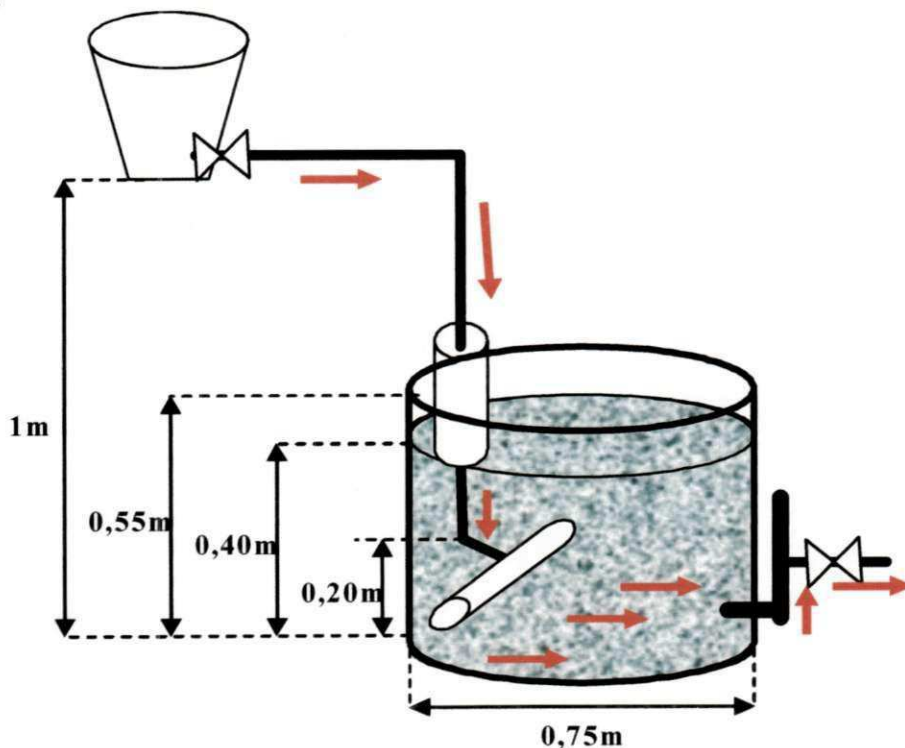


Figura 4.3 – Esquema da alimentação de cada tanque do sistema experimental.

O dispositivo de saída do efluente do sistema, constituído por uma tubulação de PVC de 25mm de diâmetro e 10cm de comprimento, foi localizado no lado oposto à entrada, a 5cm da base do tanque e constituído por uma tubulação de PVC de 25mm de diâmetro e 10cm de comprimento. Este estava conectado a um tubo vertical de 25mm de diâmetro e 45cm de altura que funcionava como extravasor. A 15cm de altura dessa tubulação foi instalada uma torneira, que servia para a coleta dos efluentes. As Figuras 4.4, 4.5 e 4.6 ilustram detalhes do sistema experimental.



Fig. 4.4: Sistema de alimentação do experimento.



Fig. 4.5: Detalhe da alimentação.

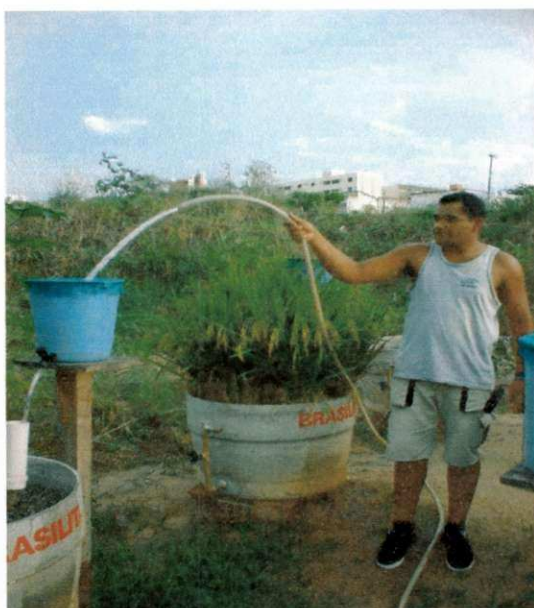


Fig. 4.6: Alimentação diária.

#### 4.4 – Procedimento para a coleta e a preservação das amostras

Os procedimentos de coleta e preservação das amostras seguiram as recomendações de APHA *et al.*, (1995). Para as análises físicas e químicas, as amostras foram coletadas, entre 7 e 8 horas, em garrafas plásticas limpas com capacidade de 2 litros (Figura 4.7). As temperaturas das amostras eram medidas no momento da coleta no campo, diretamente nas garrafas plásticas.



Fig. 4.7 – Coleta das amostras para análises físicas e químicas.

Para as análises microbiológicas, a coleta foi feita em frascos de vidro de boca larga, cor âmbar, esterilizadas por calor seco a 170<sup>0</sup>C por duas horas, com capacidade de 1 litro, com o gargalo protegido com papel laminado. Os frascos eram abertos no momento da coleta, sendo cheios até aproximadamente dois terços do seu volume, para facilitar a homogeneização posterior da amostra.

As amostras, devidamente identificadas, eram preservadas em caixas isotérmicas a menos de 10<sup>0</sup>C e transportadas para o Laboratório de Saneamento Ambiental da UFCG, onde eram analisadas imediatamente.



Logo após o período final de cada ciclo vegetativo, as plantas foram coletadas cuidadosamente em bandejas plásticas limpas e sanitizadas e colocadas em sacos plásticos estéreis. A biomassa foi encaminhada ao Laboratório de Química e Fertilidade do Solo do Departamento de Solos do Campus II (Areia) da UFPB, para a análise de nitrogênio total.

#### **4.5 – Caracterização das espécies vegetais utilizadas no experimento**

Neste trabalho optou-se pelo cultivo da *Typha* spp, por ser uma planta abundante na área onde foi realizado o estudo, e, pelo arroz por ser de fácil cultivo, pelo fato dos grãos estarem protegidos pela casca e de ser uma macrófita importante na alimentação humana.

O experimento foi programado para a obtenção de 2 ciclos do arroz (*Oryza sativa*), tendo cada ciclo 4 meses de duração e 1 ciclo de *Typha* spp, com duração de 9 meses.

##### **4.5.1 – *Typha* spp**

As culturas de *Typha* spp não foram plantadas especialmente para este trabalho, tendo sido utilizadas as mesmas de um experimento anterior, efetuando-se apenas o corte da área foliar de cada planta, permanecendo a raiz.

Após o corte, as plantas de cada tanque foram colocadas em sacos plásticos devidamente etiquetados e, imediatamente, pesados em balança da marca Arja com precisão variando de 50 a 100g, obtendo-se assim o peso fresco. De toda biomassa das macrófitas foram escolhidas quatro plantas aleatórias para determinação da matéria seca, devido ao fato da grande quantidade de biomassa produzida.

As quatro plantas foram acondicionadas em sacos de papel previamente perfurados e pré-pesados, e em seguida pesadas. Os sacos de papel com as quatro plantas foram conduzidos até o Laboratório do Departamento de Engenharia Química (UFCG) para secagem a 60°C numa estufa de ventilação

forçada durante 72 horas. Após a secagem, o material foi retirado da estufa e pesado, obtendo-se o peso seco das parcelas das plantas. As amostras assim processadas foram encaminhadas até o Laboratório de Química e Fertilidade do Solo do Departamento de Solos do Campus II (Areia) da UFPB para realização das análises das formas de nitrogênio total no tecido foliar.

#### **4.5.2 – Arroz (*Oryza sativa*)**

A primeira sementeira do arroz (*Oryza sativa*) ocorreu no dia 10 de setembro de 2002 e a segunda no dia 10 de fevereiro de 2003, em recipientes plásticos (copos descartáveis), com capacidade de 300ml, providos de 4 furos na base, contendo o substrato de sementeira constituído por material de solo e húmus, na proporção de 3:1 (3 partes de solo e 1 parte de húmus). Em cada recipiente foram semeadas 7 sementes do arroz com casca. Estas sementes passaram por uma seleção prévia, eliminando-se as defeituosas e as com indícios de fungos, ataques de insetos e danos mecânicos. O transplântio das mudas para o sistema experimental foi efetuado nos dias 08 de outubro de 2002 (primeiro ciclo) e 20 de fevereiro de 2003 (segundo ciclo). A colheita foi efetuada aos 40 dias do início da floração. A cultura esteve livre de ervas indesejáveis durante a pesquisa em virtude do constante monitoramento e dos tratos de capina manual.

Para avaliação da biomassa fresca da parte aérea, as plantas foram retiradas dos tanques, separadas das raízes e pesadas. As raízes foram devidamente separadas da areia e da brita (Figuras 4.8 e 4.9), por meio de cuidadosas e repetidas lavagens usando-se peneiras plásticas de malha fina. A biomassa aérea e radicular foram postas para secar em estufa de circulação forçada de ar quente, à temperatura de 60°C ( $\pm 1^\circ\text{C}$ ) para obtenção da biomassa seca.

Os grãos de arroz foram acondicionados em sacos plásticos e posteriormente secados ao sol. Em seguida, foram encaminhados ao Laboratório de Química e Fertilidade do Solo do Departamento de Solos do Campus II (Areia) da UFPB para a quantificação de nitrogênio total.



Figura 4.8 – Detalhe das raízes das plantas do arroz cultivado em substrato de brita.



Figura 4.9 – Detalhe das raízes das plantas de arroz cultivado em substrato de areia.

#### **4.6 – Parâmetros analisados**

Ao longo da fase experimental foram realizadas no afluente, nos efluentes do sistema, na biomassa foliar, nas raízes e nos grãos do arroz, determinações de numerosas variáveis, apresentadas na Tabela 4.4.

Tabela 4.4 – Parâmetros físicos, químicos e microbiológicos e métodos analíticos utilizados na caracterização do afluente e dos efluentes das terras úmidas.

PARÂMETROS	MÉTODOS ANALÍTICOS
Temperatura (°C)	Termômetro de mercúrio marca INCOTERM com escala de 0 a 60°C (APHA <i>et al.</i> , 1995).
pH	Potenciométrico com medidor de pH marca ANALYSER, modelo 300, calibrado com soluções tampão de pH 7 e 9 (APHA <i>et al.</i> , 1995).
Condutividade Elétrica (µmho/cm)	Resistência elétrica utilizando um condutivímetro da marca ANALYSER, modelo 600 série 1751/95 (APHA <i>et al.</i> , 1995).
Turbidez (NTU)	Turbidímetro modelo 2100A (APHA <i>et al.</i> , 1995).
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	Frascos padrões, com incubação a 20°C por 5 dias (APHA <i>et al.</i> , 1995).
DQO (mg/L)	Refluxação fechada do dicromato de potássio (APHA <i>et al.</i> , 1995).
Sólidos Totais e frações fixas e voláteis (mg/L)	Método gravimétrico (APHA <i>et al.</i> , 1995).
Sólidos Suspensos e frações fixas e voláteis (mg/L)	Método gravimétrico usando filtros de fibras de vidro tipo GFC Whatmann (APHA <i>et al.</i> , 1995).
Alcalinidade (mgCaCO <sub>3</sub> /L)	Método titulométrico com solução de ácido sulfúrico a 0,02N (APHA <i>et al.</i> , 1995).
Cloretos (mg Cl/L)	Método argentométrico com solução de AgNO <sub>3</sub> (APHA <i>et al.</i> , 1995).
Dureza total (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	Método da titulometria de complexação com solução de sal dissódico de EDTA 0,02N (APHA <i>et al.</i> , 1995).
Amônia (mg/L)	Método macro Kjeldahl (APHA <i>et al.</i> , 1995).
Nitrato (mg NO <sub>3</sub> /L)	Método de salicilato de sódio com leitura a 420nm em espectrofotômetro COLEMAN.
NTK (mg N/L)	Método macro Kjeldahl (APHA <i>et al.</i> , 1995).
Nitrito (mg NO <sub>2</sub> /L)	Método colorimétrico com leitura a 540nm em espectrofotômetro COLEMAN.
Coliformes Termotolerantes (UFC/100mL)	Técnica da membrana filtrante, meio de cultura m-FC e incubação a 44,5°C+ 0,5 durante 24h (APHA <i>et al.</i> , 1995).
Estreptococos Fecais (UFC/100mL)	Técnica da membrana filtrante, com meio de cultura KF-streptococcus Agar (OXOID) e incubação a 37°C durante 48h (APHA <i>et al.</i> , 1995).
Nitrogênio total nas macrófitas (raízes, parte aérea e grãos)	Método titulométrico com solução de ácido sulfúrico a 0,1N (TEDESCO, 1995).

#### **4.7 – Análises estatísticas**

Os dados obtidos, durante os nove meses de monitoramento, para todas as variáveis foram submetidos às seguintes análises estatísticas:

- Estatística descritiva, utilizando utilitário Excel 98, para obtenção dos valores médios, medianos, máximos e mínimos de cada conjunto de dados.
- Teste de Kolmogorov-Smirnov, para verificar o ajuste da distribuição normal dos dados obtidos no experimento.
- Análise de variância (ANOVA: fator único), para comparar os valores médios de cada conjunto de dados.
- Teste GT-2 para melhor visualizar as diferenças significativas entre as médias, segundo Sokal e Rohlf (1981).

## **5. Apresentação, Análise e Discussão dos Resultados**

---

Os dados obtidos durante o período de operação e de monitoramento do sistema de terras úmidas construídas, foram submetidos à análise estatística descritiva, utilizando medidas de tendência central e de dispersão. Foram obtidas médias aritméticas, desvios padrões e coeficiente de variação para todas as variáveis analisadas. Para a avaliação do ajuste dos dados amostrais das variáveis estudadas à distribuição normal foi aplicado o critério de Kolmogorov-Smirnov (Sokal & Rohlf, 1981).

Com o objetivo de verificar o comportamento entre os tratamentos, aplicou-se a análise de variância (ANOVA), fator único. Nesse sentido, foram utilizados os dados dos tratamentos para comparações simultâneas das médias dos valores das variáveis (temperatura, pH, condutividade elétrica, turbidez, alcalinidade total, dureza total, cloretos, DBO<sub>5</sub>, DQO, sólidos totais, sólidos suspensos totais, NTK, nitrogênio amoniacal, nitrato, nitrito, Coliformes termotolerantes e *Streptococcus fecalis*) durante o período de monitoramento dos sistemas de terras úmidas.

A aplicação da ANOVA resultou na verificação da existência ou não de diferenças significativas entre as médias das variáveis analisadas, admitindo-se um único fator.

O teste GT-2 foi aplicado às terras úmidas, para melhor visualizar as diferenças significativas, principalmente entre as terras úmidas vegetadas, segundo Sokal e Rohlf (1981), durante os nove meses de monitoramento.

Os resultados gerais de eficiência para os sistemas de terras úmidas construídas são apresentados em tabelas únicas, enquanto que algumas variáveis consideradas significativas são apresentadas mais detalhadamente.

Uma observação importante é que o sistema foi analisado na segunda fase de projeto, sendo que a sua fase de implantação, considerada por muitos autores como sendo a mais crítica já foi descrita por Meira (2004).

## **5.1 – Temperatura**

O maior valor de temperatura da água foi observado no afluente (P2) ao sistema, no mês de fevereiro de 2003 ( $26^{\circ}\text{C}$ ), bem como a temperatura média de P2 ( $24^{\circ}\text{C}$ ) foi superior às temperaturas dos efluentes de todos os tratamentos, ao longo do sistema experimental (Figura 5.1). O maior valor médio da temperatura da água no ponto P2 pode se relacionar com a exposição ao sol da água do córrego, usada como afluente ao sistema. Nas terras úmidas a temperatura foi inferior devido ao sombreamento proporcionado pela vegetação, pelo tempo de detenção hidráulico e por o sistema ser do tipo subsuperficial, não exposto ao sol, o qual fez com que os tanques controles também apresentassem menor temperatura.

As temperaturas de todas as amostras de água do sistema apresentaram uma certa uniformidade de comportamento entre si.

Os valores médios (Figura 5.2), mantendo-se no efluente entre 23 e  $23,4^{\circ}\text{C}$ , refletiram as condições que prevaleceram à noite, haja visto, que as coletas sempre foram realizadas entre 7 e 8 horas da manhã. Mesmo assim, favoreceram o desenvolvimento dos processos de biodegradação da matéria orgânica. Os valores médios não apresentaram diferenças significativas ao nível de 5% de significância, conforme análise de variância (ANOVA).

## **5.2 – pH**

Os valores de pH no afluente P2 e nos efluentes dos tanques dos diferentes tratamentos foram próximos à neutralidade, embora o valor médio do pH do afluente (7,59), mostrou-se inferior comparado às terras úmidas com brita (7,96, 7,73 e 7,68, controle, vegetadas com *Typha* spp e vegetadas com arroz, respectivamente).

Os valores individuais e os valores médios de pH no afluente e nos efluentes dos tratamentos estão dentro da faixa de 6,0 a 9,0, estabelecida pela

Resolução CONAMA 20/86, para as classes 1, 2 e 3, de águas destinadas a diversos usos, entre eles a irrigação.

Observando a Figura 5.3 verifica-se que o pH do afluente e dos efluentes nos tanques controles foi mais constante. Já nos tanques vegetados houve maiores flutuações com valores mínimos e máximos de 7,03 e 8,15. Os menores valores de pH ocorridos nos tanques vegetados foram, provavelmente, decorrentes da degradação da matéria orgânica na rizosfera com liberação de ácidos orgânicos fracos e CO<sub>2</sub>.

Leopoldo *et al.* (2000), estudando um sistema de terras úmidas construídas com substrato de solo e casca de arroz, e TDH de 10 horas, observaram no afluente valor de pH de 6,7, já no tanque cultivado com capim, arroz e com junco (*Juncus sellovianus*) os valores foram de 6,9 e 6,8, respectivamente, e no tanque controle 6,9, evidenciando que os valores de pH efluentes aumentaram com os tratamentos nos tanques cultivados.

Guimarães *et al.* (1999) tratando águas residuárias de um pequeno povoado rural em Botucatu (SP) e usando um sistema de terras úmidas construídas vegetadas com a macrófita *Juncus sellovianus*, constataram que o pH permanecia praticamente constante ao longo do processo.

De acordo com a Tabela 5.1 verifica-se que diferenças significativas ocorreram ( $F > F_{cr}$ ) entre os valores de pH das terras úmidas. A Figura 5.4 mostra que a maior diferença significativa, entre as terras úmidas vegetadas, ocorreu entre os leitos com brita e *Typha spp* e os leitos com areia e arroz.

Tabela 5.1 – Resumo da análise de variância ANOVA (fator único) para o pH analisado nas terras úmidas construídas, no período de out/02 a jun/03.

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	0,7038	3	0,2346	5,954315	0,002404	2,901118
Dentro dos grupos	1,2608	32	0,0394			
Total	1,9646	35				



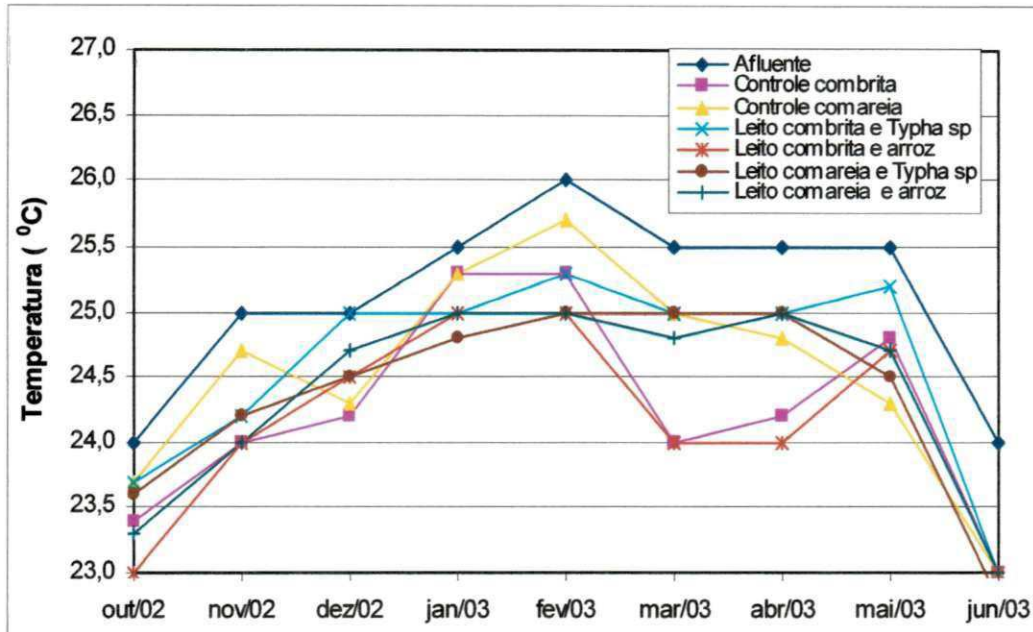


Figura 5.1 – Variação temporal dos valores médios da temperatura da água afluente ao sistema experimental (P2) e das terras úmidas construídas com 10 dias de TDH, no período de out/02 a jun/03.

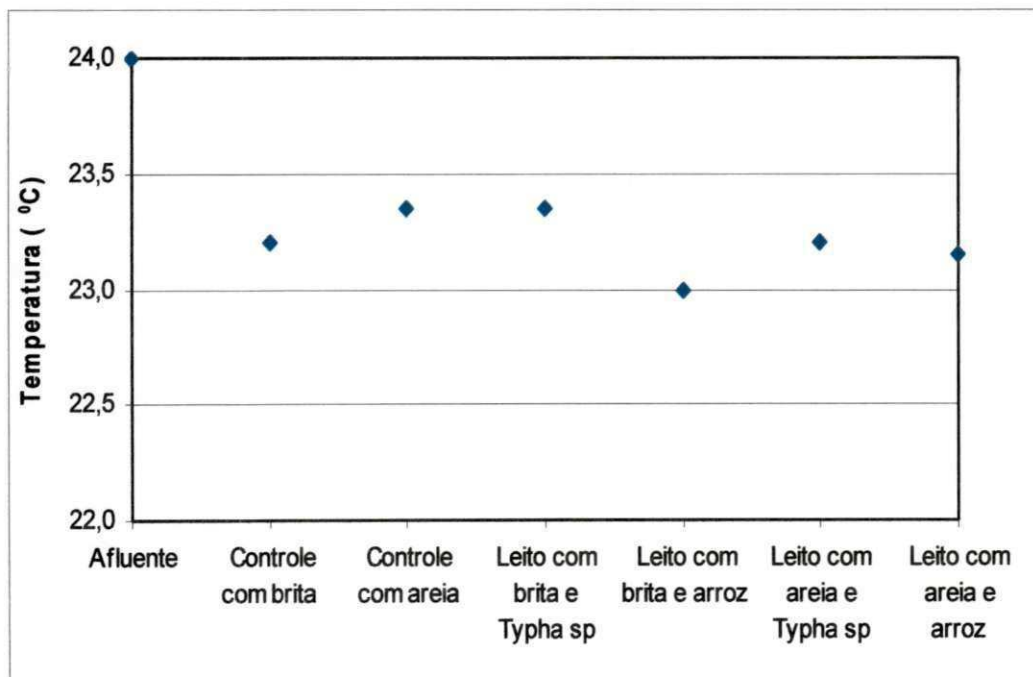


Figura 5.2 – Valores médios da temperatura da água afluente ao sistema experimental (P2) e das terras úmidas construídas com 10 dias de TDH, no período de out/02 a jun/03.

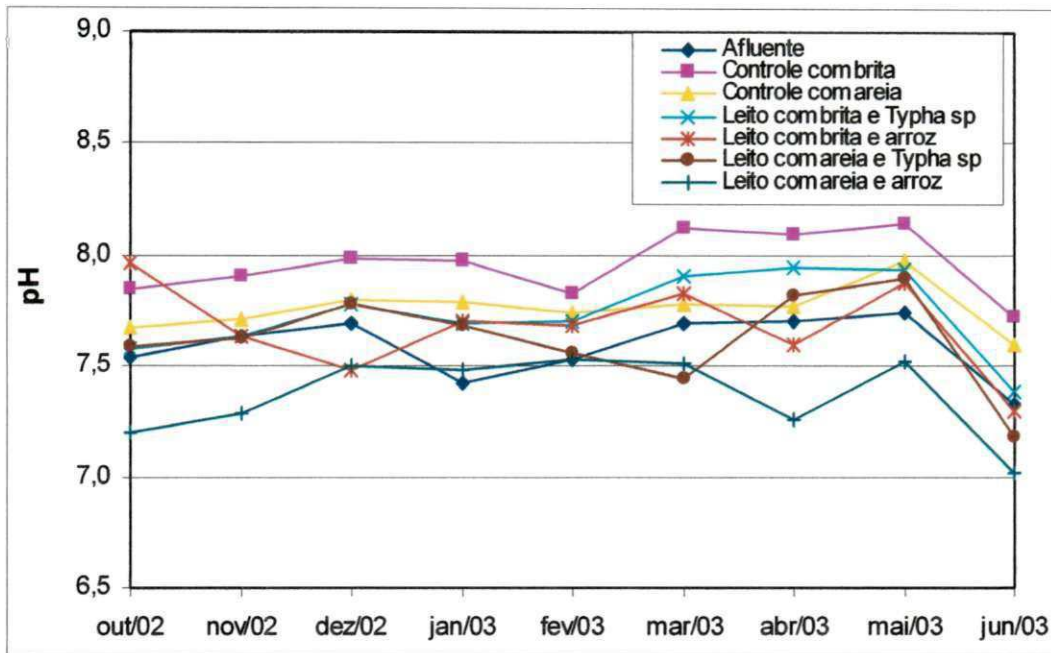


Figura 5.3 – Variação temporal dos valores médios de pH da água afluente ao sistema experimental (P2) e das terras úmidas construídas com 10 dias de TDH no período de out/02 a jun/03.

