



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS - RIO CLARO



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
(ÁREA DE MICROBIOLOGIA APLICADA)

DESPOLUIÇÃO DE ÁGUAS SUPERFICIAIS E EFLUENTES
DE PISCICULTURA ATRAVÉS DE SISTEMAS
CONSTRUÍDOS DE ÁREAS ALAGADAS
(CONSTRUCTED WETLAND)

ANA KLEIBER PESSOA BORGES

Tese apresentada ao Instituto de Biociências da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de Rio Claro, para a obtenção do título de Doutor em Ciências Biológicas (Área de Concentração: Microbiologia Aplicada)

Rio Claro, SP
Junho - 2005

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

**DESPOLUIÇÃO DE ÁGUAS SUPERFICIAIS E EFLUENTES DE
PISCICULTURA ATRAVÉS DE SISTEMAS CONSTRUÍDOS DE
ÁREAS ALAGADAS (CONSTRUCTED WETLAND)**

ANA KLEIBER PESSOA BORGES

**Tese apresentada ao Instituto de
Biotecnologia da Universidade
Estadual Paulista “Júlio de
Mesquita Filho”, Campus de Rio
Claro, para a obtenção do título
de Doutor em Ciências Biológicas
(Área de Concentração:
Microbiologia Aplicada)**

**Rio Claro
Estado de São Paulo – Brasil
Junho de 2005**

**DESPOLUIÇÃO DE ÁGUAS SUPERFICIAIS E EFLUENTES DE
PISCICULTURA ATRAVÉS DE SISTEMAS CONSTRUÍDOS DE
ÁREAS ALAGADAS (CONSTRUCTED WETLAND)**

ANA KLEIBER PESSOA BORGES

Orientadora: PROF^a DR^a SÂMIA MARIA TAUK-TORNISIELO

Co-orientador: PROF. DR. ROBERTO NAVES DOMINGOS

**Tese apresentada ao Instituto de
Biociências da Universidade
Estadual Paulista “Júlio de
Mesquita Filho”, Campus de Rio
Claro, para a obtenção do título
de Doutor em Ciências Biológicas
(Área de Concentração:
Microbiologia Aplicada)**

**Rio Claro
Estado de São Paulo – Brasil
Junho de 2005**

576 Borges, Ana Kleiber Pessoa
B732d Despoluição de águas superficiais e efluentes de
 piscicultura através de sistemas construídos de áreas alagadas
 (constructed wetland)/ Ana Kleiber Pessoa Borges. – Rio
 Claro: [s.n.], 2005
 140 f. : il., tabs., gráfs.

Tese (doutorado) – Universidade Estadual Paulista,
Instituto de Biociências de Rio Claro

Orientador: Samia Maria Tauk-Tornisielo

Co-orientador: Roberto Naves Domingos

1. Microrganismos. 2. Despoluição. 3. Rio Corumbataí
(SP). 4. Wetlands Construídos. 5. Áreas alagadas. I. Título.

Ficha Catalográfica elaborada pela STATI – Biblioteca da UNESP
Campus de Rio Claro/SP

À minha mãe Sebastiana, meu pai José (*in memoriam*), aos irmãos: Gaspar, Lilia, Sônia e Esdra; e aos meus sobrinhos: Marcos, Fabiana, Viviane, Patrícia, Gaspar Junior, Rayane, Rafael e Geovana:

Que jamais deixaram de me incentivar, por menor que fosse a contribuição, e pela compreensão da minha ausência em casa, durante a realização deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

A **Deus** que me ilumina e me guia, em todos os momentos de minha vida.

A minha orientadora **Prof^a. Dr^a. Sâmia Maria Tauk-Tornisielo**, por sua orientação, pelo apoio, amizade, atenção e ensinamentos.

Ao meu co-orientador **Prof. Dr. Roberto Naves Domingos**, por sua orientação, amizade, atenção e ensinamentos.

À **Prof^a. Dr^a. Dejanira de Franceschi de Angelis**, pelas colaborações, pela amizade, pelo apoio, pelo carinho e incentivo.

Ao meu companheiro **Prof. Dr. Ederio Dino Bidoia**, pelo apoio incondicional, confiança, compreensão, carinho e amor dedicado.

À **Sara Cristina Galvão** pela amizade e diversas ajudas prestadas.

Ao **Prof. Dr. Aparecido Osdimir Bertolin** da Universidade Federal do Tocantins, pelo incentivo na pesquisa científica.

À **Dra. Ozenilde Alves Rocha Martins**, pelo primeiro incentivo em Microbiologia e todo apoio dado.

Ao **Prof. Dr. Gustavo Henrique Gonzaga da Silva** do Departamento de Ecologia, IB/UNESP/Rio Claro, por toda colaboração durante o programa de doutorado.

Aos **Prof. Dr. Antonio Carlos Pião** e **Prof. Dr. José Silvio Govone**, IGCE/UNESP/Rio Claro, pelo auxílio com as análises estatísticas.

À **Cecília Aparecida Vido Bononi** pela correção do português e sugestões apresentadas e pelo apoio oferecido durante o programa de doutorado.

À bibliotecária **Maria Aparecida Pardini** pela correção das referências bibliográficas e pelo apoio oferecido durante o programa de doutorado.

À UNESP, em especial ao Centro de Estudos Ambientais (CEA) e o Departamento de Bioquímica e Microbiologia da UNESP – IB/Campus de Rio Claro, pela infraestrutura e apoio logístico, sem os quais este trabalho não poderia ter sido desenvolvido.

Ao CEPTA/IBAMA Pirassununga, SP, pelo apoio e por ter cedido um espaço para o desenvolvimento da pesquisa. Em especial aos: **Prof. Dr. José Sávio C. de Melo** e **Prof. Dr. Osmar Cantelmo**.

À Mineração Mandu do distrito de Ajapí, município de Rio Claro, SP, pela doação de seixo rolado (pedregulho), para realização desta pesquisa.

À CAPES (Centro de Apoio à Pesquisa e Ensino Superior), pela bolsa de doutorado e apoio financeiro concedidos.

À FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo), pelo auxílio à pesquisa, processo número 02/08559-2.

Aos docentes e funcionários do Departamento de Bioquímica e Microbiologia da UNESP – Campus de Rio Claro, pela ajuda técnica e simpatia sempre encontrada. Em especial: Prof. Dr. Jonas Contiero, Prof. Dr. Carlos Renato Corso, Valdenilson (Zito), Ronaldo Bella, secretária Angela e aos técnicos: Inês, Maria Luiza e Fátima, pelo apoio durante a execução deste projeto.

Aos docentes e funcionários do Departamento de Física do Instituto de Geociências e Ciências Exatas da UNESP – Campus de Rio Claro. Em especial, os funcionários Claudinho e Gilberto, pela ajuda na montagem do reator.

Aos alunos: Suseli de Marchi Santos, Alexandre Augusto Oliveira Santos, Ítalo Macedo Silva, Rodrigo Cesar de Moraes Monteiro e Alison Lulu Bitar, dos Institutos: Geociências e Biociências da UNESP – Campus de Rio Claro, pelo auxílio em campo e laboratório durante a realização deste.

Aos pesquisadores e funcionários do Centro de Estudos Ambientais (CEA) da UNESP - Campus de Rio Claro. Em especial, Francisca Mattioli Gonçalves e Eleni Nadai Malagutti pela amizade, pelos ensinamentos, opiniões e pelo apoio durante a execução da parte prática. Ao Jorge Rodrigues de Faria e Marcos Perdiza pelo transporte e auxílios nas coletas de campo. Ao Prof. Dr. Nivar Gobbi pela amizade.

A Crossfield Brasil Ltda pelo resíduo de Sílica cedida, para realização da pesquisa.

Ao DAAE (Departamento Autônomo de Água e Esgotos) de Rio Claro, pelos diversos auxílios propiciados, em especial aos funcionários: Daniel Francisco Peixoto, Paulo Henrique Gomes e Rogério Nunes Marcelino.

À **Heloisa A. Scopinho Nicoletti** pelo ótimo atendimento na Seção de Pós-graduação do IB/ UNESP/Rio Claro.

Aos meus tios: Madalena Borges Parente e Edson Ribeiro Parente, Lázara Maria Borges e Maria Borges de Macedo, pelo apoio e carinho dados durante o desenvolvimento deste.

Aos meus amigos: Gina Maria, Carla Seibert, Cecília Oki, Maria Aparecida, Indu, Michella Coelho, Marcelo (Beliche), André Rodrigues, Dona Maria, Maria Ivanilde e Seiji, Darci César de Lima, Pastor José, pelo apoio, compreensão e carinho dados durante a realização deste.

Aos meus colegas da Pós-Graduação: Thelma Inazaki, Adriana de Campos, Christian Wellbaum, Eduardo Morais, Inês Rabelo, Maria Lúcia, Alex, Gisele, Gisela, Guilherme Garcia, João Marcelo, Fabiana Hecklein, Lucilene Santos, Carla Sardelli, pelo companheirismo e apoio.

Ao grupo de jovens: Rotaract Club Rio Claro Sul, pelo companheirismo e amizade.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste projeto.

“Nem tudo é fácil na vida...

Mas, com certeza, nada é impossível...

Precisamos acreditar, ter fé, paciência, trabalhar e lutar para que não apenas sonhemos, mas também tornemos todos esses desejos, realidade!”

Cecília Meireles.

ÍNDICE

	Página
1. INTRODUÇÃO GERAL	1
2. REFERÊNCIAS	4
CAPÍTULO 1	5
RESUMO	6
ABSTRACT	8
1. INTRODUÇÃO	10
2. REVISÃO DA LITERATURA	12
2.1. Utilização de sistemas de “wetland”construídos (CWs).....	12
2.2. Macrófitas utilizadas em sistemas de “wetland” construídos.....	15
2.2.1. Uso de macrófitas aquáticas flutuantes – <i>Eichhornia crassipes</i> e <i>Pistia stratiotes</i> e macrófitas aquáticas emergentes em sistemas de despoluição hídrica.....	15
2.3. Fatores de remoções dos poluentes pelos sistemas de “wetlands” construídos (CWs).....	19
3. MATERIAL E MÉTODOS	20
3.1. Material.....	20
3.1.1. Macrorganismos.....	20
3.1.2. Meio de quantificação dos microrganismos: coliformes totais e <i>E. coli</i>	22
3.1.3. Material para construção do “wetland”	22
3.2. Métodos.....	23
3.2.1. Montagem do reator (sistema de “constructed wetland” em escala de laboratório.....	23
3.2.1.1. Regime hidráulico do sistema de “constructed wetland” em escala de laboratório.....	24
3.2.2. Ponto de amostragem, coletas de água para ser tratada no sistema de “constructed wetland” em escala de laboratório e medições de fatores ambientais durante as coletas.....	25
3.2.3. Pontos de coletas de água no sistema de “constructed wetland” em escala de laboratório.....	27

3.3. Análises físicas, químicas, físico-químicas e microbiológicas e toxicidade da água.....	28
3.3.1. Temperaturas (°C) da água e do ambiente	29
3.3.2. pH.....	29
3.3.3. Condutividade ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$), salinidade (‰) e sólidos totais dissolvidos (STD) ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$).....	29
3.3.4. Turbidez (UNT).....	29
3.3.5. Cor Aparente (Pt/L) e Amônia ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$).....	29
3.3.6. Demanda química de oxigênio DQO ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$).....	30
3.3.7. Alcalinidade total ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$).....	30
3.3.8. Nitrato ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$).....	30
3.3.9. Nitrito ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$).....	31
3.3.10. Nitrogênio total ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	31
3.3.11. Oxigênio dissolvido ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	31
3.3.12. Fósforo total ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$).....	32
3.3.13. Demanda bioquímica de oxigênio (DBO) ($\text{mg}\cdot\text{O}_2\cdot\text{L}^{-1}$).....	32
3.3.14. Quantificação de coliformes totais e <i>E. coli</i> (NMP/ 100 mL).....	32
3.3.15. Ensaio de toxicidade.....	33
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	34
4.1. Resultados e discussão da primeira coleta.....	34
4.1.1. Quantificação física, química, físico-química, microbiológica e de toxicidade da água após o tratamento com “CWs”	35
4.2. Resultados e discussão da segunda coleta.....	44
4.2.1. Quantificação física, química, físico-química, microbiológica e de toxicidade da água após o tratamento com “CWs”	45
5. CONCLUSÕES.....	53
6. REFERÊNCIAS.....	54
CAPÍTULO 2.....	63
RESUMO.....	64
ABSTRACT.....	66
1. INTRODUÇÃO.....	68

2. REVISÃO DA LITERATURA.....	70
2.1 Aplicação da tecnologia alternativa pelo sistema “CWs” para tratamento de efluentes de piscicultura.....	70
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	73
3.1. Material.....	73
3.1.1. Macrorganismos.....	73
3.1.2. Meio de quantificação dos microrganismos: coliformes totais e <i>E.coli</i>	74
3.1.3. Material para construção do “wetland”.....	74
3.2. Montagem do reator.....	75
3.2.1. Coleta de solo para montagem do reator.....	75
3.2.2. Obtenção de seixo rolado (pedregulho) utilizado na montagem do reator.....	75
3.2.3. Montagem e construção dos CWs.....	76
3.2.4. Vidrarias, Reagentes e Equipamentos.....	77
3.2.5. Coletas de amostras de águas.....	77
3.3. Etapas usadas durante o experimento.....	77
3.3.1. 1ª Etapa – Cultivo das macrófitas aquáticas para a cobertura dos reatores.....	77
3.3.2. 2ª Etapa – Montagem dos reatores de Purificação – simulação dos “wetlands” construído (CWs).....	77
3.3.3. 3ª Etapa – Desenvolvimento completo dos ensaios.....	79
3.3.4. Análise das amostras de água coletada no sistema.....	79
3.3.4.1. Análises físicas, químicas, físico-químicas e microbiológicas das águas.....	80
3.3.4.2. Ensaio de toxicidade.....	80
3.3.4.2.1. Teste de toxicidade aguda utilizando <i>Daphnia similis</i>	80
3.4. Análise estatística e interpretação dos dados obtidos.....	80
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	81
4.1. Parâmetros físicos, químicos, físico-químicos, microbiológicos e de toxicidade das águas.....	81
4.1.1. Temperatura ambiente.....	81

4.1.2. Temperatura da água.....	83
4.1.3. Cor aparente.....	85
4.1.4. pH.....	87
4.1.5. Condutividade elétrica.....	89
4.1.6. Sólidos totais dissolvidos (TDS).....	91
4.1.7. Turbidez.....	93
4.1.8. Oxigênio dissolvido.....	95
4.1.9. Alcalinidade total.....	97
4.1.10. Demanda química de oxigênio (DQO).....	99
4.1.11. Nitrogênio total.....	101
4.1.12. Fósforo total.....	103
4.1.13. Nitrato.....	105
4.1.14. Amônia.....	107
4.1.15. Demanda bioquímica de oxigênio (DBO).....	109
4.1.16. Coliformes totais e <i>Escherichia coli</i>	111
4.1.17. Toxicidade das águas.....	115
4.2. Parâmetros físicos, químicos, físico-químicos e microbiológicos das águas da coleta nictemeral.....	116
4.3. Eficiência do sistema “CWs” na redução de bactérias e nutrientes do efluente de piscicultura.....	124
5. CONCLUSÕES.....	137
6. REFERÊNCIAS.....	138

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1

	Página
Tabela 1. Dados obtidos da água do Rio Corumbataí (primeira coleta) – Usina da CESP (atualmente Fundação Patrimônio Histórico da Energia de São Paulo).....	35
Tabela 2. Valores dos parâmetros estudados durante o tratamento da água do rio Corumbataí, os quais apresentam a avaliação da eficiência do “CWs”. No período de amostragem – T0 dia (após 2 horas do início do experimento – 20/02/2003), nos diferentes pontos de coleta.....	38
Tabela 3. Valores dos parâmetros estudados durante o tratamento da água do rio Corumbataí, os quais apresentam a avaliação da eficiência do “CWs”. No período de amostragem – T1 dia (21/02/2003), nos diferentes pontos de coleta.....	39
Tabela 4. Valores dos parâmetros estudados durante o tratamento da água do rio Corumbataí, os quais apresentam a avaliação da eficiência do “CWs”. No período de amostragem – T5 dias (24/02/2003), nos diferentes pontos de coleta.....	40
Tabela 5. Valores dos parâmetros estudados durante o tratamento da água do rio Corumbataí, os quais apresentam a avaliação da eficiência do “CWs”. No período de amostragem – T10 dias (28/02/2003), nos diferentes pontos de coleta.....	41
Tabela 6. Valores dos parâmetros estudados durante o tratamento da água do rio Corumbataí, os quais apresentam a avaliação da eficiência do “CWs”. No período de amostragem – T16 dias (05/03/2003), nos diferentes pontos de coleta.....	42
Tabela 7. Valores dos parâmetros estudados durante o tratamento da água do rio Corumbataí, os quais apresentam a avaliação da eficiência do “CWs”. No período de amostragem – T21 dias (10/03/2003), nos diferentes pontos de coleta.	43
Tabela 8. Dados obtidos da água do Rio Corumbataí (Segunda coleta) – Usina da CESP (atualmente Fundação Patrimônio Histórico da Energia de São Paulo).....	44
Tabela 9. Valores dos parâmetros estudados durante o tratamento da água do rio Corumbataí, os quais apresentam a avaliação da eficiência do “CWs”. No período	

de amostragem – T0 dia (após 2 horas do início do experimento – 14/04/2003), nos diferentes pontos de coleta.....	47
Tabela 10. Valores dos parâmetros estudados durante o tratamento da água do rio Corumbataí, os quais apresentam a avaliação da eficiência do “CWs”. No período de amostragem – T1 dia (15/04/2003), nos diferentes pontos de coleta.....	48
Tabela 11. Valores dos parâmetros estudados durante o tratamento da água do rio Corumbataí, os quais apresentam a avaliação da eficiência do “CWs”. No período de amostragem – T5 dias (18/04/2003), nos diferentes pontos de coleta.....	49
Tabela 12. Valores dos parâmetros estudados durante o tratamento da água do rio Corumbataí, os quais apresentam a avaliação da eficiência do “CWs”. No período de amostragem – T10 dias (23/04/2003), nos diferentes pontos de coleta.....	50
Tabela 13. Valores dos parâmetros estudados durante o tratamento da água do rio Corumbataí, os quais apresentam a avaliação da eficiência do “CWs”. No período de amostragem – T16 dias (29/04/2003), nos diferentes pontos de coleta.....	51
Tabela 14. Valores dos parâmetros estudados durante o tratamento da água do rio Corumbataí, os quais apresentam a avaliação da eficiência do "CWs". No período de amostragem – T21 dias (04/05/2003), nos diferentes pontos de coleta.....	52

CAPÍTULO 2

	Página
Tabela 1. Variação espaço-temporal da temperatura ambiente (°C), nos diferentes tratamentos, durante os 128 dias de operação do sistema CWs.....	82
Tabela 2. Análise de variância para a temperatura ambiente nos diferentes tratamentos, no sistema CWs.....	82
Tabela 3. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para o fator número de coletas da temperatura ambiente.....	83
Tabela 4. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para o fator tratamento para o estudo da temperatura ambiente.....	83
Tabela 5. Variação espaço-temporal da temperatura da água (°C), nos diferentes tratamentos, durante os 128 dias de operação do sistema CWs.....	84
Tabela 6. Análise de variância para a temperatura da água nos diferentes	

tratamentos, no sistema CWs.....	84
Tabela 7. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para o fator número de coletas da temperatura da água.....	85
Tabela 8. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para o fator tratamento para o estudo da temperatura da água.....	85
Tabela 9. Variação espaço-temporal da cor aparente (Pt/L), nos diferentes tratamentos, durante os 128 dias de operação do sistema CWs.....	86
Tabela 10. Análise de variância para a Cor aparente (Pt/L), nos diferentes tratamentos, no sistema CWs.....	86
Tabela 11. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para o fator número de coletas da Cor Aparente.....	87
Tabela 12. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para o fator tratamento para o estudo da Cor Aparente.....	87
Tabela 13. Variação espaço-temporal do pH, nos diferentes tratamentos, durante os 128 dias de operação do sistema CWs.....	88
Tabela 14. Análise de variância para o pH nos diferentes tratamentos, no sistema CWs.....	88
Tabela 15. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para o fator número de coletas do pH.....	89
Tabela 16. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para o fator tratamento para o estudo do pH.....	89
Tabela 17. Variação espaço-temporal para Condutividade elétrica ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$), nos diferentes tratamentos, durante os 128 dias de operação do sistema CWs.....	90
Tabela 18. Análise de variância para Condutividade elétrica ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$), nos diferentes tratamentos, no sistema CWs.....	90
Tabela 19. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para o fator número de coletas da Condutividade Elétrica.....	91
Tabela 20. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para o fator tratamento para o estudo da Condutividade Elétrica.....	91

Tabela 21. Variação espaço-temporal para TDS (mg.L^{-1}), nos diferentes tratamentos, durante os 128 dias de operação do sistema CWs.....	92
Tabela 22. Análise de variância para TDS (mg.L^{-1}), nos diferentes tratamentos, no sistema CWs.....	92
Tabela 23. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para o fator número de coletas dos sólidos totais dissolvidos.....	93
Tabela 24. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para o fator tratamento para o estudos dos sólidos totais dissolvidos.....	93
Tabela 25. Variação espaço-temporal da Turbidez (UNT), nos diferentes tratamentos, durante os 128 dias de operação do sistema CWs.....	94
Tabela 26. Análise de variância da Turbidez (UNT), nos diferentes tratamentos, no sistema CWs.....	94
Tabela 27. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para o fator número de coletas da turbidez.....	95
Tabela 28. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para o fator tratamento para o estudo da turbidez.....	95
Tabela 29. Variação espaço-temporal para o Oxigênio Dissolvido (mg.L^{-1}), nos diferentes tratamentos, durante os 128 dias de operação do sistema CWs.....	96
Tabela 30. Análise de variância para o Oxigênio Dissolvido (mg.L^{-1}), nos diferentes tratamentos, no sistema CWs.....	96
Tabela 31. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para o fator número de coletas do Oxigênio dissolvido.....	97
Tabela 32. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para o fator tratamento para o estudo do Oxigênio dissolvido.....	97
Tabela 33. Variação espaço-temporal para Alcalinidade total (mg.L^{-1}), nos diferentes tratamentos, durante os 128 dias de operação do sistema CWs..	98
Tabela 34. Análise de variância para Alcalinidade total (mg.L^{-1}), nos diferentes tratamentos, no sistema CWs.....	98
Tabela 35. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para o fator número de coletas da Alcalinidade total.....	99

Tabela 36. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para o fator tratamento para o estudo da Alcalinidade total.....	99
Tabela 37. Variação espaço-temporal da DQO ($\text{mg.O}_2\text{.L}^{-1}$), nos diferentes tratamentos, durante os 128 dias de operação do sistema CWs.....	100
Tabela 38. Análise de variância da DQO ($\text{mg.O}_2\text{.L}^{-1}$), nos diferentes tratamentos, no sistema CWs.....	100
Tabela 39. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para o fator de número de coletas da DQO.....	101
Tabela 40. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para o fator tratamento para o estudo da DQO.....	101
Tabela 41. Variação espaço-temporal do nitrogênio total (mg.L^{-1}), nos diferentes tratamentos, durante os 128 dias de operação do sistema CWs	102
Tabela 42. Análise de variância do nitrogênio total (mg.L^{-1}), nos diferentes tratamentos, no sistema CWs.....	102
Tabela 43. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para o fator número de coletas do Nitrogênio total.....	103
Tabela 44. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para o fator tratamento para o estudo do Nitrogênio total.....	103
Tabela 45. Variação espaço-temporal do Fósforo total ($\mu\text{g.L}^{-1}$), nos diferentes tratamentos, durante os 128 dias de operação do sistema CWs.....	104
Tabela 46. Análise de variância do Fósforo total ($\mu\text{g.L}^{-1}$), nos diferentes tratamentos, no sistema CWs.....	104
Tabela 47. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para o fator número de coletas do Fósforo Total.....	105
Tabela 48. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para o fator tratamento para o estudo do Fósforo Total.....	105
Tabela 49. Variação espaço-temporal do Nitrato (mg.L^{-1}), nos diferentes tratamentos, durante os 128 dias de operação do sistema CWs.....	106
Tabela 50. Análise de variância do Nitrato (mg.L^{-1}), nos diferentes tratamentos, no sistema CWs.....	106

Tabela 51. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para o fator número de coletas do NO ₃	107
Tabela 52. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para o fator tratamento para o estudo do NO ₃	107
Tabela 53. Variação espaço-temporal da Amônia (mg.L ⁻¹), nos diferentes tratamentos, durante os 128 dias de operação do sistema CWS.....	108
Tabela 54. Análise de variância da Amônia (mg.L ⁻¹), nos diferentes tratamentos, no sistema CWS.....	108
Tabela 55. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para o fator número de coletas da NH ₄	109
Tabela 56. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para o fator tratamento para o estudo da NH ₄	109
Tabela 57. Variação espaço-temporal da DBO (mg.O ₂ .L ⁻¹), nos diferentes tratamentos, durante os 128 dias de operação do sistema CWS.....	110
Tabela 58. Análise de variância da DBO (mg.O ₂ .L ⁻¹), nos diferentes tratamentos, no sistema CWS.....	110
Tabela 59. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para o fator número de coletas da DBO.....	111
Tabela 60. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para o fator tratamento para o estudo da DBO.....	111
Tabela 61. Variação espaço-temporal para log ₁₀ coliformes totais (NMP/100 mL), nos diferentes tratamentos, durante os 128 dias de operação do sistema CWS.....	112
Tabela 62. Análise de variância para coliformes totais (NMP/100mL), nos diferentes tratamentos, no sistema CWS.....	112
Tabela 63. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para o fator número de coletas dos CT.....	113
Tabela 64. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para o fator tratamento para o estudo dos CT.....	113
Tabela 65. Variação espaço-temporal para log ₁₀ <i>E. coli</i> (NMP/100 mL), nos diferentes tratamentos, durante os 128 dias de operação do sistema CWS.....	114

Tabela 66. Análise de variância para <i>E. coli</i> (NMP/100 mL), nos diferentes tratamentos, no sistema CWs.....	114
Tabela 67. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para o fator número de coletas da <i>E.coli</i>	115
Tabela 68. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para o fator tratamento para o estudo da <i>E.coli</i>	115
Tabela 69. Análise de variância para a temperatura ambiente nos diferentes tratamentos, no sistema CWs.....	116
Tabela 70. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para o fator tratamento de estudo da temperatura ambiente.....	116
Tabela 71. Análise de variância para a temperatura da água nos diferentes tratamentos, no sistema CWs.....	117
Tabela 72. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para o fator tratamento de estudo da temperatura da água.....	117
Tabela 73. Análise de variância para a Cor aparente (Pt/L), nos diferentes tratamentos, no sistema CWs.....	117
Tabela 74. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para o fator tratamento de estudo da Cor Aparente.....	118
Tabela 75. Análise de variância para o pH nos diferentes tratamentos, no sistema CWs.....	118
Tabela 76. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para o fator tratamento de estudo do pH.....	119
Tabela 77. Análise de variância para Condutividade elétrica ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$), nos diferentes tratamentos, no sistema CWs.....	119
Tabela 78. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para o fator tratamento de estudo da Condutividade Elétrica.....	119
Tabela 79. Análise de variância para TDS ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$), nos diferentes tratamentos, no sistema CWs.....	120
Tabela 80. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para o fator tratamento de estudo dos sólidos totais dissolvidos.....	120

Tabela 81. Análise de variância da Turbidez (UNT), nos diferentes tratamentos, no sistema CWs.....	121
Tabela 82. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para o fator tratamento de estudo da turbidez.....	121
Tabela 83. Análise de variância para o Oxigênio Dissolvido (mg.L^{-1}), nos diferentes tratamentos, no sistema CWs.....	121
Tabela 84. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para o fator tratamento de estudo do Oxigênio dissolvido.....	122
Tabela 85. Análise de variância do Nitrogênio total (mg.L^{-1}), nos diferentes tratamentos, no sistema CWs.....	122
Tabela 86. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para o fator tratamento de estudo do Nitrogênio total.....	123
Tabela 87. Análise de variância do Fósforo total ($\mu\text{g.L}^{-1}$), nos diferentes tratamentos, no sistema CWs.....	123
Tabela 88. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para o fator tratamento de estudo do Fósforo Total.....	123
Tabela 89. Análise de variância da Amônia (mg.L^{-1}), nos diferentes tratamentos, no sistema CWs.....	124
Tabela 90. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para o fator tratamento de estudo da Amônia.....	124
Tabela 91. Valores médios dos parâmetros estudados e as eficiências do sistema "CWs", durante o tratamento do efluente de piscicultura. No período de amostragem – 1º dia (após 2 horas do início do experimento – 10/06/2003), nos diferentes tratamentos de coleta.....	126
Tabela 92. Valores médios dos parâmetros estudados e as eficiências do sistema "CWs", durante o tratamento do efluente de piscicultura. No período de amostragem – 8º dia (17/06/2003), nos diferentes tratamentos de coleta.....	127
Tabela 93. Valores médios dos parâmetros estudados e as eficiências do sistema "CWs", durante o tratamento do efluente de piscicultura. No período de amostragem – 22º dia (1/07/2003), nos diferentes tratamentos de coleta.....	128

Tabela 94. Valores médios dos parâmetros estudados e as eficiências do sistema "CWs", durante o tratamento do efluente de piscicultura. No período de amostragem – 29º dia (8/07/2003), nos diferentes tratamentos de coleta.....	129
Tabela 95. Valores médios dos parâmetros estudados e as eficiências do sistema "CWs", durante o tratamento do efluente de piscicultura. No período de amostragem – 43º dia (22/07/2003), nos diferentes tratamentos de coleta.....	130
Tabela 96. Valores médios dos parâmetros estudados e as eficiências do sistema "CWs", durante o tratamento do efluente de piscicultura. No período de amostragem – 58º dia (5/08/2003), nos diferentes tratamentos de coleta.....	131
Tabela 97. Valores médios dos parâmetros estudados e as eficiências do sistema "CWs", durante o tratamento do efluente de piscicultura. No período de amostragem – 73º dia (19/08/2003), nos diferentes tratamentos de coleta.....	132
Tabela 98. Valores médios dos parâmetros estudados e as eficiências do sistema "CWs", durante o tratamento do efluente de piscicultura. No período de amostragem – 86º dia (2/09/2003), nos diferentes tratamentos de coleta.....	133
Tabela 99. Valores médios dos parâmetros estudados e as eficiências do sistema "CWs", durante o tratamento do efluente de piscicultura. No período de amostragem – 100º dia (16/09/2003), nos diferentes tratamentos de coleta.....	134
Tabela 100. Valores médios dos parâmetros estudados e as eficiências do sistema "CWs", durante o tratamento do efluente de piscicultura. No período de amostragem – 115º dia (1/10/2003), nos diferentes tratamentos de coleta.....	135
Tabela 101. Valores médios dos parâmetros estudados e as eficiências do sistema "CWs", durante o tratamento do efluente de piscicultura. No período de amostragem – 128º dia (14/10/2003), nos diferentes tratamentos de coleta.....	136

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

	Página
Figura 1. Macrófita aquática <i>Eichhornia crassipes</i> utilizada no CWs.....	21
Figura 2. Macrófita aquática <i>Pistia stratiotes</i> utilizada no CWs.....	21
Figura 3. Diferentes particulados utilizados no sistema de tratamento.....	22
Figura 4. Montagem do sistema “constructed wetland” em escala piloto onde foram executados os ensaios.....	23
Figura 5. Detalhe da disposição dos canos e tubulações.....	24
Figura 6. Carro Pipa utilizado na coleta das amostras de águas do rio Corumbataí, SP, gentilmente cedido pelo DAAE (Departamento Autônomo de Água e Esgoto) do município de Rio Claro, SP.....	26
Figura 7. Armazenamento de água em bombonas na casa de vegetação, no CEA-UNESP, Rio Claro- SP.....	26
Figura 8. Ilustração do aspecto geral do protótipo do sistema construído de “wetlands”, com os pontos de coletas das amostras de água.....	27
Figura 9. Amostras de águas coletadas para análise em laboratório após tratamento em “CWs”	28

CAPÍTULO 2

	Página
Figura 1. Macrófita aquática <i>Eichhornia crassipes</i> utilizada no CWs.....	73
Figura 2. Diferentes particulados utilizados no sistema de tratamento.....	74
Figura 3. Área de cerrado “sensu stricto”, mostrando o local de coleta de amostras de solo, utilizado no CWs.....	75
Figura 4. Esquema dos “CWs” instalados a jusante do viveiro usado para a criação de tilápias no CEPTA/IBAMA, Pirassununga, SP.....	78
Figura 5. “CWs” utilizados durante o experimento, vegetado com <i>Eichhornia crassipes</i>	79

- GLOSSÁRIO

CAPES = Centro de Apoio à Pesquisa e Ensino Superior.