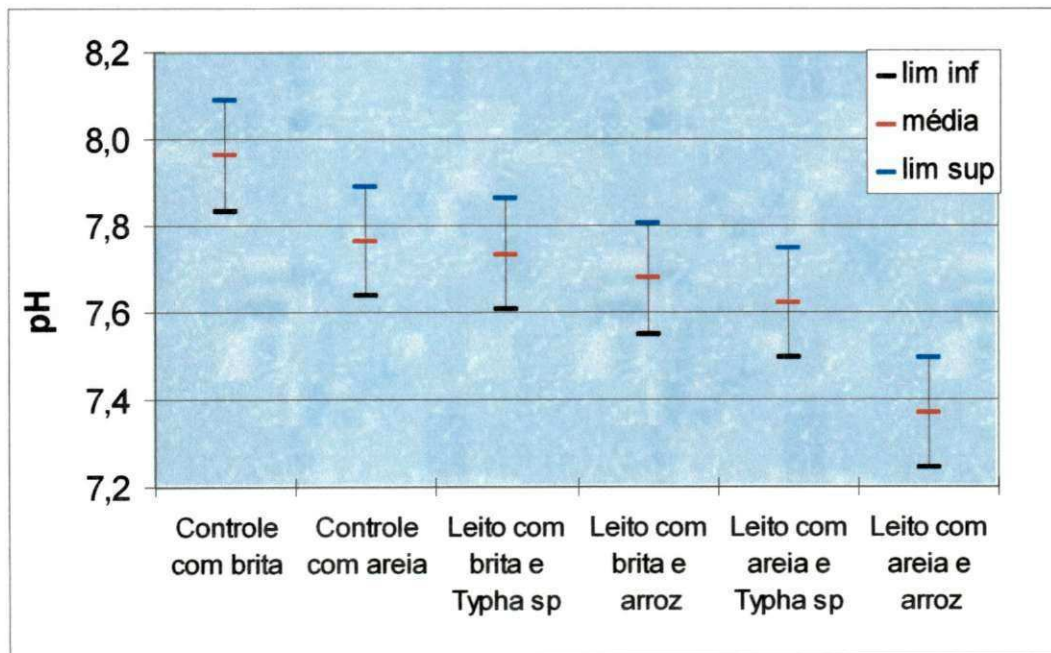


Figura 5.4 – Análise gráfica (método GT-2) do pH das terras úmidas construídas, com 10 dias de TDH, no período de out/02 a jun/03.

### 5.3 – Condutividade elétrica

Os menores valores médios de condutividade elétrica corresponderam aos efluentes dos tanques controles com brita (1.453 $\mu$ mho/cm). Estes tanques foram também os que apresentaram valores mais constantes de condutividade elétrica ao longo do período experimental. Os maiores valores médios corresponderam aos tanques com brita e vegetados com *Typha* spp (4.417 $\mu$ mho/cm) (Figura 5.5).

O aumento da condutividade elétrica nos tanques vegetados pode ser atribuído a diversos fatores, dentre os quais pode-se destacar o processo da evapotranspiração da planta, que transfere apenas água (pura) para a atmosfera e a absorção, pelo sistema radicular, da água necessária para o desenvolvimento da planta.

Analisando-se os resultados da condutividade elétrica dos efluentes dos tratamentos vegetados, constata-se que os mesmos apresentariam moderada restrição para uso na irrigação (Ayers e Westcot, 1991). Ou seja, em condições normais de campo da maior parte das áreas de regiões áridas e semi-áridas, irrigação com águas cuja condutividade elétrica varia entre 700 e 3.000 $\mu$ mho/cm, pode afetar o solo e a produção das culturas. Isto ocorre devido à acumulação no solo e na zona radicular, dos sais transportados pela água de irrigação, à medida em que, a mesma se evapora ou é consumida pelas culturas. Estas, dependendo da sensibilidade aos sais, sofrerão maiores ou menores danos na germinação, crescimento ou rendimento (Ayers e Westcot, 1991).

A condutividade elétrica do efluente das terras úmidas construídas e vegetadas apresentou diferença significativa,  $F > F_{cr}$  (Figura 5.6) quando aplicada análise de variância ANOVA (fator único) (Tabela 5.2).

Tabela 5.2 – Resumo da análise de variância ANOVA (fator único) para a condutividade elétrica analisada nas terras úmidas construídas, no período de out/02 a jun/03.

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	27590676	3	9196892	11,07402	3,82E-05	2,901118
Dentro dos grupos	26575756	32	830492,4			
Total	54166432	35				

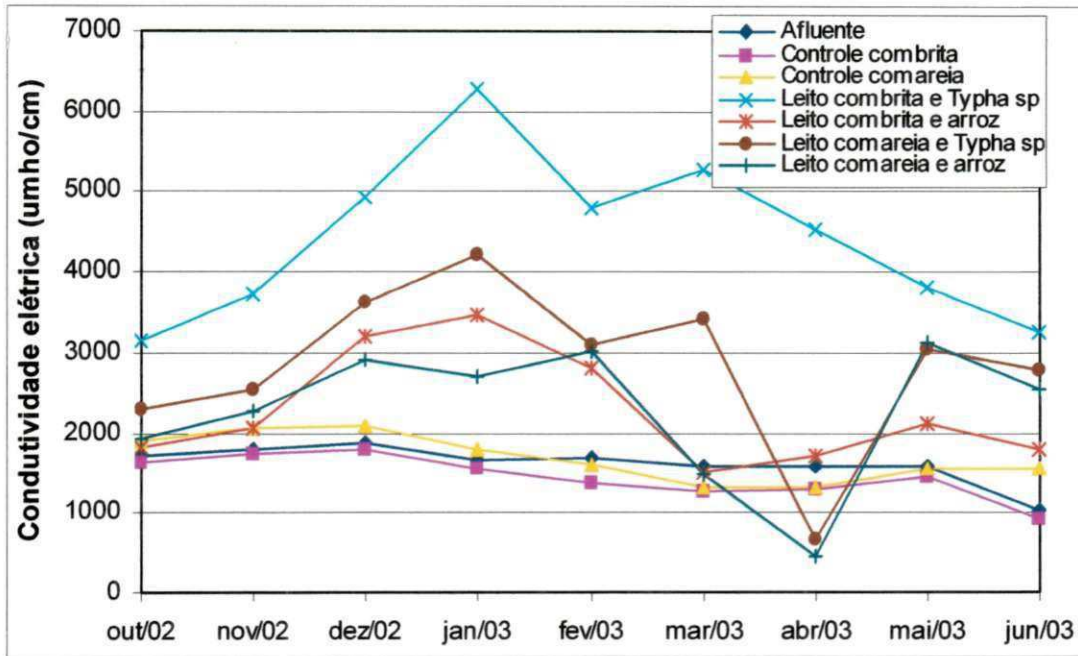


Figura 5.5 – Variação temporal dos valores médios de condutividade elétrica da água afluente ao sistema experimental (P2) e das terras úmidas construídas com 10 dias de TDH no período de out/02 a jun/03.

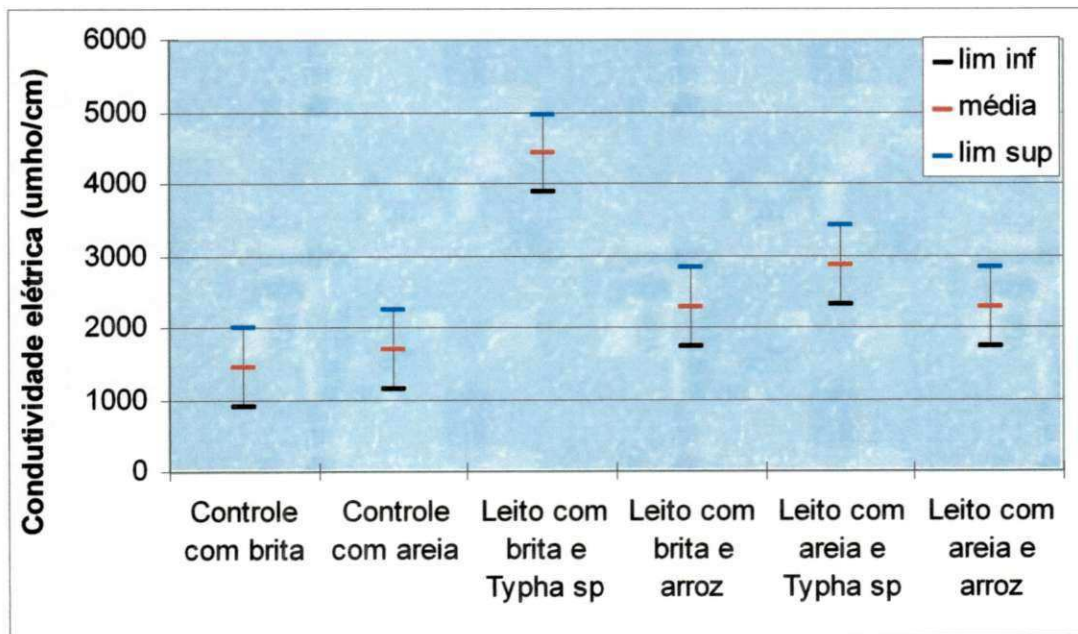


Figura 5.6 – Análise gráfica (método GT-2) da condutividade elétrica das terras úmidas construídas, com 10 dias de TDH, no período de out/02 a jun/03.

#### **5.4 – Turbidez**

Por se tratar de um córrego natural que recebe águas contaminadas com esgotos domésticos, o afluente P2 apresentou os maiores valores de turbidez em todas as determinações, com valor máximo de 54UNT, em outubro de 2002, mínimo de 12UNT, em janeiro de 2003, e com valor médio ao longo do experimento de 32,3UNT (Figuras 5.7 e 5.8). Águas poluídas, normalmente, apresentam altos teores de sólidos em suspensão e, conseqüentemente, alta turbidez (Branco, 1986), a qual foi removida nas terras úmidas na zona rizosfera/substrato/biofilme. Dessa forma, a turbidez dos efluentes foi menor.

Os valores médios de turbidez nos efluentes das terras úmidas flutuaram em torno de 0,2 e 28,3 UNT. Nos tanques controles foi verificada maior eficiência de remoção (97 e 86%, controles com brita e areia, respectivamente), comparados aos tanques vegetados. No entanto, a turbidez dos efluentes das terras úmidas construídas não apresentou diferença significativa entre os efluentes quando aplicada análise de variância ANOVA (fator único).

Roston (1993) obteve reduções da ordem de 85% de turbidez em terras úmidas construídas e vegetadas com *Typha* spp. Guimarães *et al.* (2000) conseguiram remoções de aproximadamente 80%, tratando água residuária doméstica, usando um sistema de terras úmidas, onde o leito foi constituído por duas camadas, uma de 10cm de casca de arroz e outra de 40cm com mistura de casca de arroz e solo.

O TDH é fator importante na eficiência de remoção nos sistemas de terras úmidas, porque possibilita melhor sedimentação da matéria orgânica afluente, favorecendo o chamado “efeito de filtro”, promovido pelas raízes das macrófitas, pelo biofilme e pelo substrato, pois as plantas aquáticas enraizadas contribuem na retenção dos sólidos em suspensão através do sistema radicular/biofilme/substrato (Vymazal, 1998).

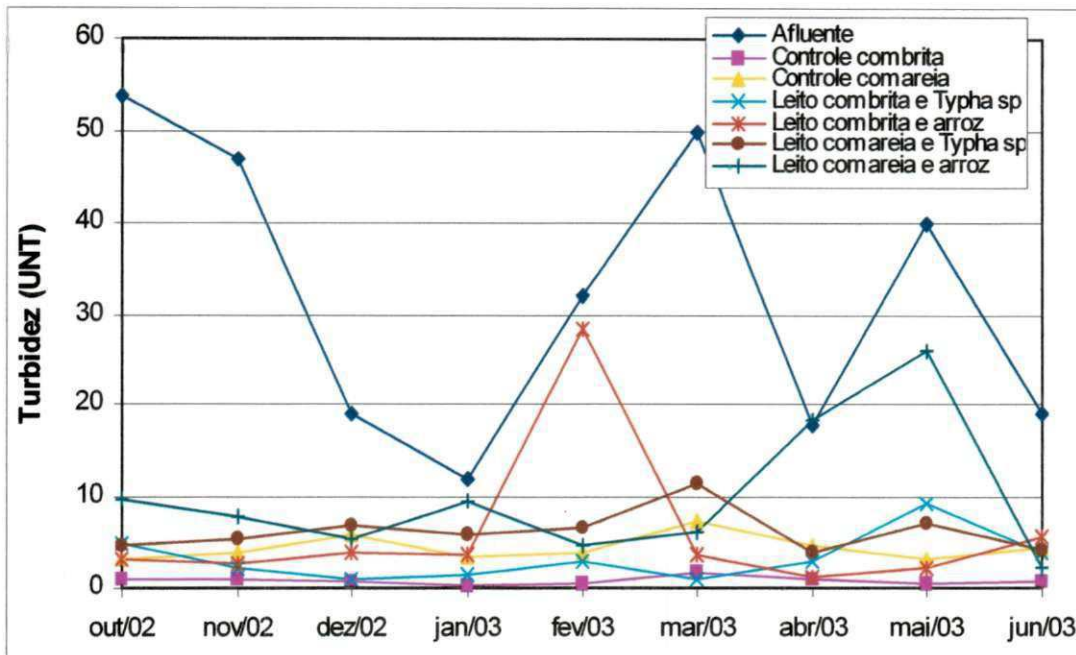


Figura 5.7 – Variação temporal dos valores médios de turbidez da água afluente ao sistema experimental (P2) e das terras úmidas construídas com 10 dias de TDH no período de out/02 a jun/03.

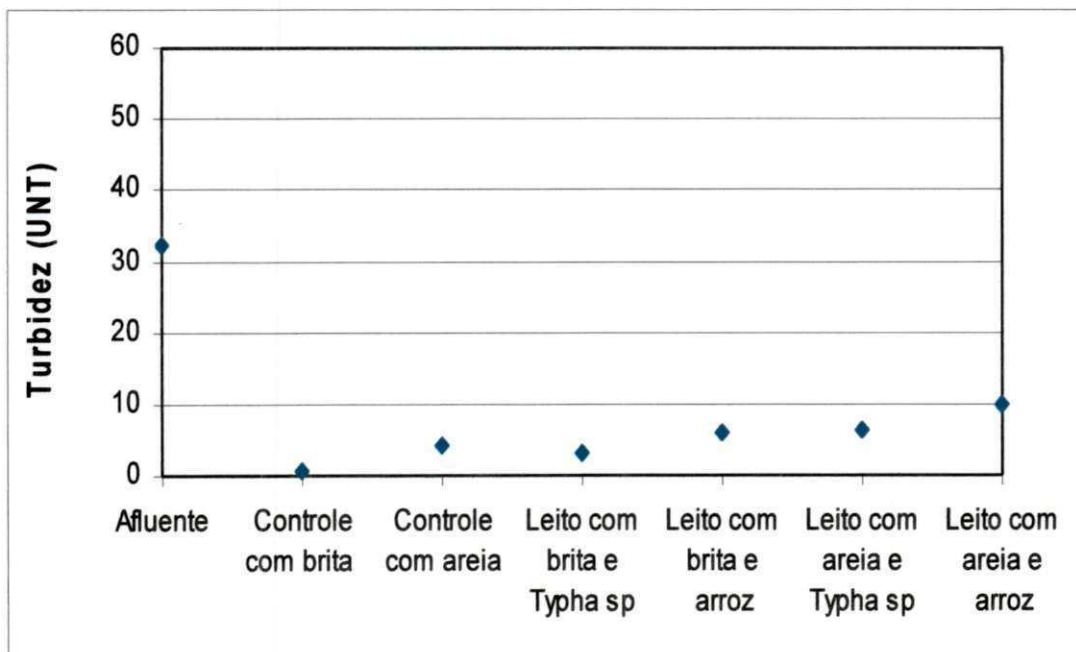


Figura 5.8 – Valores médios de turbidez da água afluente ao sistema experimental (P2) e das terras úmidas construídas com 10 dias de TDH no período de out/02 a jun/03.

### 5.5 – Alcalinidade total

Os esgotos de Campina Grande (PB), segundo Silva (1982), apresentam uma alcalinidade total média de 332mgCaCO<sub>3</sub>/L. No presente estudo, a alcalinidade total apresentou concentrações elevadas no afluente e nos efluentes dos diferentes tratamentos, com o máximo valor no efluente do tanque com brita e vegetado com *Typha* spp, no mês de janeiro de 2003 (1.362mgCaCO<sub>3</sub>/L) e mínimo no efluente do controle com brita, no mês de junho de 2003 (217 mgCaCO<sub>3</sub>/L).

A alcalinidade média diminuiu nos tanques controles e aumentou nos tanques vegetados (Figura 5.9). Nas terras úmidas com brita e *Typha* spp houve aumento da alcalinidade afluente em 119% e nos controles com brita houve redução de 22%. A presença da *Typha* spp parece estar diretamente relacionada com o aumento de alcalinidade.

Os ambientes aquáticos com alta alcalinidade apresentam pouca variação de pH (7,0 e 8,0), mesmo ocorrendo altas taxas fotossintéticas. Nesses ecossistemas, o consumo de CO<sub>2</sub> é imediatamente compensado pela dissociação do bicarbonato de cálcio (Esteves, 1998).

A Tabela 5.3 apresenta o resumo da análise de variância de fator único para alcalinidade total. Como o valor de F foi maior que o valor de F-crítico, pode-se concluir que há diferença significativa entre os tratamentos. A Figura 5.10 apresenta uma análise gráfica comparativa (método GT-2) aplicada a esta variável nas terras úmidas.

Tabela 5.3 – Resumo da análise de variância ANOVA (fator único) para a alcalinidade total analisada nas terras úmidas construídas no período de out/02 a jun/03.

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	774479,4	3	258159,8	8,212142	0,000341	2,901118
Dentro dos grupos	1005963	32	31436,35			
Total	1780443	35				

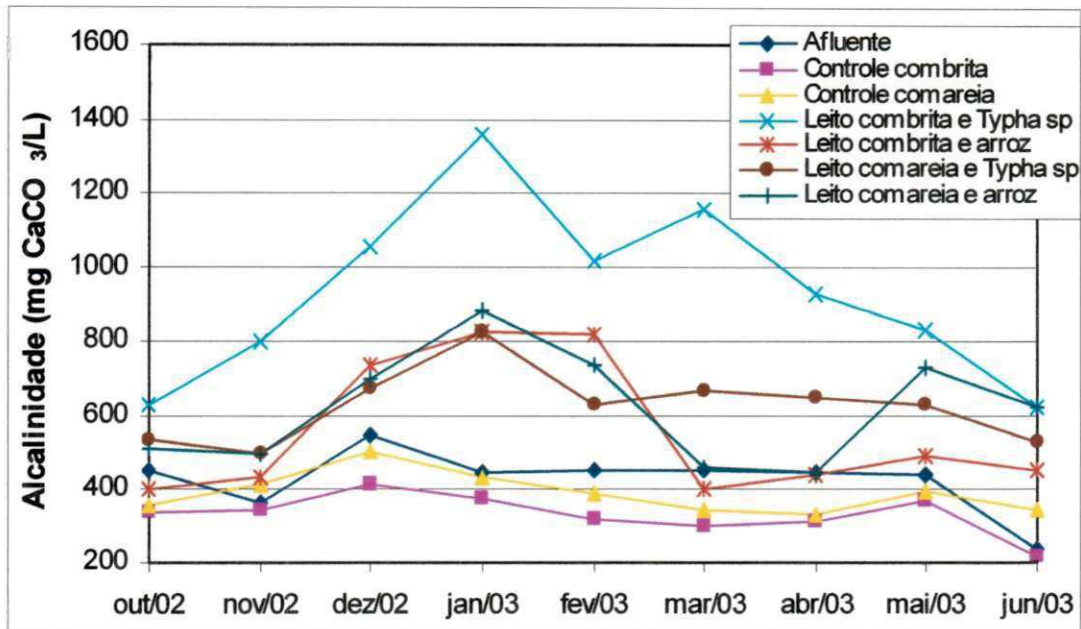


Figura 5.9 – Variação temporal dos valores médios de alcalinidade total da água afluente ao sistema experimental (P2) e das terras úmidas construídas com 10 dias de TDH, no período de out/02 a jun/03.

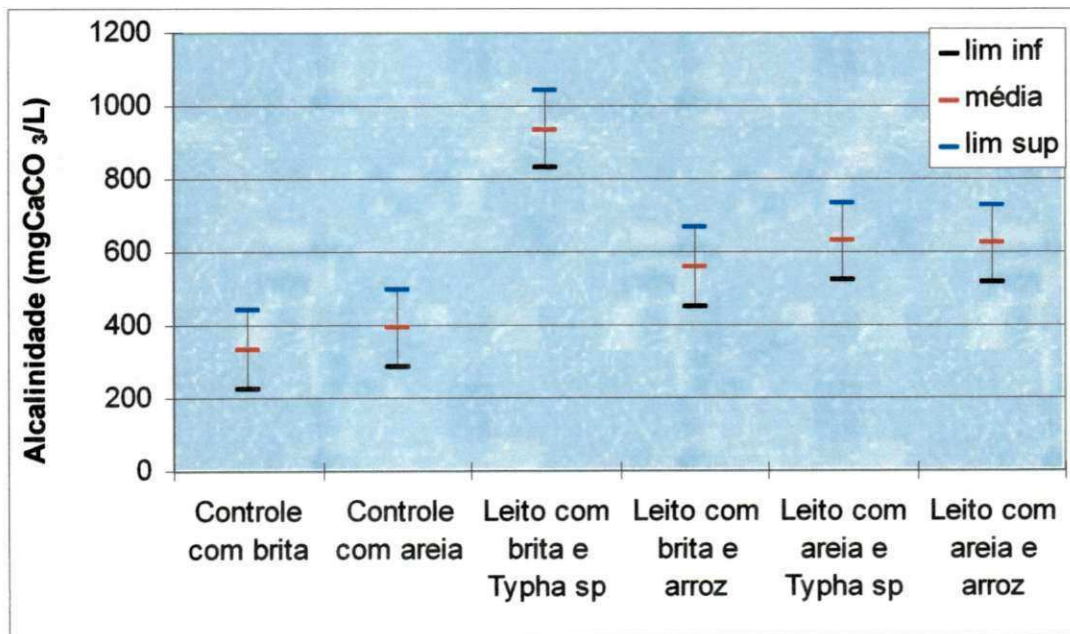


Figura 5.10 – Análise gráfica (método GT-2) da alcalinidade total das terras úmidas construídas, com 10 dias de TDH, no período de out/02 a jun/03.



## 5.6 – Dureza total

O valor médio de dureza no afluente, foi de 303mgCaCO<sub>3</sub>/l e nos efluentes finais foi de 283mgCaCO<sub>3</sub>/l – controle com brita, 328mgCaCO<sub>3</sub>/l – controle com areia, 695mgCaCO<sub>3</sub>/l – leito com brita e *Typha* spp, 475mgCaCO<sub>3</sub>/l – leito com brita e arroz, 521mgCaCO<sub>3</sub>/l – leito com areia e *Typha* spp e 535mgCaCO<sub>3</sub>/l – leito com areia e arroz.

A dureza total depende das concentrações de sais bivalentes, principalmente cálcio e magnésio. No Nordeste brasileiro, onde os terrenos são ricos em calcário, as águas superficiais têm altas concentrações de cálcio e magnésio, ocasionando a dureza da água. Sawyer *et al.* (1994), classificam as águas com valores, acima de 300mgCaCO<sub>3</sub>/L, como muito duras. Portanto, na Figura 5.11 observa-se que, ao longo do período experimental, todos os efluentes das terras úmidas vegetadas, apresentaram-se com elevada dureza.

Pelos valores da alcalinidade e da dureza, determinados nos diversos efluentes ao longo do tempo de monitoramento do sistema de terras úmidas construídas, pode-se considerar que o aumento das concentrações dessas variáveis nos tanques vegetados ocorreu, principalmente, devido ao processo de evapotranspiração da água para o desenvolvimento e manutenção das macrófitas.

A Tabela 5.4 apresenta o resumo da análise de variância de fator único para a dureza total. Como o valor de F foi maior que o valor de F-crítico, houve variância significativa entre os tratamentos. A Figura 5.12 apresenta a análise gráfica comparativa (método GT-2) aplicada a esta variável nas terras úmidas.

Tabela 5.4 – Resumo da análise de variância ANOVA (fator único) para a dureza total analisada nas terras úmidas construídas no período de out/02 a jun/03.

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	247498,8	3	82499,58	5,005161	0,005865	2,901118
Dentro dos grupos	527452,9	32	16482,9			
Total	774951,6	35				

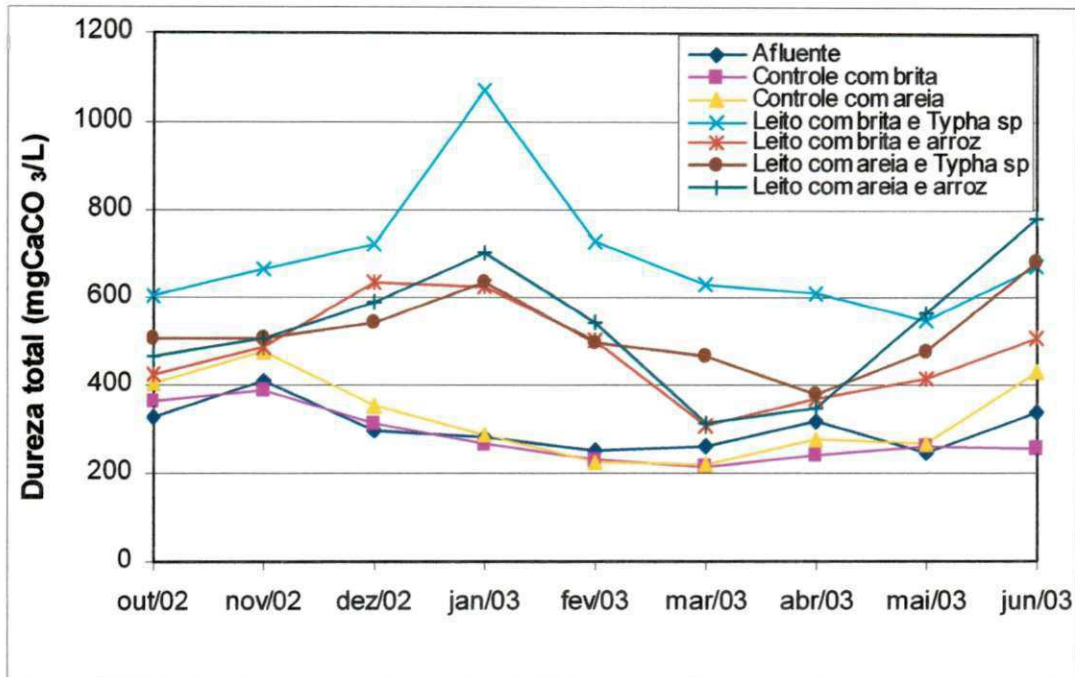


Figura 5.11 – Variação temporal dos valores médios de dureza total da água afluente ao sistema experimental (P2) e das terras úmidas construídas com 10 dias de TDH no período de out/02 a jun/03.

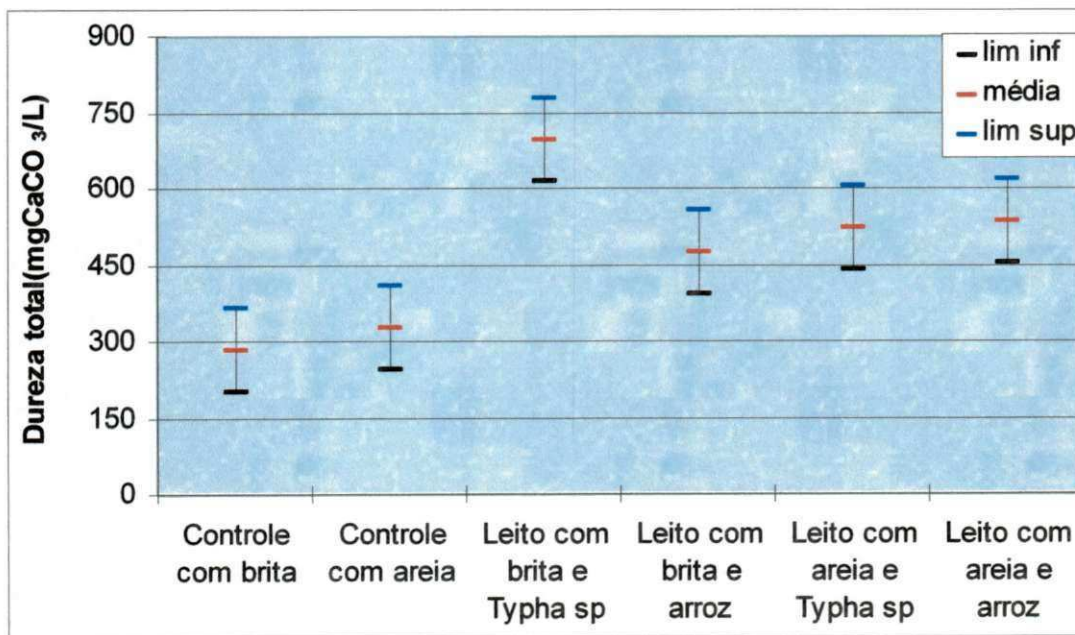


Figura 5.12 – Análise gráfica (método GT-2) da dureza total das terras úmidas construídas, com 10 dias de TDH, no período de out/02 a jun/03.

## 5.7 – Cloretos

O valor médio de cloretos no afluente ao sistema experimental foi de 159mgCl/l.

As concentrações de cloretos nos efluentes das terras úmidas variaram amplamente entre um mínimo de 64mgCl/l e um máximo de 1.452mgCl/l. Pode-se observar, na Figura 5.13, que o valor médio desta variável em todas as terras úmidas foi superior ao valor médio do afluente, com exceção do controle com brita, no período de janeiro a abril de 2003, ou seja, que a passagem da água poluída pelas terras úmidas construídas eleva os valores de cloretos, provavelmente devido a evapotranspiração e à absorção pelas macrófitas.

A Tabela 5.5 apresenta o resumo da análise de variância de fator único para cloretos. Como o valor de F foi maior que o valor de F-crítico, pode-se concluir que há variância significativa entre os tratamentos. A Figura 5.14 apresenta análise gráfica comparativa (método GT-2) aplicada a esta variável nas terras úmidas.

Tabela 5.5 – Resumo da análise de variância ANOVA (fator único) para cloretos analisada nas terras úmidas construídas, no período de out/02 a jun/03.

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	1710521	3	570173,6	11,95823	2,05E-05	2,901118
Dentro dos grupos	1525774	32	47680,44			
Total	3236295	35				

## 5.8 – Demanda Química de Oxigênio (DQO)

A Figura 5.15 mostra que os valores mensais das remoções da DQO foram muito oscilantes, tendo ocorrido inclusive aumentos em várias amostragens.

Em todas as terras úmidas vegetadas houve acréscimo da variável DQO. Apenas os tanques controles foram capazes de remover DQO (12,4%, controle

com brita e 27,1%, controle com areia). A DQO não apresentou diferença significativa de remoção em relação às terras úmidas vegetadas.

No mês de fevereiro de 2003 houve uma forte elevação dos valores da DQO afluente ao sistema (371mg/l), o que ocasionou sua elevação em todos os efluentes das terras úmidas.

Na Figura 5.16 é importante notar que, o tanque controle com areia apresentou o melhor desempenho em termos de remoção de DQO, explicado em função dos espaços entre os grãos de areia que facilitaram a sedimentação dos materiais que influenciam nesta variável.

### **5.9 – Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO<sub>5</sub>)**

A matéria orgânica, presente na água do córrego afluente ao sistema, apresentou valores diferentes ao longo do experimento, variando entre 10mg/l e 17mg/l. As saídas, por sua vez, mantiveram-se, quase sempre, abaixo de 3mg/l. Mesmo com a variação das concentrações de entrada, os sistemas vegetados mostraram-se constantes na assimilação de picos de carga de matéria orgânica.

Esta variável apresentou diferença significativa (Tabela 5.6), sendo que os sistemas plantados com *Typha* spp mostraram-se mais eficientes que os sistemas controles e que os vegetados com arroz, conforme mostra a Figura 5.17.

Segundo van Haandel & Lettinga (1994), a razão DQO/DBO<sub>5</sub> em esgoto doméstico bruto, situa-se na faixa de 1,7 a 2,2. Esta razão tende a aumentar à medida que a matéria orgânica é estabilizada e a fração biodegradável vai sendo oxidada, de forma que a fração recalcitrante (de biodegradação lenta ou mesmo não biodegradável) torna-se predominante. No caso desse sistema de terras úmidas, a água que está sendo tratada é a de um córrego poluído com esgotos domésticos, na qual essa relação é superior (média de 12 no período experimental). No entanto, essa razão nos tanques vegetados muda sensivelmente para 131 nos leitos com *Typha* spp e 53 nos leitos com arroz, sugerindo que as terras úmidas, principalmente as vegetadas com *Typha* spp, têm papel importante na estabilização da matéria orgânica.

Gopal (1999), utilizando *Typha latifolia* em terras úmidas de fluxo subsuperficial, com o tempo de detenção hidráulica de 15 e 25 dias, obteve remoção de 82% da DBO<sub>5</sub>. Philippi (2000), após o tratamento em terras úmidas (subsuperficial de fluxo horizontal) com a gramínea capim roxo (*Echinochloa polystachya*), obtiveram um efluente final com concentração de 33 mg/l, atingindo 87% de remoção tendo como valor médio da DBO<sub>5</sub> afluente 264 mg/l.

A Figura 5.18 mostra que a diferença significativa dos valores de DBO<sub>5</sub> efluente das terras úmidas vegetadas ocorreu entre os leitos vegetados com arroz e os vegetados com *Typha* spp.

Tabela 5.6 – Resumo da análise de variância ANOVA (fator único) para a DBO<sub>5</sub> analisada nas terras úmidas construídas, no período de out/02 a jun/03.

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	14,55556	3	4,851852	6,128655	0,00205	2,901118
Dentro dos grupos	25,33333	32	0,791667			
Total	39,88889	35				

### 5.10 – Sólidos Totais

No afluente, os sólidos totais apresentaram valores mínimos e máximos de 620mg/l e 981mg/l, respectivamente, sendo que a média do efluente esteve abaixo de 930mg/l nos controles, de 2.775mg/l, nos leitos vegetados e com brita e, de 1.870mg/l, nos leitos vegetados e com areia (Figura 5.19). Percebe-se que em todos os períodos existiu grande variação dos resultados, mas quase sempre ocorreu remoção dos sólidos suspensos e aumento da concentração de sólidos totais.

A maior fração dos sólidos totais foi constituída por sólidos totais fixos em todos os pontos, representando um maior percentual de sólidos inorgânicos.

De acordo com a Figura 5.20 pode-se observar que, dentre os leitos vegetados, houve diferença significativa ao nível de 95% das concentrações de sólidos totais para os leitos com brita e *Typha* spp e brita e arroz.

Guimarães *et al.* (2000), usando *Juncus sellovianus* no tratamento de águas residuárias domésticas de um pequeno assentamento rural, com TDH de 30h, conseguiram reduções superiores a 80% para sólidos totais fixos, e 90% para sólidos suspensos totais. Resultados estes também citados por Comeau *et al.* (2000), tratando efluentes de fazenda de peixes em sistemas de terras úmidas de fluxo horizontal, com *Phragmites australis*.

Tabela 5.7 – Resumo da análise de variância ANOVA (fator único) para sólidos totais nas terras úmidas construídas no período de out/02 a jun/03.

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	11589841	3	3863280	11,93008	2,09E-05	2,901118
Dentro dos grupos	10362459	32	323826,8			
Total	21952300	35				

### 5.11 – Sólidos Suspensos Totais

Para os sólidos suspensos, os valores de entrada estiveram na faixa de 3 a 28mg/l com valores de saída abaixo de 7mg/l nos tanques controles, de 20mg/l nos leitos vegetados e com brita e de 23mg/l nos leitos vegetados e com areia. Os sólidos voláteis foram a maior fração dos sólidos suspensos totais (sólidos de origem predominantemente orgânica).

Na Figura 5.21 pode-se observar que os tanques controles (principalmente com o substrato areia) foram mais eficientes na retenção de sólidos suspensos totais. De acordo com a Figura 5.22 a diferença significativa, entre os tanques vegetados, ocorreu entre os leitos com brita e arroz e os leitos com areia e *Typha* spp.

Tabela 5.8 – Resumo da análise de variância ANOVA (fator único) para sólidos suspensos analisados nas terras úmidas construídas no período de out/02 a jun/03.

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	582,0833	3	194,0278	6,158254	0,001996	2,901118
Dentro dos grupos	1008,222	32	31,50694			
Total	1590,306	35				

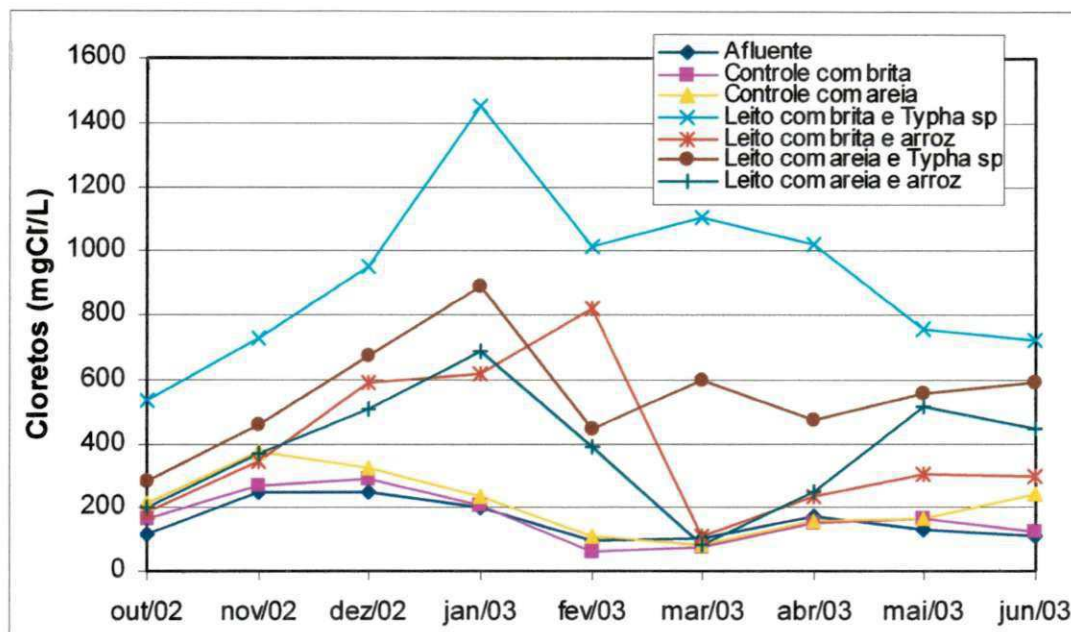


Figura 5.13 – Variação temporal dos valores médios de cloretos da água afluente ao sistema experimental (P2) e das terras úmidas construídas com 10 dias de TDH, no período de out/02 a jun/03.

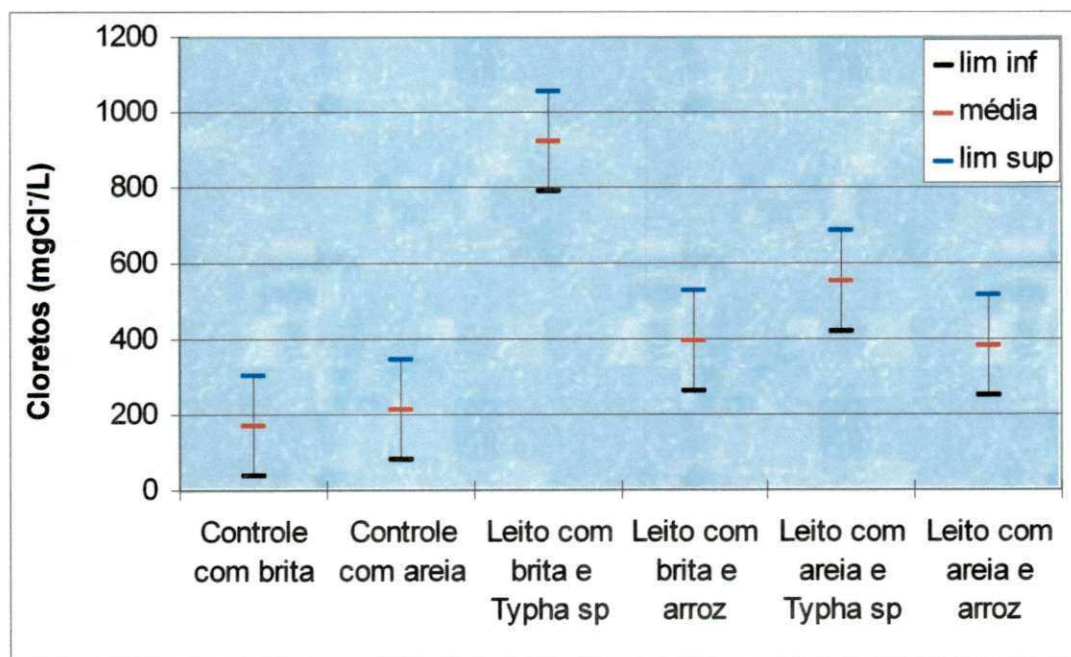


Figura 5.14 – Análise gráfica (método GT-2) dos cloretos das terras úmidas construídas, com 10 dias de TDH, no período de out/02 a jun/03.

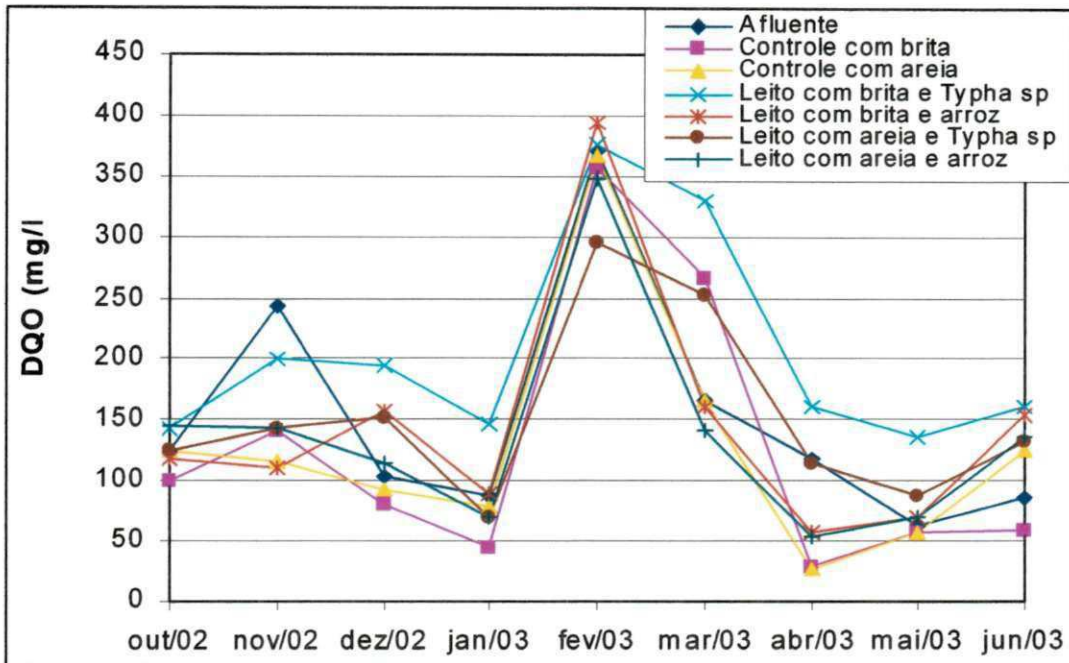


Figura 5.15 – Variação temporal dos valores médios da DQO da água afluente ao sistema experimental (P2) e das terras úmidas construídas com 10 dias de TDH no período de out/02 a jun/03.

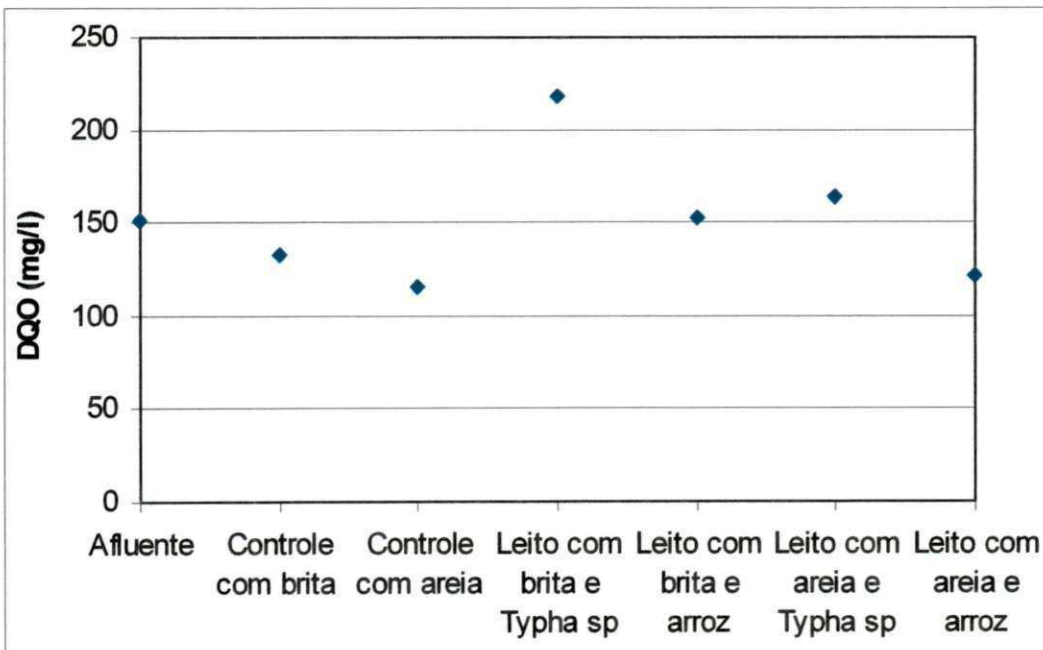


Figura 5.16 – Valores médios da DQO da água afluente ao sistema experimental (P2) e das terras úmidas construídas com 10 dias de TDH no período de out/02 a jun/03.



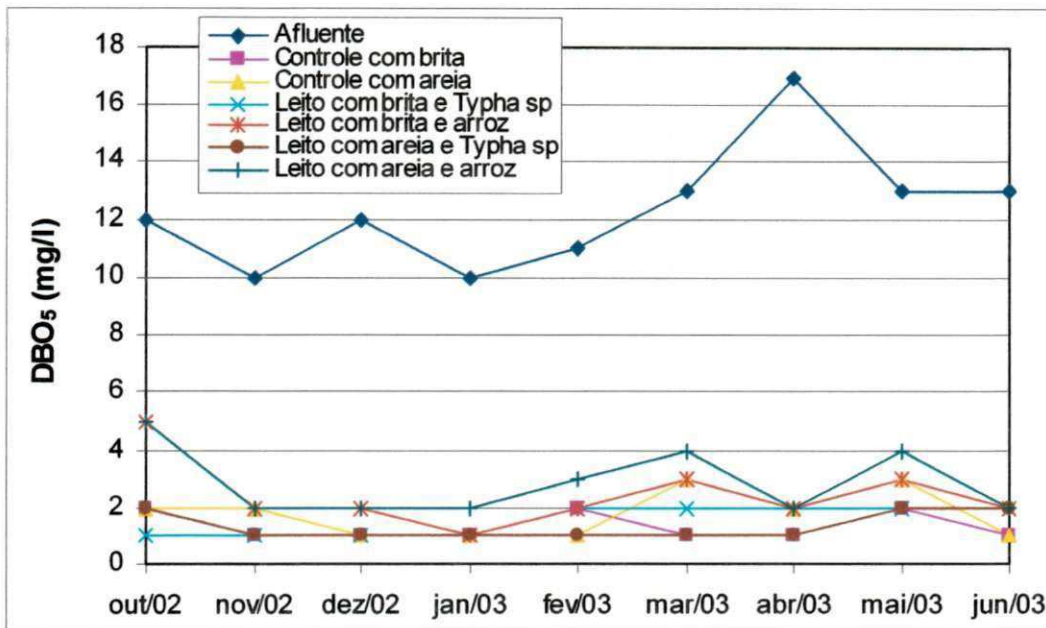


Figura 5.17 – Variação temporal dos valores médios de DBO<sub>5</sub> da água afluente ao sistema experimental (P2) e das terras úmidas construídas com 10 dias de TDH, no período de out/02 a jun/03.

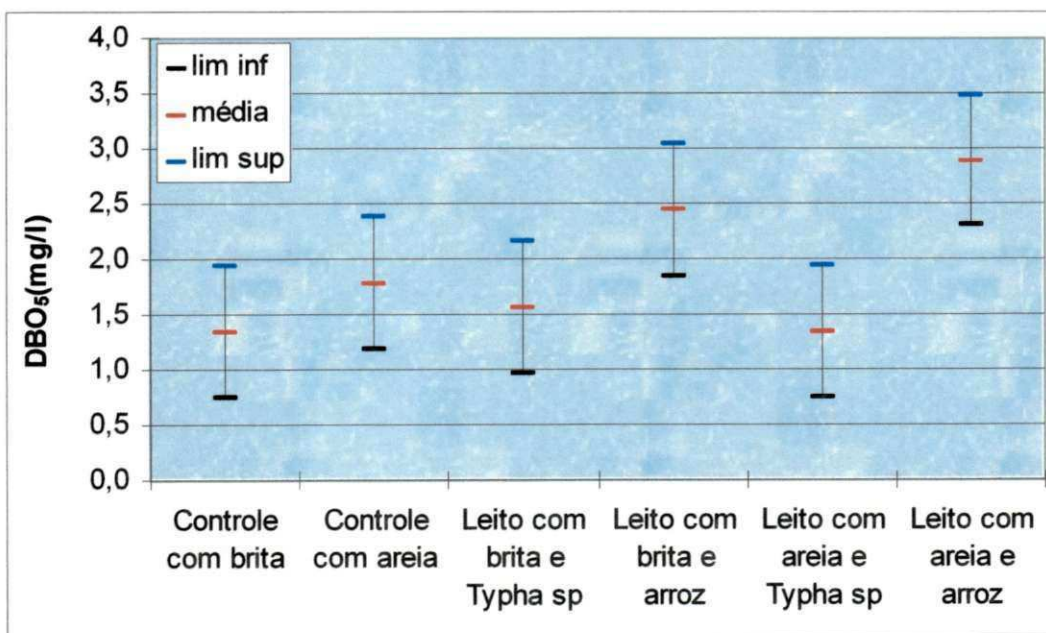


Figura 5.18 – Análise gráfica (método GT-2) da DBO<sub>5</sub> das terras úmidas construídas, com 10 dias de TDH, no período de out/02 a jun/03.