CEA = Centro de Estudos Ambientais.

CEPTA/IBAMA= Centro de Pesquisa e Gestão de Recursos Pesqueiros Continentais/
Instituto Brasileiro do Meio Ambiente.

CESP = Central Elétrica do Estado de São Paulo.

Coliforme = grupo de bactérias que inclui todos os bacilos aeróbios e facultativos, gram-negativo e não-esporulados, que produzem ácido e gás a partir da fermentação da lactose.

CWs = Constructed Wetlands.

DAAE = Departamento Autônomo de Água e Esgoto.

DBO₅ = Demanda Bioquímica de Oxigênio de 5 dias.

DQO = Demanda Química de Oxigênio.

E. coli = *Escherichia coli*.

FAPESP = Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo.

HRT = Tempo de Retenção Hidráulica.

IAC = Instituto Agrônomo de Campinas, SP.

IB = Instituto de Biociências.

IBT = Instituto Brasileiro de Tecnologia.

IGCE = Instituto de Geociências e Ciências Exatas.

Log = logaritmo decimal.

NMP = Número Mais Provável.

Nº de Reynolds = relação entre as forças de inércia e as forças viscosas.

PVC = Carbono de Polietileno Vinil

SAS = Statistical Analysis System.

STS = Sólidos Totais Suspensos.

TDS = Sólidos Totais Dissolvidos.

TSS = Sólido Suspenso Total.

UASB = Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente com Manta de Lodo.

UNESP = Universidade Estadual Paulista.

UNT = Unidade Nefelométrica de Turbidez.

1. INTRODUÇÃO GERAL

A água é um recurso finito essencial à sobrevivência do homem, dos animais e das plantas. De toda água existente no planeta, 99% não está disponível para o consumo. Deste total, 97% é a água contida nos oceanos e mares, 2% formam as geleiras e apenas 1% é água doce, armazenada em rios, lagos e lençóis subterrâneos. De toda água doce superficial do planeta, 8% encontra-se no Brasil, sendo que 80% desse total pertencem à região Amazônica. Os restantes 20% se distribuem de forma não equitativa pelas outras regiões do país, Rebouças et al. (1999).

Nestas últimas décadas, quer pelo crescimento dos parques industriais, quer pelo aumento da população nos centros urbanos, os córregos, vários rios e represas apresentam-se altamente poluídos e contaminados e estão, na maior parte do ano, com suas águas fora dos limites estabelecidos pela legislação quanto a potabilidade.

Em muitas partes do mundo, a água tem-se tornado cada vez mais escassa e este fato está associado ao acréscimo da poluição, ao desperdício e à falta de uma política de educação ambiental, onde a sociedade deverá ser conscientizada do problema. A poluição poderá ser reduzida pela ampliação de programas, investimento em saneamento, incentivo as iniciativas privada e pública, e também através do aproveitamento do potencial humano à disposição nas Universidades e Institutos de Pesquisas.

Quanto ao saneamento, o grande problema enfrentado pelos países do terceiro mundo e também por aqueles em desenvolvimento é o alto custo dos projetos e de sua implantação, o que implica em maior endividamento e remanejamento de recursos de

outros setores, também considerados essenciais e prioritários, por exemplo, saúde e educação.

A possibilidade de conciliação de um projeto eficiente e de baixo custo, paradoxalmente vem sendo desenvolvido mais intensamente em nações ricas da Europa e nos Estados Unidos desde 1970.

O termo “wetland” é utilizado para caracterizar vários ecossistemas naturais que ficam parciais ou totalmente inundado durante o ano, conhecidos como várzeas dos rios, os igapós na Amazônia, os pântanos, manguezais, entre outros.

Os “Constructed Wetlands” (CWs) são sistemas projetados e construídos pelo homem, com substratos de vegetação emergentes e submergentes, contendo microrganismos que simulam alagados naturais, para uso e benefício do homem, (KOHLER et al., 2004).

Os CWs têm por finalidade tratar resíduos, efluentes e águas utilizando tecnologia econômica e eficiente, onde sistemas particulados envolvidos no processo são abundantes e de baixo custo: quartzo, pedras, areia, solo e outros.

O sistema de “Constructed Wetlands”, ou seja, áreas alagadas construídas que doravante será designada por CWs, vem se expandindo nestas últimas três décadas em outros países. Este sistema, no Brasil, teve maior divulgação a partir do trabalho dos professores Dra. Carmem Lúcia Roquette Pinto, da Universidade Federal Fluminense, Niterói-RJ, do Dr. Eneas Salati, ex-pesquisador do Centro de Estudos Ambientais (CEA), da UNESP/Rio Claro-SP e, mais recentemente, através da realização da 7th International Conference Wetlands Systems for Water Pollution Control, realizada em novembro de 2001, na Flórida-USA, (BORGES, 2001).

Com esse propósito, o Capítulo 1, denominado “REDUÇÃO DE BACTÉRIAS E NUTRIENTES DE ÁGUAS SUPERFICIAIS POLUÍDAS ATRAVÉS DO SISTEMA CONSTRUÍDO DE ÁREAS ALAGADAS (CONSTRUCTED WETLANDS)” teve como objetivo estudar a eficiência de CWs com fluxo contínuo, vegetado com *Eichhornia crassipes* e/ou *Pistia stratiotes*; propor um processo alternativo para tratamento de água usando CWs e analisar a eficiência do sistema, quantificando os principais parâmetros para avaliação da qualidade da água.

O Capítulo 2, denominado “UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS CONSTRUÍDOS DE ÁREAS ALAGADAS (WETLANDS) PARA TRATAMENTO DE EFLUENTES DE PISCICULTURA – REDUÇÃO DE BACTÉRIAS E NUTRIENTES” teve como objetivos: - analisar a eficiência deste sistema no tratamento de efluentes de piscicultura; - verificar a possível diminuição da toxicidade de nutrientes e de microrganismos do efluente de piscicultura.

2. REFERÊNCIAS

BORGES, K. P. **Eficiência de um sistema de áreas alagadas (Constructed Wetland), para tratamento de águas residuárias**. 2001. 112 f. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Aplicada) - Instituto de Biociências do Campus de Rio Claro, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2001.

KOHLER, E. A.; POOLE, V. L.; REICHER, Z. J.; TURCO, R. F. Nutrient, metal, and pesticide removal during storm and nonstorm events by a constructed wetland on an urban golf course. **Ecological Engineering**, Columbus, USA, v. 23, p. 285-298, 2004.

REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. **Águas Doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. São Paulo: Escrituras, 1999. p. 1-36.

Capítulo 1

REDUÇÃO DE BACTÉRIAS E NUTRIENTES DE ÁGUAS SUPERFICIAIS POLUÍDAS ATRAVÉS DO SISTEMA CONSTRUÍDO DE ÁREAS ALAGADAS (CONSTRUCTED WETLANDS)

Autora: ANA KLEIBER PESSOA BORGES

Orientadora: PROF^a DR^a SÂMIA MARIA TAU-K-TORNISIELO

Co-orientador: PROF. DR. ROBERTO NAVES DOMINGOS

RESUMO

A disponibilidade de água no globo terrestre tende a estar comprometida devido à atividade antrópica desordenada. Grande proporção da água doce encontra-se muito prejudicada em decorrência da crescente poluição, que poderia ser minimizada pela ampliação de programas de investimentos na área de saneamento. O grande problema enfrentado pelos países do terceiro mundo e também por aqueles em desenvolvimento em relação ao saneamento, é o alto custo atual dos projetos e de suas implantações, envolvendo maior endividamento e remanejamento de recursos de outros setores, também considerados essenciais e prioritários, como saúde e educação. A possibilidade de conciliação de um projeto eficiente e de baixo custo, paradoxalmente, vem sendo desenvolvida intensamente na Europa e nos Estados Unidos, desde 1970. Trata-se do sistema construído de área alagada “Constructed Wetland” (CWs), que internacionalmente se expandiu nestas últimas três décadas. O objetivo deste presente projeto foi verificar a eficácia deste tipo de sistema, em escala de laboratório, mantido em fluxo contínuo, vegetado com *Eichhornia crassipes* e/ou *Pistia stratiotes* em diferentes tempos de detecção hidráulica, no tratamento de águas superficiais contaminadas com esgotos domésticos, do Rio Corumbataí, município de Rio Claro, SP. Foram mensuradas as variações de temperaturas da água e do ar, umidade relativa do ar, pH, turbidez, condutividade, nitrogênio total, oxigênio dissolvido, sólido total dissolvido (TDS), amônia, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), cor aparente, fósforo total, coliformes totais e *Escherichia coli*. Os resultados mostraram que, após o tratamento com CWs, as águas do rio Corumbataí foram despoluídas com uma eficiência máxima para os seguintes parâmetros: turbidez: 96,6% após T16 dias (T, tempo); condutividade: 96,6% após T5 dias; amônia: 87,4%

após T5 dias; DQO: 47,2% após T10 dias; DBO: 38,9% após T1 dia; cor aparente: 96,6% após T5 dias; fósforo total: 88,7% após T16 dias; TDS: 26,0% após T21 dias; redução de coliformes totais: 97,0% após T5 dias; redução de *E. coli*: 99,2% após T1 dia. Em um segundo experimento, as eficiências máximas obtidas para os diferentes parâmetros foram: turbidez: 89,3% após T16 dias; condutividade: 20,8% após T5 dias; amônia: 90,5% após T10 dias; DQO: 87,5% após T21 dias; DBO: 93,9% após 2 horas do início do experimento (T0 dia); cor aparente: 89,1% após T16 dias; fósforo total: 77,9% após T5 dias; TDS: 20,4% após T5 dias. Para a redução de coliformes totais: 97,9% após T1 dia e de *E. coli* 95,0%, após T5 dias. A eficiência do sistema “CWs” variou com o tempo de tratamento e foi dependente do parâmetro estudado da água do rio Corumbataí. O CWs usado neste estudo mostrou-se eficiente para o tratamento da água do rio Corumbataí. O reator contendo *E. crassipes* foi mais eficiente para a remoção de poluentes da água que aquele com *P. stratiotes*. Verificou-se que o conhecimento prévio da composição do efluente a ser tratado é importante para o estabelecimento dos parâmetros a serem analisados, como também para definição do projeto de construção dos CWs. Além disso, tais características também contribuem para a definição do tempo de residência no intuito de se obter maior eficiência do tratamento utilizado.

Palavras-chave: tratamento; água; rio Corumbataí; wetlands construídos; áreas alagadas; eficiência; nutrientes.

REMOVAL OF BACTERIA AND NUTRIENTS OF SUPERFICIAL WATERS POLLUTED USING CONSTRUCTED WETLANDS

Autora: ANA KLEIBER PESSOA BORGES

Orientadora: PROF^a DR^a SÂMIA MARIA TAUK-TORNISIELO

Co-orientador: PROF. DR. ROBERTO NAVES DOMINGOS

ABSTRACT

The availability of water on Earth could be compromised due to the disordered human activity. Large proportion of the fresh water is damaged due to growing pollution, which could be minimized by increasing investments in area of sanitization. The major problem faced by the countries of the third world and also for those in development, in relation to the sanitation, it is the high cost of projects and their implantations that leads to increase the debt and consequently less resources for health and education. The possibility of conciliation of an efficient project with low cost has been developed intensely in Europe and in the United States, since 1970. This project is the Constructed Wetland (CWs) that is increasing its use internationally since three decades ago. The objective of this present project was to verify the effectiveness of this system in laboratory scale using vegetation with *Eichhornia crassipes* and *Pistia stratiotes* and continuous flow in different times of hydraulic detention. The treatment was applied for superficial waters from river "Rio Corumbataí" located at Rio Claro - SP, and polluted by domestic sewers. The variations of temperatures of the water and air were measured also were measured the relative humidity of the air, pH, turbidity, conductivity, total nitrogen, dissolved oxygen, total dissolved solids (TDS), ammonia, biochemistry oxygen demand (BOD), chemical oxygen demand (COD), apparent color, total phosphorus, total coliforms and *Escherichia coli*. The results showed that after the treatment with CWs, the waters of the river Corumbataí were with low pollution in a maximum efficiency for the following parameters: turbidity: 96.6% after T16 days (T, time); conductivity: 96.6% after T5 days; ammonia: 87.4% after T5 days; COD: 47.2% after T10 days; BOD: 38.9% after T1 day; apparent color: 96.6% after T5 days; total phosphorus: 88.7% after T16 days; TDS: 26.0% after T21 days; decreasing of total

coliforms: 97.0% after T5 days; decreasing of *E. coli*: 99.2% after T1 day. In a second experiment the maximum efficiency obtained for the different parameters were: turbidity: 89.3% after T16 days; conductivity: 20.8% after T5 days; ammonia: 90.5% after T10 days; COD: 87.5% after T21 days; BOD: 93.9% after 2 hours of the beginning of the experiment (T0 day); apparent color: 89.1% after T16 days; total phosphorus: 77.9% after T5 days; TDS: 20.4% after T5 days. For the decreasing of total coliforms: 97.9% after T1 day and of *E. coli*: 95.0%, after T5 days. The efficiency of the system "CWs" varied with the time of treatment and it was dependent of the analyzed parameter of the water from river Corumbataí. CWs used in this study were shown efficient for the treatment of the water from river Corumbataí. The reactor containing *E. crassipes* went more efficient for the removal of pollutant of the water rather than with *P. stratiotes*. It was verified that the previous knowledge of the composition of the effluent to be treated is important for establishment of the parameters to be analyzed, as well as for definition of the project based in construction of CWs. Besides, such characteristics also contribute to the definition of the residence time with intention of obtaining better efficiency for the chosen treatment.

Keywords: treatment; water; river Corumbatai; constructed wetlands, efficiency, nutrients.

1. INTRODUÇÃO

A aplicação de tecnologias alternativas para tratamento de águas poluídas torna-se cada vez mais necessária, em particular aquelas de baixo custo, de fácil manutenção e operação, e que não dependam de energia elétrica. “Wetlands” naturais e construídos têm mostrado alta capacidade de transformar, reciclar, reter e remover diferentes tipos de nutrientes eutrofizantes e contaminação fecal de esgotos e águas superficiais (HAMMER, 1989), poluentes, especialmente os orgânicos (WALLACE, 1998; KNIGHT et al, 1999), com base nos processos naturais (filtração, sedimentação, adsorção/absorção, biodegradação), que ocorrem nos biofilmes microbianos formados entre a rizosfera e o substrato sólido (TANNER, 1996; GOPAL, 1999).

A utilização de sistemas construídos de áreas alagadas (CWs), com resultados positivos, tem estimulado a aplicação dos mesmos, porém, muitas etapas dos processos que ocorrem dentro desses sistemas ainda são desconhecidas. Acrescenta-se que esses sistemas devem contemplar fatores intrínsecos às áreas onde serão estabelecidos. Estudos em escala piloto tornam-se necessários para estabelecimentos prévios de determinadas condições que possam antecipar a verificação da eficácia dos sistemas a serem construídos. Quantificar a remoção ou biodegradação da matéria orgânica, dos macro e micronutrientes, de microrganismos incluindo coliformes totais e *Escherichia coli*, são parâmetros que devem ser prioritariamente estabelecidos (GOPAL, 1999).

Os objetivos deste estudo foram: estudar a eficácia do sistema construído de área alagada (CWs) com fluxo contínuo, vegetado com *Eichhornia crassipes* e/ou *Pistia stratiotes*; propor um processo alternativo para tratamento de água usando CWs e

analisar a eficiência do sistema, quantificando os principais parâmetros para avaliação da qualidade da água.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Utilização de sistemas de “wetlands” construídos (CWs)

O uso de CWs para tratamentos de águas de rios e águas residuárias tem sido estudado em vários países, (COOPER e FINDLATER, 1990; OLSON e MARSHALL, 1992; MOSHIRI, 1993; KADLEC e KNIGHT, 1996). Problemas encontrados em CWs foram identificados em vários estudos (PANT et al. 2001; GÓMEZ CERESO et al. 2001; BRASKERUD, 2002a,b; SÖDERQVIST, 2002; PANT E REDDY, 2003). A eficiência do uso de macrófitas aquáticas em CWs tem sido verificada quanto à retenção de matéria orgânica (NGUYEN, 2000), remoção de nutrientes (MITSCH et al. 2000) e redução de patógenos (PERKINS e HUNTER, 2000). No tratamento de efluentes gerados na suinocultura utilizando CWs com três tempos de retenção hidráulica (HRT) foi verificado que na fase I (1-109 dias) ocorreu a eficiência de 84%, sendo que em maior tempo este valor foi inferior (LEE et al. 2004).

O pioneirismo desta técnica no Brasil iniciou em 1985, com os estudos da Dr^a Carmen Lúcia Roquette Pinto, do Instituto Brasileiro de Tecnologia (IBT), CNPq, Rio de Janeiro-RJ, visando à determinação da eficiência das plantas aquáticas flutuantes (*Eichhornia* sp), na remoção de metais pesados de efluentes. Foram desenvolvidos por Roquette Pinto et al. (1998), Oliveira et al. (1998), estudos sobre o aproveitamento desses vegetais como fonte de proteínas, para alimentação de animais como também para produção de energia. No estado do Rio de Janeiro também foi estudada a preservação de áreas alagadas naturais (ZEE, 1998; LUIZI, 1998) e a contribuição da salinidade da água na eficiência de remoção do nitrogênio e fósforo, usando-se

Eichhornia crassipes e *Salvinia auriculata* (PETRUCIO e ESTEVES, 1998). No Brasil pouco se conhece sobre o uso de CWs, sendo que os resultados mais abundantes se referem à qualidade das águas de lagos naturais e artificiais (AMARAL, 1998; LOPES-FERREIRA et al. 1998; QUEIROZ, 1998; TUNDISI, 1998).

Valentim e Roston (1998) verificaram a eficiência do tratamento de água residuária em tanque séptico anaeróbico e em CWs com macrófitas emergentes (*Typha* sp). Foi constatada a diminuição de sólidos sedimentáveis, coliformes totais, *E. coli* e da turbidez nos locais de amostragem. Uma pequena variação na temperatura da água pode alterar o processo biogeoquímico do sistema aquático estudado (SILVA e NOVO, 1998).

Ribeiro e Galbiatti (1998) estudaram a contaminação de aquíferos por compostos orgânicos e minerais em cultura de hortaliça irrigada com água residuária. Os resultados demonstraram que incorporações difusas e pontuais de materiais orgânicos e minerais promoveram alterações nas concentrações preexistentes de águas em percolação que reabastecem aquíferos subterrâneos. As análises microbiológicas das águas realizadas a 60 cm de profundidade não demonstraram a presença de contaminação por coliformes fecais. O potencial de contaminação dos solos e das águas em percolação tornou-se dependente das características químicas, físicas e biológicas dos materiais dispostos, bem como do volume incorporado ao ambiente.

Outros estudos aplicando CWs foram realizados utilizando: tratamento direto de efluente doméstico em sistema integrado com tanque séptico e uso de macrófita emergente *Zizanopsis bonariensis*, demonstraram a remoção de 32% de DBO, 33% de DQO e 78% de fósforo total (PHILLIPI e COSTA, 1998). Na reabilitação do Rio Cotia mediante o uso de áreas alagadas construídas, sendo o sistema eficiente para diminuição da poluição, de tal forma que sua classificação Classe 4 foi modificada para Classe 2 (BREGA FILHO et al. 1998). No desempenho do reator anaeróbico (UASB) associado a leito cultivado de fluxo subsuperficial para tratamento de esgoto doméstico. Os resultados obtidos mostraram que esse reator, com profundidade não convencional (menor que 4 m), pode propiciar remoção satisfatória da DQO, se houver descarga de lodo a uma frequência pré-estabelecida. Quanto ao leito cultivado de fluxo subsuperficial, o mesmo apresentou resultados positivos no seu desempenho como pós-tratamento (LIMA e BERNARDES, 1998).

Meira et al. (2001) analisaram a influência de dois tempos de detecção hidráulica (TDH) de 5 e 10 dias, na remoção de sólidos suspensos totais, matéria orgânica, macronutrientes, coliformes, estreptococos fecais e bacteriófagos em CWs vegetados com *Typha* sp e alimentados com batelada com água poluída por esgotos, associando-as com o crescimento da macrófita. Os resultados indicaram que o CWs foi eficiente na remoção da maioria dos parâmetros estudados. As maiores remoções ocorreram para coliformes e estreptococos fecais, seguidas dos colifagos, bacteriófagos, demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e sólidos totais suspensos (STS). Os compostos de P e N tiveram menores remoções, apesar de que para N-amoniacal sua remoção atingiu 77%. O sistema mostrou-se apropriado para o tratamento de águas superficiais poluídas, promovendo uma melhoria acentuada na qualidade microbiológica, física e química da água, embora dependentes da adaptação das macrófitas e do TDH.

Borges (2001) estudando a eficiência do CWs para tratamento de águas residuárias, verificou maior eficiência na remoção de coliformes fecais (100%) e coliformes totais (90,2%) no tempo de detecção hidráulica 10 dias; *Bacillus subtilis* (99,4%), *Saccharomyces cerevisiae* (96,8%) no tempo de detecção hidráulica 20 dias e *Escherichia coli* (92,1%) no tempo de detecção hidráulica 15 dias. Concluiu que sistema “wetland” construído é eficiente na remoção dos microrganismos: *Bacillus subtilis*, *Saccharomyces cerevisiae*, *Escherichia coli* e coliformes totais, dentre outros parâmetros analisados, em diferentes tempos de detecção hidráulica, promovendo uma melhoria acentuada na descontaminação de águas residuárias.

Elias et al. (2001) verificaram 87% de eficiência na redução de amônia em CWs, utilizando aguapé e arroz, sendo que Jing et al. (2001) obtiveram 78-100% de eficiência na redução deste mesmo parâmetro em sistema desta mesma natureza para tratamento da água de rio. Jing et al. (2001) realizaram pesquisas com CWs para tratamento de água do rio e obtiveram 13–51% de eficiência na redução da DQO. Nogueira (2003) ao avaliar os parâmetros biogeoquímicos em CWs para o tratamento de esgoto, obteve as eficiências de: 89% para DBO₅, 86% para DQO e 80% para fósforo total.

Ansola et al. (2003) verificando a performance do CWs, obtiveram as seguintes eficiências na remoção de DQO 80-89%, DBO de 82-87,5% e de *Escherichia coli* 99,9%.

Jing e Lin (2004) estudando o efeito sazonal da remoção de amônia com o uso de CWs para tratamento de água de rio em Taiwan verificaram que a variação sazonal afetou a eficiência do sistema CWs na remoção da amônia na água do rio em Taiwan, devido à mudança das concentrações de amônia na água.

Lin et al. (2005) verificaram a eficiência do sistema CWs no tratamento intensivo de efluente gerado da piscicultura; os resultados mostraram que houve redução: 55-66% de sólidos suspensos, 37-54% de DBO, 64-66% de amônia e 83-94% de nitrito.

2.2. Macrófitas utilizadas em sistemas de “wetland” construídos

2.2.1. Uso das macrófitas aquáticas flutuantes – *Eichhornia crassipes* e *Pistia stratiotes* e macrófitas aquáticas emergentes em sistemas de depoluição hídrica

A macrófita aquática *Eichhornia crassipes* conhecida como aguapé, jacinto aquático e baronesa, sendo monocotiledônea pertencente à família das Pontedericeae, caracterizando-se por ser suculenta com cerca de 95% de água, contendo raízes, rizomas, estolões, pecíolos, folhas e inflorescência, variando em altura desde alguns centímetros até cerca de um metro. Suas raízes são fibrosas, sem ramificações, com uma coifa conspícua, podendo atingir até quase um metro de comprimento, suspensa ao fundo em águas rasas, enraizando-se em locais secos. Neste último caso, a planta possui menor tamanho. Em plantas pequenas ou isoladas, a base do pecíolo dilata-se e as células do parênquima de enchimento produzem flutuador. Em plantas maiores, que geralmente ocorrem em agregados densos, à base do pecíolo não tem bulbo tão distinto. Todas as partes da planta, com exceção da semente, têm densidade inferior à 1g/cm^3 , e, conseqüentemente, tornam flutuante. O rizoma ou talo vegetativo consiste de um eixo com curtos entrenós, no qual são produzidos numerosos nós, raízes, folhas, ramos e inflorescências da planta (BRIX e SCHIERUP, 1989).

A reprodução do aguapé ocorre primariamente por processos vegetativos. Novas plantas são produzidas por estolões e o crescimento lateral faz-se a partir do rizoma. À medida que a planta produz outros indivíduos, forma-se enorme e espessa camada de plantas interligadas. O tempo médio para sua duplicação é de aproximadamente duas semanas, de modo que, sob condições ideais, dez plantas podem cobrir um acre em dez meses. O aguapé tem grande capacidade de regeneração; se quebrado ou triturado, o rizoma pode regenerar uma nova planta dependendo do tamanho do fragmento. Esta planta produz uma espiga com duas a trinta e oito flores e pode ocorrer autopolinização devido ao dobramento e espiralização, quando a flor murcha. Nesta ocasião, a espiga afunda na água, para dispersar suas sementes. Embora o aguapé floresça quase o ano todo, não há liberação de sementes até o início da estação fria. Quando a cápsula do fruto maduro rompe-se, as sementes são espalhadas pela camada de plantas circundantes ou na água, onde afundam. As sementes permanecem viáveis por um mínimo de sete anos, sendo pré-requisitos para germinação a escarificação por meios físico-químicos ou biológicos e a sua exposição ao ar (PENFOUND e EARLE, 1948).