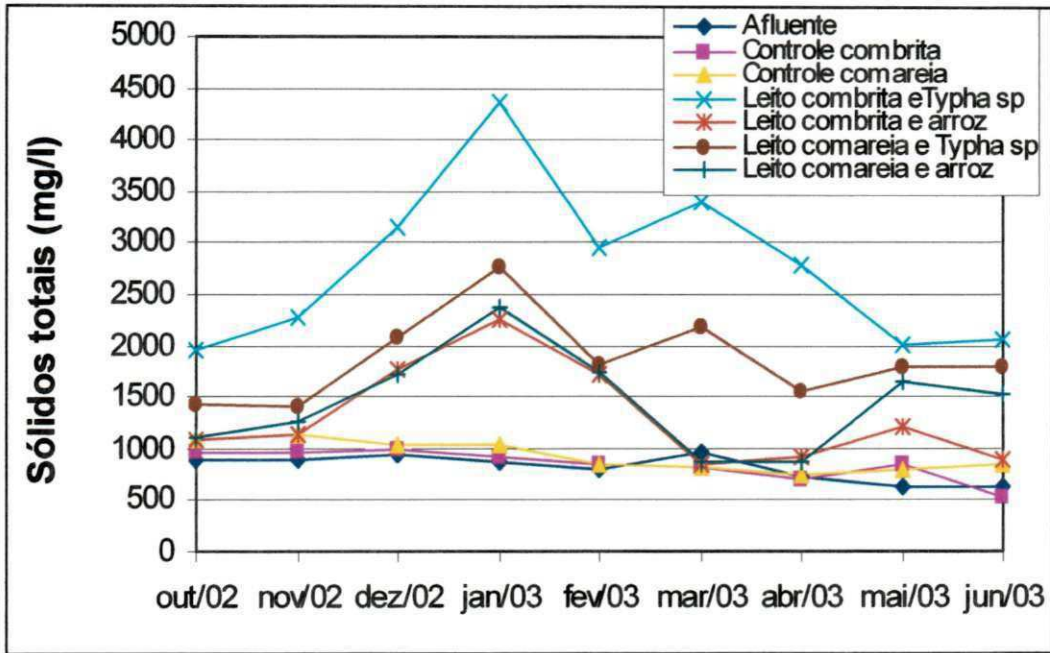


Figura 5.19 – Variação temporal dos valores médios de sólidos totais da água afluente ao sistema experimental (P2) e das terras úmidas construídas com 10 dias de TDH no período de out/02 a jun/03.

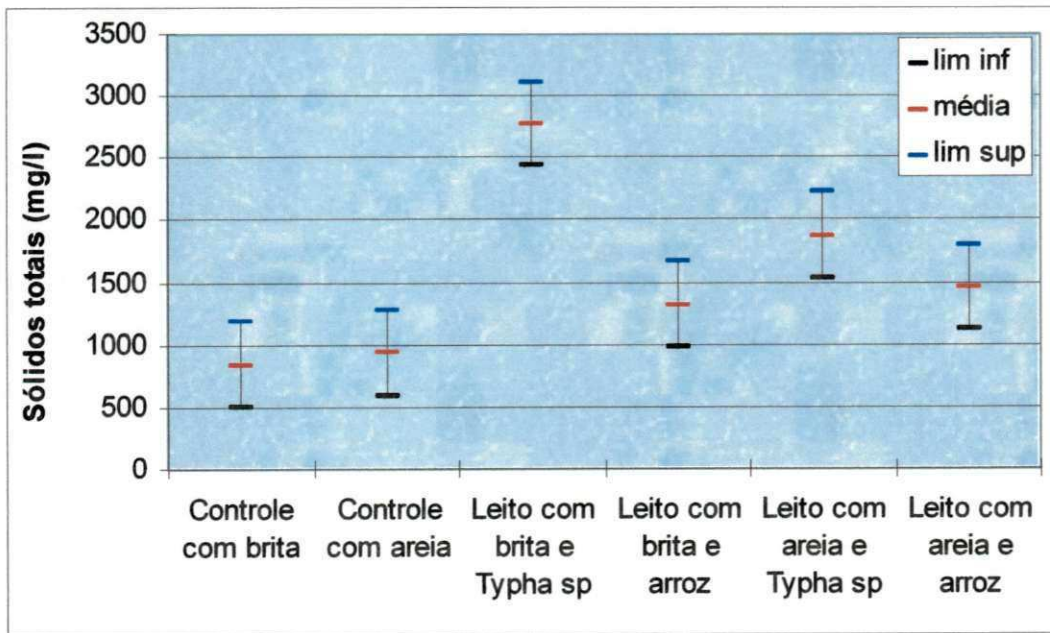


Figura 5.20 – Análise gráfica (método GT-2) de sólidos totais das terras úmidas construídas com 10 dias de TDH, no período de out/02 a jun/03.

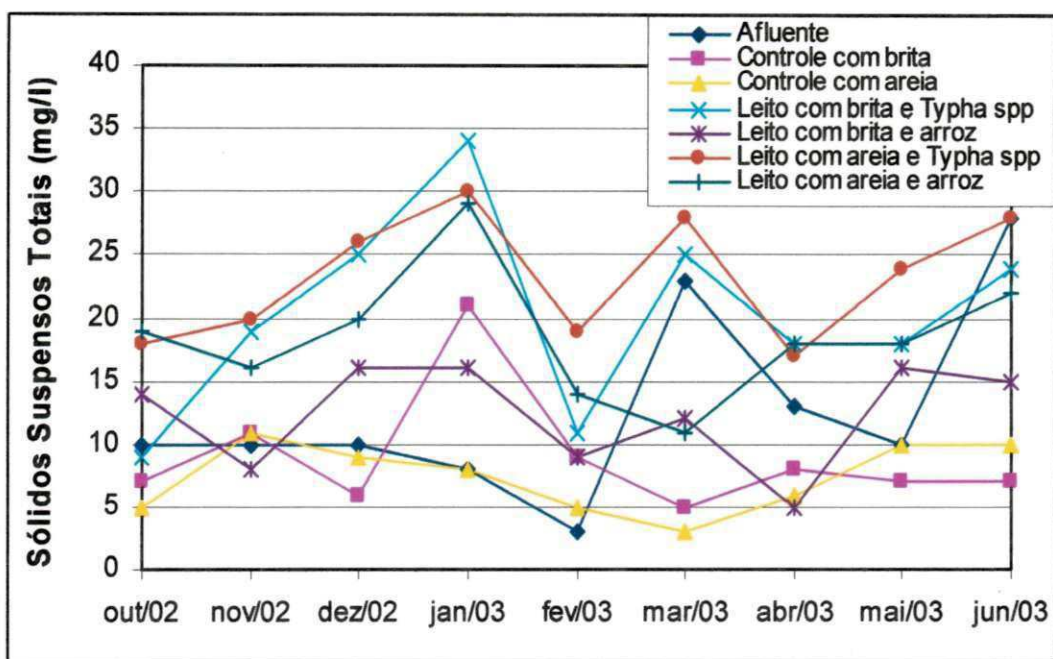


Figura 5.21 – Variação temporal dos valores médios de sólidos suspensos totais da água afluente ao sistema experimental (P2) e das terras úmidas construídas com 10 dias de TDH, no período de out/02 a jun/03.

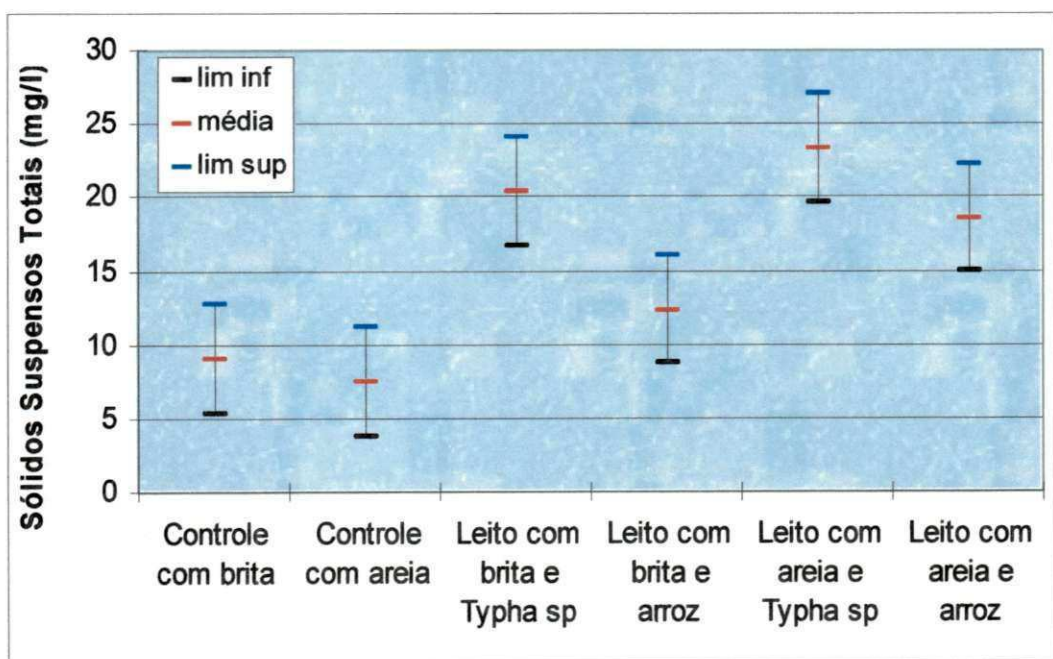


Figura 5.22 – Análise gráfica (método GT-2) de sólidos suspensos totais das terras úmidas construídas, com 10 dias de TDH, no período de out/02 a jun/03.

### 5.12 – Nitrogênio NTK

O nitrogênio total KJELDAHL (NTK) apresentou valores de entrada ao sistema experimental (P2) entre 17 e 66mg/l. As concentrações de saída variaram entre 4,5 e 24,5mg/l nos tanques controles e entre 0,5 e 11,9mg/l nos tanques vegetados. Em todos os sistemas povoados por macrófitas ocorreu maior remoção de nitrogênio, o qual resulta, provavelmente, de dois fatores: processos assimilatórios realizados pelos microrganismos presentes no biofilme e pelas macrófitas presentes nos sistemas e devido à nitrificação ocorrida, supostamente, pela transferência de oxigênio do ar atmosférico para os rizomas e raízes (Cooper *et al.*, 1999).

De acordo com a Figura 5.23, os sistemas de terras úmidas construídas removeram satisfatoriamente nitrogênio durante o período experimental. No mês de janeiro de 2003 houve elevação da concentração de NTK no afluente (66,11 mg/l), elevando também a concentração de NTK nos efluentes dos tanques controles (18,76mg/l, brita e 24,59mg/l, areia). Pode-se observar que esta elevação no afluente não afetou a concentração de NTK nos efluentes dos tanques vegetados, indicando eficiente absorção de N pelas plantas.

Nas condições experimentais, a análise de variância das concentrações de NTK mostrou diferença significativa entre os efluentes das terras úmidas vegetadas (Tabela 5.9 e Figura 5.24).

Tabela 5.9 – Resumo da análise de variância ANOVA (fator único) para NTK analisada nas terras úmidas construídas, no período de out/02 a jun/03.

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	177,5081	3	59,16935	7,125864	0,000848	2,901118
Dentro dos grupos	265,7108	32	8,303464			
Total	443,2189	35				

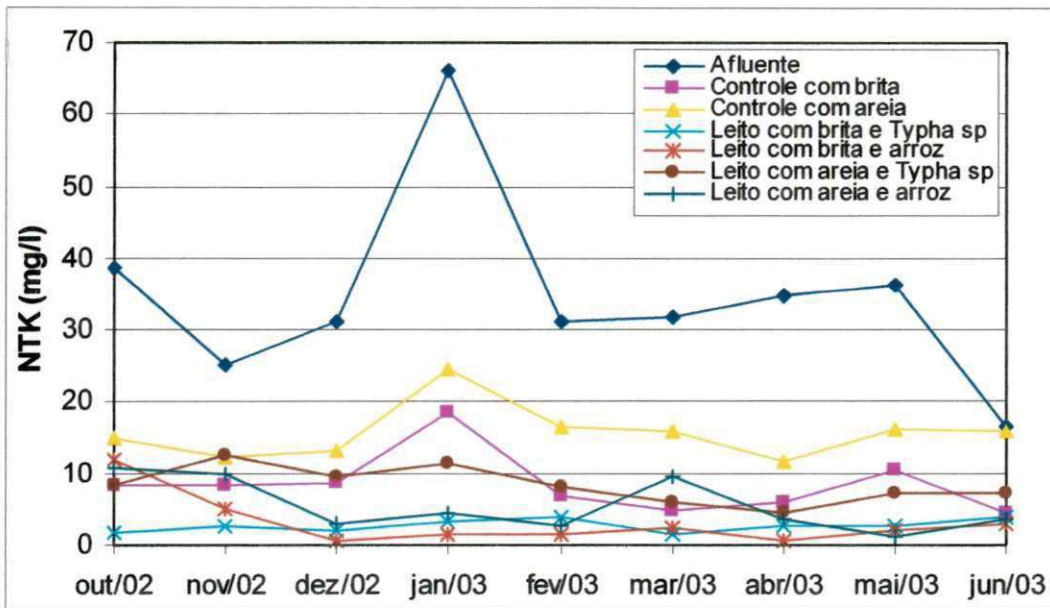


Figura 5.23 – Variação temporal dos valores médios de NTK da água afluente ao sistema experimental (P2) e das terras úmidas construídas com 10 dias de TDH, no período de out/02 a jun/03.

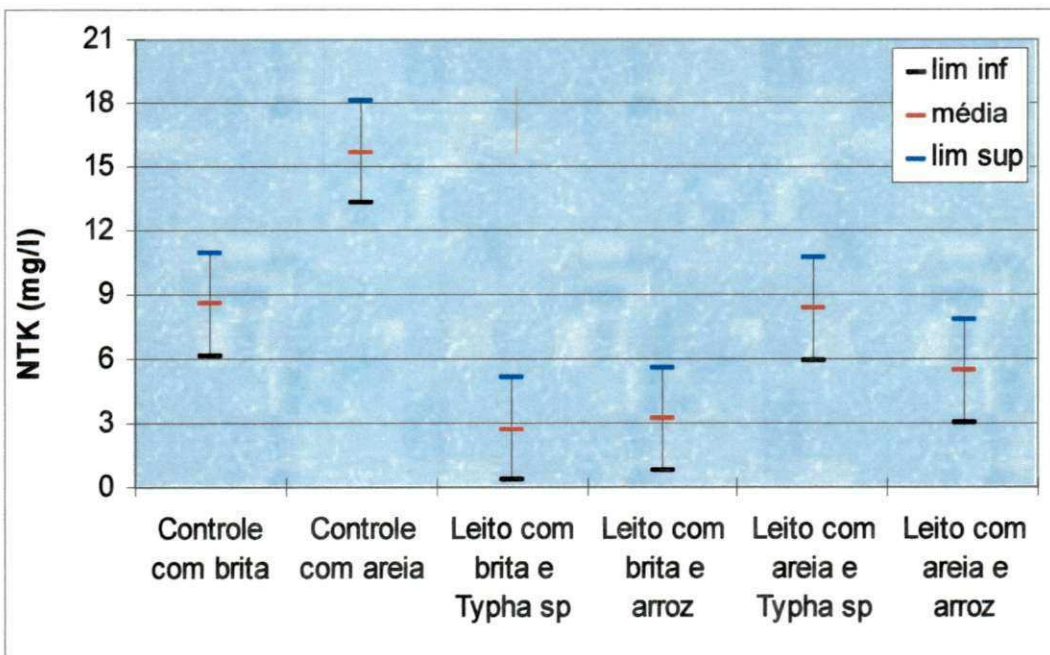


Figura 5.24 – Análise gráfica (método GT-2) de NTK das terras úmidas construídas, com 10 dias de TDH, no período de out/02 a jun/03.

### 5.13 – Nitrogênio Amoniacal

As percentagens de remoção de N-amoniaco variaram entre 51% nos controles com areia chegando até 94% nos tanques vegetados. Todos os sistemas responderam muito bem, reduzindo acentuadamente esta variável, independente das flutuações ocorridas no afluente (Figura 5.25).

A remoção de N-amoniaco foi associada à absorção pela biomassa radicular, sendo que, quanto maior o tamanho da raiz, maior a absorção de N pelo vegetal (Zhu e Sikora, 1995).

Neste trabalho observou-se que, durante as primeiras coletas (outubro a dezembro de 2002), a concentração de N-Amoniaco foi influenciada pela concentração afluente, independizando-se após três meses de funcionamento e, provavelmente, indicando que o estabelecimento do biofilme microbiano sobre o substrato, assim como o crescimento da raiz, influencia na remoção da amônia.

A Tabela 5.10 apresenta o resumo da análise de variância de fator único para o N-Amoniaco. Como o valor de F foi maior que o valor de F-crítico, houve variância significativa entre os tratamentos. A Figura 5.26 apresenta a análise gráfica comparativa (método GT-2) aplicada a esta variável nas terras úmidas. Dentre os tanques vegetados, a diferença significativa ocorreu entre os leitos com brita e *Typha* spp e os leitos com areia e *Typha* spp.

Tabela 5.10 – Resumo da análise de variância ANOVA (fator único) para o N-Amoniaco, analisado nas terras úmidas construídas, no período de out/02 a jun/03.

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	176,1598	3	58,71993	6,827365	0,001099	2,901118
Dentro dos grupos	275,2215	32	8,600673			
Total	451,3813	35				

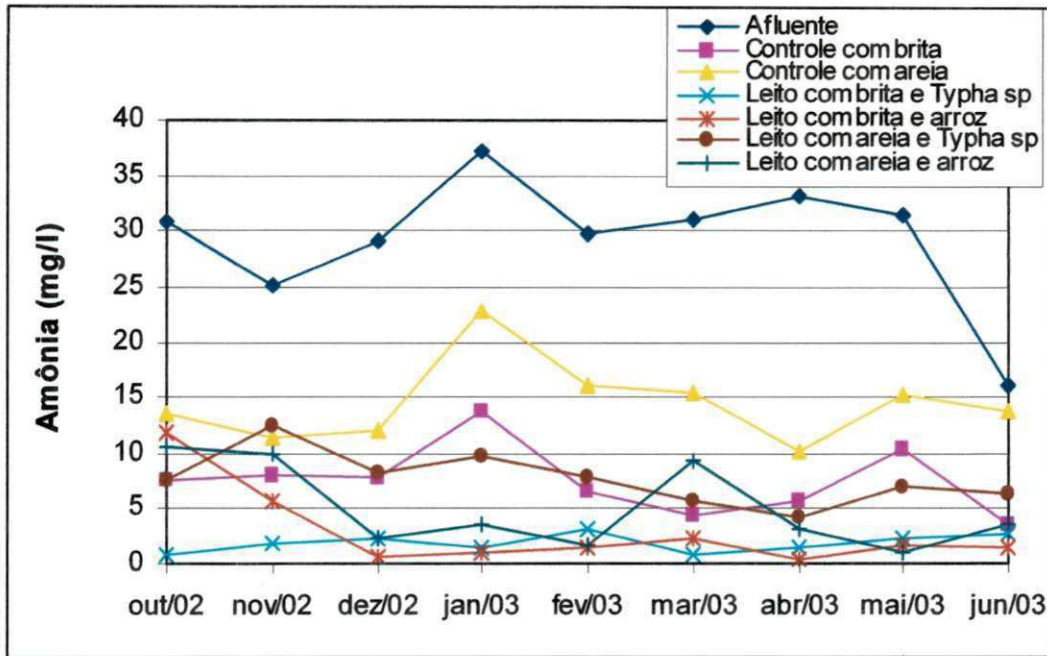


Figura 5.25 – Variação temporal dos valores médios de nitrogênio amoniacal da água afluente ao sistema experimental (P2) e das terras úmidas construídas com 10 dias de TDH, no período de out/02 a jun/03.

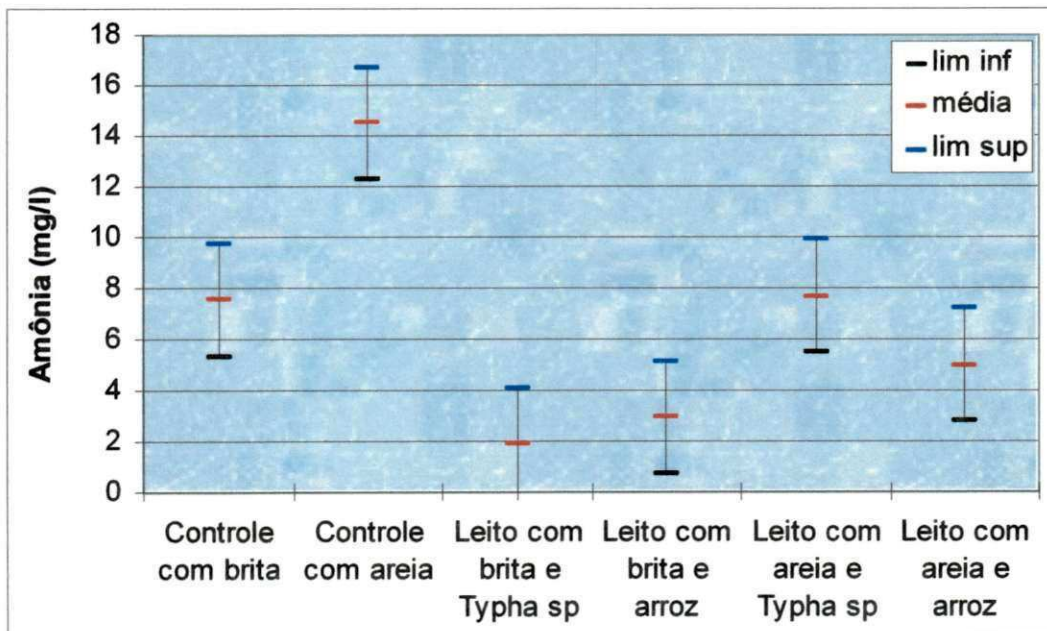


Figura 5.26 – Análise gráfica (método GT-2) do N-Amoniacal das terras úmidas construídas, com 10 dias de TDH, no período de out/02 a jun/03.

#### 5.14 – Nitrato

Os valores de nitrato do afluente quase sempre estiveram abaixo dos valores apresentados pelos sistemas vegetados. Isso mostra que os maiores valores de nitrato (até 0,57mg/l) encontrados nas amostragens dos efluentes do sistema com leito de brita e *Typha* spp correspondem aos menores valores de nitrogênio amoniacal para o mesmo período, podendo-se associar essas transformações com a nitrificação. Os sistemas que funcionaram como controles mantiveram as concentrações efluentes de nitrato sempre próximos aos valores de entrada (Figura 5.27).

Vymazal (1998) e Cooper *et al.* (1999) mostraram que em sistemas de escoamento subsuperficial de fluxo horizontal a taxa de nitrificação é baixa, pelo fato da baixa oxigenação, quer seja por difusão do O<sub>2</sub> atmosférico, quer seja pelas plantas. Os autores indicam, ainda, que o ideal para ocorrer nitrificação seria utilizar sistemas de fluxo vertical, e a associação entre fluxo vertical seguido de fluxo horizontal, o qual proporcionaria uma boa nitrificação e desnitrificação.

De acordo com a Tabela 5.11 pode-se concluir que houve diferença significativa ( $F > F_{cr}$ ) entre os valores de nitrato das terras úmidas. A Figura 5.28 mostra que a maior diferença significativa, entre as terras úmidas vegetadas, ocorreu entre os leitos com brita e *Typha* spp e os leitos com areia e arroz.

Tabela 5.11 – Resumo da análise de variância ANOVA (fator único) para o nitrato analisado nas terras úmidas construídas, no período de out/02 a jun/03.

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	0,411778	5	0,082356	6,88981	6,43E-05	2,408513
Dentro dos grupos	0,573756	48	0,011953			
Total	0,985533	53				



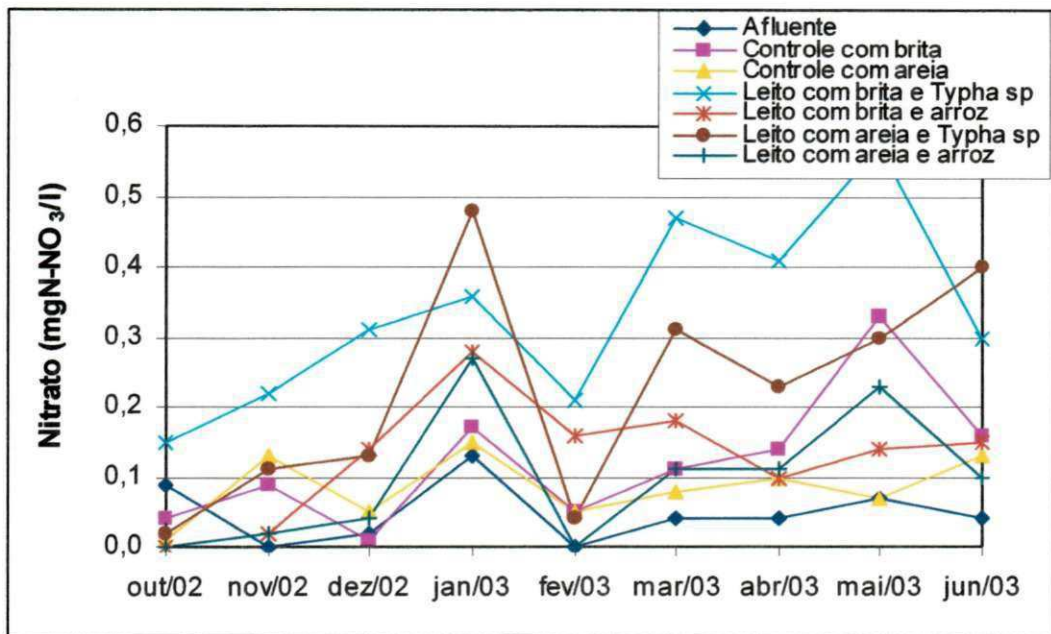


Figura 5.27 – Variação temporal dos valores médios de nitrato da água afluente ao sistema experimental (P2) e das terras úmidas construídas com 10 dias de TDH, no período de out/02 a jun/03.

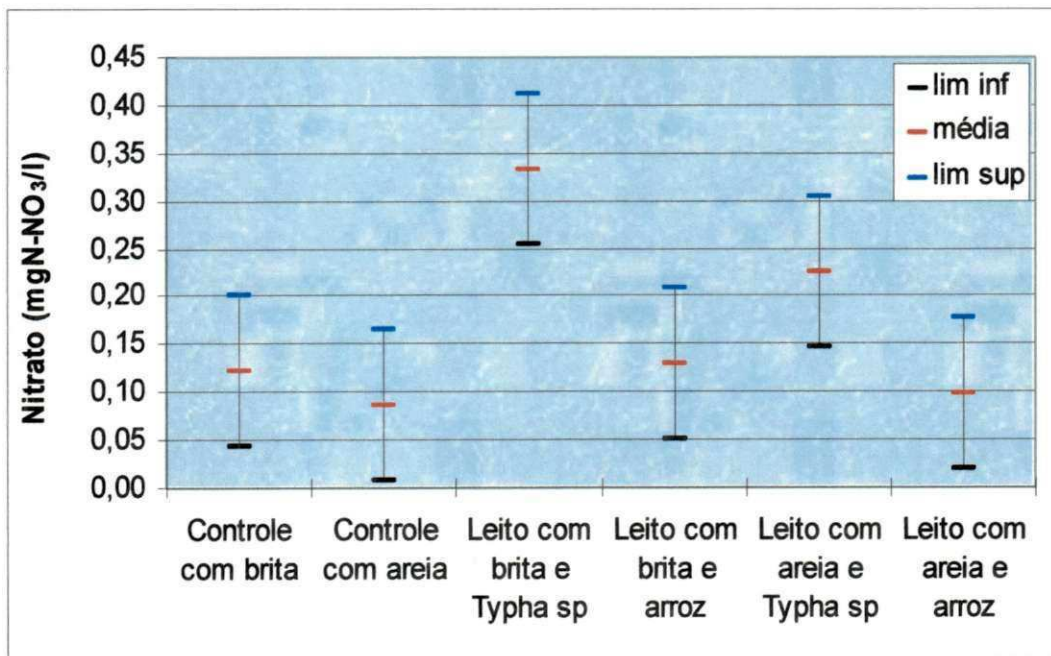


Figura 5.28 – Análise gráfica (método GT-2) do nitrato das terras úmidas construídas, com 10 dias de TDH, no período de out/02 a jun/03.

### **5.15 – Nitrito**

O nitrito é um componente dos esgotos sanitários, além de ser um composto intermediário no ciclo do nitrogênio. Os valores médios de nitrito na entrada e na saída do sistema (Figura 5.29) estiveram abaixo de 0,10mg/l. A espécie *Typha* spp contribuiu para uma melhor eficiência de remoção, embora esta afirmação não seja significativa estatisticamente. Os controles com brita apresentaram melhores resultados na remoção de nitrito (Figura 5.30).

### **5.16 – Coliformes termotolerantes**

Salati *et al.* (1999) citam remoção de Coliformes termotolerantes acima de 99% em terras úmidas de fluxo superficial em Piracicaba (SP). Percentagens menores de remoção, para esta variável (30 a 90%), foram encontradas por Rivera *et al.* (1997), em terras úmidas retangulares de fluxo subsuperficial plantados com *Typha* spp no México. Os autores observaram que a remoção de microrganismos nas terras úmidas depende de numerosos fatores, com destaque para o substrato inerte, o desenvolvimento da planta, a maturidade da zona radicular e o fluxo hidráulico.

Não se conhece com precisão o mecanismo de remoção de bactérias e vírus em terras úmidas, mas se sabe que ocorrem pela combinação de processos que incluem a filtração, constituído pela zona da raiz com o biofilme formado sobre o meio suporte, a sedimentação, a oxigenação e a morte dos microrganismos devido às substâncias biocidas excretadas por algumas plantas, assim como, por adsorção às partículas de sólidos orgânicos, pela produção de antibióticos por outros microrganismos, pela ação predatória de nematóides e protozoários e por morte natural (Vicent, 1994). Influenciam também a temperatura, a radiação solar e as chuvas (Khatiwala e Polpraset, 1999). Estes autores encontraram remoções de coliformes fecais de até 99,98% em leitos com areia e brita cultivados com *Typha* spp.

A maior remoção de Coliformes termotolerantes ocorreu nas terras úmidas com areia e vegetadas com *Typha* spp (99,92%) (Figura 5.31). Houve diferença significativa das remoções observadas nos efluentes das terras úmidas vegetadas (Tabela 5.12 e Figura 5.32).

Tabela 5.12 – Resumo da análise de variância ANOVA (fator único) para Coliformes termotolerantes, nas terras úmidas construídas, no período de out/02 a jun/03.

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	1,1E+09	3	3,67E+08	19,70469	2,02E-07	2,901118
Dentro dos grupos	5,96E+08	32	18623491			
Total	1,7E+09	35				

### 5.17 – Estreptococos fecais

Os valores médios de estreptococos fecais nos efluentes das terras úmidas com brita e vegetadas com arroz e dos controles com brita tiveram a mesma ordem de grandeza  $10^3$ UFC/100ml (Figura 5.33). Todos os demais efluentes das terras úmidas apresentaram valores com ordem de grandeza de  $10^2$ UFC/100ml.

As eficiências de remoção variaram de 87,7% (leito com brita e arroz) até 99,8% (leito com areia e *Typha* spp).

A análise de variância, conforme Tabela 5.13, demonstrou que houve diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre os efluentes das terras úmidas (Figura 5.34).

Tabela 5.13 – Resumo da análise de variância ANOVA (fator único) para Estreptococos fecais nas terras úmidas construídas, no período de out/02 a jun/03.

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	5,95E+08	3	1,98E+08	5,508851	0,003633	2,901118
Dentro dos grupos	1,15E+09	32	35997387			
Total	1,75E+09	35				

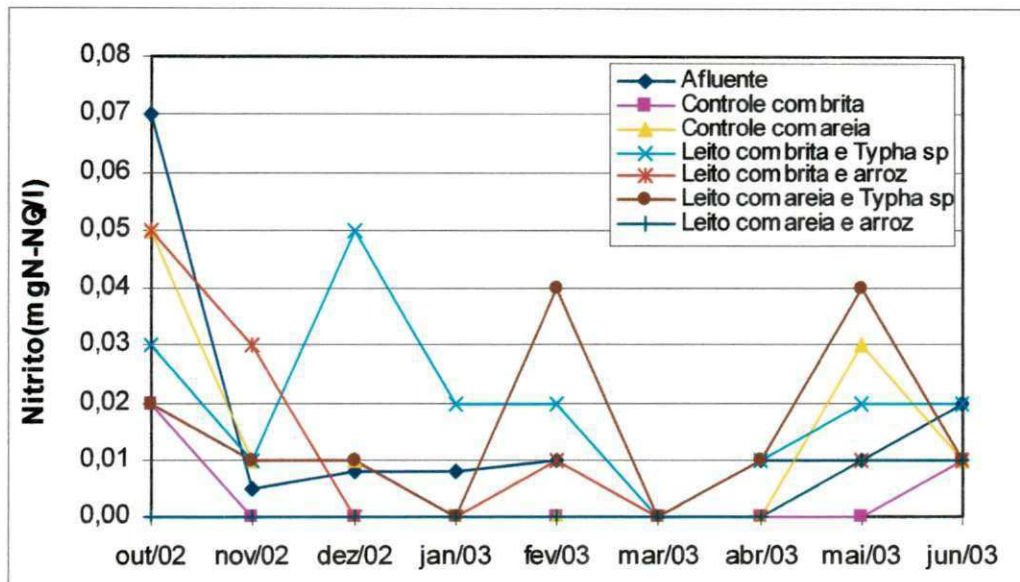


Figura 5.29 – Variação temporal dos valores médios de nitritos da água afluente ao sistema experimental (P2) e das terras úmidas construídas com 10 dias de TDH, no período de out/02 a jun/03.

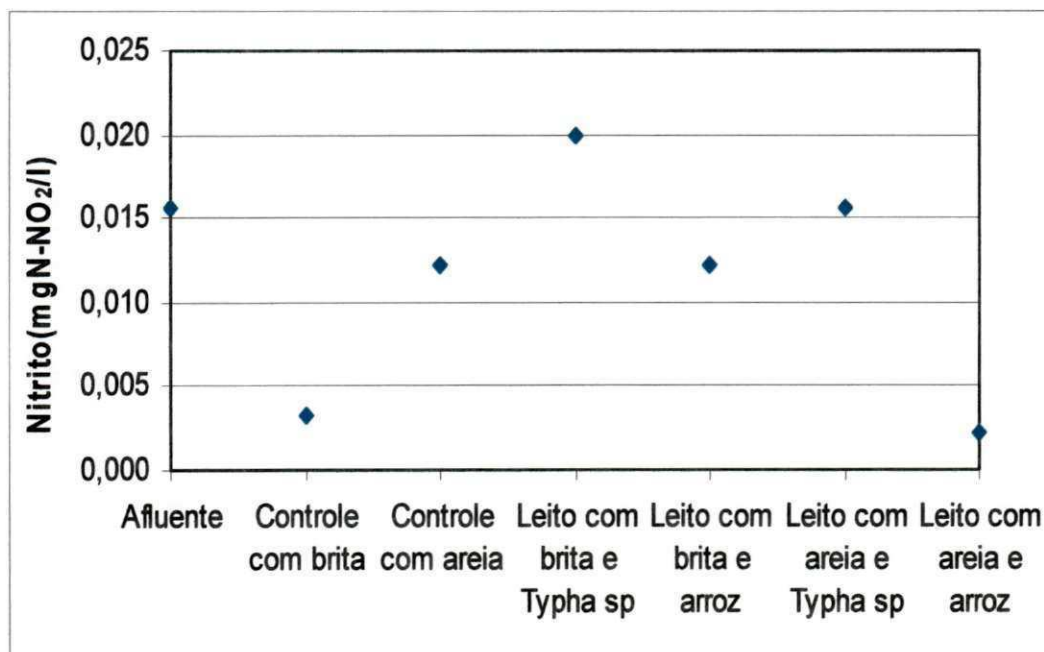


Figura 5.30 – Valores médios de nitritos da água afluente ao sistema experimental (P2) e das terras úmidas construídas com 10 dias de TDH, no período de out/02 a jun/03.

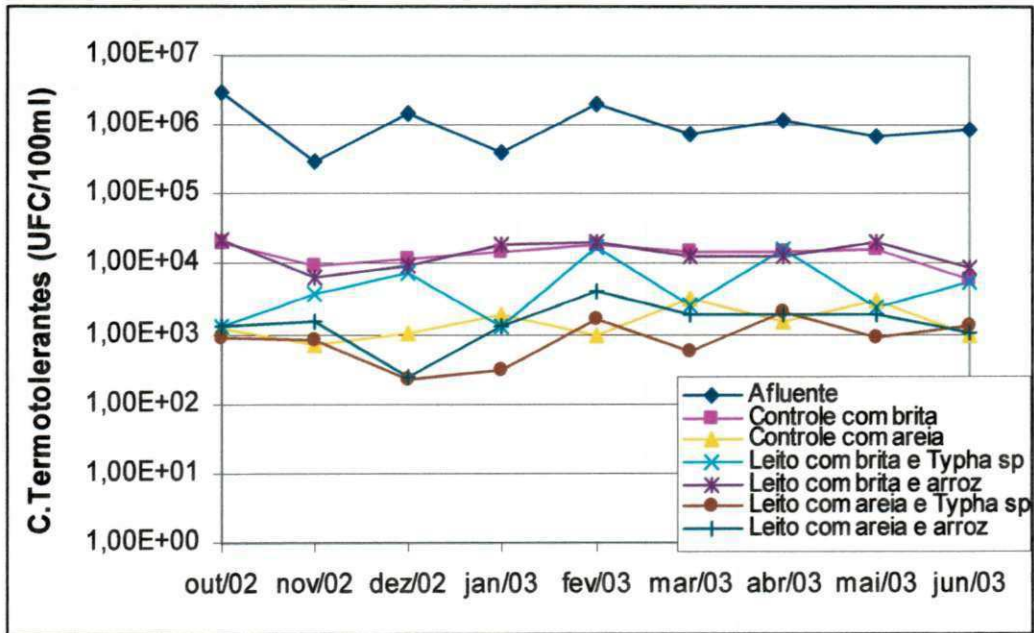


Figura 5.31– Variação temporal dos valores médios de Coliformes termotolerantes da água afluente ao sistema experimental (P2) e das terras úmidas construídas com 10 dias de TDH, no período de out/02 a jun/03.

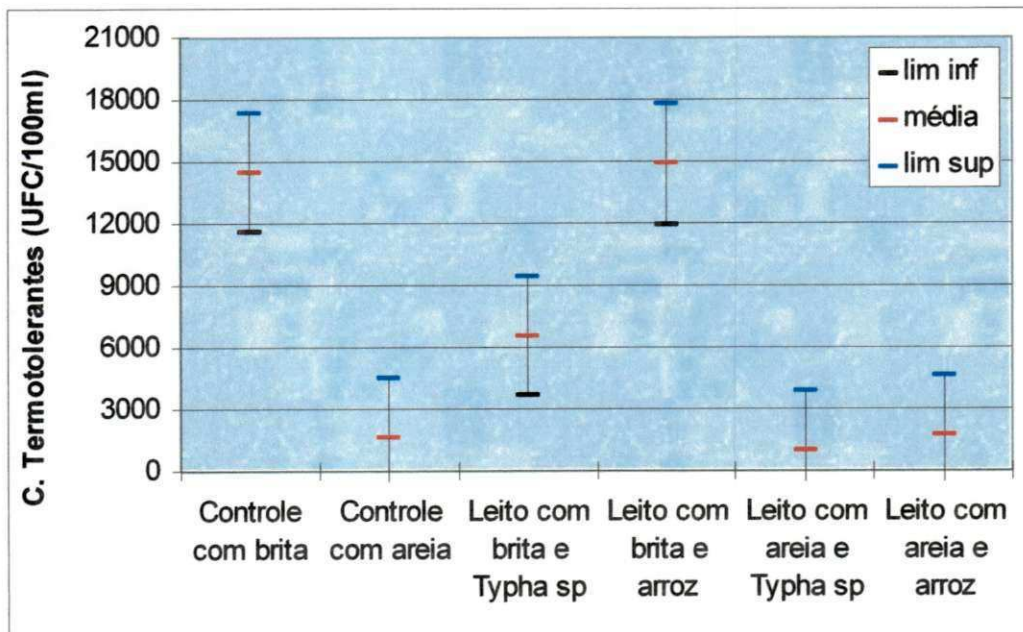


Figura 5.32 – Análise gráfica (método GT-2) de Coliformes termotolerantes das terras úmidas construídas, com 10 dias de TDH, no período de out/02 a jun/03.

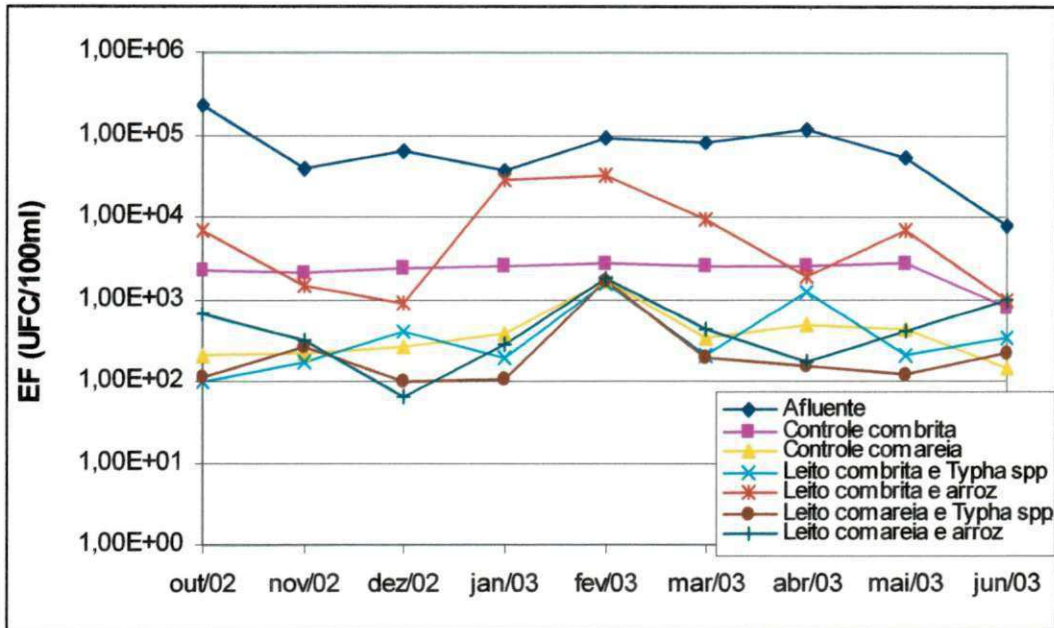


Figura 5.33 – Variação temporal dos valores médios de Estreptococos fecais da água afluyente ao sistema experimental (P2) e das terras úmidas construídas com 10 dias de TDH, no período de out/02 a jun/03.

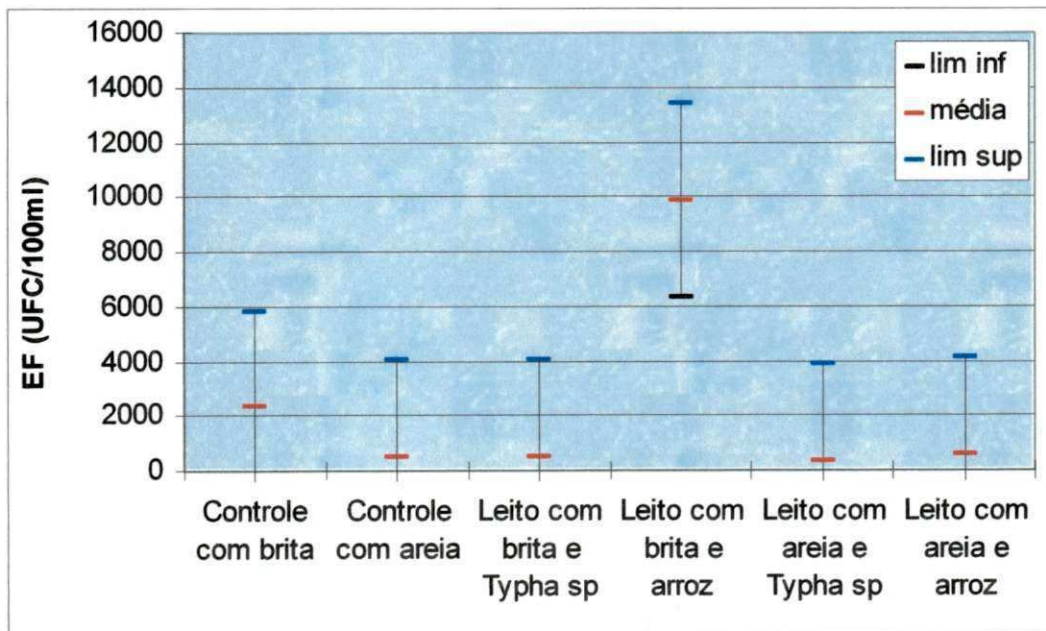


Figura 5.34 – Análise gráfica (método GT-2) de Estreptococos fecais das terras úmidas construídas, com 10 dias de TDH, no período de out/02 a jun/03.

### 5.18 – NTK nas macrófitas

O nitrogênio desempenha função estrutural na vida das macrófitas e de todos os seres vivos. Faz parte da molécula dos aminoácidos e estes das proteínas, das bases nitrogenadas e dos ácidos nucleicos, das enzimas e coenzimas, das vitaminas, etc. O nitrogênio forma parte das membranas celulares e está em todas as estruturas das células vivas. Possibilita que as macrófitas realizem os processos de absorção, fotossíntese, respiração, síntese, multiplicação, diferenciação celular, dentre outros (Malavolta, 1989).

A utilização das plantas aquáticas (macrófitas) *Typha* spp e arroz (*Oryza sativa*), nos sistemas experimentais de terras úmidas, permitiu observar que as mesmas foram eficientes em todas as variantes de terras úmidas vegetadas, na remoção de nitrogênio.

A Figura 5.35 mostra a quantidade de nitrogênio contido nos dois tipos de macrófitas: arroz (*Oryza sativa*) e *Typha* spp. Pode-se observar que a biomassa das raízes da *Typha* spp é 61% superior à biomassa das raízes do arroz, o que proporcionou uma maior oxigenação, através da zona radicular, no interior das terras úmidas vegetadas com esta macrófita, promovendo o surgimento das bactérias que realizam os processos de oxidação e redução das formas de nitrogênio.

No arroz o consumo de nitrogênio foi mais intenso no início do desenvolvimento da planta, devido à formação de novas células, e tendeu a se estabilizar ao longo do tempo, quando passou a ser utilizado para a manutenção do metabolismo vegetal.

### 5.19 – Eficiências de Remoção

A Tabela 5.14 apresenta as características de cargas e eficiências de terras úmidas construídas e citadas na literatura.

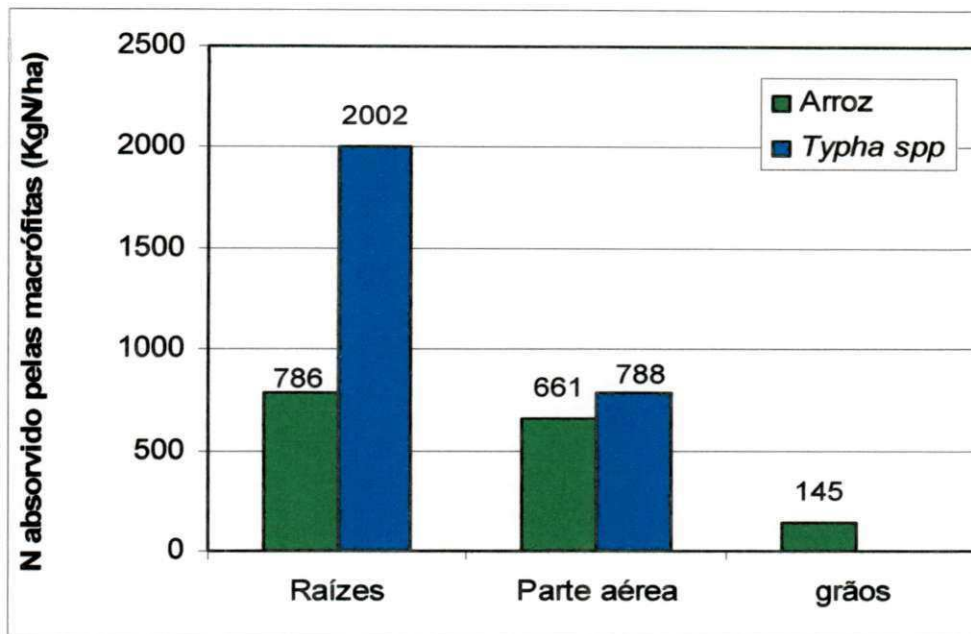


Figura 5.35 – Nitrogênio presente nas macrófitas cultivadas nas terras úmidas construídas, no período de out/02 a jun/03.

Os valores expostos na Tabela 5.14 mostraram que, em sistemas que trabalharam com cargas diferentes, é esperado uma variação de eficiência para as variáveis avaliadas. Essas variações são relativas às características locais, pois para variações semelhantes de carga houve respostas diametralmente opostas na remoção de  $DBO_5$ , sólidos suspensos, nitrogênio em Iselin (EUA) e em Ringsted (Dinamarca), por exemplo.

As eficiências médias de remoção para os diferentes tratamentos propostos neste trabalho basearam-se em uma carga de 19 mm/dia, Tabela 5.15.

Da Tabela 5.15 pode ser observado que, dentre as variáveis citadas na Tabela 5.14, o sistema em estudo de terras úmidas construídas apresentou algumas diferenças. Algumas discussões podem ser elaboradas em relação a essas variáveis em comum e as variáveis significativas. Em comparação com os resultados apresentados na Tabela 5.14, o sistema experimental apresentou pior desempenho nas variáveis sólidos suspensos, enquanto que as variáveis NTK e nitrogênio amoniacal apresentaram melhores resultados.



Tabela 5.14 – Eficiência de terras úmidas construídas com relação à carga aplicada.

Localização	Carga hidráulica (cm/dia)	DBO <sub>5</sub> (%)	SS (%)	Nitrogênio amoniacal (%)	NTK (%)
Santee, Califórnia (EUA)	4,68	96	94	94	
Village of Neshaminy Falls, PY (EUA)	1,26	96	94	75	
Iselin, PY (Pensylvania, EUA)	1,47	95	95	83	
	5,28	88	86	56	
Benton, Kentucky (EUA)	4,15	57	75	-23	26
	7,97	65	88	-81	12
Marnhull, Inglaterra	4,46	85	69	9	
	6,90	80	73	2	
Holbit, Inglaterra	4,90	79	85	6	
Castleroe, Inglaterra	4,43	66	59	24	
Middleton, Inglaterra	8,89	73	73	46	
Ringsted, Dinamarca	5,70	94	98	56	38
	1,71	92	91	55	61

Fonte: Marques et al., (1999)

O nitrogênio amoniacal apresentou diferença significativa entre os tratamentos vegetados, sendo a melhor eficiência (93,60%) observada nas terras úmidas com brita e *Typha* spp e a pior eficiência nas terras úmidas com areia e arroz (73,86%).