Nos sistemas de descontaminação de águas poluídas têm sido utilizados o aguapé e solos filtrantes plantados com *Oriza sativa* (arroz). Esses são usados para tratamentos secundário e terciário (às vezes primário), de resíduos urbanos e industriais. Servem também como pré-tratamento de rios poluídos e esgotos para alimentação de estações convencionais de tratamento de água. Quando se utilizaram canais com aguapé e subsequente solos filtrantes plantados com arroz, houve diminuição de 90% de DBO, sendo que este parâmetro no efluente variou de 150 a 200 mg.L⁻¹ (SALATI e RODRIGUES, 1982).

Kawai e Grieco (1983), utilizando aguapé para tratamento de esgotos domésticos, juntamente com o estabelecimento de critérios de dimensionamento de lagoas e abordagem de alguns processos operacionais concluíram que uma lagoa com aguapé tendo um hectare poderá tratar a quantidade de esgoto correspondente à aproximadamente 2.500 habitantes. Santos e Leão (1983) desenvolveram estudos no Rio Pinheiros na cidade de São Paulo, quanto ao uso do aguapé com caráter científico e econômico, concluindo que os tratamentos de esgotos por métodos aquáticos que utilizam plantas podem ser alternativas interessantes, principalmente quanto ao custo da implantação em pequenas comunidades e cidades.

Busk et al. (1983) verificaram a remoção de nitrogênio e fósforo de água residuária após o tratamento com *Eichhornia crassipes*, constatando a remoção de nitrogênio total de 87,0%, de 10,0 para 1,2 mg.L⁻¹, e diminuição de 10,0%, de 4,7 para 4,2 mg.L⁻¹ para o fósforo. Em outros sistemas, a água poluída foi filtrada uma ou até três vezes em solos plantados ou não com arroz, retirados de área de cerrado, região de Analândia-SP. Após este tratamento, o efluente passou por um canal de aguapé para tratamento final. Este sistema tem sido testado especialmente com águas de lavagens de cana-de-açúcar em Usina de Açúcar e Álcool, como tratamento final das fábricas de celulose e papel e em indústrias de laminados (SALATI, 1987).

O aguapé é encontrado em vários continentes, principalmente nas regiões tropicais e sub tropicais, podendo também ocorrer em regiões temperadas. Esta planta é muito conhecida pela grande capacidade de sobrevivência em meios hídricos, pela excepcional produção de biomassa e também pela ação depuradora dos corpos de água. Por exemplo, *Pistia stratiotes* é uma macrófita aquática conhecida como alface aquática, sendo monocotiledônea pertencente à família das Aracaceae, ocorrendo em vários países (PIETERSE e MURPHY, 1990). Mandi (1994), verificando a purificação de água residuária pelas macrófitas aquáticas *Eichhornia crassipes* e *Lemna gibba*, notou que a eficiência da primeira foi satisfatória, acarretando redução de 87,0% da DQO, 95,0% de sólido suspenso total (TSS) e 2 unidades logarítmica de coliformes fecais, com um tempo de retenção hidráulica de 7 dias.

Karpiscak et al. (1994) investigaram o uso do aguapé no tratamento municipal de água residuária no Arizona, constatando que esta planta foi eficiente na diminuição da DBO e dos sólidos totais dissolvidos, respectivamente 64,0% e 84,0%. Atualmente, a maior estação de tratamento utilizando aguapé encontra-se na cidade de Orlando, Flórida (USA), em um local denominado Iron Bridge. Esta possui um conjunto de lagoas com 12 hectares destinadas a fazer um tratamento terciário de efluente da estação de tratamento convencional que existe neste local. Esta estação está em funcionamento há 15 anos e tem conduzido o efluente a atingir parâmetros físicos, químicos e microbiológicos condizentes às especificações da legislação vigente naquele Estado. A biomassa do aguapé pode ser utilizada para produção de biogás e biofertilizantes (OLIVEIRA et al. 1998).

Mansor (1998), estudando o uso de leitos de macrófitas no tratamento de águas residuárias, obtiveram uma redução máxima de DQO igual a 82,7% e de 86,4% para fósforo total no leito cultivado com *Typha dominguensis* x *Typha latifolia*. A máxima remoção de nitrogênio total foi 91,8% no leito cultivado com *Eleocharis fistulosa*.

Henry-Silva (2001), utilizando macrófitas aquáticas flutuantes (*Eichhornia crassipes*, *Pistia stratiotes*, *Salvinia molesta*) no tratamento de efluentes de piscicultura, verificaram que *E. crassipes* e *P. stratiotes* foram mais eficientes na remoção de fósforo total (82,0% e 83,3%) e nitrogênio orgânico total (46,1% e 43,9%, respectivamente) em relação à *S. molesta* (72,1% de fósforo total e 42,7% de nitrogênio orgânico total), concluindo que os sistemas compostos de *E. crassipes* e *P. stratiotes* foram os melhores quando comparados com os demais.

Jing et al. (2001) estudaram a remoção de poluentes da água de rio usando “wetlands” construídos vegetados com as macrófitas aquáticas emergentes (*Pennisetum alopecuroides* e *Phragmites communis*) e flutuante (*Lpomoea reptans*), verificaram as seguintes remoções: 13-51% de DQO, 78-100% de amônia e 52-85% de fósforo total.

Vymazal, (2002) utilizou a macrófita aquática emergente *Phragmites australis* no sistema de “wetland” construído, para o tratamento de águas residuárias na “Czech Republic”, no qual, obteve-se as eficiências: 88% de DBO₅, 84,3% de sólidos suspensos, 51% e 41,6% para fósforo e nitrogênio total respectivamente.

Nogueira, (2003) realizou o balanço de nutrientes e avaliação de parâmetros biogeoquímicos em áreas alagadas construídas vegetados com arroz (*Oriza sativa* – variedade IAC 101) e o aguapé (*Eichhornia crassipes*), para o tratamento de esgoto, apresentando como desempenho as seguintes taxas anuais de remoção de carga orgânica e nutriente: 89% para DBO₅, 86% para DQO, 80% para fósforo total e 76% para carbono total.

Schulz et al. (2004) estudaram a redução de nutrientes de efluente de piscicultura após o tratamento com o sistema de “wetland” construído vegetado com *Phalaris arundinacea*, verificaram uma redução de 67-72% para sólidos suspensos totais, 30-31% de DQO, 41-53% de fósforo total e 19-30% de nitrogênio total.

Sousa et al. (2004) utilizaram “wetland” construído vegetado com *Juncus spp* no pós-tratamento de esgotos domésticos pré-tratados em reator UASB (reator anaeróbio

de fluxo ascendente com manta de lodo), obtiveram 66 e 86% de redução de nitrogênio e fósforo total respectivamente.

Lin, et al. (2005) verificaram a eficiência do sistema de “wetland” construído com as macrófitas aquáticas emergentes *Typha angustifolia* e *Phragmites australis* no tratamento do efluente de piscicultura, os resultados mostraram as seguintes eficiências: 55-66% para sólidos suspensos totais, 37-54% para DBO₅, 64-66% de amônia e 83-94% de nitrito.

2.3. Fatores de remoções dos poluentes pelos sistemas de “wetlands” construídos (CWs)

Observa-se na natureza que as águas, após passarem por solos sem contaminação (sistemas de “wetlands”: natural e construído), sofrem processo de purificação, sendo que a ação depuradora desses solos é devida a três fatores principais:

a) **ação de filtragem mecânica**, a qual depende fundamentalmente da estrutura granulométrica do solo e da sua composição química.

b) **ação físico-química** para retenção de ânions e cátions. Esta ação está intimamente ligada à capacidade de troca catiônica dos solos.

c) **ação biológica** que pode ser ativa através de quatro mecanismos principais:

c.1) **ação dos microrganismos do solo** que decompõem a matéria orgânica;

c.2) **ação de microrganismos do solo** que ativam os processos biogeoquímicos;

c.3) **ação de microrganismos do solo** sobre microrganismos que existem nas águas poluídas;

c.4) **ação das plantas** que crescem nos solos e retiram nutrientes, ao mesmo tempo em que o sistema radicular melhora as condições físico-químicas do mesmo, Brix (1994).

3. MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos nos laboratórios de Química e Microbiologia do Centro de Estudos Ambientais e no Laboratório de Toxicidade do Departamento de Microbiologia Aplicada do Instituto de Biociências, ambos da Universidade Estadual Paulista – UNESP – Campus de Rio Claro.

3.1. Material

3.1.1. Macrorganismos:

Macrófitas aquáticas flutuantes: *Eichhornia crassipes* - conhecida como aguapé, baronesa (Figura 1) e *Pistia stratiotes* (Figura 2) conhecida como alface d'água (BRIX e SCHIERUP, 1989).



Figura 1. Macrófita aquática *Eichhornia crassipes* utilizada no CWs.

Figura 2. Macrófita aquática *Pistia stratiotes* utilizada no CWs.

3.1.2. Meio de quantificação dos microrganismos: coliformes totais e *E. coli*

Kit Colilert® (IDEXX Laboratories Inc. Westbrook, ME).

3.1.3. Material para construção do “wetland”

- Canos de PVC ($\frac{1}{2}$ e $\frac{3}{4}$).- Carvão de babaçu, proveniente de Tocantinópolis-TO.- Conexões de PVC (Luvas, cotovelos, junções $\frac{1}{2}$ e $\frac{3}{4}$). A distribuição da montagem hidráulica foi do tipo espinha de peixe.
- Quatro reservatórios de água de PVC 250 L, utilizado por Borges (2001).- Solo de área de cerrado “sensu stricto” (solo coletado sob vegetação de cerrado “sensu stricto”, no município de Corumbataí-SP, nas coordenadas entre meridianos 47° 40’ e 47° 45’ longitude ocidental e 22° 10’ e 22° 15’ de latitude sul, sem qualquer ação antrópica). A coleta foi feita no horizonte A em profundidade de 5 a 30 cm, sendo posteriormente levado para a unidade experimental do Campus universitário, Borges (2001).- Seixo rolado (pedregulho – 2,4 a 4,8 mm; 6,4 a 12,7 mm e 25 a 50 mm), proveniente da Mineração Mandu Ltda, do distrito de Ajapí, município de Rio Claro, SP, (Figura 3).

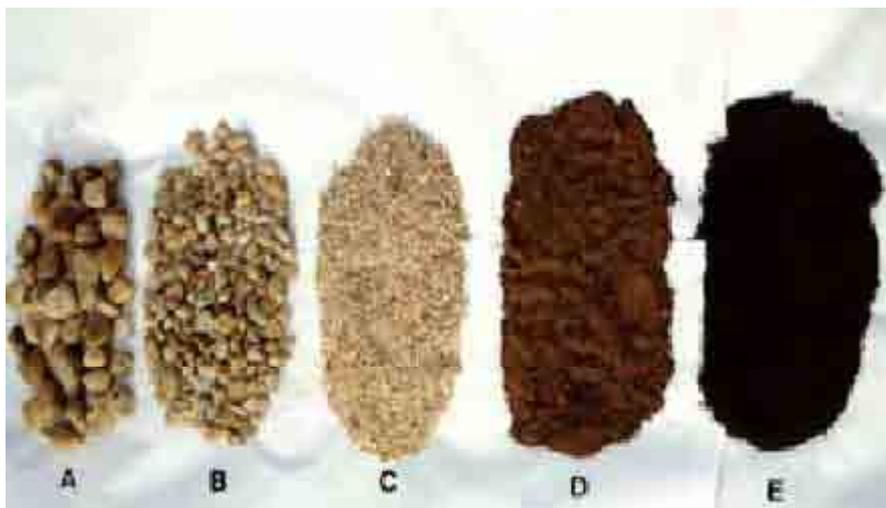


Figura 3. Diferentes particulados utilizados no sistema de tratamento. Legenda: A - Pedregulho – 25-50 (mm); B - Pedregulho – 6,4-12,7 (mm); C - Pedregulho – 2,4-4,8 (mm); D - Solo cerrado “Strictu sensu” – 1 (mm), E – Carvão de Babaçu – 2 (mm), Borges (2001).

3.2. Métodos

3.2.1. Montagem do reator (sistema de “constructed wetland”) em escala de laboratório

Fez-se a montagem do sistema “constructed wetland” em escala de laboratório com caixas de PVC 250 L em série de 4 reatores, conforme Figura 4 abaixo, sendo de fluxo contínuo.



Figura 4. Montagem do sistema “constructed wetland” em escala piloto onde foram executados os ensaios. Legenda: caixas contendo: Caixa 1 efluente poluído (água no Rio Corumbataí); Caixa 2 macrófitas aquáticas (aguapé); Caixa 3 particulados (pedregulhos 3 tamanhos diferentes, solo e carvão de babaçu) e as macrófitas aquáticas *Pistia stratiotes*; Caixa 4 particulados (pedregulhos 3 tamanhos diferentes, solo e carvão de babaçu) sem macrófitas. No abrigo 5 termômetro de mercúrio em vidro, para medir a temperatura ambiente, Borges (2001).

Colocou-se na caixa 1 o efluente poluído (água no Rio Corumbataí) a ser tratado; na caixa 2 as macrófitas aquáticas (aguapé); e na caixa 3 os particulados (pedregulhos 3 tamanhos diferentes – Figura 3; solo e carvão de babaçu) e as macrófitas aquáticas *Pistia stratiotes*; Na caixa 4 colocou-se os particulados (pedregulhos 3

tamanhos diferentes - Figura 3; solo e carvão de babaçu) sem macrófitas. No abrigo 5, colocou-se o termômetro de mercúrio em vidro, marca Boeco, para medir a temperatura ambiente.

Após montagem do experimento abriu-se a torneira da caixa 1 para dar vazão e direcionando o tratamento; passando primeiro pelo banco de macrófitas (caixa 2) e posteriormente para caixa 3 e 4 concomitantemente; A vazão para o sistema foi 43,4 mL/min, com um tempo de residência de 4 dias. A vazão foi mantida constante com o auxílio de válvulas de esfera e sistema de bóias acopladas aos reatores. A diferença de nível entre os reservatórios possibilitou que o movimento do fluido se fizesse com a contribuição da força da gravidade.

3.2.1.1. Regime hidráulico do sistema de “constructed wetland” em escala de laboratório

O regime utilizado foi do tipo permanente, de fluxo contínuo admitido laminar, por apresentar um número de Reynolds abaixo de 2000. O número de Reynolds foi calculado pela expressão, segundo Okuno (1982):

$$Re = \frac{vD\rho}{\eta} \quad (1)$$

v = velocidade média do escoamento

ρ = densidade

η = viscosidade

D = perímetro molhado.

A disposição dos canos e tubulações e medidas seguiram conforme Figura 5.

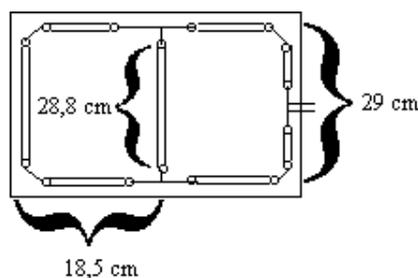


Figura 5. Detalhe da disposição dos canos e tubulações.

Nas caixas de PVC números 3 e 4, o regime da disposição dos canos seguiram de acordo com a Figura 5, sendo que a abertura dos drenos foi de 2 mm com uma distribuição de 5 orifícios/cm.

O cálculo do tempo de residência:

$$t = \frac{V}{Q} \quad (2)$$

Onde:

V = volume do reator de 250 L

Q = vazão

t = tempo de residência igual a quatro dias

4 x 24 h x 3600 s = 345600 s.

A vazão para esse tempo de residência foi:

$$Q = \frac{250L}{345600s} \quad (3)$$

$$Q \cong 43,4mL / \text{min}.$$

3.2.2. Ponto de amostragem, coletas de água para ser tratada no sistema de “constructed wetland” em escala de laboratório e medições de fatores ambientais durante as coletas

Foram efetuadas amostragem e duas coletas (a primeira em 17/02/2003 e a segunda em 14/04/2003) de 2.000 litros de água no Rio Corumbataí na antiga usina da CESP, hoje Fundação Patrimônio Histórico da Energia de São Paulo, no município de Rio Claro-SP, nas coordenadas UTM X 0233366 e Y 7511786. Neste ponto de coleta, a água caracteriza-se como classe 4, segundo (PALMA-SILVA, 1999). Os 2.000 litros de água coletados com o carro pipa (Figura 6) do Departamento Autônomo de Água e Esgotos (DAAE) e armazenados em bombonas (Figura 7), foram posteriormente tratados no CWs, em escala de laboratório.



Figura 6. Carro Pipa utilizado na coleta das amostras de águas do rio Corumbataí, SP, gentilmente cedido pelo DAAE (Departamento Autônomo de Água e Esgoto) do município de Rio Claro, SP.



Figura 7. Armazenamento de água em bombonas na casa de vegetação, no CEA-UNESP, Rio Claro-SP.

3.2.3. Pontos de coletas de água no sistema de “constructed wetland” em escala de laboratório

Os pontos de coleta neste sistema foram quatro ou sejam: nas saídas da caixa 1 (P1); caixa 2 (P2 – canal de aguapé); caixa 3 (P3 – solo filtrante com *Pistia stratiotes*); e 4 (P4 – solo filtrante), conforme demonstrado na Figura 8, sendo que, em cada ponto, foram coletados 2,1 litros de água. Desses 2,1 litros d’água, 2,0 litros foram utilizados para análise dos parâmetros físicos, químicos, físico-químicos e microbiológicos da água coletada a qual realizou-se no Centro de Estudos Ambientais (CEA), UNESP – Rio Claro-SP; 0,1 litros de água foram destinados à análise de toxicidade no Departamento de Bioquímica e Microbiologia – UNESP, Rio Claro-SP.



Figura 8. Ilustração do aspecto geral do protótipo do sistema construído de “wetlands”, com os pontos de coletas das amostras de água. Legenda: P1 = saída da caixa 1; P2 = saída da caixa 2 (canal de aguapé); P3 = saída da caixa 3 (solo filtrante com *Pistia stratiotes*) e P4 = saída da caixa 4 (solo filtrante).

As amostras para análises laboratoriais (Figura 9) foram coletadas em garrafas de polietileno (1L) e acondicionadas em uma caixa de isopor. Os fatores abióticos foram determinados no mesmo dia da coleta, com exceção das análises de nitrogênio.

Estas amostras foram acidificadas e guardadas no congelador para posterior determinação. Para as análises microbiológicas, foram esterilizados frascos de coleta de 0,1 L devidamente fechados, sendo as tampas envoltas com papel protetor. Em cada coleta de amostras de água no CWs foram realizadas as análises descritas a seguir.



Figura 9. Amostras de águas coletadas para análise em laboratório após tratamento em “CWs”.

3.3. Análises físicas, químicas, físico-químicas, microbiológicas e toxicidade da água

Temperaturas da água e ambiente, turbidez, condutividade, pH, salinidade foram determinados durante as coletas das amostras. Outros parâmetros foram medidos no laboratório: cor aparente, oxigênio dissolvido, sólidos totais dissolvidos (TDS), alcalinidade total, demanda bioquímica de oxigênio (DBO_5), demanda química de oxigênio (DQO), fósforo total, amônia, nitrito, nitrato, nitrogênio total, coliformes totais

e *Escherichia coli*, ensaio de toxicidade aguda utilizando-se *Daphnia similis*, (APHA, 1998).

3.3.1. Temperaturas (°C) da água e do ambiente

A determinação da temperatura da água foi realizada com aparelho de campo marca Mettler Toledo, modelo MP 120, com precisão de $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$ e a temperatura ambiente com termômetro de mercúrio em vidro, marca Boeco, método 2550 (APHA, 1998).

3.3.2. pH

Foi determinado, com aparelho de campo, marca Mettler Toledo, modelo MP 120, com precisão de $\pm 0,02$.

3.3.3. Condutividade ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$), salinidade (‰) e sólidos totais dissolvidos (STD) ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)

As medidas destes parâmetros foram realizadas com aparelho de campo marca Hach, modelo CO 150. A precisão do aparelho para condutividade é de $\pm 0,5\%$ e para TDS é de $\pm 0,1$, métodos 2510, 2520 e 2540 (APHA, 1998).

3.3.4. Turbidez (UNT)

As determinações foram realizadas com aparelho de campo para avaliação de turbidez, marca Hach, modelo 2100P, com precisão $\pm 0,01$ UNT, método 2130 (APHA, 1998).

3.3.5. Cor aparente (Pt/L) e Amônia ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)

As determinações foram realizadas em aparelho automático, marca Hach, modelo DR/2000, métodos: 2120 e 4500 (APHA, 1998).

3.3.6. Demanda química de oxigênio – DQO (mg.L⁻¹)

A metodologia utilizada correspondeu à digestão ácida com dicromato de potássio, (APHA, 1998), utilizando-se um reator de digestão marca Hach, modelo COD REACTOR e espectrofotômetro marca Hach, modelo DR/2000, com precisão de $\pm 1 \text{ mg.L}^{-1}$, método 5220 (APHA, 1998).

3.3.7. Alcalinidade total (mg.L⁻¹)

Os valores da alcalinidade total foram determinados através do método da titulação potenciométrica (método 2320 - APHA, 1998). Determinou-se o pH em 0,1 L da amostra e, com o eletrodo do pHmetro imergido na amostra, acrescentou-se à mesma solução ácido sulfúrico 0,01 N para corrigir o pH em 4,35. A alcalinidade total foi calculada utilizando-se o volume de ácido sulfúrico gasto para a correção do pH da amostra, normalidade do ácido e o volume da amostra, com os valores expressos na equação:

$$ALC_t = \frac{V_t \cdot N_{H_2SO_4} \cdot 50000}{V_{am}} \quad (4)$$

Onde:

ALC_T: alcalinidade total

V_T: volume total gasto de ácido sulfúrico, desde o início da titulação até o pH 4,5, em mL.

N_{H₂SO₄}: normalidade do ácido sulfúrico padronizado.

V_{am}: volume utilizado de amostra, em mL.

3.3.8. Nitrato (mg.L⁻¹)

As concentrações de nitrato (N-NO₃⁻) foram obtidas através do método 4500 (APHA, 1998), no qual o nitrato é reduzido a nitrito através do cádmio amalgamado, sob agitação mecânica, que reagindo com sulfanilamida e n (1-naftil) etilenodiamina forma um composto de coloração rósea. As absorbâncias das amostras foram lidas no comprimento de onda de 543 nm.

3.3.9. Nitrito (mg.L^{-1})

A determinação das concentrações de nitrito (N-NO_2^-) foram obtidas de acordo com o método 4500 (APHA, 1998), onde a amostra foi colocada para reagir com sulfanilamida e n (1-naftil) etilenodiamina e a leitura realizada em espectrofotômetro a 543nm.

3.3.10. Nitrogênio total (mg.L^{-1})

A metodologia utilizada foi descrita pelo método 4500 (APHA, 1998), que preconizou a concentração da amostra até quase total desidratação (2 mL), seguida de digestão ácida (ácido sulfúrico concentrado) a quente. Após a digestão, a amostra foi destilada em um aparelho destilador marca TECNAL com tiosulfato alcalino. O destilado foi acrescido com ácido bórico 1% e posteriormente titulado com ácido clorídrico 0,01 N. Como padrão da reação utilizou-se água destilada.

3.3.11. Oxigênio dissolvido (mg.L^{-1})

As concentrações de oxigênio foram determinadas através do método titulométrico de Winkler modificado com adição de azida sódica, método 4500-0 (APHA, 1998). Neste método, coletou-se a amostra com coletores especiais, fixando-se o oxigênio com soluções de sulfato manganoso e azida sódica alcalina e realizando-se a titulação com uma solução de tiosulfato de sódio 0,0125 N. Os valores de oxigênio dissolvido foram obtidos através da equação:

$$OD = \frac{N.V_1.8000}{V_2 \cdot \left(V_f - \frac{4}{v_f} \right)} \quad (5)$$

Onde:

OD: oxigênio dissolvido

N: normalidade do tiosulfato de sódio

V_1 : volume do tiosulfato de sódio gasto na titulação

V_2 : volume da amostra titulada

Vf: volume do frasco

3.3.12. Fósforo total ($\mu\text{g.L}^{-1}$)

A metodologia utilizada foi descrita pelo método 4500-P (APHA, 1998). Efetuou-se inicialmente a digestão de 10 mL da amostra e 10 mL de água destilada (padrão) com solução saturada de persulfato de potássio, em autoclave, à temperatura de 120°C por 30 minutos. Após a digestão e resfriamento da amostra, adicionou-se reagente misto (tartarato de antimônio e potássio, molibdato de amônia, ácido sulfúrico e ácido ascórbico) e procedeu-se à leitura em espectrofotômetro a 882 nm de comprimento de onda.

3.3.13. Demanda bioquímica de oxigênio (DBO) ($\text{mgO}_2\text{.L}^{-1}$)

O teste foi usado para medir a quantidade de oxigênio consumido por bactérias durante a oxidação da matéria orgânica presente na amostra. O método utilizado foi o da incubação da amostra contendo os reagentes do kit da Hach, utilizando-se o aparelho marca Hach, modelo BOD TrakTM, método 5210 (APHA, 1998).

3.3.14. Quantificação de coliformes totais e *Escherichia coli* (NMP/100 mL)

Para determinação de coliformes totais e *Escherichia coli* (NMP/100 mL – número mais provável), a técnica utilizada foi a de substrato definido (Defined Substrate Technology → DST), método 9223-A (APHA, 1998), para detecções simultâneas, isto é, identificações específicas e confirmativas de coliformes totais e *E. coli* em água continental natural ou tratada, bem como naquelas com alto conteúdo de sais, como as águas marinhas. Utilizou-se o sistema Colilert® onde ocorre a reação baseada na tecnologia DST, onde são utilizados nutrientes indicadores que possibilitam aos microrganismos de interesse, presentes na amostra, produzirem mudança da cor (ou fluorescência) ao serem inoculados em sistemas por DST. Os nutrientes (açúcares ligados a radicais orgânicos cromogênicos), por serem específicos para bactérias coliformes, proporcionam o crescimento e a reprodução dos microrganismos como coliformes totais e *E. coli*.

Os nutrientes indicadores específicos, seletivos e especialmente formulados para o reagente Colilert® são os seguintes:

- a) para coliformes totais utilizou-se o ONPG (o-nitrofenil- β -D-galactopiranoídico), onde o açúcar é β -D-galactopiranoídico e o radical cromogênico é o-nitrofenil; e
- b) para *E. coli* o MUG (4-metil-umbeliferil- β -D-glucoronídeo), onde o açúcar é β -D-glucoronídeo e o radical cromogênico é 4-metil-umbeliferil.

As enzimas específicas e, portanto, características dos coliformes totais (β -Galactosidase) e da *E. coli* (β -glucoronidase), ao metabolizarem os nutrientes causam a liberação de um indicador (radical orgânico cromogênico) e, como consequência, a amostra passa a apresentar uma coloração específica amarela para coliformes totais (ONPG) e fluorescência (na presença de luz ultravioleta) para *E. coli* (MUG). Com o uso do Colilert elimina-se a interferência de bactérias heterotróficas e crescimentos confluentes.

Cada amostra de água foi colocada em cartela usada para detecção e quantificação de bactérias em amostras com ou sem diluição Quanti-Tray/2000™ e, posteriormente, a cartela foi selada com selador modelo Quanti-Tray/2000™ Sealer. As cartelas seladas foram incubadas a uma temperatura de 35°C por 24 horas, fornecendo os resultados.

3.3.15. Ensaio de toxicidade

Foi realizado o cultivo de *Daphnia similis* de acordo com o método 8711 (APHA, 1998), com o objetivo de se obter indivíduos jovens, ou seja, com 24 horas, para serem utilizados nos testes. Para cada amostra de água, foi retirado 10 mL de água e colocado num tubo de ensaio com 5 organismos de *Daphnia similis*, sendo que, após o período de 48 horas, os organismos de *Daphnia similis* mortos ou imóveis foram contabilizados.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Resultados e discussão da primeira coleta

A característica da água superficial contaminada por esgotos coletada no Ponto 1, localizado no rio Corumbataí (usina da CESP, atualmente Fundação Patrimônio Histórico da Energia de São Paulo) no dia 17/02/2003 (primeira coleta) estão mostrados na Tabela 1:

Tabela 1 - Dados obtidos da água do Rio Corumbataí (primeira coleta) – Usina da CESP (atualmente Fundação Patrimônio Histórico da Energia de São Paulo)

Parâmetros	Água do Rio Corumbataí
Temperatura água °C	27,63
Temperatura ambiente °C	26,00
Cor aparente (Pt/L)	260,00
pH	8,51
Condutividade ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	158,60
TDS ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	75,00
Salinidade (‰)	0,10
Turbidez (UNT)	47,33
Oxig. dissolvido ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	4,90
Alcalinidade total ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	41,90
DQO ($\text{mg}\cdot\text{O}_2\cdot\text{L}^{-1}$)	4,00
Fósforo total ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	182,00
Nitrito ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	0,09
Nitrato ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	0,90
Amônia ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	2,07
Nitrogênio total ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	3,10
DBO ₅ ($\text{mg}\cdot\text{O}_2\cdot\text{L}^{-1}$)	14,50
Coliforme total (NMP/100 mL)	$21,50 \times 10^3$
<i>E. coli</i> (NMP/100 mL)	$4,50 \times 10^3$

A primeira coleta foi realizada em um mês que é característico de altas pluviosidade e temperatura.

4.1.1. Quantificação física, química, física-química, microbiológica e de toxicidade da água após o tratamento com “CWs”

Os resultados físicos, químicos e microbiológicos estão apresentados nas Tabelas 2 a 7. Os resultados de toxicidade para todas as amostras coletadas foram não tóxicos frente ao organismo (*Daphnia similis*) testado. Os resultados obtidos no T0 (Tabela 2) demonstraram que a melhor eficiência foi 90,0% para redução de *Escherichia coli*, dentre todos os parâmetros estudados. Ansola et al, (2003) verificando a eficiência no CWs obtiveram as eficiências para a remoção de *Escherichia coli* 99,9%, DQO 80,0-89,0% e de DBO de 82,0-87,5%.

No tempo T1 (Tabela 3) as melhores eficiências de remoção de quase todos os parâmetros estudados ocorreram no CWs contendo os dois reatores 3 e 4. As eficiências acima de 40,0% foram observadas para amônia, cor aparente, turbidez, DQO, nitrito, nitrato, coliforme total e *Escherichia coli*. Elias et al, (2001) verificaram 87,0% de eficiência na redução de amônia em CWs utilizando aguapé e arroz, sendo que Jing et al, (2001) obtiveram 78,0 a 100,0% de eficiência na redução deste mesmo parâmetro em sistema desta mesma natureza para tratamento da água de rio.

As variações das porcentagens de redução da DQO podem ser verificadas em diferentes tipos de sistemas construídos de áreas alagadas, como também quanto ao tipo de água ou efluente a ser tratado. Manfrinato (1989) usando o método edafofitodepuração verificou que esta eficiência foi de 84,2% usando sistema somente com aguapé. Koottatep e Polprasert (1997) obtiveram 71,0% (1 dia) a 83,0% (5 dias) de eficiência na remoção de DQO. Solano et al, (2004), usando CWs em pequenas vilas, obtiveram eficiência de 50,0% (outono) a 88,0% (verão) de eficiência na redução de DQO. No sistema usado por Schulz et al, (2004) houve eficiência de 30,0-31,0% na remoção de DQO após 56 e 98 dias de tratamento, respectivamente; portanto, valores inferiores aos encontrados por Koottatep e Polprasert (1997) no mesmo tempo de retenção. Lee et al, (2004), em um CWs com três tempos de retenção hidráulica (HRT), verificaram na fase I (1-109 dias) a eficiência de 84,0%, sendo que, em maior tempo, este valor foi inferior. Os resultados encontrados no CWs aqui utilizados quanto a esta mesma eficiência tiveram um valor máximo de 47,2%, entretanto, em 10 dias de tratamento (Tabelas 2-7).

Em tempo maior T5 dias, os resultados obtidos se encontram na Tabela 4. Neste tempo observaram-se maiores valores quanto às eficiências para remoção de amônia 87,4%, cor aparente 96,6%, nitrito 100,0% e 97,0% para coliformes totais. Elias et al, (2001) verificaram 87,0% de eficiência na redução de amônia em um sistema CWs, utilizando aguapé e arroz, sendo que Jing et al, (2001) obtiveram 78,0-100,0% de eficiência na redução deste mesmo parâmetro em CWs no tratamento da água de rio, após 10 dias (T10).

As melhores eficiências foram para cor aparente 60,0%, alcalinidade total 40,8%, DQO 47,2%, nitrito 93,3%, amônia 52,5% e coliformes totais 20,4% (Tabela 5). Comparando-se estes resultados com aqueles anteriores, observa-se que os valores de

eficiências para os diferentes parâmetros aumentam ou decrescem, não obedecendo uma relação diretamente proporcional. Esta constatação pode ser considerada também válida nos resultados citados a seguir. Por exemplo, aos 5 dias de tratamento ocorreu uma eficiência na redução da cor aparente de 96,6% e aos 10 dias de 60,0%.

Os resultados obtidos no T16 (Tabela 6) demonstraram que as eficiências acima de 70,0% foram verificadas para os valores de amônia, cor aparente, turbidez, fósforo total, nitrito, nitrato, coliformes totais e *Escherichia coli*, dentre todos os parâmetros estudados. Manfrinato (1989), usando o método edafo-fítodepuração para tratamento preliminar de águas obteve uma eficiência de 93,4% na redução da turbidez utilizando apenas o aguapé no período de chuvas. Verificou-se ainda que poucos autores na literatura discutem este tipo de tratamento quanto à eficiência na redução da turbidez das águas ou efluentes.

Na Tabela 7 as melhores eficiências foram para fósforo total 77,3%, cor aparente 59,4%, turbidez 72,5%, alcalinidade total 73,1%, nitrato 66,7%, amônia 42,1%, coliformes totais 73,1% e 50,0% para *Escherichia coli*. Schulz et al, (2004) obtiveram eficiência de 41,0-53,0% quanto à remoção de fósforo total após 56 a 70 dias de tratamento respectivamente, sendo que Lee et al, (2004) verificaram 47,0% nas fases I e II correspondendo de 1 a 182 dias e 59,0% na fase III de 183 a 244 dias.

Observou-se variação da eficiência do sistema “CWs” durante este experimento, no tratamento da água de rio. Estas variações estão ligadas, principalmente, aos processos biológicos que se desenvolvem, como: fases de desenvolvimento das plantas flutuantes *Eichhornia crassipes* e *Pistia stratiotes*, dimensões do sistema radicular, necessidades fisiológicas das plantas, atividades microbiológicas associadas, energia solar disponível, temperatura, variação da concentração dos nutrientes na água do rio.

Resumindo, as melhores eficiências aqui observadas foram: cor aparente 96,6% em T5 dias; condutividade 25,2% em T21 dias; TDS 26,0% em T21 dias; turbidez 96,6% em T16 dias; alcalinidade total 73,1% em T21 dias; DQO 47,2% em T10 dias; fósforo total 88,7% em T16 dias; nitrito 100,0% em T5 dias; nitrato 80,0% em T5 dias; amônia 87,4% em T5 dias; DBO 38,9% em T1 dia; coliformes totais 97,0% em T5 dias; *E. coli* 99,2% em T1 dia.

Tabela 2 – Valores dos parâmetros estudados durante o tratamento da água do rio Corumbataí, os quais apresentam a avaliação da eficiência do "CWs". No período de amostragem - T0 dia (após 2 horas do início do experimento – 20/02/2003), nos diferentes pontos de coleta. Legenda: P1= Ponto 1, P2= Ponto 2, P3= Ponto 3, P4= Ponto 4, $*[(P1-P3)/P1].100$, $**[(P1-P4)/P1].100$

Parâmetros	Água de Torneira	P1	P2	P3	Eficiência (%) P1-P3*	P4	Eficiência (%) P1-P4**
Temperatura água °C	25,50	25,30	25,80	25,00	-	25,40	-
Temperatura ambiente °C	29,50	29,50	29,50	29,50	-	29,50	-
pH	6,50	7,40	6,65	6,79	-	6,86	-
Oxigênio dissolvido (mg.L ⁻¹)	7,40	4,94	3,60	6,33	-	5,97	-
Cor aparente (Pt/L)	8,00	127,00	114,00	179,00	-40,94	124,00	2,36
Condutividade (µS.cm ⁻¹)	151,20	170,66	162,26	344,00	-101,57	338,33	-98,25
TDS (mg.L ⁻¹)	71,00	80,00	76,00	163,00	-103,75	159,33	-99,16
Salinidade (%)	0,10	0,10	0,10	0,20	-100,00	0,20	-100,00
Turbidez (UNT)	0,40	15,40	11,95	25,10	-62,99	18,50	-20,13
Alcalinidade total (mg.L ⁻¹)	25,60	41,90	39,80	40,32	3,77	44,00	-5,01
DQO (mg.O ₂ .L ⁻¹)	5,10	8,50	21,00	17,50	-105,88	20,33	-139,18
Fósforo total (µg.L ⁻¹)	182,00	99,86	109,57	163,91	-64,14	142,01	-42,21
Nitrito (mg.L ⁻¹)	0,00	0,04	0,04	0,02	50,00	0,02	50,00
Nitrato (mg.L ⁻¹)	0,00	0,50	0,40	2,80	-460,00	2,20	-340,00
Amônia (mg.L ⁻¹)	0,02	1,40	0,83	2,75	-96,43	2,09	-49,29
Nitrogênio total (mg.L ⁻¹)	0,10	1,95	1,45	5,70	-192,30	4,35	123,07
DBO ₅ (mg.O ₂ .L ⁻¹)	6,10	11,60	13,60	11,30	2,59	12,40	-6,90
Coliforme total (NMP)	0,00	15,0x10 ³	2,4x10 ³	0,9x10 ³	36,67	1,4x10 ³	3,33
<i>E. coli</i> (NMP)	0,00	1,0x10 ³	1,7x10 ³	0,1x10 ³	90,00	0,2x10 ³	75,00

Tabela 3 - Valores dos parâmetros estudados durante o tratamento da água do rio Corumbataí, os quais apresentam a avaliação da eficiência do "CWs". No período de amostragem – T1 dia (21/02/2003), nos diferentes pontos de coleta. Legenda: P1= Ponto 1, P2= Ponto 2, P3= Ponto 3, P4= Ponto 4, $*[(P1-P2)/P1].100$, $** [(P1-P3)/P1].100$, $*** [(P1-P4)/P1].100$

Parâmetros	P1	P2	Eficiência		P4	Eficiência	
			(%) P1-P2*	P3		(%) P1-P3**	(%) P1-P4***
Temperatura água °C	28,20	26,50	-	26,30	-	26,50	-
Temperatura ambiente °C	29,00	29,00	-	29,00	-	29,00	-
pH	7,42	6,71	-	6,17	-	6,78	-
Oxig. dissolvido (mg.L ⁻¹)	4,22	3,10	-	2,26	-	0,82	-
Cor aparente (Pt/L)	109,66	53,33	51,37	34,66	68,39	25,00	77,20
Condutividade (µS.cm ⁻¹)	132,80	157,96	-18,95	146,20	-10,09	186,23	-40,23
TDS (mg.L ⁻¹)	63,00	74,00	-17,46	68,00	-7,94	87,00	-38,10
Salinidade (%)	0,10	0,10	0,00	0,10	0,00	0,10	0,00
Turbidez (UNT)	13,10	14,06	-7,33	7,45	43,13	5,41	58,70
Alcalinidade total (mg.L ⁻¹)	41,90	45,04	-7,49	31,42	25,01	39,28	6,25
DQO (mg.O ₂ .L ⁻¹)	12,50	14,25	-14,00	13,00	-4,00	7,00	44,00
Fósforo total (µg.L ⁻¹)	149,54	134,15	10,29	137,40	8,12	110,62	26,03
Nitrito (mg.L ⁻¹)	0,04	0,04	0,00	0,04	0,00	0,01	75,00
Nitrato (mg.L ⁻¹)	0,60	0,40	33,33	0,20	66,67	0,90	-50,00
Amônia (mg.L ⁻¹)	1,54	0,81	47,40	1,02	33,77	1,33	13,64
Nitrogênio total (mg.L ⁻¹)	2,25	1,38	38,67	1,30	42,22	2,30	-2,22
DBO ₅ (mg.O ₂ .L ⁻¹)	11,30	11,60	-2,65	8,60	23,89	6,90	38,94
Coliforme total (NMP)	58,8x10 ³	39,7x10 ³	32,48	111,9x10 ³	-90,46	23,8x10 ³	59,49
<i>E. coli</i> (NMP)	13,1x10 ³	0,9x10 ³	92,75	1,0x10 ³	92,37	0,1x10 ³	99,24

Tabela 4 - Valores dos parâmetros estudados durante o tratamento da água do rio Corumbataí, os quais apresentam a avaliação da eficiência do "CWs". No período de amostragem - T5 dias (24/02/2003), nos diferentes pontos de coleta. Legenda: P1= Ponto 1, P2= Ponto 2, P3= Ponto 3, P4= Ponto 4, $*[(P1-P2)/P1].100$, $** [(P1-P3)/P1].100$, $*** [(P1-P4)/P1].100$

Parâmetros	P1	P2	Eficiência (%) P1-P2*	P3	Eficiência (%) P1-P3**	P4	Eficiência (%) P1-P4***
Temperatura água °C	29,00	27,10	-	27,30	-	27,40	-
Temperatura ambiente °C	33,50	33,50	-	33,50	-	33,50	-
pH	8,67	6,98	-	5,94	-	6,33	-
Oxig. dissolvido (mg.L ⁻¹)	8,85	5,92	-	0,26	-	0,62	-
Cor aparente (Pt/L)	117,00	4,00	96,58	5,00	95,73	83,00	29,06
Condutividade (µS.cm ⁻¹)	153,10	141,00	7,90	147,36	3,75	161,96	-5,79
TDS (mg.L ⁻¹)	72,00	66,00	8,33	70,00	2,78	76,00	-5,56
Salinidade (‰)	0,10	0,10	0,00	0,10	0,00	0,10	0,00
Turbidez (UNT)	24,30	6,67	72,55	4,15	82,92	9,12	62,47
Alcalinidade total (mg.L ⁻¹)	36,13	34,04	5,78	20,95	42,01	21,47	40,58
DQO (mg.O ₂ .L ⁻¹)	16,33	15,00	8,14	18,75	-14,82	14,33	12,25
Fósforo total (µg.L ⁻¹)	146,75	38,61	73,69	59,77	59,27	72,56	50,56
Nitrito (mg.L ⁻¹)	0,06	0,01	83,33	0,00	100,00	0,01	83,33
Nitrato (mg.L ⁻¹)	0,50	0,10	80,00	0,10	80,00	0,10	80,00
Amônia (mg.L ⁻¹)	0,95	0,12	87,37	0,67	29,47	0,87	8,42
Nitrogênio total (mg.L ⁻¹)	1,55	0,27	82,58	0,80	48,39	1,05	32,26
DBO ₅ (mg.O ₂ .L ⁻¹)	18,00	18,20	-1,11	19,20	-6,67	16,00	11,11
Coliforme total (NMP)	141,3x10 ³	4,2x10 ³	97,03	101,1x10 ³	28,47	101,1x10 ³	28,47
<i>E. coli</i> (NMP)	6,6x10 ³	0,2x10 ³	96,96	0,1x10 ³	98,48	0,1x10 ³	98,48

Tabela 5 - Valores dos parâmetros estudados durante o tratamento da água do rio Corumbataí, os quais apresentam a avaliação da eficiência do "CWs". No período de amostragem - T10 dias (28/02/2003), nos diferentes pontos de coleta. Legenda: P1= Ponto 1, P2= Ponto 2, P3= Ponto 3, P4= Ponto 4, $*[(P1-P2)/P1].100$, $** [(P1-P3)/P1].100$, $*** [(P1-P4)/P1].100$

Parâmetros	P1	P2	Eficiência		P3		P4	
			(%) P1-P2*	(%) P1-P3**	(%) P1-P3**	(%) P1-P4***		
Temperatura água °C	27,40	28,90	-	27,30	-	28,10	-	-
Temperatura ambiente °C	33,50	33,50	-	33,50	-	33,50	-	-
pH	7,32	7,36	-	5,89	-	6,04	-	-
Oxig. dissolvido (mg.L ⁻¹)	5,92	6,28	-	0,51	-	0,77	-	-
Cor aparente (Pt/L)	20,00	8,00	60,00	78,66	-293,30	40,33	-101,65	-
Condutividade (µS.cm ⁻¹)	151,50	143,40	5,35	151,40	0,07	143,00	5,61	-
TDS (mg.L ⁻¹)	71,00	66,00	7,04	70,00	1,41	66,00	7,04	-
Salinidade (‰)	0,10	0,10	0,00	0,10	0,00	0,10	0,00	-
Turbidez (UNT)	4,04	3,08	23,76	6,15	-52,23	6,29	-55,69	-
Alcalinidade total (mg.L ⁻¹)	39,80	37,18	6,58	23,57	40,78	28,28	28,94	-
DQO (mg.O ₂ .L ⁻¹)	26,50	24,50	7,55	21,00	20,75	14,00	47,17	-
Fósforo total (µg.L ⁻¹)	43,68	44,22	-1,24	105,57	-141,69	94,71	-116,83	-
Nitrito (mg.L ⁻¹)	0,15	0,09	40,00	0,01	93,33	0,02	86,67	-
Nitrato (mg.L ⁻¹)	0,50	0,40	20,00	0,60	-20,00	0,50	0,00	-
Amônia (mg.L ⁻¹)	0,40	0,19	52,50	1,23	-207,50	0,93	-132,50	-
Nitrogênio total (mg.L ⁻¹)	1,20	0,85	29,17	1,90	-58,33	1,45	-20,83	-
DBO ₅ (mg.O ₂ .L ⁻¹)	18,00	18,70	-3,89	25,40	-41,11	18,60	-3,33	-
Coliforme total (NMP)	17,2x10 ³	13,7x10 ³	20,44	173,3x10 ³	-906,33	38,1x10 ³	-121,25	-
<i>E. coli</i> (NMP)	0,1x10 ³	0,1x10 ³	0,00	0,1x10 ³	0,00	0,1x10 ³	0,00	-

Tabela 6 - Valores dos parâmetros estudados durante o tratamento da água do rio Corumbataí, os quais apresentam a avaliação da eficiência do "CWs". No período de amostragem – T16 dias (05/03/2003), nos diferentes pontos de coleta. Legenda: P1= Ponto 1, P2= Ponto 2, P3= Ponto 3, P4= Ponto 4, $*[(P1-P2)/P1].100$, $** [(P1-P3)/P1].100$, $*** [(P1-P4)/P1].100$

Parâmetros	P1	P2	Eficiência		P4	Eficiência	
			(%) P1-P2*	(%) P1-P3**		(%) P1-P4***	
Temperatura água °C	27,40	26,50	-	26,70	-	26,70	-
Temperatura ambiente °C	31,00	31,00	-	31,00	-	31,00	-
pH	7,48	7,35	-	6,05	-	6,13	-
Oxig. dissolvido (mg.L ⁻¹)	5,71	6,53	-	0,46	-	0,50	-
Cor aparente (Pt/L)	193,00	17,33	91,02	107,33	44,39	30,33	84,28
Condutividade (µS.cm ⁻¹)	159,90	128,23	19,81	159,60	0,19	163,70	-2,38
TDS (mg.L ⁻¹)	75,00	60,00	20,00	74,00	1,33	77,00	-2,67
Salinidade (%)	0,10	0,10	0,00	0,10	0,00	0,10	0,00
Turbidez (UNT)	53,40	1,84	96,55	6,49	87,85	4,76	91,09
Alcalinidade total (mg.L ⁻¹)	37,80	30,90	18,25	27,75	26,59	36,13	4,42
DQO (mg.O ₂ .L ⁻¹)	26,50	17,00	35,85	28,50	-7,55	29,50	-11,32
Fósforo total (µg.L ⁻¹)	243,53	27,52	88,70	86,46	64,50	79,56	67,33
Nitrito (mg.L ⁻¹)	0,33	0,01	96,97	0,01	96,97	0,01	96,97
Nitrato (mg.L ⁻¹)	1,50	0,50	66,67	0,50	66,67	0,40	73,33
Amônia (mg.L ⁻¹)	0,49	0,11	77,55	1,31	-167,35	0,99	-102,04
Nitrogênio total (mg.L ⁻¹)	2,35	0,91	61,28	1,98	15,74	1,58	32,77
DBO ₅ (mg.O ₂ .L ⁻¹)	19,90	13,40	32,66	15,70	21,11	16,00	19,60
Coliforme total (NMP)	87,0x10 ³	61,3x10 ³	29,54	20,9x10 ³	75,98	29,2x10 ³	66,44
<i>E. coli</i> (NMP)	5,4x10 ³	0,1x10 ³	98,16	0,1x10 ³	98,16	0,1x10 ³	98,16

Tabela 7 - Valores dos parâmetros estudados durante o tratamento da água do rio Corumbataí, os quais apresentam a avaliação da eficiência do "CWs". No período de amostragem – T21 dias (10/03/2003), nos diferentes pontos de coleta. Legenda: P1= Ponto 1, P2= Ponto 2, P3= Ponto 3, P4= Ponto 4, $*[(P1-P2)/P1].100$, $**[(P1-P3)/P1].100$, $***[(P1-P4)/P1].100$

Parâmetros	P1	P2	Eficiência (%) P1- P2*	P3	Eficiência (%) P1- P3**	P4	Eficiência (%) P1-P4***
Temperatura água °C	23,10	22,90	-	23,40	-	23,30	-
Temperatura ambiente °C	24,00	24,00	-	24,00	-	24,00	-
pH	7,45	7,35	-	5,73	-	6,11	-
Oxig. dissolvido (mg.L ⁻¹)	6,48	7,05	-	0,61	-	0,36	-
Cor aparente (Pt/L)	70,66	28,66	59,44	88,66	59,44	95,33	-34,91
Condutividade (µS.cm ⁻¹)	153,53	145,30	5,36	114,90	5,36	135,80	11,55
TDS (mg.L ⁻¹)	73,00	69,00	5,48	54,00	5,48	64,00	12,33
Salinidade (‰)	0,10	0,10	0,00	0,10	0,00	0,10	0,00
Turbidez (UNT)	11,40	3,14	72,46	3,17	72,46	4,48	60,70
Alcalinidade total (mg.L ⁻¹)	40,85	39,28	3,84	10,99	3,84	19,90	51,29
DQO (mg.O ₂ .L ⁻¹)	30,00	20,00	33,33	50,00	33,33	46,33	-54,43
Fósforo total (µg.L ⁻¹)	63,20	14,33	77,33	39,38	77,33	75,56	-19,56
Nitrito (mg.L ⁻¹)	0,02	0,01	50,00	0,01	50,00	0,01	50,00
Nitrato (mg.L ⁻¹)	0,30	0,10	66,67	0,50	66,67	0,56	-86,67
Amônia (mg.L ⁻¹)	0,19	0,11	42,11	0,78	42,11	1,05	-452,63
Nitrogênio total (mg.L ⁻¹)	0,60	0,40	33,33	1,30	-116,67	1,70	-183,33
DBO ₅ (mg.O ₂ .L ⁻¹)	16,60	11,40	31,33	13,40	31,33	14,10	15,06
Coliforme total (NMP)	4,0x10 ³	1,1x10 ³	73,13	5,1x10 ³	73,13	6,1x10 ³	-53,48
<i>E. coli</i> (NMP)	0,2x10 ³	0,1x10 ³	50,00	0,1x10 ³	50,00	0,1x10 ³	50,00

4.2. Resultados e discussão da segunda coleta

A característica da água superficial contaminada por esgotos coletada no Ponto 1, localizado no rio Corumbataí (usina da CESP, atualmente Fundação Patrimônio Histórico da Energia de São Paulo), no dia 14/04/2003 (segunda coleta) estão na Tabela 8:

Tabela 8 - Dados obtidos da água do Rio Corumbataí (segunda coleta) – Usina da CESP (atualmente Fundação Patrimônio Histórico da Energia de São Paulo)

Parâmetros	Água do Rio Corumbataí
Temperatura água °C	20,06
Temperatura ambiente °C	21,56
Cor aparente (Pt/L)	44,00
pH	6,90
Condutividade ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	107,16
TDS ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	51,00
Salinidade (‰)	0,10
Turbidez (UNT)	13,40
Oxigênio Dissolvido ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	2,93
Alcalinidade total ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	23,26
DQO ($\text{mg}\cdot\text{O}_2\cdot\text{L}^{-1}$)	18,00
Fósforo total ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	136,34
Nitrito ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	0,004
Nitrato ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	0,50
Amônia ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	1,03
Nitrogênio total ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	1,68
DBO ₅ ($\text{mg}\cdot\text{O}_2\cdot\text{L}^{-1}$)	15,80
Coliforme total (NMP/100 mL)	$28,51 \times 10^3$
<i>E. coli</i> (NMP/100 mL)	$3,01 \times 10^3$

A segunda coleta ocorreu no início do período seco/frio. Comparando-se os resultados da Tabela 1, observam-se menores temperaturas da água e do ar nesta última, juntamente com menores valores dos parâmetros analisados, com exceção da DQO, DBO e coliformes totais. Houve decréscimo do oxigênio dissolvido, índice de preocupação em relação as questões da qualidade de vida dos seres aquáticos presentes neste sistema.

4.2.1. Quantificação física, química, físico-química, microbiológica e de toxicidade da água após o tratamento com “CWs”

Os resultados físicos, químicos e microbiológicos estão apresentados nas Tabelas 9 a 14. Os resultados de toxicidade para todas as amostras analisadas foram não tóxicos, frente ao organismo (*Daphnia similis*) testado.

Os resultados obtidos no T0 (Tabela 9) demonstram que a melhor eficiência foi 93,9% para DBO, dentre todos os parâmetros estudados. No tempo T1 (Tabela 10) as melhores eficiências para quase todos os parâmetros estudados ocorreram no sistema onde houve o tratamento contendo os reatores 3 e 4. As eficiências acima de 40,0% foram observadas para amônia, alcalinidade total, DQO, DBO, fósforo total, nitrito, nitrato, coliforme total e *Escherichia coli*. Elias et al, (2001) verificaram 87,0% de eficiência na redução de amônia em um sistema construído de wetland, utilizando aguapé e arroz, sendo que Jing et al, (2001) obtiveram 78,0-100,0% de eficiência na redução deste mesmo parâmetro em sistema desta mesma natureza para tratamento da água de rio.

As variações das porcentagens de redução da DQO podem ser verificadas em diferentes tipos de CWs como também quanto ao tipo de água ou efluente a ser tratado. Assim, Koottatep e Polprasert (1997) obtiveram 71,0% (1 dia) a 83,0% (5 dias) de eficiência na remoção de DQO, Manfrinato (1989) usando o método edafo-fitodepuração verificou que esta eficiência foi de 84,2% usando sistema somente com aguapé. Solano et al, (2004), usando este sistema em pequenas vilas, obtiveram uma eficiência de 50,0% (outono) a 88,0% (verão) de eficiência na redução de DQO. No sistema usado por Schulz et al, (2004) houve uma eficiência de 30,0-31,0% na remoção de DQO após 56 e 98 dias de tratamento, respectivamente; portanto, valores bem inferiores aos encontrados por Koottatep e Polprasert (1997) no mesmo tempo de retenção. Lee et al, (2004), em um sistema com três tempos de retenção hidráulica (HRT), verificaram na fase I (1 – 109 dias) a eficiência de 84,0%, sendo que em maior tempo este valor foi inferior. Os resultados encontrados no sistemas aqui utilizados quanto a esta mesma eficiência tiveram um valor máximo de 87,5% nos 21 dias de tratamento (Tabelas 9 – 14).

A Tabela 11 mostra as eficiências para redução dos valores dos parâmetros estudados no T5. Neste tempo, observaram-se maiores resultados de eficiência da remoção dos valores de amônia 73,7%, DQO 83,3%, fósforo total 77,9%, nitrito 98,3%, 96,7 para coliformes totais e 95,0% para *Escherichia coli*. Ansola et al, (2003), verificando a eficiência do sistema CWs, obtiveram as seguintes eficiências na remoção de *Escherichia coli* 99,9%, DQO 80-89% e de DBO de 82-87,5%.

Elias et al, (2001) verificaram 87,0% de eficiência na redução de amônia em um sistema construído de wetland, utilizando aguapé e arroz, sendo que Jing et al, (2001) obtiveram 78,0-100,0% de eficiência na redução deste mesmo parâmetro em sistema desta mesma natureza para tratamento da água de rio.

Após o tempo de T10 dias (Tabela 12) as melhores eficiências foram para turbidez 70,9%, alcalinidade total 53,5 %, fósforo total 70,8%, nitrito 99,8%, nitrato 93,7%, amônia 90,5%, coliformes totais 93,5% e 90,0% para *Escherichia coli*.

Os resultados obtidos no T16 (Tabela 13) demonstram que as eficiências acima de 70,0% foram para cor aparente, turbidez, DQO, nitrito, nitrato, coliformes totais e *Escherichia coli*, dentre todos os parâmetros estudados.

Na Tabela 14 as melhores eficiências foram para turbidez 79,1%, alcalinidade total 57,8%, fósforo total 65,1%, nitrito 94,6%, nitrato 50,0%, amônia 66,7%, coliformes totais 97,7%. Manfrinato (1989), usando o método edafo-fitodepuração para tratamento preliminar de águas, obteve uma eficiência de 92,3% na redução da turbidez após a água contaminada ter passado pelo aguapé. Verificou-se ainda que poucos autores na literatura discutem este tipo de tratamento quanto à eficiência na redução da turbidez das águas ou efluentes.

Resumindo, as melhores eficiências aqui observadas foram: cor aparente 89,1% em T16 dias; condutividade 20,8% em T5 dias; TDS 20,4% em T5 dias; turbidez 89,3% em T16 dias; alcalinidade total 87,5% em T0 dia; DQO 87,5% em T21 dias; fósforo total 77,9% em T5 dias; nitrito 98,3% em T5 dias; nitrato 93,7% em T10 dias; amônia 90,5% em T10 dias; DBO 93,9% em T0 dia; coliformes totais 97,9% em T1 dia; *E. coli* 95,0% em T5 dias.