O nitrato apresentou baixa eficiência de remoção, muitas vezes negativas, sendo que os piores sistemas para essa variável foram os leitos com brita e *Typha* spp, que apresentaram diferenças significativas em relação aos outros tratamentos. Por estar o nitrato na forma inorgânica, as terras úmidas processam esta forma de nitrogênio por nitrificação e desnitrificação. A baixa eficiência de remoção para o nitrato indica uma pobre atividade desnitrificante nos leitos (Vymazal, 1998).

O nitrogênio NTK apresentou diferenças significativas entre os tratamentos, com eficiência média de remoção superior ao obtido na literatura.

De acordo com a Tabela 5.15, as variáveis turbidez, DQO e nitrito não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos vegetados.

Tabela 5.15 – Eficiência das terras úmidas construídas durante o período experimental.

Variáveis	Tratamentos (% de remoção)						F cal.	F crítico
	Controle com brita	Controle com areia	Leito com brita e <i>Typha spp</i>	Leito com brita e arroz	Leito com areia e <i>Typha spp</i>	Leito com areia e arroz		
Condutividade elétrica	10,21	-4,72	-173,00	-40,99	-6,40	-40,53	7,12	2,90
Turbidez	97,46	86,36	89,86	81,27	80,76	69,18	1,93	2,90
Alcalinidade total	21,80	8,33	-119,00	-30,00	-47,00	-45,60	8,21	2,90
Dureza total	6,81	-8,07	-129,17	-56,71	-71,88	-76,39	5,00	2,90
Cloretos	-6,15	-34,87	-479,59	-146,26	-247,73	-141,58	11,96	2,90
DBO <sub>5</sub>	89,19	85,59	87,39	80,18	89,19	76,58	6,12	2,90
DQO	12,37	27,07	-57,10	-70,17	-7,99	18,29	1,29	2,90
Sólidos Totais	-3,16	-14,22	-239,85	-61,76	-129,10	-78,91	11,93	2,90
Sólidos Suspensos	29,57	41,72	-59,13	3,48	-82,61	-45,22	6,16	2,90
NTK	75,35	54,76	92,13	90,84	75,97	84,36	7,12	2,90
Nitrogênio amoniacal	74,32	50,65	93,60	90,03	73,86	82,99	6,83	2,90
Nitrato	-155,81	-79,07	-597,67	-172,09	-369,77	-104,65	6,68	2,90
Nitrito	78,72	21,99	-27,66	21,99	0,71	85,82	2,77	2,90
C. Termotolerantes	98,78	99,86	99,45	98,75	99,92	99,86	19,70	2,90
E. Fecais	97,10	99,42	99,38	87,65	99,79	99,28	5,51	2,90

A DQO, embora não se tenha observado redução significativa, apresentou valores de eficiência positiva para os tanques controles, mostrando a função do substrato em proporcionar a degradação química da matéria orgânica. A DQO pode estar representada por pequenas frações solúveis, por isso sua pequena eficiência nas terras úmidas vegetadas.

A DBO<sub>5</sub> foi uma variável significativa para a comparação entre os sistemas vegetados, sendo que os sistemas vegetados com *Typha spp* foram mais eficientes que os vegetados com arroz. Todos os efluentes das terras úmidas atingiram valores de DBO<sub>5</sub> inferiores a 5mg/l, recomendado para lançamento em corpos d'água Classe 2, segundo a Resolução CONAMA 20/86. A remoção da matéria orgânica, nos leitos, ocorreu devido a processos complexos que envolvem

filtração, adsorção e, principalmente, a ação bioquímica dos microrganismos presentes no biofilme.

Os resultados obtidos para os sólidos totais indicam que as macrófitas são responsáveis por processos como a absorção e a evapotranspiração, os quais causam aumento da concentração dos sólidos na água. Coerente com estas observações, as determinações da condutividade elétrica e dos cloretos, que também aumentaram, reforçam estas interpretações.

A Tabela 5.16 apresenta os valores referentes à colimetria, na entrada do sistema (P2) e na saída das terras úmidas construídas.

A Tabela 5.17 apresenta os limites máximos para águas doces e lançamento de efluentes em corpos d'água, conforme a Resolução CONAMA 20/86 em vigor. A Tabela 5.18 apresenta a classificação das águas efluentes ao sistema de terras úmidas construídas, com relação à Resolução CONAMA 20/86 em vigor.

Tabela 5.16 – Concentrações de Coliformes termotolerantes e Estreptococos fecais nas terras úmidas construídas.

Discriminação	Coliformes Termotolerantes (UFC/100ml)				Estreptococos Fecais(UFC/100ml)			
	Valores mínimos	Média	Valores máximos	Eficiência de remoção (%)	Valores mínimos	Média	Valores máximos	Eficiência de remoção (%)
Afluente (P2)	3,00E+05	1,19E+06	3,00E+06		8,00E+03	7,98E+04	2,30E+05	
Controle com brita	6,20E+03	1,45E+04	2,12E+04	98,78	8,17E+02	2,31E+03	2,80E+03	97,10
Controle com areia	7,32E+02	1,64E+03	3,35E+03	99,86	1,49E+02	4,67E+02	1,71E+03	99,42
Leito com brita e <i>Typha spp</i>	1,32E+03	6,51E+03	1,78E+04	99,45	1,03E+02	4,99E+02	1,62E+03	99,38
Leito com brita e arroz	6,33E+03	1,48E+04	2,20E+04	98,75	9,42E+02	9,85E+03	3,20E+04	87,65
Leito com areia e <i>Typha spp</i>	2,20E+02	9,59E+02	2,02E+03	99,92	9,78E+01	1,65E+02	1,65E+03	99,79
Leito com areia e arroz	2,42E+02	1,70E+03	4,02E+03	99,86	6,67E+01	5,74E+02	1,79E+03	99,28

Tabela 5.17 – Limites máximos para águas doces e padrão de lançamento em corpos d'água, de acordo com a Resolução CONAMA 20/86.

Variável	Unidade	Classe				Padrão Lançamento
		1	2	3	4	
Turbidez	UNT	40	100	100	-	-
Temperatura	°C	-	-	-	-	-
pH	-	6-9	6-9	6-9	6-9	5-9
DBO <sub>5</sub>	mg/l	3	5	10	-	(1)
Coliformes Termotolerantes	UFC/100ml	200	10 <sup>3</sup>	4x10 <sup>3</sup>	-	-
Amônia Total	mgN-NH <sub>3</sub> /l	-	-	1,0	-	5,0
Cloreto	mgCl/l	250	250	250	-	-
Nitrato	mgN/l	10	10	10	-	-

(1): consultar a legislação estadual pertinente.

Tabela 5.18 – Classe de uso e conformidade de lançamento do efluente final do sistema de terras úmidas construídas, conforme a Resolução CONAMA 20/86.

Variável	Unidade	Controle/brita		Controle/areia		Brita/ <i>Typha</i> spp		Brita/Arroz		Areia/ <i>Typha</i> spp		Areia/Arroz	
		Classe	Lanç.	Classe	Lanç.	Classe	Lanç.	Classe	Lanç.	Classe	Lanç.	Classe	Lanç.
Turbidez	UNT	1	-	1	-	1	-	1	-	1	-	1	-
Temperatura	°C	Conf.	-	Conf.	-	Conf.	-	Conf.	-	Conf.	-	Conf.	-
pH	-	1	Conf.	1	Conf.	1	Conf.	1	Conf.	1	Conf.	1	Conf.
DBO <sub>5</sub>	mg/l	1	-	1	-	1	-	2	-	1	-	2	-
Coliformes Term.	UFC/100ml	4	-	3	-	4	-	4	-	3	-	3	-
Amônia Total	mgN-NH <sub>3</sub> /l	4	Alto	4	Alto	4	Conf.	4	Conf.	4	Alto	4	Conf.
Cloreto	mgCl/l	1	-	1	-	4	-	4	-	4	-	4	-
Nitrato	mgN/l	1	-	1	-	1	-	1	-	1	-	1	-

Os resultados do experimento e seus desdobramentos, associados aos aspectos levantados na revisão bibliográfica forneceram subsídios para a formulação de conclusões, que estão expostas observando os objetivos específicos da pesquisa:

a) Considerando o tipo de leito (controles), as maiores eficiências de remoção de turbidez, ST, DBO<sub>5</sub>, NTK e N-amoniacal ocorreram nos leitos com brita.

b) Os leitos com areia, com e sem vegetação, apresentaram melhores remoções de Coliformes termotolerantes e *Streptococos* fecais. Este tipo de leito forneceu um efluente com Coliformes termotolerantes em torno de 1000/100ml.

c) Os sistemas com brita e *Typha* spp apresentaram maiores remoções de Coliformes termotolerantes e *Streptococos* fecais que a combinação brita e arroz e maior eficiência na remoção de turbidez, enquanto que os Sólidos Totais foram mais removidos nos sistemas com brita e arroz.

d) Independente do tipo de vegetação, a maior remoção de NTK e N-amoniacal ocorreu nos leitos com brita.

e) O maior índice de vazios deste substrato (brita) juntamente com as condições de oxidação (microzonas aeradas) propiciadas pelas raízes das macrófitas, permitiram o desenvolvimento de grande diversidade de bactérias que participaram do processo de óxido-redução.

f) Comparando-se os tanques com brita e *Typha* spp e brita e arroz com os tanques controles, observa-se que a *Typha* spp promoveu a maior remoção de NTK e N-amoniacal. Este nitrogênio foi assimilado pela biomassa, principalmente, pela zona radicular.

g) Os resultados mostraram que o sistema em escala piloto funcionou adequadamente reduzindo a poluição e contaminação dos efluentes. Reafirma-se assim a proposta da presente pesquisa: aplicar tratamento simples e de baixo

custo para águas poluídas a fim de facilitar seu reuso na irrigação e liberar os corpos d'água de melhor qualidade para usos mais exigentes. Dessa forma, se reverte o tratamento em melhorias na saúde, em benefícios sociais e econômicos para a população.

h) As terras úmidas podem ser uma alternativa para purificação de águas poluídas em áreas residenciais distantes dos centros urbanos e excluídas dos sistemas convencionais de tratamento.

i) Em regiões de clima tropical e sub-tropical de países em desenvolvimento, como no caso do nordeste do Brasil, onde predomina a escassez de recursos hídricos e financeiros, onde falta alimento para grande parte da população, efluentes de sistemas de terras úmidas podem ser usados tanto na agricultura como na aquicultura. Além de solucionar o problema da disposição final de águas residuárias, possibilita o aumento da oferta de alimento a um custo mais acessível para a população.

j) O nitrogênio contido nas águas residuárias utilizadas para a irrigação tem o mesmo efeito para as plantas que o nitrogênio contido nos fertilizantes (nutriente e estimulante), logo a escolha da cultura a ser irrigada com água residuária e a intensidade das aplicações devem ser criteriosas, pois, se de um lado a falta de nitrogênio pode limitar a produção, por outro lado, o excesso pode reduzi-la ou tornar a planta imprópria para o consumo.

m) O uso do efluente das terras úmidas construídas é restritivo para alguns tipos de culturas e para o solo. A sua aplicação deve se limitar a solos com boa drenagem e à aguação de plantas tolerantes a elevada concentração de sais, tais como: arroz, soja, acerola, mamoeiro, cana-de-açúcar, girassol, mamona, milho, alfafa, capim.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

- APHA – AWWA – WPCF. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 19<sup>th</sup> edition. Washington D.C. American Public Health Association. 1995.
- ARMSTRONG, N.; ARMSTRONG, J. & BECKETT, P. M. "Measurements and modeling of oxygen release from roots of *Phragmites australis*." **Constructed wetlands in water pollution control** (Adv. Wat. Pollut. Control n. 11) Pergamon Press, Oxford/UK, pp. 41-51, 1990.
- AYERS, R.S. & WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, n.º. 29. Campina Grande/UFPB, 1991.
- BARNES, D. & BLISS, P.J. **Biological Control of Nitrogen in Wastewater Treatment**. 1th edition, London: E & F. N. Spon Ltda. 146p, 1983.
- BERTHOLDO, D. T. **Eficiência de banhados construídos no tratamento de águas provenientes da drenagem urbana e no pós-tratamento de efluentes líquidos tratados por processo anaeróbio (reator UASB)**. UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul , Porto Alegre/RS, 1999. 112p. (Dissertação de Mestrado).
- BRANCO, S. M. **Hidrobiologia aplicada à engenharia sanitária**. 3<sup>a</sup> ed. São Paulo. CETESB/ACATESB. 1986. 640p.
- BRIX, H. **Functions of macrophytes in construted Wetlands**. Water Science & Technology, vol. 29 n.º 4, 1994.
- CARTAXO, M. F. S. **Aspectos sanitários de um sistema de irrigação, em escala piloto, utilizando esgoto doméstico tratado**. UFPE – Universidade Federal de Pernambuco, Recife/PE. 2003. 169 p. (Dissertação de Mestrado).

*Referências Bibliográficas*

CEBALLOS, B. S. O., OLIVEIRA, H.; MEIRA, C.M.B.S.; KÔNIG,A.; SOUSA, J.T. **River quality improvement by natural and constructed wetland systems in the tropic semi-arid region of Northeast Brazil (2000)**. 7<sup>th</sup> International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control. – Lake Buena Vista – Florida (USA).

COLE, S. **The emergence of treatment wetlands**. Environment Science & Technology News, may I, 1998.

COMEAU, Y.; BRISSON, J.; REVILLE, J.P.; FORGET, C. e DRIZO, A. **Phosphorus removal from trout farm effluents by constructed wetlands**. 7<sup>th</sup> International Conference on Wetland Systems for Water Pollution control. Flórida, USA. P 87-93, 2000.

CONAMA (1986) **Resolução nº 20 de 18/06/1986**. Brasília: CONAMA

CONTE, M. L.; LEOPOLDO, P.R.; ZUCCARI, M. L.; DAMASCENO, S. **Tratamento de águas servidas no meio rural através de processos fito-pedológico: resultados preliminares**. XXI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA. ANAIS Santa Maria, RS, 1992.

COOPER. P. F.; GREEN, M. D.; SHUTES, R.B.E. **Reed beds and constructed wetlands for wastewater treatment**. WRc Publications, Medmenham, Marlow, Buckinghamshire, UK, 206p, 1999.

DE OLIVEIRA, R. **The performance of deep waste stabilization ponds in Northeast Brazil**. (Ph. D., Thesis), University of Leeds, U.K., 231 p, 1990.

DENNY, P. **Implementation of Constructed Wetlands in Developing Counties**. *Water Science Technology*. London, v.35, nº.5, p.27-34, 1997.

EMBRAPA. [www.cnpaf.embrapa.br/pesquisa/arroz.htm](http://www.cnpaf.embrapa.br/pesquisa/arroz.htm)



*Referências Bibliográficas*

- EPA – ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Process design manual land treatment of municipal wastewater.** Cincinnati, 1988.
- ESTEVES, F.A. **Fundamento de limnologia.** 4 ed. Rio de Janeiro, Interciência/FINEP, 699p, 1988.
- FEACHEM, F. G. *et al.* **Sanitation and Disease. – Health aspects of excreta and wastewater management.** Chichester: OMS, 1983.
- FRANÇA, M.C.F. **Avaliação das propriedades microbiológicas, biológicas e agronômicas de quatro compostos orgânicos da Paraíba.** Dissertação de Mestrado. UFPB. Campina Grande – PB. 80p. 1998.
- GOPAL. B. **Natural and constructed wetlands for wastewater treatment municipal, industrial and agricultural.** Lewis Publishers, Chelsea, MI, USA, 1999.
- GUIMARÃES, A. V. A. **Utilização de sistema “Wetland” para tratamento de efluente pré-tratado anaerobiamente.** Dissertação de Mestrado, UEPB, Campina Grande – PB. 112p. 2001.
- GUIMARÃES, A. B.; BREDA, C. C.; LEOPOLDO, P. R. **Papel do aguapé na despoluição de águas servidas no meio rural.** XXVII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA. Anais, Pelotas, RS, 1999.
- GUNTENSPERGEN, G. R., STEARNS, F. & KADLEC, J. A. “Wetland vegetation”. Anais: 1<sup>st</sup> **International Conference on Constructed Wetlands for Wastewater Treatment**, Chattanooga – Tennessee/USA, vol. I, n<sup>o</sup>. 5, pp. 73-88, junho/1988.
- HAMMER, D. A. & KNIGHT, R. L. **Designing constructed wetlands for nitrogen removal.** Water Science and Technology, vol. 29, n<sup>o</sup>4. pp 15-27, 1994.

*Referências Bibliográficas*

- JENKINSON, D.S. & LADD, J.N. **Microbial biomass in soil: Measurement and Turnover**. In: PAUL, E.A. & LADD, J.N., eds. Soil Biochemistry. New York, Marcel Dekker, 1981. v.5. p.415-471.
- JOLY, A. B. **Botânica: introdução à taxonomia vegetal**. 5ª Edição, São Paulo/SP, Ed. Nacional, 1979. 465p.
- KHATIWALA, N. R; POLPRASET, C. **Kinetics of fecal coliform removal in constructed wetlands**. Water Science Technology. New York, v.40, n.3, p.109-119.1999.
- LEOPOLDO, P. R.; GUIMARÃES, A. B.; PIEDADE, A.R. **Emprego de plantas aquáticas em sistema integrado de tratamento de esgoto de pequena comunidade rural**. XXVII CONGRESSO INTAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL – ABES, 2000.
- LORENZI, H. **Plantas daninhas do Brasil: terrestres, aquáticas, parasitas, tóxicas e medicinais**. Nova Odessa/SP, 1982. 425p.
- MALAVOLTA, E. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Associação Brasileira para pesquisa da Potassa e do Fósforo, São Paulo, 1989.
- MANSOR, M.T. C. **Uso de leitos de macrófitas no tratamento de águas residuárias**. FEAGRI – Faculdade de Engenharia Agrícola – UNICAMP, Campinas/SP, 1998. 106p. (Dissertação de mestrado).
- MARQUES, D.M. **Terras úmidas construídas de fluxo subsuperficial**. In.: CAMPOS, J. R. **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**. Rio de Janeiro – RJ, ABES/ PROSAB.409p.1999.

*Referências Bibliográficas*

- MEIRA, C. M. B. S. **Utilização de terras úmidas no tratamento de águas superficiais poluídas: influência do tipo de leito e de macrófita.** Tese de Doutorado. UFCG, Campina Grande, 171p, 2004.
- METCALF, L. and EDDY, H.P. **Wastewater engineering: treatment, disposal and reuse.** 3<sup>a</sup> ed. McGraw-Hill, Inc., Singapore, 1991. 1334p.
- MOORE, J. A. **Human ecology.** American Zoologist, v.25, 1985. p.483 – 637.
- ODUM, E. P. **Fundamentos de Ecologia.** 4<sup>a</sup> ed., Lisboa. Fundação Calouste Gulbenkian, 927p, 1971.
- OLIVEIRA, H. R. **Caracterização e tratamento de águas superficiais represadas na bacia do rio Bodocongó utilizando wetland construído.** Dissertação de Mestrado. UFPB – Campina Grande. 105p. 2001
- PAGANINI, W. da S. **Disposição de esgoto sanitário no solo.** IN: **Escoamento à Superfície.** 1 ed. São Paulo: Fundo Editorial da AESABESP, 1997.
- PHILIPPI, L. S. **Utilização de um sistema experimental por meio de um wetland construído no tratamento de esgotos domésticos pós tanque séptico.** In: SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2000, Porto Seguro/BA. Anais/ABES.
- REDDY, K. R.; D'ANGELO, E. M. **Biogeochemical indicators to evaluate pollutant removal efficiency in constructed wetlands.** Water Science Techonology. London, v.35, n. 5, p. 1- 10, 1997.
- REUTER, J. E.; DJHAN, T; GOLDMAN, C. R. **The use of wetlands for nutrient removal from surface runoff in a cold climate region of California – results from a newly constructed wetland at Lake Tahoe.** J. Environ. Mannage,35, 1992.

- RICHARDSON, C.J. "Freshwater Wetlands: Transformers, Filters, or Sinks?", in **Freshwater Wetlands and Wildlife**, editado por Sharitz, R.R. & Gibbons, J.W., CONF - 8603101. Oak Ridge, TN: U.S. Department of Energy, pp. 25-46, 1989.
- RIVERA, F; WARREN, A.; CURDS, C.R; ROBLES, E.; GUTIERREZ, A.; GALLEGOS, E.; CALDERÓN, A. **The application of the root zone method for the treatment systems and reuse of high-strength abattoir waste in Mexico**. In: *Water Science Technology*. Oxford: Elsevier.v.35,n.5,p. 271-278, 1997.
- ROSTON, D.M. **Considerações sobre o uso de leitos de macrófitas no tratamento de resíduos de pequenas comunidades rurais**. Anais XXII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, Ilhéus (BA), 1993.
- ROSTON, D.M. **Uso de várzeas artificiais para tratamento de efluente de tanque séptico**. Anais XXIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, Campinas/SP, 1994.
- SALATI FILHO; TAU-K-TORNISIELO, S.M.; SALATI, E. **Public water supply using constructed wetlands systems**. In.: 6<sup>th</sup> International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control Proceedings. UNESP IAWQ, Águas de São Pedro, SP-Brasil, 1998.
- SALATI, E. Jr. SALATI, E and SALATI, E. **Wetland projects developed in Brazil**. *Water Science Technology*. New York. V. 40. n. 3.p. 19-25, 1999.
- SAWYER, C. N., McCARTY, P.L. e PARKIN, G. **Chemistry for environmental engineering**. 4<sup>a</sup> Edição. New York: McGraw-Hill, Inc, 1994.
- SILVA, S. A. **On the Treatment of Domestic Sewage in Waste Stabilization Ponds in Northeast Brazil**. PhD Thesis, University of Dundee, U. K., 1982.
- SILVEIRA NETO, J. W. **Aproveitamento de efluentes de estações de tratamento de esgotos de indústrias têxteis**. Tese de Doutorado, UFC, Fortaleza – CE. 190p. 2003.

*Referências Bibliográficas*

- SIQUEIRA, J. O e FRANCO, A.A. **Biotecnologia do solo: Fundamentos e perspectivas.** Lavras: ESAL, 1988.
- SOKAL, R. R. & ROHLF, F. J. **Biometry – The Principles and Practice of Statistics in Biological Research.** 2<sup>nd</sup> edition. San Francisco: W. H. Freeman and Company, 1981.
- SOUSA, M.F.N. **Estudo da influência do tempo de detenção no comportamento de nutrientes ao longo de uma série de lagoas (profundas) de estabilização.** UFPB, Campina Grande, 1988, 185 p. (Dissertação de Mestrado).
- SOUZA, L. E.L. & BERNARDES, R. S. **Avaliação do desempenho de um RAFA no tratamento de esgotos domésticos, com pós-tratamento através de leitos cultivados.** Anais: Simpósio Ítalo-Brasiliiano de Engenharia Sanitária-Ambientale, Gramado/RS, vol. I, nº 9, junho/1996.
- SPERLING, M.V. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** V 1, Ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 1996a. 243p.
- SPERLING, M.V. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: princípios básicos do tratamento de esgotos.** V 2, Ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 1996b. 211p.
- SURMAN, S.; MORTON, G.; KEEVIL, B. **Biofilms: an overview.** Microbiology Digest, v. 13, n.1, p. 33-38, 1996.
- TEDESCO, M. J. **Análises de solo, plantas e outros materiais.** 2. ed rev. e ampl., Porto Alegre: Departamento de Solos, UFRGS, 1995.

*Referências Bibliográficas*

- VALENTIM, M. A. A. **Uso de leitos cultivados no tratamento de efluente de tanque séptico modificado.** UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas, Campinas/SP, 1999.119p. (Dissertação de Mestrado).
- VAN HAANDEL, A. C. & LETTINGA, G. **Tratamento Anaeróbio de Esgoto em Regiões de Clima Quente.** Campina Grande – PB: Egraf, 1994.
- VICENT, G. **Use of artificial wetlands for the treatment of recreational wastewater.** Water Science Technology. London.v.19. p.67-70. 1994.
- VILLANUEVA, A. O. N. **Simulação de áreas de inundação dinâmicas: canais compostos e wetlands.** IPH – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre/RS, 1997. 125p. (Tese de Doutorado).
- VYMAZAL, M.A.A. **Project of Construted Wetlands for Treating Septic Tank Effluent.** Abstracts: 6<sup>th</sup> International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control, p. 135, Águas de São Pedro/SP, 1998.
- WATSON, J.T. E HOBSON, J. A. **Hidraulic design considerations and control srructers for construted wetlands for wastewater treatment.** In: D.A Hammer (ed.) **Construted Wetlands for Wastewater Treatment: Municipal, Industrial and Agricultural.** Michigan: Lewis Publishers, USA, 1989. Chapter 30, p. 379-391.
- ZHU, T.; SIKORA, F.J. **Ammonium and nitrate removal in vegetated and unvegetated gravel bed microcosm wetlands.** Water Science Technology 3, 1995.