Tabela 9 - Valores dos parâmetros estudados durante o tratamento da água do rio Corumbataí, os quais apresentam a avaliação da eficiência do "CWs". No período de amostragem - T0 dia (após 2 horas do início do experimento – 14/04/2003), nos diferentes pontos de coleta. Legenda: P1= Ponto 1, P2= Ponto 2, P3= Ponto 3, P4= Ponto 4, $*[(P1-P3)/P1].100$, $**[(P1-P4)/P1].100$

Parâmetros	Água de Torneira	P1	P2	P3	Eficiência (%) P1-P3*	P4	Eficiência (%) P1-P4**
Temperatura água °C	25,50	22,90	22,30	21,60	-	21,70	-
Temperatura ambiente °C	29,50	25,00	25,00	25,00	-	25,00	-
pH	6,50	6,96	6,79	5,73	-	5,37	-
Oxig. dissolvido (mg.L ⁻¹)	7,40	7,31	7,36	7,52	-	7,62	-
Cor aparente (Pt/L)	8,00	152,33	150,00	90,66	40,48	116,00	23,85
Condutividade (µS.cm ⁻¹)	151,20	116,36	116,30	145,10	-24,70	108,53	6,73
TDS (mg.L ⁻¹)	71,00	55,00	55,00	68,00	-23,64	51,00	7,27
Salinidade (‰)	0,10	0,10	0,10	0,10	0,00	0,10	0,00
Turbidez (UNT)	0,40	23,10	48,50	21,00	9,09	25,00	-8,23
Alcalinidade total (mg.L ⁻¹)	25,60	23,76	22,77	4,95	79,17	2,97	87,50
DQO (mg.O ₂ .L ⁻¹)	5,10	18,00	13,00	14,00	22,22	18,00	0,00
Fósforo total (µg.L ⁻¹)	182,00	201,44	218,30	106,79	46,99	105,52	47,62
Nitrito (mg.L ⁻¹)	0,00	0,055	0,058	0,035	36,36	0,029	47,27
Nitrato (mg.L ⁻¹)	0,00	0,60	0,90	2,50	-316,67	1,50	-150,00
Amônia (mg.L ⁻¹)	0,02	1,54	1,53	1,18	23,38	0,48	68,83
Nitrogênio total (mg.L ⁻¹)	0,10	1,68	1,75	1,68	0,00	0,98	41,66
DBO ₅ (mg.O ₂ .L ⁻¹)	6,10	4,90	3,50	1,20	75,51	0,30	93,88
Coliforme total (NMP)	0,00	280,0x10 ³	172,2x10 ³	57,9x10 ³	80,46	54,7x10 ³	80,46
<i>E. coli</i> (NMP)	0,00	29,00x10 ³	34,1x10 ³	5,4x10 ³	76,24	6,9x10 ³	76,24

Tabela 10 - Valores dos parâmetros estudados durante o tratamento da água do rio Corumbataí, os quais apresentam a avaliação da eficiência do "CWs". No período de amostragem – T1 dia (15/04/2003), nos diferentes pontos de coleta. Legenda: P1= Ponto 1, P2= Ponto 2, P3= Ponto 3, P4= Ponto 4, $*[(P1-P2)/P1].100$, $** [(P1-P3)/P1].100$, $*** [(P1-P4)/P1].100$

Parâmetros	P1	P2	Eficiência		P4		
			(%) P1-P2*	P3	Eficiência (%) P1-P3**	Eficiência (%) P1-P4***	
Temperatura água °C	22,86	21,30	-	21,33	-	21,20	-
Temperatura ambiente °C	25,50	25,50	-	25,50	-	25,50	-
pH	7,02	6,48	-	5,56	-	5,59	-
Oxig. dissolvido (mg.L ⁻¹)	6,85	5,86	-	7,10	-	7,05	-
Cor aparente (Pt/L)	87,66	62,00	29,27	58,33	33,46	63,66	27,38
Condutividade (µS.cm ⁻¹)	117,70	118,80	-0,93	102,23	13,14	98,66	16,18
TDS (mg.L ⁻¹)	56,00	56,00	0,00	48,33	13,70	47,00	16,07
Salinidade (‰)	0,10	0,10	0,00	0,00	100,00	0,00	100,00
Turbidez (UNT)	21,20	25,65	-20,99	19,60	7,55	21,80	-2,83
Alcalinidade total (mg.L ⁻¹)	21,78	22,27	-2,25	4,45	79,57	6,43	70,48
DQO (mg.O ₂ .L ⁻¹)	17,50	12,10	30,86	13,60	22,29	5,90	66,29
Fósforo total (µg.L ⁻¹)	121,15	173,37	-43,10	49,36	59,26	74,37	38,61
Nitrito (mg.L ⁻¹)	0,12	0,054	53,85	0,02	82,91	0,02	82,91
Nitrato (mg.L ⁻¹)	1,30	0,50	61,54	0,80	38,46	1,10	15,38
Amônia (mg.L ⁻¹)	1,32	0,92	30,30	0,91	31,06	0,42	68,18
Nitrogênio total (mg.L ⁻¹)	1,12	0,63	43,75	0,91	18,75	1,19	-6,25
DBO ₅ (mg.O ₂ .L ⁻¹)	4,10	2,70	34,15	2,90	29,27	0,90	78,05
Coliforme total (NMP)	155,3x10 ³	96,0x10 ³	38,15	3,3x10 ³	97,87	8,1x10 ³	94,78
<i>E. coli</i> (NMP)	27,5x10 ³	16,7x10 ³	39,13	1,4x10 ³	94,69	1,7x10 ³	93,82

Tabela 11 - Valores dos parâmetros estudados durante o tratamento da água do rio Corumbataí, os quais apresentam a avaliação da eficiência do "CWs". No período de amostragem - T5 dias (18/04/2003), nos diferentes pontos de coleta. Legenda: P1= Ponto 1, P2= Ponto 2, P3= Ponto 3, P4= Ponto 4, $*[(P1-P2)/P1].100$, $** [(P1-P3)/P1].100$, $*** [(P1-P4)/P1].100$

Parâmetros	P1	P2	Eficiência		P4	Eficiência	
			(%) P1-P2*	(%) P1-P3**		(%) P1-P4***	
Temperatura água °C	23,60	23,43	-	22,56	-	23,63	-
Temperatura ambiente °C	31,50	31,50	-	31,50	-	31,50	-
pH	6,97	6,38	-	5,55	-	5,67	-
Oxig. dissolvido (mg.L ⁻¹)	6,74	4,58	-	0,97	-	2,98	-
Cor aparente (Pt/L)	62,00	54,00	12,90	41,33	33,34	49,33	20,44
Condutividade (µS.cm ⁻¹)	114,60	106,76	6,84	90,73	20,83	91,73	19,96
TDS (mg.L ⁻¹)	54,00	50,00	7,41	43,00	20,37	43,00	20,37
Salinidade (‰)	0,10	0,10	0,00	0,00	100,00	0,00	100,00
Turbidez (UNT)	6,91	7,23	-4,63	4,73	31,55	7,82	-13,17
Alcalinidade total (mg.L ⁻¹)	24,75	23,26	6,02	7,92	68,00	9,90	60,00
DQO (mg.O ₂ .L ⁻¹)	6,00	7,00	-16,67	11,00	-83,33	1,00	83,33
Fósforo total (µg.L ⁻¹)	65,50	41,63	36,44	14,47	77,91	32,50	50,38
Nitrito (mg.L ⁻¹)	0,059	0,02	66,10	0,001	98,31	0,005	91,53
Nitrato (mg.L ⁻¹)	0,60	0,20	66,67	0,30	50,00	0,20	66,67
Amônia (mg.L ⁻¹)	1,18	0,31	73,73	0,55	53,39	0,77	34,75
Nitrogênio total (mg.L ⁻¹)	2,03	0,77	62,06	0,77	62,06	1,12	44,82
DBO ₅ (mg.O ₂ .L ⁻¹)	7,70	5,70	25,97	4,20	45,45	6,70	12,99
Coliforme total (NMP)	3,00 x 10 ³	1,85 x 10 ³	38,33	0,10 x 10 ³	96,67	0,20 x 10 ³	93,33
<i>E. coli</i> (NMP)	2,00 x 10 ³	0,41 x 10 ³	79,50	0,10 x 10 ³	95,00	0,10 x 10 ³	95,00

Tabela 12 - Valores dos parâmetros estudados durante o tratamento da água do rio Corumbataí, os quais apresentam a avaliação da eficiência do "CWs". No período de amostragem - T10 dias (23/04/2003), nos diferentes pontos de coleta. Legenda: P1= Ponto 1, P2= Ponto 2, P3= Ponto 3, P4= Ponto 4, $*[(P1-P2)/P1].100$, $** [(P1-P3)/P1].100$, $*** [(P1-P4)/P1].100$

Parâmetros	P1	P2	Eficiência		P4	Eficiência	
			(%) P1-P2*	(%) P1-P3**		(%) P1-P4***	
Temperatura água °C	21,90	21,90	-	21,90	-	22,10	-
Temperatura ambiente °C	24,00	22,00	-	21,00	-	21,00	-
pH	7,85	6,36	-	5,67	-	5,91	-
Oxig. dissolvido (mg.L ⁻¹)	8,23	5,19	-	1,18	-	1,13	-
Cor aparente (Pt/L)	44,33	35,66	19,56	32,66	26,33	44,00	0,74
Condutividade (µS.cm ⁻¹)	110,90	103,10	7,03	95,40	13,98	100,23	9,62
TDS (mg.L ⁻¹)	52,00	49,00	5,77	45,00	13,46	47,50	8,65
Salinidade (%)	0,10	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00	100,00
Turbidez (UNT)	7,89	2,85	63,88	2,29	70,98	3,32	57,92
Alcalinidade total (mg.L ⁻¹)	21,28	17,82	16,26	9,90	53,48	11,88	44,17
DQO (mg.O ₂ .L ⁻¹)	15,66	19,00	-21,33	17,00	-8,56	21,66	-38,31
Fósforo total (µg.L ⁻¹)	61,30	19,65	67,94	17,88	70,83	27,13	55,74
Nitrito (mg.L ⁻¹)	0,516	0,083	83,91	0,001	99,81	0,001	99,81
Nitrato (mg.L ⁻¹)	1,60	0,30	81,25	0,10	93,75	0,10	93,75
Amônia (mg.L ⁻¹)	0,42	0,04	90,48	0,41	2,38	0,82	-95,24
Nitrogênio total (mg.L ⁻¹)	0,77	0,70	9,09	0,81	-5,71	1,33	-72,72
DBO ₅ (mg.O ₂ .L ⁻¹)	7,70	4,70	38,96	2,90	62,34	5,20	32,47
Coliforme total (NMP)	3,1x10 ³	0,2x10 ³	93,55	0,2x10 ³	93,55	1,4x10 ³	53,23
<i>E. coli</i> (NMP)	1,0x10 ³	0,1x10 ³	90,00	0,1x10 ³	90,00	0,1x10 ³	90,00

Tabela 13 - Valores dos parâmetros estudados durante o tratamento da água do rio Corumbataí, os quais apresentam a avaliação da eficiência do "CWs". No período de amostragem – T16 dias (29/04/2003), nos diferentes pontos de coleta. Legenda: P1= Ponto 1, P2= Ponto 2, P3= Ponto 3, P4= Ponto 4, $*[(P1-P2)/P1].100$, $** [(P1-P3)/P1].100$, $*** [(P1-P4)/P1].100$

Parâmetros	P1	P2	Eficiência (%) P1-P2*	P3	Eficiência (%) P1-P3**	P4	Eficiência (%) P1-P4***
Temperatura água °C	24,10	23,40	-	23,60	-	26,70	-
Temperatura ambiente °C	32,00	32,00	-	32,00	-	32,00	-
pH	9,09	6,32	-	5,51	-	5,59	-
Oxig. dissolvido (mg.L ⁻¹)	9,42	5,00	-	0,82	-	1,33	-
Cor aparente (Pt/L)	116,00	12,66	89,09	52,33	54,89	51,00	56,03
Condutividade (µS.cm ⁻¹)	111,36	103,80	6,79	96,50	13,34	94,26	15,36
TDS (mg.L ⁻¹)	52,30	49,00	6,31	45,00	13,96	45,00	13,96
Salinidade (‰)	0,10	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00	100,00
Turbidez (UNT)	21,43	4,23	80,26	2,30	89,27	3,04	85,81
Alcalinidade total (mg.L ⁻¹)	22,27	17,32	22,23	8,91	59,99	9,90	55,55
DQO (mg.O ₂ .L ⁻¹)	28,00	5,33	80,96	20,00	28,57	6,00	78,57
Fósforo total (µg.L ⁻¹)	84,54	40,60	51,98	49,86	41,02	49,86	41,02
Nitrito (mg.L ⁻¹)	0,485	0,135	72,16	0,001	99,79	0,003	99,38
Nitrato (mg.L ⁻¹)	1,00	0,30	70,00	0,10	90,00	0,10	90,00
Amônia (mg.L ⁻¹)	0,24	0,12	50,00	0,44	-83,33	0,54	-125,00
Nitrogênio total (mg.L ⁻¹)	1,05	0,49	53,33	0,84	20,00	1,05	0,00
DBO ₅ (mg.O ₂ .L ⁻¹)	10,20	6,80	33,33	6,30	38,24	6,50	36,27
Coliforme total (NMP)	4,5x10 ³	0,3x10 ³	92,63	0,16x10 ³	96,43	0,4x10 ³	91,07
<i>E. coli</i> (NMP)	0,2x10 ³	0,01x10 ³	95,00	0,01x10 ³	95,00	0,01x10 ³	95,00

Tabela 14 - Valores dos parâmetros estudados durante o tratamento da água do rio Corumbataí, os quais apresentam a avaliação da eficiência do "CWs". No período de amostragem – T21 dias (04/05/2003), nos diferentes pontos de coleta. Legenda: P1= Ponto 1, P2= Ponto 2, P3= Ponto 3, P4= Ponto 4, $*[(P1-P2)/P1].100$, $** [(P1-P3)/P1].100$, $*** [(P1-P4)/P1].100$

Parâmetros	P1	P2	Eficiência (%) P1-P2*	P3	Eficiência (%) P1-P3**	P4	Eficiência (%) P1-P4***
Temperatura água °C	26,56	26,56	-	26,56	-	26,56	-
Temperatura ambiente °C	19,26	17,60	-	18,00	-	18,43	-
pH	8,71	6,46	-	5,81	-	5,88	-
Oxig. dissolvido (mg.L ⁻¹)	8,75	6,19	-	1,33	-	0,77	-
Cor aparente (Pt/L)	225,33	152,33	32,40	163,00	27,66	153,33	31,95
Condutividade (µS.cm ⁻¹)	105,33	98,40	6,58	93,20	11,52	86,26	18,11
TDS (mg.L ⁻¹)	50,00	47,00	6,00	44,00	12,00	41,00	18,00
Salinidade (%)	0,10	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00	100,00
Turbidez (UNT)	10,74	3,78	64,80	2,24	79,14	2,58	75,98
Alcalinidade total (mg.L ⁻¹)	22,27	17,82	19,98	9,40	57,79	9,90	55,55
DQO (mg.O ₂ .L ⁻¹)	24,00	8,33	65,29	3,00	87,50	7,00	70,83
Fósforo total (µg.L ⁻¹)	123,30	50,21	59,28	42,99	65,13	53,15	56,89
Nitrito (mg.L ⁻¹)	0,056	0,005	91,07	0,003	94,64	0,003	94,64
Nitrato (mg.L ⁻¹)	0,20	0,10	50,00	0,20	0,00	0,10	50,00
Amônia (mg.L ⁻¹)	0,12	0,04	66,67	0,32	-166,67	0,35	-191,67
Nitrogênio total (mg.L ⁻¹)	0,77	0,56	27,27	0,77	0,00	0,98	-27,27
DBO ₅ (mg.O ₂ .L ⁻¹)	15,60	14,70	5,77	14,10	9,62	14,30	8,33
Coliforme total (NMP)	4,3x10 ³	0,35x10 ³	91,95	0,1x10 ³	97,70	0,20x10 ³	95,40
<i>E. coli</i> (NMP)	0,01x10 ³	0,01x10 ³	0,00	0,01x10 ³	0,00	0,01x10 ³	0,00

5. CONCLUSÕES

- O sistema “wetlands” construído mantido em funcionamento durante os 21 dias para tratamento das águas do rio Corumbataí foi eficiente para redução de microrganismos e nutrientes.

- O uso de *E. crassipes* mostrou-se mais eficiente na remoção de poluentes da água que o reator com *P. stratiotes*.

- O sistema “CWs” é um processo dinâmico e sua eficiência variou com o tempo de tratamento da água do rio Corumbataí.

- O conhecimento da composição de cada tipo de efluente a ser tratado é importante para o estabelecimento dos parâmetros hídricos para projetos de construção dos CWs. Dentre estes, o tempo de residência é fundamental para o funcionamento e a eficiência do sistema CWs de tratamento.

6. REFERÊNCIAS

AMARAL, J. A. B. Mass balance modeling of Feijão River Wetland, SP, Brazil. In: INTERNATIONAL CONFERENCE WETLAND SYSTEMS FOR WATER POLLUTION CONTROL, 6., 1998, Águas de São Pedro. **Anais...** Águas de São Pedro-SP: S. M. Tauk-Tornisielo, 1998. p. 156.

ANSOLA, G.; GONZÁLEZ, J.M.; CORTIJO, R.; LUIS, E. Experimental and full-scale pilot plant constructed wetlands for municipal wastewaters treatment. **Ecological Engineering**, Columbus, USA, v. 21, p. 43-52, 2003.

APHA (AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION). **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 20. ed. Washington: American Public Health Association, AWWA, WPCF, 1998. 1569p.

BORGES, K. P. **Eficiência de um sistema de áreas alagadas (constructed wetland), para tratamento de águas residuárias**. 2001. 112 f. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Aplicada) - Instituto de Biociências do Campus de Rio Claro, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2001.

BRASKERUD, B. C. Factors affecting nitrogen retention in small constructed wetlands treating agricultural non-point source pollution. **Ecological Engineering**, Columbus, USA, v. 18, p. 351-370, 2002a.

BRASKERUD, B. C. Factors affecting phosphorus retention in small constructed wetlands treating agricultural non-point source pollution. **Ecological Engineering**, Columbus, USA, v. 19, p. 41-61, 2002b.

BREGA-FILHO, D.; SALATI, E.; SALATI FILHO, E.; BOMBONATO JR, C. Water conference rehabilitation of the Cotia River. In: INTERNATIONAL CONFERENCE WETLAND SYSTEMS FOR WATER POLLUTION CONTROL, 6., 1998, Águas de São Pedro. **Anais...** Águas de São Pedro: S. M. Tauk-Tornisielo, 1998. p. 146.

BRIX, H.; SCHIERUP, H. H. The use of aquatic macrophytes in water pollution control. **Ambio**, Elmsford, USA, v. 18, p. 100-107, 1989.

BRIX, H. Functions of macrophytes in constructed wetlands. **Wat. Sci. Tech**, Elmsford, USA, v. 29, n. 4, p. 71-78, 1994.

BUSK, T. A.; WILLIAMS, L. D.; RYTHER, J. H. Removal of Nitrogen and Phosphorus From Waste Water in a Waterhyacinth-Based Treatment System. **Journal of Environmental Quality**, Madison, USA, v. 12, n. 2, p. 257-262, 1983.

COOPER, P. F.; FINDLATER, B. C. *Constructed Wetlands in Water Pollution Control*. Pergamon, Oxford, 1990. 605p.

ELIAS, J. M.; SALATI FILHO, E.; SALATI, E. Performance of constructed wetland system for public water supply. **Water Science and Technology**, London, England, v. 44, n. 11-12, p. 579-584, 2001.

GÓMEZ CERREZO R.; SUÁREZ M. L.; VIDAL-ABARCA M. R. The performance of a multi-stage system of constructed wetlands for urban wastewater treatment in a semiarid region of SE Spain. **Ecological Engineering**, Columbus, USA, v. 16, p. 501-517, 2001.

GOPAL, B. Natural and constructed wetlands for wastewater treatments: potentials and problems. **Water Science and Technology**, London, England, v. 40, n. 3, p. 27-35, 1999.

HAMMER, D. A. **Constructed wetlands for wastewater treatment: municipal, industrial and agricultura**. Chelsea: Lewis, 1989. 350p.

HENRY-SILVA, G. G. **Utilização de macrófitas aquáticas flutuantes (*Eichhornia crassipes*, *Pistia stratiotes*, *Salvinia molesta*) no tratamento de efluentes de piscicultura**. 2001. 79 f. Dissertação (Mestrado em Aqüicultura em Águas Continentais) - Instituto de Aqüicultura de Jaboticabal, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2001.

JING, S. R.; LIN, Y. F. Seasonal effect on ammonia nitrogen removal by constructed wetlands treating polluted river water in southern Taiwan. **Environmental Pollution**, Amherst, USA, v. 127, p. 291-301, 2004.

JING, S. R.; LIN, Y. F.; LEE, D. Y.; WANG, T. W. Nutrient removal from polluted river water by using constructed wetlands. **Bioresource Technology**, Texas, USA, v. 76, p. 131-135, 2001.

KADLEC, R. H.; KNIGHT, R. L. **Treatment Wetlands**. Lewis Publishers, Boca Raton, FL, 1996. 893p.

KARPISCAK, M. M.; FOSTER, K. E.; HOPF, S. B.; BANCROFT, J. M.; WARSHALL, P. J. Using water hyacinth to treat municipal wastewater in the desert southwest. **Water Resources Bulletin**, Herndon, USA, v. 30, n. 2, p. 219-227, 1994.

KAWAI, H.; GRIECO, V. M. Utilização do aguapé para tratamento de esgoto doméstico: estabelecimento de critérios de dimensionamento de lagoa de aguapé e abordagem de alguns problemas operacionais. **Revista DAE**, São Paulo, v. 43, n. 135, p. 79-90, 1983.

KNIGHT, R. L.; KADLEC, R. H.; OHLENDORF, H. M. The use of treatment wetlands for petroleum industry effluents. **Environmental Science and Technology**, Iowa, USA, v. 33, n. 7, p. 973-980, 1999.

KOOTTATEP, T.; POLPRASERT, C. Role of plant uptake on nitrogen removal in constructed wetlands located in the tropics. **Water Science and Technology**, London, England, v. 36, n. 12, p. 1-8, 1997.

LEE, C. Y.; LEE, C. C.; LEE, F. Y.; TSENG, S. K.; LIAO C.J. Performance of subsurface flow constructed wetland taking pretreated swine effluent under heavy loads. **Bioresource Technology**, Texas, USA, v. 92, p. 173-179, 2004.

LIMA, A. S.; BERNARDES, R. S. **Análise de desempenho de reator anaeróbio (UASB) associado a leito cultivado de fluxo subsuperficial para tratamento de esgoto doméstico**. 1998. 93 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, 1998.

LIN, Y.F.; JING, S.R.; LEE, D. Y.; CHANG, Y.F.; CHEN, Y.M.; SHIH, K. C. Performance of a constructed wetlands treating intensive shrimp aquaculture wastewater under high hydraulic loading rate. **Environmental Pollution**, Amherst, USA, v. 134, p. 411-421, 2005.

LOPES-FERREIRA, C.; CALIJURI, M. C.; ESPÍNDOLA, E. L. G. The role of natural wetland system of the Atibaia River in Ameliorating the water quality of Salto Grande Reservoir (Americana, SP, Brazil). In: INTERNATIONAL CONFERENCE WETLAND SYSTEMS FOR WATER POLLUTION CONTROL, 6., 1998, Águas de São Pedro. **Anais...** Águas de São Pedro: S. M. Tauk-Tornisielo, 1998. p. 31.

LUIZI, G. The impact of human occupation on wetlands in the litoral of Rio de Janeiro State, Brazil. In: INTERNATIONAL CONFERENCE WETLAND SYSTEMS FOR

WATER POLLUTION CONTROL, 6., 1998, Águas de São Pedro. **Anais...** Águas de São Pedro: S. M. Tauk-Tornisielo, 1998. p. 140.

MANDI, L. Marrakesh wastewater purification experiment using vascular aquatic plants *Eichhornia crassipes* and *Lemna gibba*. **Water Science and Technology**, London, England, v. 29, n. 4, p. 283-287, 1994.

MANFRINATO, E. S. **Avaliação do método edafo-fitodepuração para tratamento preliminar de águas**. 1989. 98 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1989.

MANSOR, M. T. C. **Uso de leito de macrófitas no tratamento de águas residuárias**. 1998. 106 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Departamento de Água e Solo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1998.

MEIRA, C. M. B.; CEBALLOS, B. S. O.; OLIVEIRA, H.; SOUSA, J. T.; KÖNIG, A. Despoluição de águas superficiais contaminadas com esgotos domésticos usando wetlands construídos. In: WORKSHOP SOBRE BIODEGRADAÇÃO, 2., 2001, Campinas. **Anais...** Campinas: [s.n.], 2001. p. 387-390.

MITSCH, W. J.; HORNE, A.; NAIRN, R. W. Nitrogen and phosphorus retention in wetlands (special issue). **Ecological Engineering**, Columbus, USA, v. 14, n. 1-2, p. 1-206, 2000.

MOSHIRI, G. A. **Constructed Wetlands for water Quality Improvement**. Lewis Publishers, Boca Raton, FL, USA, 1993. 632p.

NGUYEN, L. M. Organic matter composition, microbial biomass and microbial activity in gravel-bed constructed wetlands treating farm dairy wastewaters. **Ecological Engineering**, Columbus, USA, v. 16, p. 199-221, 2000.

NOGUEIRA, S. F. **Balço de nutrientes e avaliaço de parâmetros biogeoquímicos em áreas alagadas construídas para o tratamento de esgoto.** 2003. 120 f. Dissertação (Mestrado em Ciências – área de concentração: Energia Nuclear na Agricultura), Centro de Energia Nuclear na Agricultura, CENA/USP, Piracicaba, 2003.

OKUNO, E. **Física para ciências biológicas e biomédicas.** São Paulo: Harper & Row do Brasil, 1982. p. 317-345.

OLIVEIRA, M. A.; BARRETO, A. J.; ROQUETTE PINTO, C. L.; PERREIRA, R. C. Utilization of aquatic biomass to energy production. In: INTERNATIONAL CONFERENCE WETLAND SYSTEMS FOR WATER POLLUTION CONTROL, 6., 1998, Águas de São Pedro. **Anais...** Águas de São Pedro- SP: S. M. Tauk-Tornisielo, p. 609-618, 1998.

OLSON, R. K.; MARSHALL K. The role of created and natural wetlands in controlling non point source pollution. **Ecological Engineering**, Columbus, USA, v. 1, p. 1-170, 1992. Special issue.

PALMA-SILVA, G. M. **Diagnóstico ambiental, qualidade da água e índice de depuração do Rio Corumbataí-SP.** 1999. 155 f. Dissertação (Mestrado em Conservação e Manejo de Recursos) – Centro de Estudos Ambientais do Campus de Rio Claro, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1999.

PANT, H. K.; REDDY, K. R. Potential internal loading of phosphorus in a wetland constructed in agricultural land. **Water Research**, Lyngby, Denmark, v. 37, p. 965-972, 2003.

PANT, H. K.; REDDY, K. R.; LEMON, E. Phosphorus retention capacity of root bed media of subsurface flow constructed wetlands. **Ecological Engineering**, Columbus, USA, v. 17, p. 345-355, 2001.

PENFOUND, W.; EARLE, T. T. The biology of the water hyacinth. **Ecol. Mon.**, v. 18, n. 4, 1948. p. 65-79.

PERKINS, J.; HUNTER C. Removal of enteric bacteria in a surface flow constructed wetland in Yorkshire, England. **Water Research**, Lyngby, Denmark, v. 34, n. 6, p. 1941-1947, 2000.

PETRUCIO, M. M.; ESTEVES, F. A. The influence of salinity on the uptake of nitrogen and phosphorus in the water by *Eichhornia crassipes* and *Salvinia auriculata*. In: INTERNATIONAL CONFERENCE WETLAND SYSTEMS FOR WATER POLLUTION CONTROL, 6., 1998, Águas de São Pedro. **Anais... Águas de São Pedro**: S. M. Tauk-Tornisielo, p. 524-534, 1998.

PHILLIPI, L. S.; COSTA, R. H. R. Domestic effluent treatment through integrated system of septic tank and root zone. In: INTERNATIONAL CONFERENCE WETLAND SYSTEMS FOR WATER POLLUTION CONTROL, 6., 1998, Águas de São Pedro. **Anais... Águas de São Pedro**: S. M. Tauk-Tornisielo, 1998. p. 50.

PIETERSE, A. H.; MURPHY, K. **Aquatic Weeds and Management of Nuisance Aquatic Vegetation**. New York: Oxford, 1990. 250p.

QUEIROZ, O. Environment and recreation in the lake in Itirapina-SP. In: INTERNATIONAL CONFERENCE WETLAND SYSTEMS FOR WATER POLLUTION CONTROL, 6., 1998, Águas de São Pedro. **Anais... Águas de São Pedro**: S. M. Tauk-Tornisielo, 1998. p. 147.

RIBEIRO, A. G.; GALBIATTI, J. A. Contamination of Seepage Water in an Irrigated Lettuce Crop with Water Containing Diluted Urban Sewage. In: INTERNATIONAL CONFERENCE WETLAND SYSTEMS FOR WATER POLLUTION CONTROL, 6., 1998, Águas de São Pedro. **Anais... Águas de São Pedro**: S. M. Tauk-Tornisielo, 1998. p. 158.

ROQUETE PINTO, C. L.; GUIMARÃES, A. C.; SANTOS, J. L. A. Integrated rural sustainable development with aquatic plants. In: INTERNATIONAL CONFERENCE WETLAND SYSTEMS FOR WATER POLLUTION CONTROL, 6., 1998, Águas de São Pedro. **Anais...** Águas de São Pedro: S. M. Tauk-Tornisielo, 1998. p. 96.

SALATI, E. Edaphic-phytodepuration: a new approach to wastewater treatment. In: REDDY, K. R.; SMITH, W. H. **Aquatic plants for water treatment and resource recovery**. Orlando: Magnolia, p. 199-208, 1987.

SALATI, E.; RODRIGUES, N. S. De poluente a nutriente, a descoberta do aguapé. **Revista Brasileira Tecnológica**, Brasília, v. 13, n. 3, p. 37-42, 1982.

SANTOS, P. V. M.; LEÃO, R. R. L. **O aguapé em sistemas aquáticos de despoluição de esgotos**: suas vantagens e limitações. São Paulo: Cia Energética de São Paulo, 1983. 33p.

SCHULZ, C., GELBRECHT J., RENNERT B. Constructed wetlands with free water surface for treatment of aquaculture effluents. **Journal of Applied Ichthyology**, Wulmstorf, Germany, v. 20, p. 64-70, 2004.

SILVA, O. F.; NOVO, E. M. L. The influence of the differences in the water temperature in ecological processes in the shallow water of tropical. In: INTERNATIONAL CONFERENCE WETLAND SYSTEMS FOR WATER POLLUTION CONTROL, 6., 1998, Águas de São Pedro. **Anais...** Águas de São Pedro: S. M. Tauk-Tornisielo, 1998. p. 143.

SÖDERQVIST, T. Constructed wetlands as nitrogen sinks in southern Sweden: na empirical analysis of cost determinants. **Ecological Engineering**, Columbus, USA, v. 19, p. 161-173, 2002.

SOLANO, M. L.; SORIANO, P.; CIRIA, M. P. Constructed Wetlands as a Sustainable Solution for Wastewater Treatment in Small Villages. **Biosystems Engineering**, Edinburg, UK, v. 87, n. 1, p. 109-118, 2004.

SOUSA, J. T.; HAANDEL, A.; LIMA, E. P. C.; HENRIQUE, I. N. Utilização de wetland construído no pós-tratamento de esgotos domésticos pré-tratados em reator UASB. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, Brasil, v. 9, n. 4, p. 285-290, 2004.

TANNER, C. C. Plants for constructed wetland treatment systems: A comparison of the growth and nutrient uptake of eight emergent species. **Ecological Engineering**, Columbus, USA, v. 7, p. 59-83, 1996.

TUNDISI, J. G. Reservoir wetlands integration. In: INTERNATIONAL CONFERENCE WETLAND SYSTEMS FOR WATER POLLUTION CONTROL, 6., 1998, Águas de São Pedro. **Anais...** Águas de São Pedro: S. M. Tauk-Tornisielo, 1998. p. 21.

VALENTIM, M. A. A.; ROSTON, D. M. Project of constructed wetland for treating Septic tank effluent. In: INTERNATIONAL CONFERENCE WETLAND SYSTEMS FOR WATER POLLUTION CONTROL, 6., 1998, Águas de São Pedro. **Anais...** Águas de São Pedro: S. M. Tauk-Tornisielo, 1998. p. 135.

VYMAZAL, J. The use of sub-surface constructed wetlands for wastewater treatment in the Czech Republic: 10 years experience. **Ecological Engineering.**, Columbus, USA, v. 18, p. 633-646, 2002.

WALLACE, S. Putting wetlands to work. New York: American Society of Civil Engineers, 1998. 190 p.

ZEE, D. M. W. Distribution profiles of water quality parameters on urban coastal pond - A case study of Rodrigo Freitas Pond, Rio de Janeiro, Brazil. In: INTERNATIONAL CONFERENCE WETLAND SYSTEMS FOR WATER POLLUTION CONTROL, 6., 1998, Águas de São Pedro. **Anais...** Águas de São Pedro: S. M. Tauk-Tornisielo, 1998. p. 35.

Capítulo 2

UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS CONSTRUÍDOS DE ÁREAS ALAGADAS (CONSTRUCTED WETLANDS) PARA TRATAMENTO DE EFLUENTES DE PISCICULTURA – REMOÇÃO DE BACTÉRIAS E NUTRIENTES

Autora: ANA KLEIBER PESSOA BORGES

Orientadora: PROF^a DR^a SÂMIA MARIA TAU-K-TORNISIELO

Co-orientador: PROF. DR. ROBERTO NAVES DOMINGOS

RESUMO

Embora a produção de peixes venha apresentando crescimento acelerado nos últimos anos no Brasil, não tem havido, em geral, a preocupação em se tratar a água utilizada na atividade aquícola. A água de boa qualidade é fundamental para o crescimento, reprodução e sobrevivência das diferentes espécies de peixes. Na tentativa de se encontrar uma tecnologia simples, eficiente e de baixo custo, optou-se por verificar a eficiência do uso de sistemas construídos de áreas alagadas (CWs) para remoção de bactérias e de nutrientes das águas de piscicultura. Foi instalado viveiro em policultura: tilápia (*Oreochromis niloticus*), matrinxã (*Brycon cephalus*) e pacu (*Piraractus mesopotamicus*) no Campo Experimental do Centro de Pesquisa e Gestão de Recursos Pesqueiros Continentais/Instituto Brasileiro do Meio Ambiente (CEPTA/IBAMA), Pirassununga, SP, Brasil. Em anexo a esse viveiro foi instalado CWs, vegetados com *Eichhornia crassipes*, tendo fluxo contínuo com efluente gerado a montante deste sistema. Com objetivo de avaliar a eficiência dos mesmos, durante 128 dias de operação pelo sistema CWs. Os parâmetros estudados para análise da eficiência dos sistemas foram: temperatura da água e ambiente, pH, oxigênio dissolvido, cor aparente, condutividade, sólidos totais dissolvidos (TDS), salinidade, turbidez, alcalinidade total, demanda química de oxigênio (DQO), fósforo total, nitrito, nitrato, amônia, nitrogênio total, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), coliformes totais e *Escherichia coli* e toxicidade. A metodologia para determinação dos microrganismos foi o substrato definido cromofluorogênico (colilert-INDEXX/USA) e os demais segundo APHA (1998). Os resultados obtidos quanto à eficiência na remoção dos poluentes tratados pelo sistema “wetlands” construídos foram:

a eficiência máxima na remoção de *Escherichia coli* foi 67,1% em 115 dias de operação pelo sistema CWS; para coliformes totais a remoção máxima foi 39,2 em 73 dias de operação do sistema; DBO teve remoção máxima de 47,4% em 58 dias; DQO com remoção máxima de 78,1% em 22 dias; turbidez apresentou remoção máxima de 89,6% em 115 dias e a cor aparente a remoção máxima 98,3% em 115 dias; amônia teve 84,5% de remoção máxima em 86 dias de operação; nitrogênio total com 66,3% de remoção máxima em 43 dias de operação; nitrato teve remoção máxima de 100% em 8 dias de operação do sistema CWS. O sistema CWS vegetado com a macrófita aquática *Eichhornia crassipes* estudado mostrou-se eficiente na remoção do número de *E. coli*, coliformes totais e nutrientes em diferentes tempos de operação do sistema, acarretando uma melhoria acentuada na qualidade microbiológica e dos nutrientes da água de piscicultura, quanto aos parâmetros aqui estudados. Assim sendo, o efluente tratado pode ser reutilizado na própria piscicultura ou mesmo ser lançado nos ecossistemas aquáticos sem promover a eutrofização artificial.

Palavras-chave: tratamento; água; efluente de piscicultura; wetlands construídos; áreas alagadas; eficiência; nutrientes.

USE OF CONSTRUCTED WETLANDS FOR TREATMENT OF EFFLUENTS FROM FISH FARMING - DECREASING OF BACTERIA AND NUTRIENTS

Autora: ANA KLEIBER PESSOA BORGES

Orientadora: PROF^a DR^a SÂMIA MARIA TAU-K-TORNISIELO

Co-orientador: PROF. DR. ROBERTO NAVES DOMINGOS

ABSTRACT

Although the production of fish is growing in the last years in Brazil, it has not been a great concern in treating the water used in this activity. The water of good quality is fundamental for the growth, reproduction and survival of the different species of fish. In the attempt of finding a simple and low cost technology it was opted to use of constructed wetlands (CWs) for removal of bacteria and nutrients from fish farming waters. Fishery was installed using: “tilapia” (*Oreochromis niloticus*), “matrinxã” (*Brycon cephalus*) and “pacu” (*Piraractus mesopotamicus*) in the CEPTA/IBAMA, Pirassununga, SP, Brazil. In annex to the CWs was installed the *Eichhornia crassipes* which was passing a continuous flow from fishery effluent. For evaluating the efficiency of the CWs system it was put in operation during 128 days. The parameters analyzed for monitoring the efficiency of CWs had been: temperature of the water and weather, pH, dissolved oxygen, apparent color, dissolved conductivity, total dissolved solids (TDS), salinity, turbidity, total alkalinity, chemical oxygen demand (COD), total phosphorus, nitrite, nitrate, ammonia, total nitrogen, biochemistry oxygen demand oxygen (BOD), total coliforms, *Escherichia coli* and toxicity. The methodology for determination of the microorganisms was the Collier-INDEXX/USA, and used according to Standard Methods of Examination of Water and Wastewater, 1998 edition. The results was in removal of pollutants treated for the system CWs: maximum removal of *Escherichia coli* was 67.1% in 115 days of operation; the maximum removal of total coliforms was 39.2 in 73 days of operation; BOD had maximum removal of 47.4% in 58 days; COD with maximum removal of 78.1% in 22 days; turbidity presented maximum removal of 89.6% in 115 days and the apparent color maximum removal was 98.3% in 115 days; ammonia had 84.5% of maximum removal in 86 days of operation;

total nitrogen with 66.3% of maximum removal in 43 days of operation; nitrate had maximum removal of 100% in 8 days of operation. The CWs system vegetated with the aquatic *Eichhornia crassipes* revealed very efficient in the removal of the number of *E. coli* and total coliforms in different running times of the system. Thus, it caused an improvement for microbiological and nutrients quality of farming fishery. The effluent after treatment can be reused in the farming fishery or to be dropped in aquatic ecosystems without promoting increasing of algae.

Keywords: treatment; water; effluents from fish farming; constructed wetlands; efficiency; nutrients.

1. INTRODUÇÃO

As águas utilizadas pelos piscicultores ao meio rural, na quase totalidade dos casos, não sofrem nenhum tipo de tratamento. Viabilizar sistemas que proporcionem tratamento da água em propriedades agrícolas implicará diretamente na melhoria da qualidade e produção de alevinos, no caso de piscicultura. Segundo Delbin e Paterniani (1998) a qualidade da água, propriedade de elevada importância para a produção de peixes, é fundamental ao crescimento, reprodução e sobrevivência das espécies. Nos últimos anos, o Brasil vivenciou acelerado ritmo de crescimento na produção aquícola, com um crescimento de 109%, em cinco anos. As características físicas e químicas da água são fundamentais para os organismos aquáticos, pois determinam as condições ambientais que propiciam o crescimento e a sobrevivência de espécies vegetais e animais aquáticos.

As águas naturais apresentam grandes variações nas suas características físicas e químicas, determinadas pela localização geográfica do corpo de água, pelas características geológicas da região em que se situa, a vegetação que circunda suas margens e, também, pela influência antrópica sobre estes ecossistemas aquáticos. As diferentes características físicas e químicas dos corpos de água naturais propiciam diferenças na qualidade e quantidade de organismos aquáticos e constituem em verdadeiras barreiras para determinadas espécies que se adaptam a águas frias ou mais quentes, mais ácidas ou alcalinas. É fundamental o conhecimento das características das águas, tanto para a compreensão do ambiente aquático como para o cultivo de organismos que nele vivem. Destacam-se os fatores climatológicos como: temperatura, precipitação pluviométrica, umidade relativa, pressão atmosférica e ventos, que

exercem influência direta sobre a cor, temperatura e turbidez e estas, por sua vez, podem alterar características químicas da água como a riqueza em nutrientes (principalmente nitrogênio e fósforo), pH, o teor dos gases oxigênio e carbônico dissolvidos, desta forma, exercendo influência direta sobre a produção primária (fitoplâncton), secundária (zooplâncton) e, como consequência, sobre os peixes.

Neste presente estudo foi analisado um sistema construído de área alagada “Constructed Wetland” (CWs) de fluxo descendente, para tratamento de efluente de piscicultura, aplicando no processo sistemas particulados envolvidos por macrorganismos, carvão de babaçu, solo e três diferentes tamanhos de pedregulhos.

Os CWs instalados neste presente estudo tiveram como objetivos: - analisar a eficiência deste sistema no tratamento de efluente gerado de piscicultura, pela criação de viveiro em policultura: - tilápia (*Oreochromis niloticus*), matrinxã (*Brycon cephalus*) e pacu (*Piraractus mesopotamicus*); - verificar a possível diminuição da toxicidade, de nutrientes e de microrganismos do efluente de piscicultura.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Aplicação da tecnologia alternativa pelo sistema “CWs” para tratamento de efluentes de piscicultura

A aplicação de tecnologias alternativas para tratamento de águas poluídas torna-se cada vez mais necessária, em particular, àquelas de baixo custo, de fácil manutenção e operação, e que não dependam de energia elétrica. Os “Wetlands” naturais e construídos têm mostrado alta capacidade de transformar, reciclar, reter e remover diferentes tipos de poluentes, especialmente os orgânicos, (WALLACE, 1998; KNIGHT et al. 1999), nutrientes eutrofizantes e contaminação fecal de esgotos e águas superficiais (HAMMER, 1989), com base nos processos naturais (filtração, sedimentação, adsorção/absorção, biodegradação), que ocorrem nos biofilmes microbianos formados entre a rizosfera e o substrato sólido, (TANNER, 1996; GOPAL, 1999).

O uso de CWs tem sido considerado uma tecnologia “verde”, por utilizar menor gasto de energia do que outras alternativas que têm sido propostas. Outros parâmetros, contudo, precisam ser considerados como a sustentabilidade, potencial de reciclagem, capacidade e potencial de tratamento, conservação de ecossistemas e outros.

O processo de CWs pode ser considerado um sistema ecológico complexo onde ocorrem interações de bactérias, algas, zooplâncton, crustáceos, peixes e plantas superiores, adicionando-se os fatores abióticos presentes. Este conceito foi inicialmente desenvolvido na América do Norte por um biólogo canadense John Todd (TODD, 1997 apud BRIX, 1998). O propósito foi demonstrar a possibilidade de se tratar efluente por técnicas ecologicamente viáveis, para reduzir compostos químicos tóxicos,

nutrientes e patógenos e ao mesmo tempo produzir produtos biologicamente viáveis como tomates, plantas ornamentais e peixes (BRIX, 1998).

Summerfelt et al. (1999) investigaram o tratamento do lodo formado em aquíicultura pelo sistema “wetlands”, os resultados das remoções foram: 96-98% de sólidos totais dissolvidos e 72-91% de DQO.

Lekang et al. (2000) pesquisaram sobre um sistema integrado para tratamento de água de piscicultura baseado em solos filtrantes, obtendo eficiência de 49,3% para fósforo total 49,3%, 42,7% para nitrogênio total, 48,0% para DQO e 74,4% para sólidos totais.

Henry-Silva (2001) utilizando macrófitas aquáticas flutuantes (*Eichhornia crassipes*, *Pistia stratiotes*, *Salvinia molesta*) no tratamento de efluentes de piscicultura, verificaram que *E. crassipes* e *P. stratiotes* foram mais eficientes na remoção de fósforo total (82,0% e 83,3%) e nitrogênio orgânico total (46,1% e 43,9%, respectivamente) em relação à *S. molesta* (72,1% de fósforo total e 42,7% de nitrogênio orgânico total), concluindo que os sistemas compostos de *E. crassipes* e *P. stratiotes* foram os melhores quando comparados com os demais.

Lin et al. (2002) verificaram a remoção de nutrientes de efluentes de piscicultura usando CWs, no qual a redução de nitrogênio amoniacal foi excelente, com eficiência de 86% para 98% e do nitrogênio inorgânico total de 95% para 98%, enquanto que a eficiência de fósforo total variou entre 32% e 71%.

Schulz et al. (2004) estudaram a redução de nutrientes de efluente de piscicultura após o tratamento com o sistema de “wetland” verificaram que houve eficiência na remoção de 67-72% para sólidos suspensos totais, 30-31% de DQO, 41-53% de fósforo total e 19-30% de nitrogênio total.

Lin et al. (2005) verificaram a eficiência do sistema CWs no tratamento intensivo de efluente gerado da produção de camarões, os resultados mostraram que houve redução: 55-66% de sólidos suspensos, 37-54% de DBO, 64-66% de amônia e 83-94% de nitrito.

Monteiro (2005) estudou protótipos para sistemas construídos de áreas alagadas para tratamento de efluente de piscicultura, os resultados demonstraram que o CWs contendo solo e o agregado possibilita um tratamento mais rápido do efluente nos primeiros dias de tratamento. Após a estabilização dos CWs, as melhores eficiências

foram observadas no sistema contendo apenas caco de tijolo ou apenas solo, dependendo do parâmetro analisado.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos no CEPTA/IBAMA de Pirassununga-SP, e nos laboratórios de Microbiologia e Química do Centro de Estudos Ambientais e no Laboratório de Ensino e Pesquisa de Toxicidade de Águas do Departamento de Bioquímica e Microbiologia - da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Campus de Rio Claro.

3.1. Material

3.1.1. Macrorganismos:

Macrófitas aquáticas flutuantes: *Eichhornia crassipes* - conhecida como aguapé, baronesa (Figura 1) (BRIX e SCHIERUP, 1989).



Figura 1. Macrófita aquática *Eichhornia crassipes* utilizada no CWs

3.1.2. Meio de quantificação dos microrganismos: coliformes totais e *E. coli*

Kit Colilert® (IDEXX Laboratories Inc. Westbrook, ME).

3.1.3. Material para construção do “wetland”

- Doze reservatórios de água, cada um com dimensões de 1,0 m de largura, 4,0 m de comprimento e 0,5 m de profundidade, também utilizado por Henry-Silva (2001).- Canos de PVC ($\frac{1}{2}$ e $\frac{3}{4}$).- Carvão de babaçu.- Conexões de PVC (Luvas, cotovelos, junções $\frac{1}{2}$ e $\frac{3}{4}$). A distribuição da montagem hidráulica foi do tipo espinha de peixe.- Solo de área de cerrado “sensu stricto” (solo coletado no CEPTA/IBAMA, sem qualquer ação antrópica). A coleta foi feita no horizonte A em profundidade de 5 a 30 cm, sendo posteriormente levado para a unidade experimental.- Seixo rolado (pedregulho – 2,4 a 4,8 mm; 6,4 a 12,7 mm e 25 a 50 mm) (Figura 2).

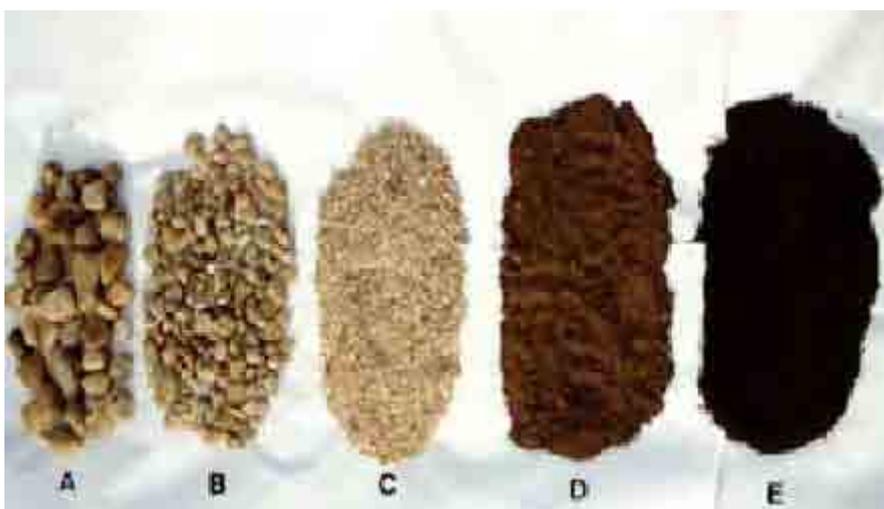


Figura 2. Diferentes particulados utilizados no sistema de tratamento. Legenda: A - Pedregulho – 25-50 (mm); B - Pedregulho – 6,4-12,7 (mm); C - Pedregulho – 2,4-4,8 (mm); D - Solo cerrado “Strictu sensu” – 1 (mm); E – Carvão de Babaçu – 2 (mm).
Fonte: Borges (2001).

3.2. Montagem do reator

3.2.1. Coleta de solo para montagem do reator

As coletas foram realizadas em área de cerrado “sensu stricto” (Figura 3), localizada CEPTA/IBAMA de Pirassununga-SP, nas coordenadas entre meridianos 47°22.740’ longitude ocidental e 21°56.476’ de latitude sul, e distante a 73 km do município de Rio Claro, SP.



Figura 3. Área de cerrado “sensu stricto”, mostrando o local de coleta de amostras de solo, utilizado no CWs.

3.2.2. Obtenção de seixo rolado (pedregulho) utilizado na montagem do reator

Este material foi gentilmente doado pela Mineração Mandu Ltda, no distrito de Ajapí, município de Rio Claro, SP.

3.2.3. Montagem e construção dos CWs

Os CWs foram construídos doze reservatórios de água, cada um com dimensões de 1,0 m de largura, 4,0 m de comprimento e 0,5 m de profundidade. O tempo de residência do efluente nos tanques foi de aproximadamente 33 horas com uma vazão de $1 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$, também utilizado por Henry-Silva (2001), montados conforme esquema demonstrado na Figura 4. Os CWs foram abastecidos simultaneamente com o efluente gerado da criação de viveiro em policultura: tilápia (*Oreochromis niloticus*), matrinxã (*Brycon cephalus*) e pacu (*Piraractus mesopotamicus*). Alimentado a uma taxa constante, o desempenho dos sistemas foi avaliado quantificando-se os parâmetros físicos, químicos, físico-químicos, microbiológicos e de toxicidade para especificidade de águas, procurando atender a portaria 518/2004 do Ministério da Saúde (2005) e a Resolução nº 357 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2005). Os reatores 1, 9 e 12 foram abastecidos com o efluente gerado do viveiro de piscicultura, não tendo plantas aquáticas e solo filtrante (wetland). Os reatores 2, 7 e 8 foram abastecidos com este mesmo efluente, porém vegetados com macrófitas aquáticas *Eichhornia crassipes* e solo filtrante (solo, carvão de babaçú e três diferentes tamanhos de pedregulhos). Sendo que os reatores 3, 5 e 10 foram abastecidos com este efluente contendo somente as macrófitas aquáticas *Eichhornia crassipes*. Os reatores 4, 6 e 11 foram abastecidos com o efluente, tendo somente solo filtrante (solo, carvão de babaçú e três diferentes tamanhos de pedregulhos).

As camadas do solo filtrante foram estabelecidas seguindo o discriminado a seguir:

10 cm de solo; 1 cm de carvão de babaçú (2,0 mm); 5 cm de seixo rolado (pedregulho – 2,4 a 4,8 mm); 10 cm de seixo rolado (pedregulho – 6,4 a 12,7 mm); 10 cm de seixo rolado (pedregulho – 25 a 50 mm).

Após a montagem do experimento, abriram-se as doze torneiras de entrada dos reservatórios, concomitantemente, para dar vazão e iniciar o funcionamento do sistema de tratamento.

3.2.4. Vidrarias, Reagentes e Equipamentos

- Autoclave vertical Fabe modelo 103.
- Condutivímetro Digimed CD-2P (Salvi Casagrande).
- Espectrofotômetro DR/2000 - HACH.
- Reagentes específicos para os ensaios que se fizerem necessários.
- Sistema de agitação com agitador magnético Fanem modelo 257.
- Termômetro de mercúrio.
- Vidraria usual de laboratório de Química e Microbiologia.

3.2.5. Coletas de amostras de águas

Foram efetuadas amostragens em catorze pontos. Sendo todos localizados CEPTA/IBAMA, sendo: 1º água de entrada no viveiro, o 2º efluente gerado da criação de viveiro em policultura: tilápia (*Oreochromis niloticus*), matrinxã (*Brycon cephalus*) e pacu (*Piraractus mesopotamicus*), 3º ao 14º foram após o tratamento pelo sistema de CWs. Para melhor distribuição dos pontos de coleta, foi separado em tratamentos sendo: T1 (água de entrada no viveiro em policultura); T2 (efluente gerado do viveiro em policultura); T3 (testemunho – sem plantas e sem solo filtrante, em triplicata); T4 (sistema CWs – aguapé com solo filtrante, em triplicata); T5 (somente aguapé, em triplicata) e T6 (somente solo filtrante, em triplicata).

3.3. Etapas usadas durante o experimento

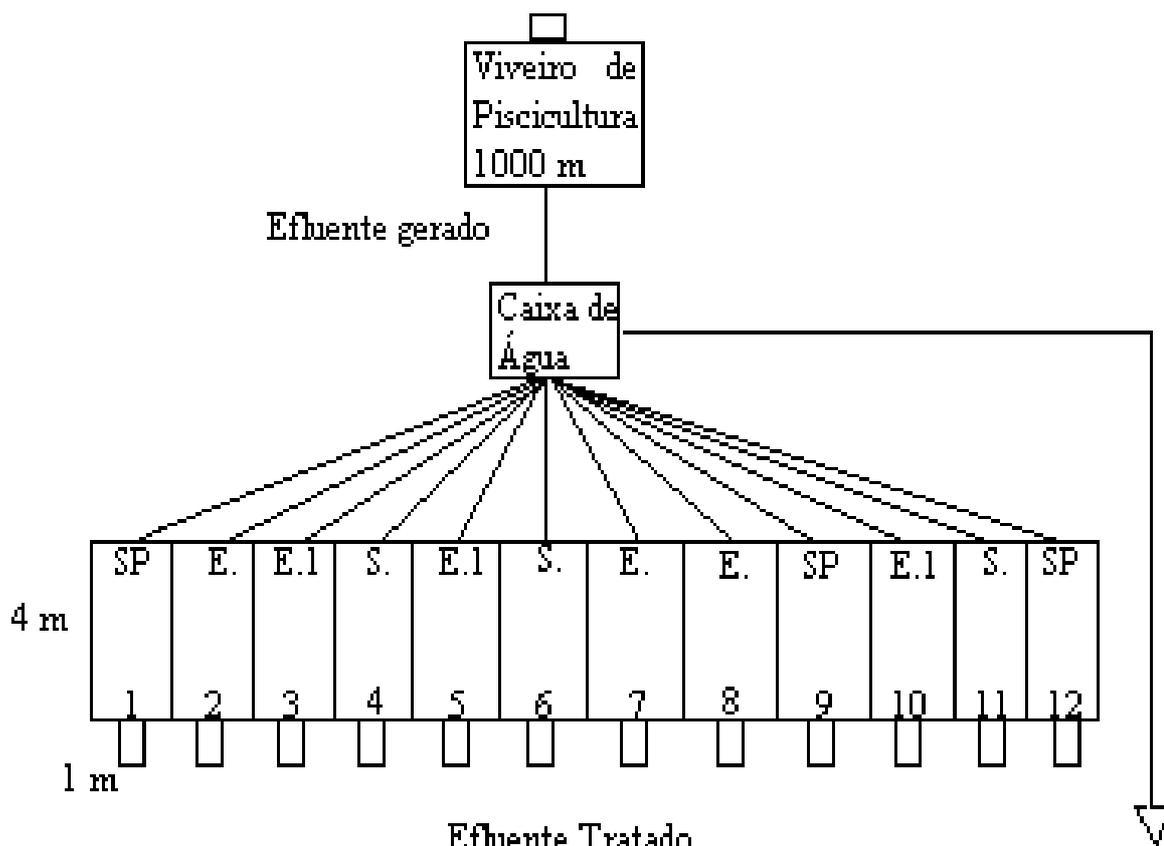
Este experimento foi desenvolvido em três etapas, a seguir:

3.3.1. 1ª Etapa – Cultivo das macrófitas aquáticas para cobertura dos reatores

As macrófitas já desenvolvidas em sistemas controlados foram transferidas para os reatores, após atingirem cerca de dois terços do tamanho natural.

3.3.2. 2ª Etapa – Montagem dos reatores de Purificação - simulação dos “wetlands” construído (CWs)

Descrito no item (3.2.3) e representado na Figuras 4 e 5.