## 8. APÉNDICE

---

### Temperatura (°C)

DATA			Dias do experimento	Pontos de amostragem																								
Dia	Mês	Ano		P2	B1	B2	B3	$\bar{B}$	A1	A2	A3	$\bar{A}$	BT1	BT2	BT3	$\bar{BT}$	BA1	BA2	BA3	$\bar{BA}$	AT1	AT2	AT3	$\bar{AT}$	AA1	AA2	AA3	$\bar{AA}$
23	outubro	2002	44	23,0	23,5	23,2	23,5	23,4	23,5	24,0	23,5	23,7	24,0	24,0	23,0	23,7	23,0	23,0	23,0	23,0	23,5	23,6	23,6	23,6	23,5	23,0	23,5	23,3
19	novembro	2002	71	25,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	25,0	25,0	24,7	24,5	24,0	24,0	24,2	24,0		24,0	24,0	24,0	24,0	24,5	24,2	24,0	24,0	24,0	24,0
17	dezembro	2002	99	25,0	24,5	24,0	24,0	24,2	24,0	24,5	24,5	24,3	25,0			25,0	24,5	24,5	24,5	24,5	24,5	24,5	24,5	25,0	24,5	24,5	24,7	
15	janeiro	2003	128	24,0	25,0	25,0	26,0	25,3	25,0	25,5	25,5	25,3	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	24,5	25,0	25,0	24,8	25,0	25,0	25,0	25,0
11	fevereiro	2003	155	26,0	25,5	25,0	25,5	25,3	26,0	25,5	25,5	25,7	26,0	25,0	25,0	25,3	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0
12	março	2003	184	25,0	24,0	24,0	24,0	24,0	25,0	25,5	25,0	25,2	25,0	25,0	25,0	25,0	24,0	24,0	24,0	24,0	25,0	25,0	25,0	25,0	24,5		25,0	24,8
09	abril	2003	211	25,5	24,5	24,0	24,0	24,2	25,0	24,5	25,0	24,8	25,0	25,0	25,0	25,0	24,0	24,0	24,0	24,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0
14	maio	2003	247	25,0	25,0	25,0	24,5	24,8	24,0	24,0	25,0	24,3	25,5	25,0	25,0	25,2	24,0	25,0	25,0	24,7	24,0	25,0	24,5	24,5	24,0	25,0	25,0	24,7
07	junho	2003	270	24,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	22,5	23,0	22,8	23,0			23,0

### Condutividade elétrica (umho/cm)

DATA			Dias do experimento	Pontos de amostragem																								
Dia	Mês	Ano		P2	B1	B2	B3	$\bar{B}$	A1	A2	A3	$\bar{A}$	BT1	BT2	BT3	$\bar{BT}$	BA1	BA2	BA3	$\bar{BA}$	AT1	AT2	AT3	$\bar{AT}$	AA1	AA2	AA3	$\bar{AA}$
23	outubro	2002	44	1727	1549	1656	1696	1634	1937	1998	1804	1913	3130	3310	3000	3147	1789	1941	1777	1838	2490	2310	2100	2300	1868	2010	1937	1938
19	novembro	2002	71	1790	1607	1905	1707	1740	1961	2130	2120	2070	3420	3530	4240	3730	1916		2210	2063	2530	2820	2310	2553	2230	2320	2300	2283
17	dezembro	2002	99	1870	1700	1870	1857	1809	1949	2050	2290	2096	4930			4930	3091	3440	3090	3207	3550	3420	3930	3633	2910	2740	3130	2927
15	janeiro	2003	128	1679	1557	1597	1549	1568	1715	2030	1701	1815	5560	5120	8150	6277	3610	3440	3380	3477	5160	3950	3500	4203	3270	3640	4170	3693
11	fevereiro	2003	155	1695	1323	1415	1376	1371	1493	1731	1593	1606	3940	3800	6650	4797	3430	2500	2470	2800	2990	3260	3070	3107	3020	3200	2880	3033
12	março	2003	184	1589	1161	1347	1276	1261	1289	1333	1317	1313	4300	5280	6260	5273	1559	1491	1465	1505	3170	3770	3320	3420	1488		1461	1475
09	abril	2003	211	1578	1263	1305	1304	1291	1345	1302	1322	1323	3230	4190	6190	4537	1757	1677	1717	1717	661	666	622	650	448	448	442	446
14	maio	2003	247	1591	1418	1499	1496	1471	1588	1565	1531	1561	3070	3850	4510	3810	2070	2020	2250	2113	3000	3690	2420	3037	3260	3420	2700	3127
07	junho	2003	270	1042	835	945	1006	929	1482	1601	1596	1560	2780	3300	3670	3250	2100	1635	1698	1811	2400	3310	2640	2783	2540			2540



**pH**

DATA			Dias do experimento	Pontos de amostragem																											
Dia	Mês	Ano		P2	B1	B2	B3	$\bar{B}$	A1	A2	A3	$\bar{A}$	BT1	BT2	BT3	$\bar{BT}$	BA1	BA2	BA3	$\bar{BA}$	AT1	AT2	AT3	$\bar{AT}$	AA1	AA2	AA3	$\bar{AA}$			
23	outubro	2002	44	7,54	7,99	7,76	7,79	7,85	7,68	7,68	7,67	7,68	7,53	7,55	7,66	7,58	8,05	7,98	7,87	7,97	7,56	7,56	7,65	7,59	7,22	7,21	7,16	7,20			
19	novembro	2002	71	7,64	7,83	7,89	8,00	7,91	7,67	7,68	7,81	7,72	7,63	7,67	7,63	7,64	7,69	7,59	7,64	7,53	7,73	7,64	7,63	7,22	7,39	7,25	7,29				
17	dezembro	2002	99	7,70	7,79	8,24	7,93	7,99	7,71	7,97	7,72	7,80	7,78		7,78	7,30	7,53	7,60	7,48	7,72	7,72	7,89	7,78	7,62	7,38	7,51	7,50				
15	janeiro	2003	128	7,42	7,96	8,03	7,95	7,98	7,71	7,82	7,84	7,79	7,59	7,75	7,76	7,70	7,72	7,70	7,71	7,71	7,73	7,63	7,72	7,69	7,55	7,42	7,48	7,48			
11	fevereiro	2003	155	7,53	7,80	7,93	7,76	7,83	7,73	7,78	7,74	7,75	7,76	7,60	7,76	7,71	7,80	7,64	7,63	7,69	7,56	7,54	7,58	7,56	7,39	7,73	7,48	7,53			
12	março	2003	184	7,70	7,91	8,27	8,19	8,12	8,05	7,47	7,83	7,78	7,59	8,15	7,99	7,91	7,90	7,59	7,99	7,83	7,37	7,47	7,49	7,44	7,48		7,53	7,51			
9	abril	2003	211	7,71	8,02	8,13	8,18	8,11	7,72	7,73	7,85	7,77	7,91	7,98	7,97	7,95	7,63	7,66	7,50	7,60	7,73	7,90	7,82	7,82	7,21	7,28	7,29	7,26			
14	maio	2003	247	7,75	8,07	8,17	8,19	8,14	7,91	7,99	8,03	7,98	7,91	7,92	7,98	7,94	7,91	7,91	7,83	7,88	7,97	7,94	7,80	7,90	7,53	7,59	7,43	7,52			
07	junho	2003	270	7,33	7,60	7,93	7,66	7,73	7,66	7,60	7,55	7,60	7,36	7,34	7,48	7,39	7,40	7,36	7,13	7,30	7,03	7,28	7,22	7,18	7,02			7,02			

**Alcalinidade (mg CaCO<sub>3</sub>/l)**

DATA			Dias do experimento	Pontos de amostragem																											
Dia	Mês	Ano		P2	B1	B2	B3	$\bar{B}$	A1	A2	A3	$\bar{A}$	BT1	BT2	BT3	$\bar{BT}$	BA1	BA2	BA3	$\bar{BA}$	AT1	AT2	AT3	$\bar{AT}$	AA1	AA2	AA3	$\bar{AA}$			
23	outubro	2002	44	454	336	347	336	340	370	358	347	358	661	672	560	631	392	392	420	401	588	515	504	536	504	515	510	510			
19	novembro	2002	71	364	336	370	336	347	392	409	437	413	734	767	896	799	409		465	437	487	526	476	496	476	476	549	500			
17	dezembro	2002	99	549	398	409	448	418	476	577	465	506	1058			1058	767	694	762	741	694	689	650	678	689	661	756	702			
15	janeiro	2003	128	444	374	379	379	377	429	429	444	434	1298	1146	1641	1362	833	859	783	825	1020	783	687	830	869	884	899	884			
11	fevereiro	2003	155	454	297	358	308	321	364	386	420	390	857	829	1372	1019	818	1047	605	823	650	616	633	633	728	784	706	739			
12	março	2003	184	454	269	330	314	304	325	364	347	345	818	1512	1137	1156	409	398	392	400	644	722	644	670	465		454	460			
9	abril	2003	211	448	325	308	308	314	319	336	347	334	756	862	1176	931	442	437	437	439	661	666	622	650	448	448	442	446			
14	maio	2003	247	441	372	368	363	368	382	412	397	397	735	833	926	831	490	456	529	492	564	760	568	631	784	627	789	733			
07	junho	2003	270	235	196	230	225	217	343	348	348	346	578	588	711	626	529	402	426	452	529	578	490	532	622			622			

### Cloretos (mg Cl/L)

DATA			Dias do experimento	Pontos de amostragem																								
				P2	B1	B2	B3	$\bar{B}$	A1	A2	A3	$\bar{A}$	BT1	BT2	BT3	$\bar{BT}$	BA1	BA2	BA3	$\bar{BA}$	AT1	AT2	AT3	$\bar{AT}$	AA1	AA2	AA3	$\bar{AA}$
23	outubro	2002	44	115	139	179	174	164	244	254	154	217	567	582	483	537	184	204	169	186	334	304	219	286	164	224	214	201
19	novembro	2002	71	253	223	325	257	268	355	398	369	374	636	699	860	732	306		393	350	447	544	388	460	354	403	350	369
17	dezembro	2002	99	251	256	310	306	291	286	325	379	330	951			951	562	641	562	588	670	631	734	678	508	458	552	506
15	janeiro	2003	128	202	207	222	202	210	251	271	197	240	1217	1084	2055	1452	646	616	596	619	1138	857	670	888	601	675	798	691
11	fevereiro	2003	155	94	59	74	59	64	84	158	99	114	857	829	1372	1019	818	1047	605	823	419	488	429	445	384	439	355	393
12	março	2003	184	103	59	103	79	80	84	89	74	82	808	1114	1394	1105	128	108	103	113	522	685	577	595	79		89	84
9	abril	2003	211	171	141	156	161	153	161	151	166	159	624	936	1500	1020	227	237	237	234	367	780	282	476	216	332	196	248
14	maio	2003	247	131	151	171	176	166	181	171	156	169	549	765	956	757	317	272	337	309	569	720	378	556	574	524	453	517
07	junho	2003	270	111	96	126	146	123	227	277	232	245	609	750	805	721	367	267	272	302	498	720	559	592	448			448

### Turbidez (NTU)

DATA			Dias do experimento	Pontos de amostragem																								
				P2	B1	B2	B3	$\bar{B}$	A1	A2	A3	$\bar{A}$	BT1	BT2	BT3	$\bar{BT}$	BA1	BA2	BA3	$\bar{BA}$	AT1	AT2	AT3	$\bar{AT}$	AA1	AA2	AA3	$\bar{AA}$
23	outubro	2002	44	54,0	1,0	1,0	1,0	1,0	3,5	3,0	3,0	3,2	12,0	1,5	1,0	4,8	5,0	2,0	3,0	3,3	7,0	3,4	3,5	4,6	8,0	14,0	7,0	9,7
19	novembro	2002	71	47,0	1,0	1,5	0,7	1,1	5,0	5,0	2,0	4,0	2,4	2,7	1,1	2,1	1,0		4,1	2,6	7,7	4,0	4,1	5,3	7,0	9,0	7,3	7,8
17	dezembro	2002	99	19,0	1,0	0,4	1,0	0,8	6,0	4,5	7,0	5,8	1,0			1,0	7,0	3,0	2,0	4,0	7,7	6,0	7,0	6,9	3,0	10,0	3,0	5,3
15	janeiro	2003	128	12,0	0,2	0,1	0,2	0,2	4,0	2,6	3,5	3,4	4,0	0,1	0,1	1,4	4,7	3,9	2,5	3,7	8,8	3,4	5,2	5,8	6,1	15,0	7,5	9,5
11	fevereiro	2003	155	32,0	0,9	0,4	0,4	0,6	4,5	3,4	3,9	3,9	3,0	5,2	0,6	2,9	37,0	25,0	23,0	28,3	7,0	10,0	3,0	6,7	2,6	5,5	6,0	4,7
12	março	2003	184	50,0	1,7	1,0	2,0	1,6	6,0	10,0	6,0	7,3	0,5	1,9	1,0	1,1	2,8	4,0	4,0	3,6	5,0	27,0	2,8	11,6	7,0		5,3	6,2
9	abril	2003	211	18,0	0,5	0,9	1,2	0,9	4,0	4,9	5,1	4,7	3,0	4,6	1,0	2,9	1,5	0,9	1,2	1,2	3,0	7,0	1,3	3,8	15,0	10,0	30,0	18,3
14	maio	2003	247	40,0	0,3	0,5	0,3	0,4	2,8	2,2	4,4	3,1	8,0	16,0	3,9	9,3	2,1	1,1	3,0	2,1	3,5	14,0	3,7	7,1	32,0	15,0	31,0	26,0
07	junho	2003	270	19,0	0,5	1,0	1,0	0,8	5,0	4,0	4,0	4,3	2,0	6,0	4,0	4,0	5,0	6,0	6,0	5,7	6,0	1,5	5,0	4,2	2,2			2,2

### Dureza Total (mg CaCO<sub>3</sub>/L)

DATA			Dias do experimento	Pontos de amostragem																								
Dia	Mês	Ano		P2	B1	B2	B3	$\bar{B}$	A1	A2	A3	$\bar{A}$	BT1	BT2	BT3	$\bar{BT}$	BA1	BA2	BA3	$\bar{BA}$	AT1	AT2	AT3	$\bar{AT}$	AA1	AA2	AA3	$\bar{AA}$
23	outubro	2002	44	327	337	426	327	363	426	376	416	406	594	644	574	604	455	386	436	426	545	535	446	508	495	475	436	469
19	novembro	2002	71	410	439	361	371	390	390	527	517	478	644	605	751	666	439		536	488	488	527	507	507	468	527	507	
17	dezembro	2002	99	299	308	317	317	314	317	353	398	356	724		724	634	661	615	637	534	525	570	543	588	588	597	591	
15	janeiro	2003	128	281	272	253	272	265	317	272	272	287	1041	815	1358	1071	643	624	606	624	769	588	543	634	670	688	751	703
11	fevereiro	2003	155	253	244	226	226	232	199	235	244	226	624	588	968	727	634	453	425	504	534	498	453	495	552	561	516	543
12	março	2003	184	259	200	229	222	217	207	222	237	222	555	659	681	632	318	311	296	308	466	503	437	469	281		340	311
9	abril	2003	211	318	229	244	252	242	281	259	296	279	503	577	747	609	385	355	370	370	333	474	333	380	348	333	363	348
14	maio	2003	247	244	244	289	259	264	266	266	266	266	474	548	629	550	422	392	429	414	422	592	414	476	622	481	585	563
07	junho	2003	270	340	230	290	250	257	360	510	420	430	700	620	700	673	600	460	460	507	740	640	660	680	780			780

### Bicarbonato (mg CaCO<sub>3</sub>/L)

DATA			Dias do experimento	Pontos de amostragem																								
Dia	Mês	Ano		P2	B1	B2	B3	$\bar{B}$	A1	A2	A3	$\bar{A}$	BT1	BT2	BT3	$\bar{BT}$	BA1	BA2	BA3	$\bar{BA}$	AT1	AT2	AT3	$\bar{AT}$	AA1	AA2	AA3	$\bar{AA}$
23	outubro	2002	44	360	255	265	285	268	305	300	330	312	565	550	515	543	335	370	335	347	485	435	425	448	410	405	425	413
19	novembro	2002	71	355	260	285	280	275	310	310	340	320	575	595	720	630	330		370	350	435	425	405	422	390	400	410	400
17	dezembro	2002	99	390	295	320	315	310	340	350	365	352	755		755	560	525	615	567	480	490	550	507	535	515	610	553	
15	janeiro	2003	128	444	371	371	371	371	429	429	444	434	1282	1097	1526	1302	819	795	775	796	1014	770	678	821	868	882	897	882
11	fevereiro	2003	155	444	283	307	317	302	361	371	395	376	853	780	1360	998	809	614	585	669	629	609	609	616	722	751	692	722
12	março	2003	184	434	258	312	288	286	322	351	346	340	795	921	1063	926	385	371	380	379	644	644	624	637	434		439	437
9	abril	2003	211	436	272	297	285	285	316	335	316	322	702	841	1164	902	436	430	430	432	500	658	506	555	436	417	430	428
14	maio	2003	247	435	290	311	316	306	362	357	362	360	719	812	983	838	461	455	518	478	564	714	549	609	730	616	688	678
07	junho	2003	270	233	166	223	223	204	326	347	347	340	574	585	709	623	528	398	424	450	512	549	481	514	600			600

**DQO (mg/L)**

DATA			Dias do experimento	Pontos de amostragem																											
Dia	Mês	Ano		P2	B1	B2	B3	$\bar{B}$	A1	A2	A3	$\bar{A}$	BT1	BT2	BT3	$\bar{BT}$	BA1	BA2	BA3	$\bar{BA}$	AT1	AT2	AT3	$\bar{AT}$	AA1	AA2	AA3	$\bar{AA}$			
23	outubro	2002	44	126	91	100	108	100	100	139	139	126	134	152	143	143		104	134	119	108	143	126	126	186	134	117	146			
19	novembro	2002	71	244	160	144	120	141	120	120	112	117	160	232	208	200	112		112	112	112	144	176	144	184	120	128	144			
17	dezembro	2002	99	104	126	65	48	80	101	99	82	94	195		195	134	169	169	157	117	186	152	152	126	134	82	114				
15	janeiro	2003	128	87	87	24	24	45	63	95		79	151	143		147	103	60	107	90	56		83	70	28	95	87	70			
11	fevereiro	2003	155	371	360	315	376	357	369		365	367	365	386		376	391	396	396	394	305	254	325	296	325	371		348			
12	março	2003	184	167	301	179	321	267	103		231	167	256	359	372	329	154	192	141	162	281	272	205	253	141		141	141			
9	abril	2003	211	119	23	23	38	28	23	31	23	26	162			162	46	62	62	57	92	185	69	115		54	54	54			
14	maio	2003	247	62	47	93	31	57	47	47	78	57	116		155	136	62	70	78	70	93	101	70	88	62	70	78	70			
07	junho	2003	270	86	39	86	55	60	133		117	125	164	125	195	161	125	148	188	154		125	151	138	150	140	98	129			

**DBO<sub>5</sub> (mg/L)**

DATA			Dias do experimento	Pontos de amostragem																											
Dia	Mês	Ano		P2	B1	B2	B3	$\bar{B}$	A1	A2	A3	$\bar{A}$	BT1	BT2	BT3	$\bar{BT}$	BA1	BA2	BA3	$\bar{BA}$	AT1	AT2	AT3	$\bar{AT}$	AA1	AA2	AA3	$\bar{AA}$			
23	outubro	2002	44	12	2	2	2	2	3	2	1	2	2	1	1	1	5	4	5	5	2	2	3	2	5	5	5	5			
19	novembro	2002	71	10	2	1	1	1	2	2	2	2	2	1	1	1	2		1	2	1	1	1	1	2	3	1	2			
17	dezembro	2002	99	12	1	1	1	1	1	1	1	1			1	2	1	2	2	1	1	2	1	2	2	2	2				
15	janeiro	2003	128	10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	2	1	2	2				
11	fevereiro	2003	155	11	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	3	3	2	3			
12	março	2003	184	13	1	1	2	1	3	3	3	3	2	2	2	2	2	3	3	3	1	1	1	1	3		4	4			
9	abril	2003	211	17	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2			
14	maio	2003	247	13	2	2	2	2	2	3	4	3	2	2	2	2	3	3	4	3	2	2	3	2	5	4	3	4			
07	junho	2003	270	13	1	1	1	1	1	1	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2				2			

### NTK (mgN/L)

DATA			Dias do experimento	Pontos de amostragem																								
Dia	Mês	Ano		P2	B1	B2	B3	$\bar{B}$	A1	A2	A3	$\bar{A}$	BT1	BT2	BT3	$\bar{BT}$	BA1	BA2	BA3	$\bar{BA}$	AT1	AT2	AT3	$\bar{AT}$	AA1	AA2	AA3	$\bar{AA}$
23	outubro	2002	44	38,67	8,41	8,41	8,41	8,41	11,21	16,25	17,93	15,13	2,24	1,68	1,12	1,68	11,21	12,33	12,33	11,96	7,85	6,16	11,21	8,41	12,33	9,53	10,65	10,84
19	novembro	2002	71	25,22	7,85	8,97	8,41	8,41	10,09	12,33	14,57	12,33	3,36	2,24	2,24	2,61	7,85		2,24	5,05	10,09	12,33	15,69	12,70	11,21	9,53	8,97	9,90
17	dezembro	2002	99	31,38	8,97	8,41	8,41	8,60	11,21	14,01	14,01	13,08	2,24			2,24	0,56	1,12	0,00	0,56	10,65	9,53	8,97	9,72	3,92	3,36	1,68	2,99
15	janeiro	2003	128	66,11	18,03	17,48	20,76	18,76	22,95	23,49	27,32	24,59	4,37	3,82	1,64	3,28	1,64	1,64	1,09	1,46	7,65	12,57	13,66	11,29	6,56	3,28	3,28	4,37
11	fevereiro	2003	155	31,19	4,96	7,09	8,51	6,85	17,01	17,01	15,60	16,54	4,25	4,25	3,54	4,01	0,71	0,71	3,54	1,65	4,96	7,60	11,34	7,97	3,54	2,84	2,13	2,84
12	março	2003	184	31,90	2,84	5,67	5,67	4,73	12,79	17,01	17,72	15,84	2,84	0,71	0,71	1,42	2,84	2,13	2,13	2,37	4,25	6,38	7,80	6,14	9,92		9,22	9,57
9	abril	2003	211	34,74	4,25	7,09	7,09	6,14	11,34	9,92	13,47	11,58	3,54	2,84	1,42	2,60	0,71	0,35	0,71	0,59	2,13	4,25	7,09	4,49	3,54	3,54	3,54	3,54
14	maio	2003	247	36,24	8,32	12,47	10,69	10,49	11,29	16,63	20,79	16,24	2,97	3,56	1,78	2,77	1,78	2,38	1,78	1,98	4,75	5,94	10,69	7,13	1,19	1,19	1,19	1,19
7	junho	2003	270	16,63	4,16	5,94	3,56	4,55	14,26	15,44	17,82	15,84	3,56	5,94	2,38	3,96	4,16	2,38	2,38	2,97	6,53	5,35	9,50	7,13	3,56			3,56

### Amônia (mgN-NH<sub>4</sub>/L)

DATA			Dias do experimento	Pontos de amostragem																								
Dia	Mês	Ano		P2	B1	B2	B3	$\bar{B}$	A1	A2	A3	$\bar{A}$	BT1	BT2	BT3	$\bar{BT}$	BA1	BA2	BA3	$\bar{BA}$	AT1	AT2	AT3	$\bar{AT}$	AA1	AA2	AA3	$\bar{AA}$
23	outubro	2002	44	30,82	7,85	7,29	7,85	7,66	11,21	11,77	17,93	13,84	1,12	0,56	0,56	0,75	11,21	11,77	12,33	11,77	6,72	5,60	10,65	7,66	12,33	8,97	10,65	10,65
19	novembro	2002	71	25,22	6,72	8,97	8,41	8,03	9,53	10,09	14,57	11,40	2,80	1,12	1,68	1,87	8,97		2,24	5,61	10,09	11,77	15,69	12,52	11,21	9,53	8,97	9,90
17	dezembro	2002	99	29,14	7,85	8,41	7,29	7,85	11,21	14,01	10,65	11,96	2,24			2,24	0,56	1,12	0,00	0,56	10,09	7,85	6,72	8,22	2,80	2,80	1,12	2,24
15	janeiro	2003	128	37,15	11,47	13,11	16,39	13,66	21,86	21,86	24,59	22,77	1,64	1,64	1,09	1,46	1,09	1,09	1,09	1,09	4,37	10,93	13,66	9,65	6,01	2,73	2,19	3,64
11	fevereiro	2003	155	29,77	4,96	6,38	8,51	6,82	17,01	17,01	14,18	16,07	3,54	3,54	2,13	3,07	0,71	0,71	2,84	1,42	4,96	7,60	10,63	7,73	2,13	1,42	1,42	1,66
12	março	2003	184	31,19	2,84	4,96	5,67	4,49	11,34	17,01	17,72	15,36	1,42	0,71	0,35	0,83	2,84	2,13	2,13	2,37	4,25	5,67	7,09	5,67	9,22		9,22	9,22
9	abril	2003	211	33,32	4,25	7,09	5,67	5,67	9,92	9,22	11,34	10,16	2,84	1,42	0,35	1,54	0,35	0,35	0,35	0,35	2,13	3,54	7,09	4,25	3,54	3,54	2,13	3,07
14	maio	2003	247	31,48	8,32	11,88	10,69	10,30	10,69	15,44	20,79	15,64	2,97	2,97	1,19	2,38	1,78	2,38	1,19	1,78	4,75	5,35	10,69	6,93	1,19	0,59	1,19	0,99
7	junho	2003	270	16,04	4,16	3,56	2,97	3,56	11,88	13,66	15,44	13,66	2,97	4,16	1,19	2,77	1,19	0,59	2,38	1,39	5,94	4,75	8,32	6,34	3,56			3,56