SP Sem Planta, Sem solo filtrante (wetland)

E. *Eichhornia crassipes* com solo filtrante

E.1 *Eichhornia crassipes*

S. Somente solo filtrante (wetland)

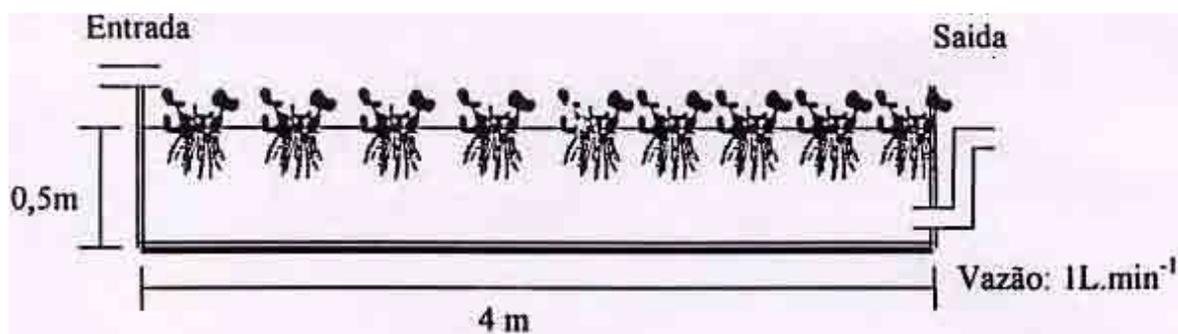


Figura 4. Esquema dos “CWs” instalados a juzante do viveiro usado para a criação de tilápias no CEPTA/IBAMA, Pirassununga, SP. Fonte: Henry-Silva (2001).



Figura 5. “CWS” utilizados durante o experimento, vegetado com *Eichhornia crassipes*.

3.3.3. 3ª Etapa –Desenvolvimento completo dos ensaios:

Foram coletadas amostras da água de entrada no viveiro da criação de viveiro em policultura: tilápia (*Oreochromis niloticus*), matrinxã (*Brycon cephalus*) e pacu (*Piraractus mesopotamicus*), no efluente gerado e posteriormente nas saídas dos reatores após o tratamento do mesmo. Para melhor distribuição dos pontos de coleta, foi separado em tratamentos sendo: T1 (água de entrada no viveiro em policultura); T2 (efluente gerado do viveiro em policultura); T3 (testemunho – sem plantas e sem solo filtrante, reatores 1, 9 e 12); T4 (sistema CWS – aguapé com solo filtrante, reatores 2, 7 e 8); T5 (somente aguapé, reatores 3, 5 e 10); T6 (somente solo filtrante, reatores 4, 6 e 11). Durante 128 dias do sistema “CWS” em operação, e posteriormente foram realizadas imediatamente suas análises conforme o item 3.3.4.1.

3.3.4. Análise das amostras de água coletada no sistema

As coletas foram semanais, realizadas durante os 128 dias, após o funcionamento do sistema CWS, e analisadas as amostras de água conforme o item 3.3.4.1, no período de junho de 2003 a outubro de 2003. Sendo uma coleta nictemeral, realizada a cada duas horas.

3.3.4.1. Análises físicas, químicas, físico-químicas e microbiológicas das águas

Temperaturas da água e ambiente, turbidez, condutividade, pH, salinidade foram determinados durante as coletas das amostras. Outros parâmetros foram medidos no laboratório: cor aparente, oxigênio dissolvido, sólidos totais dissolvidos (TDS), alcalinidade total, demanda bioquímica de oxigênio (DBO₅), demanda química de oxigênio (DQO), fósforo total, amônia, nitrito, nitrato, nitrogênio total, coliformes totais e *Escherichia coli* (APHA, 1998), descritos no item 3.3 do capítulo 1, página 28. Os parâmetros oxigênio dissolvido (mg.L⁻¹) e amônia (mg.L⁻¹) na coleta nictemeral foram analisados com o aparelho automático marca YSI 650 MDS.

3.3.4.2. Ensaios de toxicidade

3.3.4.2.1. Teste de toxicidade aguda utilizando *Daphnia similis*.

As amostras foram analisadas segundo o teste de toxicidade aguda, com *Daphnia similis*, método 8711 (APHA, 1998).

3.4. Análise estatística e interpretação dos dados obtidos

Foi realizada análise estatística através da técnica de análise de variância fatorial considerando como fatores de variação dia da coleta (11) e tratamento (6), para descrever o comportamento das variáveis químicas, físicas, físico-químicas e biológicas. Os resultados foram analisados estatisticamente com a análise não paramétrica ANOVA (analysis of variance) por ordenamento, no programa SAS (Statistical Analysis System).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Parâmetros físicos, químicos, físico-químicos, microbiológicos e de toxicidade das águas

As variações dos parâmetros estudados foram determinadas em relação aos pontos de coletas e os respectivos dias de coletas, utilizando-se um modelo do tipo fatorial considerando-se como fatores:

- pontos de coletas ou tratamentos (6);
- dia da coleta (11).

O procedimento da análise de variância fatorial foi realizado no programa estatístico SAS (Statistical Analysis System).

4.1.1. Temperatura ambiente

Os resultados das determinações dos valores de temperatura ambiente se encontram na Tabela 1.

Tabela 1. Variação espaço-temporal da temperatura ambiente ($^{\circ}\text{C}$), nos diferentes tratamentos, durante os 128 dias de operação do sistema CWs. Legenda: T1 (água de entrada no viveiro em policultura); T2 (efluente gerado do viveiro em policultura); T3 (testemunho – sem plantas e sem solo filtrante); T4 (sistema CWs – aguapé com solo filtrante); T5 (somente aguapé); T6 (somente solo filtrante)

Dias	Tratamentos					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
0	29,00	29,13	28,54	28,46	28,50	28,67
8	26,70	24,00	22,53	22,60	22,56	22,80
22	18,50	18,50	18,50	18,50	18,50	18,50
29	21,63	24,03	23,11	21,42	22,31	22,41
43	23,27	23,27	22,52	22,22	22,02	22,21
58	25,93	25,90	24,54	23,22	22,98	23,59
73	23,70	22,73	21,32	21,94	21,81	21,50
86	20,40	20,40	20,40	20,40	20,40	20,40
100	19,47	19,63	19,84	19,48	19,02	19,19
115	28,20	27,30	27,23	27,90	27,57	27,57
128	24,90	25,00	24,50	24,25	24,10	24,07

A partir desses resultados foi realizada análise de variância fatorial para a variável dependente temperatura ambiente, cujos resultados se encontram na Tabela 2.

Tabela 2. Análise de variância para a temperatura ambiente nos diferentes tratamentos, no sistema CWs. Legenda: GL = grau de liberdade; SQ = soma dos quadrados; QM = quadrado médio; F = frequência da distribuição; PR = probabilidade

Temperatura do ar	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Número de coletas	11	1360,3673	136,0367	120,23	0,0001
Tratamento	5	16,6968	3,3394	2,95	0,0165
Dia x tratamento	55	32,8751	0,6575	0,58	0,9809

Para o fator número de coletas e tratamento, no nível de 5% ($p \leq 0,05$) de significância, houve diferenças entre elas, conforme a Tabela 2.

Aplicando-se o Teste de Tukey (Tabela 3), para o fator número de coletas, verificou-se que a temperatura ambiente mínima foi $18,5^{\circ}\text{C}$. O valor máximo da temperatura ambiente foi de $28,6^{\circ}\text{C}$. Verificou-se que não houve muita variação entre os dias de coleta.

Tabela 3. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para o fator número de coletas da temperatura ambiente

Dias	Média	Grupo de Tukey
1	28,6163	A
10	27,5929	A
11	24,3321	B
6	23,9164	B
2	23,0116	B C
5	22,3901	C
4	22,3877	C
7	21,8687	C
8	20,4000	D
9	19,4068	D E
3	18,5000	E

No grupo de Tukey, letras diferentes significam que os níveis são diferentes.

Aplicando-se o teste de Tukey (Tabela 4), para o fator tratamento, verificou-se que o tratamento 5 diferiu do tratamento 1.

Tabela 4. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para o fator tratamento para o estudo da temperatura ambiente

Tratamento	Média	Grupo de Tukey
5	22,70	A
4	22,76	A B
6	22,81	A B
3	23,00	A B
2	23,62	A B
1	23,79	B

4.1.2. Temperatura da água

Os resultados das determinações dos valores de temperatura da água se encontram na Tabela 5.

Tabela 5. Variação espaço-temporal da temperatura da água (°C), nos diferentes tratamentos, durante os 128 dias de operação do sistema CWs. Legenda: T1 (água de entrada no viveiro em policultura); T2 (efluente gerado do viveiro em policultura); T3 (testemunho – sem plantas e sem solo filtrante); T4 (sistema CWs – aguapé com solo filtrante); T5 (somente aguapé); T6 (somente solo filtrante)

Dias	Tratamentos					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
0	24,00	24,17	25,76	24,18	25,06	24,51
8	23,37	23,37	20,34	21,16	20,84	21,48
22	18,90	19,00	17,20	17,60	16,67	18,33
29	19,10	22,17	20,49	20,48	20,06	20,74
43	22,83	22,80	21,07	21,59	21,20	21,46
58	24,13	24,93	22,59	22,34	22,04	22,84
73	19,93	22,17	19,99	21,16	21,12	21,30
86	20,30	20,70	19,30	19,23	19,30	19,57
100	21,80	21,67	20,98	21,47	21,24	21,16
115	24,47	24,40	23,23	23,47	23,34	23,51
128	22,80	23,35	22,34	22,48	22,64	22,90

Estes resultados foram analisados estatisticamente com a análise da variância fatorial para a variável dependente temperatura da água (Tabela 6).

Tabela 6. Análise de variância para a temperatura da água nos diferentes tratamentos, no sistema CWs. Legenda: GL = grau de liberdade; SQ = soma dos quadrados; QM = quadrado médio; F = frequência da distribuição; PR = probabilidade

Temperatura da água	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Número de coletas	11	529,9026	52,9902	110,49	0,0001
Tratamento	5	22,1543	4,4308	9,24	0,0001
Dia x tratamento	55	34,4686	0,6893	1,44	0,0685

Para o fator número de coletas e tratamento, em nível de 5% ($p \leq 0,05$) de significância, houve diferenças entre as mesmas, (Tabela 6). Verificou-se que a temperatura mínima da água foi 17,6°C. O valor máximo da temperatura da água foi de 24,76°C. Aplicando-se o Teste de Tukey (Tabela 7), verificou-se que não houve variação entre os dias de coleta.

Tabela 7. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para o fator número de coletas da temperatura da água

Dias	Média	Grupo de Tukey
1	24,7616	A
10	23,5366	B
6	22,7521	B C
11	22,6606	C
5	21,5403	D
2	21,2997	D E
9	21,2854	D E
7	20,9139	D E
4	20,4687	E
8	19,5143	F
3	17,6643	G

No grupo de Tukey, letras diferentes significam que os níveis são diferentes.

Aplicando-se o teste de Tukey (tabela 8), para o fator tratamento, verificou-se que o tratamento 2 diferiu do tratamento 3.

Tabela 8. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para o fator tratamento para o estudo da temperatura da água

Tratamento	Média	Grupo de Tukey
2	22,61	A
1	21,96	A
6	21,61	B
4	21,37	B
5	21,22	B
3	21,20	B

4.1.3. Cor aparente

Para o parâmetro Cor aparente (Pt/L) os resultados foram (Tabela 9):

Tabela 9. Variação espaço-temporal da cor aparente (Pt/L), nos diferentes tratamentos, durante os 128 dias de operação do sistema CWs. Legenda: T1 (água de entrada no viveiro em policultura); T2 (efluente gerado do viveiro em policultura); T3 (testemunho – sem plantas e sem solo filtrante); T4 (sistema CWs – aguapé com solo filtrante); T5 (somente aguapé); T6 (somente solo filtrante)

Dias	Tratamentos					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
0	53,00	52,50	52,39	327,17	60,33	229,17
8	54,00	48,00	42,33	359,00	33,50	482,17
22	5,33	43,33	32,06	164,56	28,06	321,33
29	0,00	0,00	3,83	74,83	0,00	170,17
43	5,50	39,00	147,50	191,67	133,67	300,33
58	180,50	252,00	175,50	230,17	189,17	344,33
73	29,67	55,00	38,89	73,00	21,00	110,00
86	9,00	52,00	30,50	52,83	22,67	81,50
100	55,00	120,00	57,83	33,33	17,67	75,33
115	1,00	57,50	76,83	4,17	1,00	12,50
128	68,00	98,00	57,67	65,33	45,00	56,33

Notou-se que a menor e maior cor aparente (Pt/L) foram respectivamente: 0,00 (Pt/L) nos tratamentos T1, T2 e T5 e 482,17 (Pt/L) no tratamento T6 após 8 dias de operação do sistema “CWs”, isto pode ser devido ao solo de cerrado presente neste sistema. Durante a maior parte dos dias de tratamento para este parâmetro, os menores valores médios foram observados no efluente tratado pelo sistema com *Eichhornia crassipes* (T5), fato este também observado por Henry-Silva (2001).

A partir desses resultados foi realizada análise de variância fatorial para a variável dependente cor aparente, cujos resultados se encontram na Tabela 10.

Tabela 10. Análise de variância para a Cor aparente (Pt/L), nos diferentes tratamentos, no sistema CWs. Legenda: GL = grau de liberdade; SQ = soma dos quadrados; QM = quadrado médio; F = frequência da distribuição; PR = probabilidade

Cor aparente	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Número de coletas	11	730725,3282	73072,5328	10,07	0,0001
Tratamento	5	542447,2521	108489,4502	14,95	0,0001
Dia x tratamento	55	624807,4746	12496,1494	1,72	0,0130

Para o fator número de coletas e tratamento, a nível de 5% ($p \leq 0,05$) de significância, houve diferenças entre as mesmas, (Tabela 10).

Aplicando-se o Teste de Tukey (Tabela 11), verificou-se que houve variação entre os dias de coleta.

Tabela 11. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para o fator número de coletas da Cor Aparente

Dias	Média	Grupo de Tukey
6	232,14	A
2	203,79	A B
5	168,86	A B
1	150,90	A B C
3	120,48	B C D
11	59,93	C D
7	58,09	C D
4	53,32	C D
9	51,96	C D
8	44,54	C D
10	24,43	D

No grupo de Tukey, letras diferentes significam que os níveis são diferentes.

Aplicando-se o teste de Tukey (tabela 12), para o fator tratamento, verificou-se que o tratamento 6 diferiu do tratamento 1.

Tabela 12. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para o fator tratamento para o estudo da Cor Aparente

Tratamento	Média	Grupo de Tukey
6	198,46	A
4	143,27	A
2	74,30	B
3	65,03	B
5	50,18	B
1	41,90	B

4.1.4. pH

Os resultados das determinações dos valores de pH se encontram na Tabela 13.

Tabela 13. Variação espaço-temporal do pH, nos diferentes tratamentos, durante os 128 dias de operação do sistema CWS. Legenda: T1 (água de entrada no viveiro em policultura); T2 (efluente gerado do viveiro em policultura); T3 (testemunho – sem plantas e sem solo filtrante); T4 (sistema CWS – aguapé com solo filtrante); T5 (somente aguapé); T6 (somente solo filtrante)

Dias	Tratamentos					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
0	6,79	7,01	8,12	6,73	7,71	6,81
8	6,39	7,14	8,26	6,43	7,00	6,69
22	7,19	7,06	8,93	7,14	7,31	7,12
29	6,82	7,37	8,13	6,64	6,75	6,79
43	6,70	7,19	8,10	6,62	6,70	6,92
58	6,76	8,04	8,91	6,80	6,83	7,08
73	6,67	7,28	8,72	6,61	6,66	7,04
86	6,93	6,77	7,83	6,66	6,37	6,59
100	7,22	8,29	7,82	6,04	6,03	7,35
115	6,53	7,69	7,94	6,46	6,27	6,93
128	6,53	7,99	7,95	6,85	6,40	7,13

Esses resultados foram analisados quanto à variância fatorial para a variável dependente temperatura do ar, cujos resultados se encontram na Tabela 14.

Tabela 14. Análise de variância para o pH nos diferentes tratamentos, no sistema CWS. Legenda: GL = grau de liberdade; SQ = soma dos quadrados; QM = quadrado médio; F = freqüência da distribuição; PR = probabilidade

pH	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Número de coletas	11	6,2134	0,6213	3,02	0,0025
Tratamento	5	57,9463	11,5892	56,36	0,0001
Dia x tratamento	55	12,7799	0,2555	1,24	0,1850

Para o fator número de coletas e tratamento, em nível de 5% ($p \leq 0,05$) de significância, houve diferenças entre as mesmas, (Tabela 14).

Aplicando-se o Teste de Tukey (Tabela 15), verificou-se que não houve variação entre os dias de coleta.

Tabela 15. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para o fator número de coletas do pH

Dias	Média	Grupo de Tukey
3	7,5521	A
6	7,4048	A B
1	7,2779	A B
7	7,2180	A B
11	7,1066	A B
4	7,0788	A B
5	7,0649	A B
2	7,0453	A B
9	6,9462	B
10	6,9282	B
8	6,8621	B

Aplicando-se o teste de Tukey (tabela 16), para o fator tratamento, verificou-se que o tratamento 3 diferiu do tratamento 4.

Tabela 16. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para o fator tratamento para o estudo do pH

Tratamento	Média	Grupo de Tukey
3	8,24	A
2	7,43	B
6	6,95	C
1	6,77	C
5	6,73	C
4	6,63	C

No grupo de Tukey, letras diferentes significam que os níveis são diferentes.

4.1.5. Condutividade elétrica

Para o parâmetro condutividade elétrica ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) os resultados foram (Tabela 17):

Tabela 17. Variação espaço-temporal para Condutividade elétrica ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$), nos diferentes tratamentos, durante os 128 dias de operação do sistema CWs. Legenda: T1 (água de entrada no viveiro em policultura); T2 (efluente gerado do viveiro em policultura); T3 (testemunho – sem plantas e sem solo filtrante); T4 (sistema CWs – aguapé com solo filtrante); T5 (somente aguapé); T6 (somente solo filtrante)

Dias	Tratamentos					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
0	16,18	15,33	35,64	89,08	46,08	95,63
8	16,63	31,07	34,64	30,50	29,63	34,69
22	15,73	33,80	45,34	38,06	40,49	44,33
29	17,13	34,23	40,99	40,06	37,99	37,63
43	17,20	29,97	36,77	36,40	31,89	33,90
58	17,73	25,27	36,10	32,87	27,81	35,63
73	17,30	25,47	36,69	30,21	29,31	34,56
86	17,50	26,60	36,63	33,83	26,23	37,83
100	17,37	28,83	40,53	33,08	29,59	38,31
115	17,13	31,47	42,42	42,08	33,07	48,70
128	17,70	30,03	44,61	32,86	34,24	64,14

A partir desses resultados foi realizada análise de variância fatorial para a variável dependente temperatura do ar, cujos resultados se encontram na Tabela 18.

Tabela 18. Análise de variância para Condutividade elétrica ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$), nos diferentes tratamentos, no sistema CWs. Legenda: GL = grau de liberdade; SQ = soma dos quadrados; QM = quadrado médio; F = frequência da distribuição; PR = probabilidade

Condutividade elétrica	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Número de coletas	11	9499,1611	949,9161	22,17	0,0001
Tratamento	5	8709,0824	1741,8164	40,65	0,0001
Dia x tratamento	55	11248,4421	224,9688	5,25	0,0001

Para o fator número de coletas e tratamento, em nível de 5% ($p \leq 0,05$) de significância, não houve diferenças entre as mesmas, (Tabela 18).

Aplicando-se o Teste de Tukey (Tabela 19), verificou-se que não houve muita variação entre o fator número de coletas.

Tabela 19. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para o fator número de coletas da Condutividade Elétrica

Dias	Média	Grupo de Tukey
1	59,344	A
11	41,093	B
3	39,585	B C
10	39,100	B C D
4	37,240	B C D
9	33,623	B C D
5	33,145	B C D
8	31,979	C D
6	31,445	C D
2	31,150	D
7	31,076	D

No grupo de Tukey, letras diferentes significam que os níveis são diferentes.

Aplicando-se o teste de Tukey (tabela 20), para o fator tratamento, verificou-se que o tratamento 6 diferiu do tratamento 1.

Tabela 20. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para o fator tratamento para o estudo da Condutividade Elétrica

Tratamento	Média	Grupo de Tukey
6	45,94	A
4	39,91	B
3	39,12	B
5	33,30	C
2	28,37	C
1	17,05	D

4.1.6. Sólidos totais dissolvidos (TDS)

Os resultados das determinações dos valores de TDS se encontram na Tabela 21.

Tabela 21. Variação espaço-temporal para TDS (mg.L^{-1}), nos diferentes tratamentos, durante os 128 dias de operação do sistema CWs. Legenda: T1 (água de entrada no viveiro em policultura); T2 (efluente gerado do viveiro em policultura); T3 (testemunho – sem plantas e sem solo filtrante); T4 (sistema CWs – aguapé com solo filtrante); T5 (somente aguapé); T6 (somente solo filtrante)

Dias	Tratamentos					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
0	7,50	7,67	16,78	41,89	21,67	44,83
8	7,67	15,00	16,33	14,33	14,00	16,33
22	7,33	16,00	21,67	17,89	19,22	20,78
29	8,00	16,00	19,00	19,00	18,00	17,67
43	8,00	14,00	17,22	17,11	14,89	16,00
58	8,00	11,67	17,00	15,33	13,33	16,67
73	8,00	12,00	17,33	14,00	14,00	16,00
86	8,00	12,00	17,33	16,00	12,33	17,67
100	8,00	14,00	19,11	15,33	14,00	18,33
115	8,00	15,00	20,00	19,56	15,56	22,67
128	8,00	14,00	20,78	19,83	16,00	29,78

Através destes resultados foi realizada análise de variância fatorial para a variável dependente temperatura do ar, cujos resultados se encontram na Tabela 22.

Tabela 22. Análise de variância para TDS (mg.L^{-1}), nos diferentes tratamentos, no sistema CWs. Legenda: GL = grau de liberdade; SQ = soma dos quadrados; QM = quadrado médio; F = frequência da distribuição; PR = probabilidade

TDS	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Número de coletas	11	2151,6728	215,1672	25,81	0,0001
Tratamento	5	1957,4746	391,4949	46,95	0,0001
Dia x tratamento	55	2375,3519	47,5070	5,70	0,0001

Para o fator número de coletas e tratamento, em nível de 5% ($p \leq 0,05$) de significância, não houve diferenças entre as mesmas, (Tabela 22).

Aplicando-se o Teste de Tukey (Tabela 23), verificou-se que houve variação fator número de coletas.

Tabela 23. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para o fator número de coletas dos sólidos totais dissolvidos

Dias	Média	Grupo de Tukey
1	27,905	A
11	20,083	B
3	18,714	B C
10	18,309	B C D
4	17,500	B C D E
9	15,881	C D E
5	15,548	C D E
8	15,000	D E
6	14,762	D E
2	14,690	E
7	14,571	E

No grupo de Tukey, letras diferentes significam que os níveis são diferentes.

Aplicando-se o teste de Tukey (Tabela 24), para o fator tratamento, verificou-se que o tratamento 6 diferiu do tratamento 1.

Tabela 24. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para o fator tratamento para o estudo dos sólidos totais dissolvidos

Tratamento	Média	Grupo de Tukey
6	21,52	A
4	19,11	B
3	18,41	B
5	15,72	C
2	13,39	C
1	7,86	D

4.1.7. Turbidez

Para o parâmetro Turbidez (UNT) os resultados foram (Tabela 25):

Tabela 25. Variação espaço-temporal da Turbidez (UNT), nos diferentes tratamentos, durante os 128 dias de operação do sistema CWs. Legenda: T1 (água de entrada no viveiro em policultura); T2 (efluente gerado do viveiro em policultura); T3 (testemunho – sem plantas e sem solo filtrante); T4 (sistema CWs – aguapé com solo filtrante); T5 (somente aguapé); T6 (somente solo filtrante)

Dias	Tratamentos					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
0	3,680	7,80	7,00	45,08	7,43	34,42
8	4,200	6,55	4,10	56,98	2,67	83,20
22	3,160	5,05	3,76	23,46	2,97	50,03
29	2,253	4,88	3,38	17,13	1,58	30,55
43	2,050	5,13	3,99	17,02	1,69	36,87
58	2,520	10,21	5,89	12,17	2,84	27,58
73	2,240	6,03	4,01	9,64	1,30	14,09
86	1,910	6,13	4,13	9,42	4,53	14,17
100	2,485	12,40	7,59	6,85	1,58	11,12
115	2,465	8,17	6,26	5,42	0,85	6,15
128	3,410	9,30	3,83	6,65	2,53	3,52

A partir desses resultados foi realizada análise de variância fatorial para a variável dependente temperatura do ar, cujos resultados se encontram na Tabela 26.

Tabela 26. Análise de variância da Turbidez (UNT), nos diferentes tratamentos, no sistema CWs. Legenda: GL = grau de liberdade; SQ = soma dos quadrados; QM = quadrado médio; F = frequência da distribuição; PR = probabilidade

Turbidez	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Número de coletas	11	9881,9788	988,1978	16,37	0,0001
Tratamento	5	16085,8213	3217,1642	53,29	0,0001
Dia x tratamento	55	15144,7418	302,8948	5,02	0,0001

Para o fator número de coletas e tratamento, em nível de 5% ($p \leq 0,05$) de significância, não houve diferenças entre as mesmas, (Tabela 26).

Aplicando-se o Teste de Tukey (Tabela 27), verificou-se que houve para o fator número de coletas.

Tabela 27. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para o fator número de coletas da turbidez

Dias	Média	Grupo de Tukey
2	32,258	A
1	20,948	B
3	17,776	B
5	13,275	B C
4	11,790	B C
6	11,298	B C
8	7,486	C
9	6,879	C
7	6,815	C
10	4,761	C
11	4,451	C

No grupo de Tukey, letras diferentes significam que os níveis são diferentes.

Aplicando-se o teste de Tukey (Tabela 28), para o fator tratamento, verificou-se que o tratamento 6 diferiu do tratamento 5.

Tabela 28. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para o fator tratamento para o estudo da turbidez

Tratamento	Média	Grupo de Tukey
6	28,33	A
4	19,07	B
2	7,42	C
3	4,90	C
1	2,76	C
5	2,72	C

4.1.8. Oxigênio dissolvido

Os resultados das determinações dos valores de oxigênio dissolvido se encontram na Tabela 29.

Tabela 29. Variação espaço-temporal para o Oxigênio Dissolvido (mg.L^{-1}), nos diferentes tratamentos, durante os 128 dias de operação do sistema CWs. Legenda: T1 (água de entrada no viveiro em policultura); T2 (efluente gerado do viveiro em policultura); T3 (testemunho – sem plantas e sem solo filtrante); T4 (sistema CWs – aguapé com solo filtrante); T5 (somente aguapé); T6 (somente solo filtrante)

Dias	Tratamentos					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
0	7,64	7,98	8,30	3,15	7,09	4,74
8	7,46	7,46	8,13	5,09	7,28	5,09
22	7,81	7,76	8,25	4,12	7,08	3,36
29	7,61	7,31	7,81	4,48	6,37	5,68
43	6,85	6,40	7,46	3,04	5,54	3,29
58	7,65	7,75	7,63	3,29	5,11	3,17
73	8,30	8,25	8,50	5,01	6,33	3,57
86	10,38	9,64	9,26	7,11	7,22	7,41
100	7,76	6,56	7,66	4,43	5,51	5,34
115	7,11	5,96	7,13	4,27	5,04	5,68
128	7,41	6,21	6,81	4,78	4,71	4,24

Com resultados foi realizada análise de variância fatorial para a variável dependente oxigênio dissolvido, cujos resultados se encontram na Tabela 30.

Tabela 30. Análise de variância para o Oxigênio Dissolvido (mg.L^{-1}), nos diferentes tratamentos, no sistema CWs. Legenda: GL = grau de liberdade; SQ = soma dos quadrados; QM = quadrado médio; F = frequência da distribuição; PR = probabilidade

Oxigênio Dissolvido	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Número de coletas	11	93,2177	9,3217	13,12	0,0001
Tratamento	5	314,9396	62,9879	88,63	0,0001
Dia x tratamento	55	60,6685	1,2133	1,71	0,0142

Para o fator número de coletas e tratamento, em nível de 5% ($p \leq 0,05$) de significância, não houve diferenças entre as mesmas, (Tabela 30).

Aplicando-se o Teste de Tukey (Tabela 31), verificou-se que houve variação para o fator número de coletas.

Tabela 31. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para o fator número de coletas do Oxigênio dissolvido

Dias	Média	Grupo de Tukey
8	8,0736	A
2	6,5514	B
4	6,2807	B C
7	6,1986	B C D
1	6,1039	B C D E
3	5,9993	B C D E
9	5,9386	B C D E
10	5,6718	B C D E
11	5,3729	C D E
6	5,2157	D E
5	5,0900	E

No grupo de Tukey, letras diferentes significam que os níveis são diferentes.

Aplicando-se o teste de Tukey (Tabela 32), para o fator tratamento, verificou-se que o tratamento 3 diferiu do tratamento 4.