**NITRATO (mgN-NO<sub>3</sub>/L)**

**Pontos de amostragem**

B2	B3	$\bar{B}$	A1	A2	A3	$\bar{A}$	BT1	BT2	BT3	$\overline{BT}$	BA1	BA2	BA3	$\overline{BA}$	AT1	AT2	AT3	$\overline{AT}$	AA1	AA2	AA3	$\overline{AA}$
0,03	0,00	0,04	0,00	0,02	0,00	0,01	0,16	0,16	0,14	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,02	0,09	0,00	0,07	0,32	0,13	0,20	0,19	0,27	0,22	0,01		0,03	0,02	0,13	0,09	0,11	0,11	0,04	0,02	0,01	0,02
0,00	0,00	0,01	0,00	0,06	0,10	0,05	0,31			0,31	0,16	0,14	0,12	0,14	0,13	0,16	0,10	0,13	0,04	0,05	0,04	0,04
0,18	0,21	0,17	0,13	0,14	0,17	0,15	0,24	0,42	0,43	0,36	0,30	0,28	0,26	0,28	0,50	0,50	0,43	0,48	0,27	0,25	0,30	0,27
0,05	0,06	0,05	0,04	0,06	0,04	0,05	0,15	0,23	0,25	0,21	0,22	0,18	0,07	0,16	0,01	0,08	0,02	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00
0,09	0,14	0,11	0,08	0,07	0,08	0,08	0,43	0,43	0,54	0,47	0,27	0,17	0,09	0,18	0,26	0,28	0,39	0,31	0,12		0,09	0,11
0,11	0,06	0,14	0,05	0,06	0,20	0,10	0,19	0,44	0,60	0,41	0,10	0,09	0,10	0,10	0,17	0,33	0,19	0,23	0,10	0,11	0,11	0,11
0,02	0,07	0,33	0,02	0,08	0,12	0,07	0,79	0,51	0,41	0,57	0,17	0,13	0,11	0,14	0,27	0,35	0,29	0,30	0,19	0,31	0,19	0,23
0,04	0,10	0,16	0,10	0,18	0,10	0,13	0,23	0,30	0,36	0,30	0,15	0,17	0,14	0,15	0,74	0,30	0,17	0,40	0,10			0,10

**NITRITO (mgN-NO<sub>2</sub>/L)**

**Pontos de amostragem**

B2	B3	$\bar{B}$	A1	A2	A3	$\bar{A}$	BT1	BT2	BT3	$\overline{BT}$	BA1	BA2	BA3	$\overline{BA}$	AT1	AT2	AT3	$\overline{AT}$	AA1	AA2	AA3	$\overline{AA}$
0,01	0,02	0,02	0,02	0,07	0,07	0,05	0,05	0,03	0,02	0,03	0,04	0,05	0,07	0,05	0,04	0,00	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,06		0,00	0,03	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,05			0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,02	0,02	0,03	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,08	0,02	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,06	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,04	0,07	0,04	0,01	0,01	0,01	0,01
0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,00	0,01	0,02	0,01	0,02	0,017	0,02	0,01	0,01	0,013	0,02	0,01	0,01	0,013	0,01			0,01

### NITRATO (mgN-NO<sub>3</sub>/L)

DATA		Dias do experimento	Pontos de amostragem																								
Mês	Ano		P2	B1	B2	B3	$\bar{B}$	A1	A2	A3	$\bar{A}$	BT1	BT2	BT3	$\overline{BT}$	BA1	BA2	BA3	$\overline{BA}$	AT1	AT2	AT3	$\overline{AT}$	AA1	AA2	AA3	$\overline{AA}$
Outubro	2002	44	0,09	0,08	0,03	0,00	0,04	0,00	0,02	0,00	0,01	0,16	0,16	0,14	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
Novembro	2002	71	0,00	0,24	0,00	0,02	0,09	0,00	0,07	0,32	0,13	0,20	0,19	0,27	0,22	0,01		0,03	0,02	0,13	0,09	0,11	0,11	0,04	0,02	0,01	0,02
Dezembro	2002	99	0,02	0,03	0,00	0,00	0,01	0,00	0,06	0,10	0,05	0,31			0,31	0,16	0,14	0,12	0,14	0,13	0,16	0,10	0,13	0,04	0,05	0,04	0,04
Janeiro	2003	128	0,13	0,13	0,18	0,21	0,17	0,13	0,14	0,17	0,15	0,24	0,42	0,43	0,36	0,30	0,28	0,26	0,28	0,50	0,50	0,43	0,48	0,27	0,25	0,30	0,27
Fevereiro	2003	155	0,00	0,05	0,05	0,06	0,05	0,04	0,06	0,04	0,05	0,15	0,23	0,25	0,21	0,22	0,18	0,07	0,16	0,01	0,08	0,02	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00
Março	2003	184	0,04	0,10	0,09	0,14	0,11	0,08	0,07	0,08	0,08	0,43	0,43	0,54	0,47	0,27	0,17	0,09	0,18	0,26	0,28	0,39	0,31	0,12		0,09	0,11
Abril	2003	211	0,04	0,26	0,11	0,06	0,14	0,05	0,06	0,20	0,10	0,19	0,44	0,60	0,41	0,10	0,09	0,10	0,10	0,17	0,33	0,19	0,23	0,10	0,11	0,11	0,11
Maio	2003	247	0,07	0,91	0,02	0,07	0,33	0,02	0,08	0,12	0,07	0,79	0,51	0,41	0,57	0,17	0,13	0,11	0,14	0,27	0,35	0,29	0,30	0,19	0,31	0,19	0,23
Junho	2003	270	0,04	0,33	0,04	0,10	0,16	0,10	0,18	0,10	0,13	0,23	0,30	0,36	0,30	0,15	0,17	0,14	0,15	0,74	0,30	0,17	0,40	0,10			0,10

### NITRITO (mgN-NO<sub>2</sub>/L)

DATA		Dias do experimento	Pontos de amostragem																								
Mês	Ano		P2	B1	B2	B3	$\bar{B}$	A1	A2	A3	$\bar{A}$	BT1	BT2	BT3	$\overline{BT}$	BA1	BA2	BA3	$\overline{BA}$	AT1	AT2	AT3	$\overline{AT}$	AA1	AA2	AA3	$\overline{AA}$
Outubro	2002	44	0,07	0,03	0,01	0,02	0,02	0,02	0,07	0,07	0,05	0,05	0,03	0,02	0,03	0,04	0,05	0,07	0,05	0,04	0,00	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
Novembro	2002	71	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,06		0,00	0,03	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
Dezembro	2002	99	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,05			0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00
Janeiro	2003	128	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,02	0,02	0,03	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fevereiro	2003	155	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,08	0,02	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00
Março	2003	184	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	
Abril	2003	211	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
Maio	2003	247	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,06	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,04	0,07	0,04	0,01	0,01	0,01	0,01
Junho	2003	270	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,00	0,01	0,02	0,01	0,02	0,017	0,02	0,01	0,01	0,013	0,02	0,01	0,01	0,013	0,01			0,01

**SÓLIDOS TOTAIS (mg/L)**

DATA			Dias do experimento	Pontos de amostragem																								
Dia	Mês	Ano		P2	B1	B2	B3	$\bar{B}$	A1	A2	A3	$\bar{A}$	BT1	BT2	BT3	$\overline{BT}$	BA1	BA2	BA3	$\overline{BA}$	AT1	AT2	AT3	$\overline{AT}$	AA1	AA2	AA3	$\overline{AA}$
23	outubro	2002	44	891	879	1008	997	961	1134	1140	1016	1097	1987	2078	1848	1971	1063	1145	1048	1085	1588	1375	1301	1421	1029	1165	1159	1118
19	novembro	2002	71	892	893	1081	937	970	1117	1232	1108	1152	2062	2175	2573	2270	1053		1245	1149	1425	1563	1249	1412	1192	1287	1303	1261
17	dezembro	2002	99	939	933	1011	1023	989	1046	1083	968	1032	3163			3163	1640	1964	1713	1772	1986	2109	2203	2099	1941	1463	1749	1718
15	janeiro	2003	128	879	910	945	897	917	1016	1166	965	1049	3833	3499	5788	4373	2346	2272	2164	2261	3460	2561	2248	2756	2058	2336	2739	2378
11	fevereiro	2003	155	796	800	833	900	844	794	934	844	857	2314	2311	4255	2960	2152	1410	1633	1732	1758	1950	1767	1825	1733	1849	1627	1736
12	março	2003	184	981	729	888	833	817	836	843	763	814	2771	3341	4082	3398	834	863	847	848	2090	2403	2074	2189	880		888	884
9	abril	2003	211	721	689	733	694	705	749	753	748	750	1920	2567	3861	2783	970	887	923	927	1287	2228	1138	1551	906	828	896	877
14	maio	2003	247	631	841	878	838	852	815	822	767	801,3	1496	2128	2393	2006	1237	1129	1248	1205	1803	2274	1295	1790,7	1936	1416	1615	1656
7	junho	2003	270	620	399	588	595	527	789	856	884	843	1730	2100	2336	2055	1257	383	1089	909,7	1458	2369	1559	1795,3	1522			1522

**SÓLIDOS TOTAIS FIXOS (mg/L)**

DATA			Dias do experimento	Pontos de amostragem																								
Dia	Mês	Ano		P2	B1	B2	B3	$\bar{B}$	A1	A2	A3	$\bar{A}$	BT1	BT2	BT3	$\overline{BT}$	BA1	BA2	BA3	$\overline{BA}$	AT1	AT2	AT3	$\overline{AT}$	AA1	AA2	AA3	$\overline{AA}$
23	outubro	2002	44	734	740	829	831	800	956	965	816	912,3	1623	1840	1583	1682	857	943	875	891,7	1249	1182	1001	1144	886	976	987	949,7
19	novembro	2002	71	750	791	987	841	873	962	1106	1040	1036	1808	1948	2323	2026	945		1124	1035	1263	1427	1119	1269,7	1091	1151	949	1064
17	dezembro	2002	99	700	746	843	814	801	817	856	850	841	2437			2437	1381	1645	1512	1513	1712	1660	1921	1764,3	1321	1224	1457	1334
15	janeiro	2003	128	742	779	797	742	773	834	1001	848	894,3	3401	3139	5121	3887	2125	2032	1900	2019	3100	2295	2067	2487,3	1835	2035	2458	2109
11	fevereiro	2003	155	714	710	675	720	702	686	815	731	744	2037	2034	3837	2636	1892	1270	1374	1512	1758	1950	1767	1825	1733	1849	1627	1736
12	março	2003	184	838	634	735	713	694	693	710	702	701,7	2526	2953	3613	3031	746	740	773	753	1837	2139	1979	1985	772		803	788
9	abril	2003	211	669	647	663	635	648	687	620	691	666	1764	2355	3626	2582	867	794	812	824	1213	2082	975	1423,3	775	749	813	779
14	maio	2003	247	615	653	703	691	682	815	822	767	801,3	1331	1895	2220	1815	1007	863	1179	1016	1542	1985	1102	1543	1636	1176	1348	1387
7	junho	2003	270	451	385	501	458	448	745	750	745	747	1574	1874	2156	1868	1069	187	863	706	1250	1763	1431	1481	1374			1374

**SÓLIDOS TOTAIS VOLÁTEIS (mg/L)**

DATA			Dias do experimento	Pontos de amostragem																								
Dia	Mês	Ano		P2	B1	B2	B3	$\bar{B}$	A1	A2	A3	$\bar{A}$	BT1	BT2	BT3	$\overline{BT}$	BA1	BA2	BA3	$\overline{BA}$	AT1	AT2	AT3	$\overline{AT}$	AA1	AA2	AA3	$\overline{AA}$
23	outubro	2002	44	157	139	179	166	161	178	175	200	184	364	238	265	289	206	202	173	194	339	193	300	277	143	189	172	168
19	novembro	2002	71	142	102	94	96	97	155	126	68	116	254	227	250	244	108		121	115	162	136	130	143	101	136	354	197
17	dezembro	2002	99	239	187	168	209	188	229	227	118	191	726			726	259	319	201	260	274	449	282	335	620	239	292	384
15	janeiro	2003	128	137	131	148	155	145	182	165	117	155	432	360	667	486	221	240	264	242	360	266	181	269	223	301	281	268
11	fevereiro	2003	155	82	90	158	180	143	108	119	113	113	277	277	418	324	260	140	259	220	161	239	204	201	109	260	195	188
12	março	2003	184	143	95	153	120	123	143	133	61	112	245	388	469	367	88	123	74	95	253	264	95	204	108		85	97
9	abril	2003	211	52	42	70	59	57	62	133	57	84	156	212	235	201	103	93	111	102	74	146	163	128	131	79	83	98
14	maio	2003	247	16	188	175	147	170	113	128	179	140	165	233	173	190	230	266	69	188	261	289	193	248	298	240	267	268
7	junho	2003	270	169	14	87	137	79	44	106	139	96	156	253	180	196	188	196	226	203	208	606	125	313	148			148



**SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS (mg/L)**

DATA			Dias do experimento	Pontos de amostragem																							
Dia	Mês	Ano		P2	B1	B2	B3	$\bar{B}$	A1	A2	A3	$\bar{A}$	BT1	BT2	BT3	$\overline{BT}$	BA1	BA2	BA3	$\overline{BA}$	AT1	AT2	AT3	$\overline{AT}$	AA1	AA2	A
23	outubro	2002	44	10	5	11	4	7	5	7	2	5	8	11	8	9	20	9	12	14	19	18	16	18	17	27	
19	novembro	2002	71	10	12	10	10	11	7	14	12	11	11	24	22	19	6		9	8	32	13	15	20	16	21	
17	dezembro	2002	99	10	5	7	7	6	12	8	8	9	25			25	19	13	15	16	27	21	30	26	16	25	
15	janeiro	2003	128	8	46	7	11	21	5	10	10	8	30	29	43	34	17	17	14	16	40	23	27	30	23	32	
11	fevereiro	2003	155	3	7	13	8	9	9	3	4	5	5	6	23	11	6	11	11	9	20	25	11	19	7	19	
12	março	2003	184	23	4	3	9	5	3	1	6	3	23	25	28	25	1	16	20	12	29	43	13	28	9		
9	abril	2003	211	13	7	3	15	8	0	10	8	6	12	13	28	18	5	6	4	5	13	25	12	17	18	17	
14	maio	2003	247	10	9	6	6	7	10	12	8	10	16	19	20	18,3	24	12	12	16	10	45	18	24,3	25	14	
07	junho	2003	270	28	9	8	5	7	10	9	10	10	17	32	24	24,3	12	18	16	15,3	31	21	31	27,7	22		

**SÓLIDOS SUSPENSOS FIXOS (mg/L)**

DATA			Dias do experimento	Pontos de amostragem																							
Dia	Mês	Ano		P2	B1	B2	B3	$\bar{B}$	A1	A2	A3	$\bar{A}$	BT1	BT2	BT3	$\overline{BT}$	BA1	BA2	BA3	$\overline{BA}$	AT1	AT2	AT3	$\overline{AT}$	AA1	AA2	
23	outubro	2002	44	0	1	6	1	3	2	1	0	1	3	5	4	4	13	6	6	8	11	12	12	11,7	13	18	
19	novembro	2002	71	1	5	0	0	2	1	6	2	3	5	13	10	9	1		0	1	14	4	5	8	2	8	
17	dezembro	2002	99	3	1	1	3	2	2	2	2	2	15			15	8	6	6	7	18	4	24	15,3	8	17	
15	janeiro	2003	128	1	2	2	5	3	5	4	4	4	22	23	34	26,3	10	10	14	11	28	15	16	19,7	16	24	
11	fevereiro	2003	155	2	1	2	3	2	5	1	2	3	1	1	10	4	2	9	2	4	6	11	6	7,67	2	12	
12	março	2003	184	7	3	0	5	3	0	0	4	1	20	22	21	21	0	11	12	8	20	28	12	20	6		
9	abril	2003	211	3	2	0	11	4	0	2	0	1	6	9	24	13	0	1	0	0	9	18	7	11,3	10	11	
14	maio	2003	247	8	4	1	2	2	1	1	0	1	5	6	9	7	13	2	3	6	3	19	6	9	15	6	
07	junho	2003	270	9	2	1	1	1	1	1	1	1	3	3	7	4	1	3	1	2	12	4	9	8	8		

**SÓLIDOS SUSPENSOS VOLÁTEIS (mg/L)**

DATA			Dias do experimento	Pontos de amostragem																							
Dia	Mês	Ano		P2	B1	B2	B3	$\bar{B}$	A1	A2	A3	$\bar{A}$	BT1	BT2	BT3	$\overline{BT}$	BA1	BA2	BA3	$\overline{BA}$	AT1	AT2	AT3	$\overline{AT}$	AA1	AA2	
23	outubro	2002	44	0	1	6	1	3	2	1	0	1	3	5	4	4	13	6	6	8	11	12	12	12	13	18	
19	novembro	2002	71	1	5	0	0	2	1	6	2	3	5	13	10	9	1		0	1	14	4	5	8	2	8	
17	dezembro	2002	99	3	1	1	3	2	2	2	2	2	15			15	8	6	6	7	18	4	24	15	8	17	
15	janeiro	2003	128	1	2	2	5	3	5	4	4	4	22	23	34	26	10	10	14	11	28	15	16	20	16	24	
11	fevereiro	2003	155	2	1	2	3	2	5	1	2	3	1	1	10	4	2	9	2	4	6	11	6	8	2	12	
12	março	2003	184	16	1	3	4	3	3	1	2	2	3	3	7	4	1	5	8	5	9	15	1	8	3		
9	abril	2003	211	10	5	3	4	4	0	8	8	5	6	4	4	5	5	5	4	5	5	7	5	6	8	6	
14	maio	2003	247	2	5	5	4	5	9	11	8	9	11	13	11	11,7	11	10	9	10	7	26	12	15	10	8	
07	junho	2003	270	19	7	7	4	6	9	8	9	9	14	29	17	20	11	15	15	13,7	19	17	22	19,3	14		

**Coliformes Fecais (UFC/100ml)**

TA		Pontos de amostragem																								
is	Ano	P2	B1	B2	B3	$\bar{B}$	A1	A2	A3	$\bar{A}$	BT1	BT2	BT3	$\bar{BT}$	BA1	BA2	BA3	$\bar{BA}$	AT1	AT2	AT3	$\bar{AT}$	AA1	$\bar{AA2}$	AA3	$\bar{AA}$
l	2002	3,00E+06	2,07E+04	2,50E+04	1,80E+04	2,12E+04	1,07E+03	1,17E+03	1,43E+03	1,22E+03	1,95E+03		7,50E+02	1,35E+03	2,50E+04	2,10E+04	2,00E+04	2,20E+04	5,20E+02	5,80E+02	1,80E+03	9,00E+02	1,40E+03	1,40E+03	1,05E+03	1,28E+03
v	2002	3,00E+05	1,10E+04	1,33E+04	5,33E+03	9,88E+03	1,13E+03	4,00E+02	6,67E+02	7,32E+02	5,00E+03	5,00E+03	1,85E+03	3,95E+03	1,10E+04	5,00E+03	3,00E+03	6,33E+03	1,56E+03	4,40E+02	5,80E+02	8,60E+02	1,40E+03	2,80E+03	5,50E+02	1,58E+03
z	2002	1,50E+06	1,00E+04	1,36E+04	1,14E+04	1,17E+04	1,00E+03	9,60E+02	1,16E+03	1,04E+03	7,60E+03			7,60E+03	8,33E+03	5,40E+03	1,52E+04	9,64E+03	3,80E+02	2,00E+02	8,00E+01	2,20E+02	4,50E+02	1,50E+02	1,25E+02	2,42E+02
n	2003	4,00E+05	1,62E+04	1,32E+04	1,54E+04	1,49E+04	3,22E+03	4,00E+02	1,96E+03	1,86E+03	1,90E+03	1,70E+03	3,50E+02	1,32E+03	2,65E+04	1,28E+04	1,69E+04	1,87E+04	4,00E+01	6,50E+02	2,30E+02	3,07E+02	1,77E+03	8,60E+02	1,34E+03	1,32E+03
v	2003	2,00E+06	1,96E+04	1,80E+04	2,16E+04	1,91E+04	1,30E+03	8,00E+02	8,00E+02	9,67E+02	2,00E+04	2,80E+04	5,50E+03	1,78E+04	2,35E+04	1,20E+04	2,50E+04	2,02E+04	2,00E+03	1,70E+03	1,15E+03	1,62E+03	5,07E+03		2,96E+03	1,02E+03
ar	2003	7,40E+05	1,04E+04	8,40E+03	2,80E+04	1,56E+04	5,80E+02	8,33E+03	1,14E+03	3,35E+03	3,20E+03	2,90E+03	1,50E+03	2,53E+03	1,55E+04	1,32E+04	1,00E+04	1,29E+04	4,20E+02	2,50E+02	1,00E+03	5,57E+02	4,93E+03	2,00E+02	8,00E+02	1,98E+03
ir	2003	1,17E+06	1,10E+04	1,46E+04	1,90E+04	1,49E+04	1,32E+03	1,04E+03	2,16E+03	1,51E+03	3,00E+04	1,51E+04	2,60E+03	1,59E+04	1,13E+04	7,60E+03	2,13E+04	1,34E+04	3,85E+03	1,08E+03	1,14E+03	2,02E+03	1,08E+03	1,00E+02	4,70E+03	1,95E+03
ai	2003	7,00E+05	1,04E+04	2,24E+04	1,78E+04	1,69E+04	1,16E+03	7,20E+03	1,06E+03	3,14E+03	2,50E+03	3,70E+03	1,20E+03	2,47E+03	1,03E+03	5,00E+04	1,30E+04	2,13E+04	6,50E+02	7,00E+02	1,26E+03	8,70E+02	1,10E+03	3,10E+03	1,50E+03	1,90E+03
n	2003	8,70E+05	8,60E+03	5,40E+03	4,60E+03	6,20E+03	1,02E+03	1,00E+03	7,80E+02	9,33E+02	9,60E+03	4,60E+03	2,80E+03	5,67E+03	9,75E+03	9,80E+03	7,75E+03	9,10E+03	1,80E+03	1,00E+03	1,02E+03	1,27E+03	1,04E+03			1,04E+03

**Estreptococos fecais (UFC/100ml)**

TA		Pontos de amostragem																								
is	Ano	P2	B1	B2	B3	$\bar{B}$	A1	A2	A3	$\bar{A}$	BT1	BT2	BT3	$\bar{BT}$	BA1	BA2	BA3	$\bar{BA}$	AT1	AT2	AT3	$\bar{AT}$	AA1	$\bar{AA2}$	AA3	$\bar{AA}$
l	2002	2,30E+05	3,10E+03	2,52E+03	2,80E+03	2,26E+03	4,00E+01	2,60E+02	3,40E+02	2,13E+02	2,25E+02	7,00E+01	1,50E+01	1,03E+02	4,80E+03	6,20E+03	1,01E+04	7,03E+03	6,67E+00	8,00E+01	2,53E+02	1,13E+02	3,67E+02	2,60E+02	1,43E+03	6,88E+02
v	2002	3,80E+04	1,50E+03	7,00E+02	7,00E+02	2,20E+03	2,83E+02	6,00E+01	3,20E+02	2,21E+02	2,90E+02	3,50E+01	2,12E+02	1,79E+02	1,00E+03	4,00E+02	3,00E+03	1,47E+03	3,45E+02	1,00E+02	3,40E+02	2,62E+02	5,33E+02	3,30E+02	1,00E+02	3,22E+02
z	2002	6,20E+04	8,00E+02	1,87E+03	1,43E+03	2,38E+03	1,00E+02	1,40E+02	5,80E+02	2,73E+02	4,00E+02			4,00E+02	1,80E+03	7,60E+02	2,33E+02	9,31E+02	8,00E+01	1,60E+02	5,33E+01	9,78E+01	1,00E+02	4,00E+01	6,00E+01	6,67E+01
n	2003	3,60E+04	1,80E+03	1,33E+03	1,97E+03	2,54E+03	4,40E+02	1,35E+02	5,60E+02	3,78E+02	3,13E+02	2,26E+02	5,60E+01	1,98E+02	4,15E+03	9,00E+03	7,20E+04	2,84E+04	3,50E+01	1,35E+02	1,55E+02	1,08E+02	5,60E+02	8,00E+01	2,05E+02	2,82E+02
v	2003	9,20E+04	2,20E+03	2,13E+03	5,43E+03	2,71E+03	6,50E+02	4,00E+03	4,80E+02	1,71E+03	2,27E+03	1,60E+03	1,00E+03	1,62E+03	3,55E+03	5,40E+03	8,70E+04	3,20E+04	1,30E+03		2,00E+03	1,65E+03	3,52E+03	4,60E+03	1,80E+03	1,79E+03
ar	2003	8,00E+04	8,00E+02	9,67E+02	6,50E+03	2,58E+03	9,00E+01	6,75E+02	2,40E+02	3,35E+02	3,13E+02	7,00E+01	2,28E+02	2,04E+02	2,85E+03	1,80E+04	7,00E+03	9,28E+03	1,25E+02	5,50E+01	4,20E+02	2,00E+02	8,80E+02	1,50E+02	3,00E+02	4,44E+02
ir	2003	1,20E+05	1,90E+03	1,63E+03	2,35E+03	2,52E+03	1,90E+02	4,07E+02	8,60E+02	4,86E+02	2,00E+03	1,50E+03	2,25E+02	1,24E+03	1,70E+03	9,75E+02	3,00E+03	1,89E+03	3,10E+02	5,00E+00	1,53E+02	1,56E+02	1,40E+02	3,30E+01	3,47E+02	1,73E+02
ai	2003	5,20E+04	3,75E+03	8,00E+03	2,80E+03	2,80E+03	2,40E+02	7,20E+02	3,40E+02	4,33E+02	3,33E+02	1,75E+02	1,10E+02	2,08E+02	3,65E+03	7,50E+03	9,00E+03	6,72E+03	8,50E+01	6,50E+01	2,13E+02	1,21E+02	2,40E+02	3,50E+02	6,67E+02	4,20E+02
n	2003	8,00E+03	9,50E+02	7,00E+02	8,00E+02	8,17E+02	1,30E+02	1,67E+02		1,49E+02	4,27E+02	3,55E+02	2,20E+02	3,34E+02	9,50E+02	9,75E+02	9,00E+02	9,42E+02	3,75E+02	1,30E+02	1,47E+02	2,17E+02	9,80E+02			9,80E+02