Tabela 32. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para o fator tratamento para o estudo do Oxigênio dissolvido

Tratamento	Média	Grupo de Tukey
3	7,90	A
1	7,81	A
2	7,38	A
5	6,11	B
6	4,68	C
4	4,43	C

4.1.9. Alcalinidade total

Para o parâmetro Alcalinidade total (mg.L^{-1}) os resultados foram:

Tabela 33. Variação espaço-temporal para Alcalinidade total (mg.L^{-1}), nos diferentes tratamentos, durante os 128 dias de operação do sistema CWs. Legenda: T1 (água de entrada no viveiro em policultura); T2 (efluente gerado do viveiro em policultura); T3 (testemunho – sem plantas e sem solo filtrante); T4 (sistema CWs – aguapé com solo filtrante); T5 (somente aguapé); T6 (somente solo filtrante)

Dias	Tratamentos					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
0	8,70	10,47	16,41	15,54	21,12	14,49
8	10,47	16,23	16,76	13,96	15,36	14,84
22	6,93	15,84	21,94	17,82	21,12	18,97
29	7,92	15,84	19,07	18,64	17,98	16,33
43	5,44	11,88	16,83	16,66	15,34	13,20
58	8,91	12,37	17,32	15,84	15,18	16,00
73	7,92	13,36	18,48	14,85	16,83	17,16
86	7,92	12,37	17,57	16,82	14,35	16,33
100	9,90	14,35	18,97	15,51	15,01	16,50
115	7,92	14,85	19,96	18,81	16,50	20,95
128	7,92	14,85	22,44	17,13	15,88	31,29

A partir desses resultados foi realizada análise de variância fatorial para a variável dependente alcalinidade total, cujos resultados se encontram na Tabela 34.

Tabela 34. Análise de variância para Alcalinidade total (mg.L^{-1}), nos diferentes tratamentos, no sistema CWs. Legenda: GL = grau de liberdade; SQ = soma dos quadrados; QM = quadrado médio; F = frequência da distribuição; PR = probabilidade

Alcalinidade total	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Número de coletas	11	438,5829	43,8582	5,71	0,0001
Tratamento	5	1059,4570	211,8914	27,59	0,0001
Dia x tratamento	55	711,0211	14,2204	1,85	0,0058

Para o fator número de coletas e tratamento, em nível de 5% ($p \leq 0,05$) de significância, não houve diferenças entre as mesmas, (Tabela 34).

Aplicando-se o Teste de Tukey (Tabela 35), verificou-se que não houve variação entre os dias de coleta.

Tabela 35. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para o fator número de coletas da Alcalinidade total

Dias	Média	Grupo de Tukey
11	20,212	A
3	18,737	A B
10	17,958	A B C
4	17,133	A B C
7	15,944	B C
9	15,873	B C
1	15,844	B C
8	15,394	B C
6	15,307	B C
2	14,961	C
5	14,529	C

No grupo de Tukey, letras diferentes significam que os níveis são diferentes.

Aplicando-se o teste de Tukey (Tabela 36), para o fator tratamento, verificou-se que o tratamento 3 diferiu do tratamento 1.

Tabela 36. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para o fator tratamento para o estudo da Alcalinidade total

Tratamento	Média	Grupo de Tukey
3	18,70	A
6	17,82	A
5	16,78	A
4	16,50	B
2	13,85	B
1	8,17	C

4.1.10. Demanda química de oxigênio (DQO)

Os resultados das determinações dos valores de DQO se encontram na Tabela 37.

Tabela 37. Variação espaço-temporal da DQO ($\text{mg.O}_2\text{.L}^{-1}$), nos diferentes tratamentos, durante os 128 dias de operação do sistema CWs. Legenda: T1 (água de entrada no viveiro em policultura); T2 (efluente gerado do viveiro em policultura); T3 (testemunho – sem plantas e sem solo filtrante); T4 (sistema CWs – aguapé com solo filtrante); T5 (somente aguapé); T6 (somente solo filtrante)

Dias	Tratamentos					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
0	28,50	21,00	22,28	45,72	25,78	28,50
8	40,00	47,00	38,78	33,11	27,44	36,78
22	17,00	34,00	22,25	22,67	29,33	7,44
29	35,33	37,00	29,89	30,56	29,78	33,72
43	12,00	16,83	7,17	7,67	14,33	14,67
58	45,50	44,00	53,33	39,67	45,50	44,00
73	18,00	21,00	29,67	9,11	7,52	13,72
86	13,50	29,00	15,83	14,11	17,00	12,33
100	12,50	16,00	11,00	7,33	7,17	17,83
115	22,00	35,50	36,67	15,83	22,67	21,00
128	23,50	16,00	34,94	28,22	22,83	18,50

A partir desses resultados foi realizada análise de variância fatorial para a variável dependente DQO, cujos resultados se encontram na Tabela 38.

Tabela 38. Análise de variância da DQO ($\text{mg.O}_2\text{.L}^{-1}$), nos diferentes tratamentos, no sistema CWs. Legenda: GL = grau de liberdade; SQ = soma dos quadrados; QM = quadrado médio; F = frequência da distribuição; PR = probabilidade

DQO	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Número de coletas	11	16093,6608	1609,3660	18,93	0,0001
Tratamento	5	784,6928	156,9385	1,85	0,1122
Dia x tratamento	55	5027,7272	100,5545	1,18	0,2435

Para o fator número de coletas, a nível de 5% ($p \leq 0,05$) de significância, houve diferenças entre as mesmas, e quanto ao fator tratamento não houve diferenças entre os mesmos (Tabela 38).

Aplicando-se o Teste de Tukey (Tabela 39), verificou-se que não houve variação entre os dias de coleta.

Tabela 39. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para o fator número de coletas da DQO

Dias	Média	Grupo de Tukey
6	45,500	A
2	35,381	A B
4	31,726	B C
1	29,738	B C
11	25,214	B C D
10	24,714	B C D
3	21,149	C D E
8	15,738	D E
7	15,648	D E
5	11,452	E
9	11,321	E

No grupo de Tukey, letras diferentes significam que os níveis são diferentes.

Aplicando-se o teste de Tukey (Tabela 40), para o fator tratamento, verificou-se que o tratamento 2 diferiu do tratamento 6.

Tabela 40. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para o fator tratamento para o estudo da DQO

Tratamento	Média	Grupo de Tukey
2	28,84	A
3	27,43	A
1	24,34	A
4	23,09	A
5	22,66	A
6	22,59	A

4.1.11. Nitrogênio total

Para o parâmetro nitrogênio total (mg.L^{-1}) os resultados foram (Tabela 41):

Tabela 41. Variação espaço-temporal do nitrogênio total (mg.L^{-1}), nos diferentes tratamentos, durante os 128 dias de operação do sistema CWs. Legenda: T1 (água de entrada no viveiro em policultura); T2 (efluente gerado do viveiro em policultura); T3 (testemunho – sem plantas e sem solo filtrante); T4 (sistema CWs – aguapé com solo filtrante); T5 (somente aguapé); T6 (somente solo filtrante)

Dias	Tratamentos					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
0	0,49	0,42	0,77	0,70	1,82	1,87
8	0,35	0,49	0,54	0,63	0,47	0,47
22	0,42	0,70	0,51	0,75	0,56	0,61
29	0,42	0,70	0,75	0,65	0,37	0,79
43	0,28	0,98	0,42	0,77	0,33	1,26
58	0,70	0,98	0,89	0,76	0,53	0,84
73	0,70	0,98	0,84	1,26	0,70	1,40
86	0,58	0,70	0,69	0,55	0,46	0,48
100	0,70	0,84	0,75	0,59	0,42	0,61
115	0,70	0,56	0,89	0,70	0,70	0,65
128	0,70	0,70	0,61	0,61	0,56	0,69

Com esses resultados foi realizada análise de variância fatorial para a variável dependente nitrogênio total, cujos valores se encontram na Tabela 42.

Tabela 42. Análise de variância do nitrogênio total (mg.L^{-1}), nos diferentes tratamentos, no sistema CWs. Legenda: GL = grau de liberdade; SQ = soma dos quadrados; QM = quadrado médio; F = frequência da distribuição; PR = probabilidade

Nitrogênio total	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Número de coletas	11	51,7838	5,1783	2,28	0,0200
Tratamento	5	8,9967	1,7993	0,79	0,5581
Dia x tratamento	55	51,9327	1,0386	0,46	0,9984

Para o fator número de coletas, em nível de 5% ($p \leq 0,05$) de significância, houve diferenças entre as mesmas, e quanto ao fator tratamento não houve diferenças entre os mesmos (Tabela 42).

Aplicando-se o Teste de Tukey (Tabela 43), verificou-se que não houve variação entre os dias de coleta.

Tabela 43. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para o fator número de coletas do Nitrogênio total

Dias	Média	Grupo de Tukey
1	2,6396	A
7	1,0200	A B
6	0,7671	A B
10	0,7200	B
5	0,6840	B
4	0,6300	B
11	0,6286	B
9	0,6164	B
3	0,6000	B
8	0,5571	B
2	0,5100	B

Aplicando-se o teste de Tukey (tabela 44), para o fator tratamento, verificou-se que o tratamento 6 diferiu do tratamento 1.

Tabela 44. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para o fator tratamento para o estudo do Nitrogênio total

Tratamento	Média	Grupo de Tukey
6	0,87	A
2	0,73	A
4	0,72	A
3	0,69	A
5	0,62	A
1	0,54	A

4.1.12. Fósforo total

Os resultados das determinações dos valores de Fósforo total se encontram na Tabela 45.

Tabela 45. Variação espaço-temporal do Fósforo total ($\mu\text{g.L}^{-1}$), nos diferentes tratamentos, durante os 128 dias de operação do sistema CWs. Legenda: T1 (água de entrada no viveiro em policultura); T2 (efluente gerado do viveiro em policultura); T3 (testemunho – sem plantas e sem solo filtrante); T4 (sistema CWs – aguapé com solo filtrante); T5 (somente aguapé); T6 (somente solo filtrante)

Dias	Tratamentos					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
0	14,70	43,53	25,00	82,82	55,52	108,30
8	13,76	21,48	34,10	82,11	13,97	81,11
22	15,63	45,95	35,10	34,93	28,50	65,05
29	3,04	32,68	20,47	21,16	8,67	31,90
43	17,97	77,86	35,16	10,69	11,67	31,86
58	18,54	83,56	76,98	36,05	48,50	54,01
73	8,68	48,91	44,78	17,80	16,17	19,81
86	7,35	83,50	66,09	26,87	24,74	35,58
100	9,69	116,61	65,80	8,23	3,99	29,85
115	7,20	67,59	63,12	6,93	15,78	28,82
128	32,38	67,41	70,79	16,94	24,17	30,69

A partir desses resultados foi realizada análise de variância fatorial para a variável dependente fósforo total, cujos resultados se encontram na Tabela 46.

Tabela 46. Análise de variância do Fósforo total ($\mu\text{g.L}^{-1}$), nos diferentes tratamentos, no sistema CWs. Legenda: GL = grau de liberdade; SQ = soma dos quadrados; QM = quadrado médio; F = frequência da distribuição; PR = probabilidade

Fósforo total	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Número de coletas	11	2054,6455	205,4645	1,77	0,0773
Tratamento	5	356,7922	71,3584	0,62	0,6880
Dia x tratamento	55	3537,2471	70,7449	0,61	0,9705

Para o fator número de coletas, ao nível de 5% ($p \leq 0,05$) de significância, houve diferenças entre as mesmas, e quanto ao fator tratamento não houve diferenças entre os mesmos (Tabela 46).

Aplicando-se o Teste de Tukey (Tabela 47), verificou-se que não houve variação entre os dias de coleta.

Tabela 47. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para o fator número de coletas do Fósforo Total

Dias	Média	Grupo de Tukey
1	10,710	A
7	7,166	A
6	5,873	A
8	4,155	A
2	0,018	A
3	0,010	A
4	0,008	A
5	0,007	A
9	0,004	A
11	0,003	A
10	0,003	A

Aplicando-se o teste de Tukey (Tabela 48), para o fator tratamento, verificou-se que o tratamento 2 diferiu do tratamento 1.

Tabela 48. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para o fator tratamento para o estudo do Fósforo Total

Tratamento	Média	Grupo de Tukey
2	62,64	A
3	48,85	A
6	46,99	A
4	31,32	A
5	22,88	A
1	13,54	A

4.1.13. Nitrato

Os resultados das determinações dos valores do Nitrato se encontram na Tabela 49.

Tabela 49. Variação espaço-temporal do Nitrato (mg.L^{-1}), nos diferentes tratamentos, durante os 128 dias de operação do sistema CWs. Legenda: T1 (água de entrada no viveiro em policultura); T2 (efluente gerado do viveiro em policultura); T3 (testemunho – sem plantas e sem solo filtrante); T4 (sistema CWs – aguapé com solo filtrante); T5 (somente aguapé); T6 (somente solo filtrante)

Dias	Tratamentos					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
0	0,217	0,200	0,135	0,885	0,167	1,400
8	0,233	0,100	0,067	0,778	0,000	1,344
22	0,200	0,200	0,100	0,400	0,033	0,833
29	0,200	0,133	0,161	0,333	0,089	0,667
43	0,200	0,300	0,133	0,367	0,000	0,967
58	0,150	0,250	0,133	0,244	0,117	0,478
73	0,200	0,200	0,200	0,250	0,004	0,450
86	0,200	0,200	0,100	0,100	0,053	0,300
100	0,350	0,250	0,183	0,133	0,117	0,283
115	0,100	0,100	0,133	0,150	0,100	0,150
128	0,400	0,300	0,167	0,233	0,083	0,317

Esses resultados foram analisados com o teste de variância fatorial para a variável dependente nitrato, cujos valores se encontram na Tabela 50.

Tabela 50. Análise de variância do Nitrato (mg.L^{-1}), nos diferentes tratamentos, no sistema CWs. Legenda: GL = grau de liberdade; SQ = soma dos quadrados; QM = quadrado médio; F = frequência da distribuição; PR = probabilidade

Nitrato	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Número de coletas	11	4,6702	0,4670	44,11	0,0001
Tratamento	5	3,2708	0,6541	61,78	0,0001
Dia x tratamento	55	5,8968	0,1179	11,14	0,0001

Para o fator número de coletas e tratamento, em nível de 5% ($p \leq 0,05$) de significância, não houve diferenças entre as mesmas, (Tabela 50).

Aplicando-se o Teste de Tukey (Tabela 51), verificou-se que não houve variação entre os dias de coleta.

Tabela 51. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para o fator número de coletas do NO₃

Dias	Média	Grupo de Tukey
1	0,7807	A
2	0,3608	B
6	0,2860	B C
7	0,2164	C D
10	0,2078	C D
11	0,2067	C D
5	0,2057	C D
3	0,2016	C D
4	0,1930	C D
9	0,1878	C D
8	0,0907	D

No grupo de Tukey, letras diferentes significam que os níveis são diferentes.

Aplicando-se o teste de Tukey (Tabela 52), para o fator tratamento, verificou-se que o tratamento 6 diferiu do tratamento 5.

Tabela 52. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para o fator tratamento para o estudo do NO₃

Tratamento	Média	Grupo de Tukey
6	0,65	A
4	0,35	B
1	0,22	C
2	0,20	C
3	0,13	C D
5	0,06	D

4.1.14. Amônia

Para o parâmetro Amônia (mg.L⁻¹) os resultados foram (Tabela 53):

Tabela 53. Variação espaço-temporal da Amônia (mg.L^{-1}), nos diferentes tratamentos, durante os 128 dias de operação do sistema CWs. Legenda: T1 (água de entrada no viveiro em policultura); T2 (efluente gerado do viveiro em policultura); T3 (testemunho – sem plantas e sem solo filtrante); T4 (sistema CWs – aguapé com solo filtrante); T5 (somente aguapé); T6 (somente solo filtrante)

Dias	Tratamentos					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
0	0,09	0,21	0,19	1,39	0,22	1,74
8	0,08	0,07	0,13	0,57	0,10	0,83
22	0,10	0,09	0,06	0,24	0,06	0,52
29	0,09	0,14	0,15	0,21	0,09	0,38
43	0,08	0,22	0,15	0,23	0,10	0,39
58	0,17	0,45	0,32	0,20	0,18	0,42
73	0,16	0,24	0,20	0,23	0,14	0,31
86	0,09	0,19	0,12	0,05	0,03	0,13
100	0,13	0,35	0,22	0,16	0,09	0,25
115	0,18	0,34	0,25	0,22	0,07	0,26
128	0,19	0,25	0,20	0,19	0,13	0,30

A partir desses resultados foi realizada análise de variância fatorial para a variável dependente amônia, cujos resultados se encontram na Tabela 54.

Tabela 54. Análise de variância da Amônia (mg.L^{-1}), nos diferentes tratamentos, no sistema CWs. Legenda: GL = grau de liberdade; SQ = soma dos quadrados; QM = quadrado médio; F = frequência da distribuição; PR = probabilidade

Amônia	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Número de coletas	11	860,7158	86,0715	7,41	0,0001
Tratamento	5	1278,9307	255,7861	22,02	0,0001
Dia x tratamento	55	975,5626	19,5112	1,68	0,0168

Para o fator número de coletas e tratamento, em nível de 5% ($p \leq 0,05$) de significância, não houve diferenças entre as mesmas (Tabela 54).

Aplicando-se o Teste de Tukey (Tabela 55), verificou-se que não houve variação entre os dias de coleta.

Tabela 55. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para o fator número de coletas da NH₄

Dias	Média	Grupo de Tukey
3	17,8210	A
11	17,0710	A B
4	16,8290	A B
10	14,2500	A B C
1	13,6770	A B C
5	13,1790	B C
9	12,9430	B C
6	12,5500	C
2	12,5500	C
7	10,9290	C
8	10,2320	C

No grupo de Tukey, letras diferentes significam que os níveis são diferentes.

Aplicando-se o teste de Tukey (Tabela 56), para o fator tratamento, verificou-se que o tratamento 6 diferiu do tratamento 5.

Tabela 56. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para o fator tratamento para o estudo da NH₄

Tratamento	Média	Grupo de Tukey
6	0,50	A
4	0,33	A
2	0,23	B
3	0,18	C
1	0,12	D
5	0,11	E

4.1.15. Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)

Para o parâmetro DBO (mg.O₂.L⁻¹) os resultados encontrados estão na Tabela 57.

Tabela 57. Variação espaço-temporal da DBO ($\text{mg.O}_2\text{.L}^{-1}$), nos diferentes tratamentos, durante os 128 dias de operação do sistema CWs. Legenda: T1 (água de entrada no viveiro em policultura); T2 (efluente gerado do viveiro em policultura); T3 (testemunho – sem plantas e sem solo filtrante); T4 (sistema CWs – aguapé com solo filtrante); T5 (somente aguapé); T6 (somente solo filtrante)

Dias	Tratamentos					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
0	7,85	10,20	12,00	15,63	13,17	16,97
8	9,10	9,60	7,63	7,37	6,50	7,60
22	6,60	9,90	6,80	6,90	7,70	6,70
29	6,30	8,10	6,35	4,87	4,83	5,40
43	5,60	7,50	6,70	5,40	4,93	5,17
58	5,80	10,40	11,40	5,47	6,10	5,90
73	5,70	3,00	4,50	2,53	3,83	2,27
86	4,90	9,30	2,85	5,03	5,90	8,77
100	4,50	14,10	13,20	9,73	8,40	10,77
115	4,10	8,50	11,13	5,90	6,55	7,80
128	4,90	9,60	8,23	6,27	6,07	5,70

A partir desses resultados foi realizada análise de variância fatorial para a variável dependente DBO, cujos resultados se encontram na Tabela 58.

Tabela 58. Análise de variância da DBO ($\text{mg.O}_2\text{.L}^{-1}$), nos diferentes tratamentos, no sistema CWs. Legenda: GL = grau de liberdade; SQ = soma dos quadrados; QM = quadrado médio; F = frequência da distribuição; PR = probabilidade

DBO	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Número de coletas	11	12,0394	1,2039	9,27	0,0001
Tratamento	5	17,2846	3,4569	26,63	0,0001
Dia x tratamento	55	32,3599	0,6471	0,58	0,0001

Para o fator número de coletas e tratamento, em nível de 5% ($p \leq 0,05$) de significância, não houve diferenças entre as mesmas, (Tabela 58).

Aplicando-se o Teste de Tukey (Tabela 59), verificou-se que não houve variação entre os dias de coleta.

Tabela 59. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para o fator número de coletas da DBO

Dias	Média	Grupo de Tukey
2	4,3452	A
3	4,0793	A B
9	3,9995	A B
6	3,8703	B C
1	3,8337	B C
5	3,7465	B C D
4	3,7039	B C D
10	3,6457	B C D
8	3,5166	C D
11	3,5003	C D
7	3,3118	D

No grupo de Tukey, letras diferentes significam que os níveis são diferentes.

Aplicando-se o teste de Tukey (Tabela 60), para o fator tratamento, verificou-se que o tratamento 2 diferiu do tratamento 1.

Tabela 60. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para o fator tratamento para o estudo da DBO

Tratamento	Média	Grupo de Tukey
2	9,10	A
3	8,25	A
6	7,55	B
4	6,82	B
5	6,72	C
1	5,94	D

4.1.16. Coliformes totais e *Escherichia coli*

Os resultados das determinações dos valores de coliformes totais (CT) se encontram na Tabela 61.

Tabela 61. Variação espaço-temporal para \log_{10} coliformes totais (NMP/100 mL), nos diferentes tratamentos, durante os 128 dias de operação do sistema CWs. Legenda: T1 (água de entrada no viveiro em policultura); T2 (efluente gerado do viveiro em policultura); T3 (testemunho – sem plantas e sem solo filtrante); T4 (sistema CWs – aguapé com solo filtrante); T5 (somente aguapé); T6 (somente solo filtrante)

Dias	Tratamentos					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
0	2,69	3,38	3,38	4,05	4,38	4,05
8	2,81	3,38	3,38	4,74	4,89	5,20
22	2,54	4,38	3,99	3,90	4,38	4,46
29	2,48	4,25	3,08	3,58	4,46	3,92
43	2,45	4,22	4,14	3,59	4,11	3,43
58	2,87	4,68	4,38	3,64	4,38	3,15
73	2,71	3,95	3,99	2,72	4,13	2,40
86	3,42	4,08	3,65	3,06	3,92	3,28
100	3,45	5,30	4,60	3,58	4,11	3,46
115	3,52	4,17	4,35	3,25	3,37	3,49
128	4,08	4,25	3,68	2,93	4,07	2,88

Esses resultados foram analisados através do teste de variância fatorial para a variável dependente coliformes totais, cujos resultados se encontram na Tabela 62.

Tabela 62. Análise de variância para coliformes totais (NMP/100mL), nos diferentes tratamentos, no sistema CWs. Legenda: GL = grau de liberdade; SQ = soma dos quadrados; QM = quadrado médio; F = frequência da distribuição; PR = probabilidade

Coliforme total	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Número de coletas	11	23,5152	2,3515	21,11	0,0001
Tratamento	5	21,6730	4,3346	38,90	0,0001
Dia x tratamento	55	86,9351	1,7387	15,60	0,0001

Para o fator número de coletas e tratamento, em nível de 5% ($p \leq 0,05$) de significância, não houve diferenças entre as mesmas, (Tabela 62).

Aplicando-se o Teste de Tukey (Tabela 63), verificou-se que não houve variação entre os dias de coleta.

Tabela 63. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para o fator número de coletas dos CT

Dias	Média	Grupo de Tukey
1	2,6397	A
9	2,6166	A
3	2,3411	A B
8	2,1778	B C
5	1,9921	B C
7	1,9416	B C D
6	1,8894	C D
2	1,8404	C D
4	1,7750	C D
10	1,5319	D E
11	1,3428	E

No grupo de Tukey, letras diferentes significam que os níveis são diferentes.

Aplicando-se o teste de Tukey (Tabela 64), para o fator tratamento, verificou-se que o tratamento 5 diferiu do tratamento 1.

Tabela 64. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para o fator tratamento para o estudo dos CT

Tratamento	Média	Grupo de Tukey
5	4,20	A
2	4,18	B
3	3,87	C
6	3,61	C D
4	3,54	D
1	3,00	E

Os resultados das determinações dos valores de *E. coli* (NMP/100 mL), se encontram na Tabela 65.

Tabela 65. Variação espaço-temporal para \log_{10} *E. coli* (NMP/100 mL), nos diferentes tratamentos, durante os 128 dias de operação do sistema CWs. Legenda: T1 (água de entrada no viveiro em policultura); T2 (efluente gerado do viveiro em policultura); T3 (testemunho – sem plantas e sem solo filtrante); T4 (sistema CWs – aguapé com solo filtrante); T5 (somente aguapé); T6 (somente solo filtrante)

Dias	Tratamentos					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
0	0,82	0,80	1,05	3,64	3,49	3,59
8	1,00	0,49	0,30	2,50	1,33	3,96
22	0,49	3,21	2,40	2,00	2,43	2,86
29	0,30	2,30	1,58	2,16	1,33	2,34
43	0,32	3,04	2,14	2,00	1,58	2,45
58	1,00	3,48	2,61	1,16	1,87	1,69
73	0,78	2,61	2,47	1,16	2,40	1,90
86	1,00	3,64	3,20	1,30	2,00	2,12
100	2,71	4,28	4,31	1,54	1,58	2,46
115	1,61	3,04	2,00	1,10	1,00	1,50
128	1,80	2,00	2,00	1,00	1,00	1,00

A partir desses resultados foi realizada análise de variância fatorial para a variável dependente *E. coli*, cujos resultados se encontram na Tabela 66.

Tabela 66. Análise de variância para *E. coli* (NMP/100 mL), nos diferentes tratamentos, no sistema CWs. Legenda: GL = grau de liberdade; SQ = soma dos quadrados; QM = quadrado médio; F = frequência da distribuição; PR = probabilidade

<i>E. coli</i>	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Número de coletas	11	1360,3673	136,0367	120,23	0,0001
Tratamento	5	16,6968	3,3394	2,95	0,0165
Dia x tratamento	55	32,8751	0,6575	0,58	0,9809

Para o fator número de coletas e tratamento, em nível de 5% ($p \leq 0,05$) de significância, houve diferenças entre as mesmas (Tabela 66).

Aplicando-se o Teste de Tukey (Tabela 67), verificou-se que não houve muita variação entre os dias de coleta.

Tabela 67. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para o fator número de coletas da *E.coli*

Dias	Média	Grupo de Tukey
1	28,6163	A
10	27,5929	A
11	24,3321	B
6	23,9164	B
2	23,0116	B C
5	22,3901	C
4	22,3877	C
7	21,8687	C
8	20,4000	D
9	19,4068	D E
3	18,5000	E

No grupo de Tukey, letras diferentes significam que os níveis são diferentes.

Aplicando-se o teste de Tukey (Tabela 68), para o fator tratamento, verificou-se que o tratamento 2 diferiu do tratamento 1.

Tabela 68. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para o fator tratamento para o estudo da *E.coli*

Tratamento	Média	Grupo de Tukey
2	2,62	A
6	2,35	A B
3	2,18	A B
5	1,81	A B
4	1,77	A B
1	1,07	B

4.1.17. Toxicidade das águas

Todas as amostras de águas analisadas antes e depois do tratamento pelo sistema “CWs” foram não tóxicas, frente ao organismo teste (*Daphnia similis*) analisado.

4.2. Parâmetros físicos, químicos, físico-químicos e microbiológicos das águas da coleta nictemeral

Os resultados da coleta nictemeral (2/09/2005) de 24 horas, (6 tratamentos e 12 coletas de 2 em 2 horas) estão apresentados nas Tabelas 69 a 90, as análises de variância e Teste de Tukey para o fator tratamento.

As análises de variância dos valores de temperatura ambiente se encontram na Tabela 69.

Tabela 69. Análise de variância para a Temperatura ambiente nos diferentes tratamentos, no sistema CWs. Legenda: GL = grau de liberdade; SQ = soma dos quadrados; QM = quadrado médio; F = frequência da distribuição; PR = probabilidade

Temperatura do ar	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Número de coletas	11	2,8297	0,5659	1,78	0,1202
Tratamento	5	1130,5975	102,7815	322,86	0,0001
Dia x tratamento	55	62,2410	1,1316	3,55	0,0001

Para o fator número de coletas, ao nível de 5% ($p \leq 0,05$) de significância, não houve diferenças entre as mesmas (Tabela 69).

Aplicando-se o teste de Tukey (Tabela 70), para o fator tratamento, verificou-se que nenhum dos tratamentos diferiu.

Tabela 70. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para o fator tratamento de estudo da Temperatura ambiente

Tratamento	Média	Grupo de Tukey
6	21,7282	A
1	21,6769	A
3	21,5923	A
2	21,5077	A
4	21,4769	A
5	21,4179	A

As análises de variância dos valores de Temperatura da água se encontram na Tabela 71.

Tabela 71. Análise de variância para a temperatura da água nos diferentes tratamentos, no sistema CWs. Legenda: GL = grau de liberdade; SQ = soma dos quadrados; QM = quadrado médio; F = frequência da distribuição; PR = probabilidade

Temperatura da água	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Número de coletas	11	2,8297	0,5659	1,78	0,1202
Tratamento	5	1130,5975	102,7815	322,86	0,0001
Dia x tratamento	55	62,2410	1,1316	3,55	0,0001

Para o fator número de coletas, ao nível de 5% ($p \leq 0,05$) de significância, não houve diferenças entre as mesmas (Tabela 71).

Aplicando-se o teste de Tukey (Tabela 72), para o fator tratamento, verificou-se que nenhum dos tratamentos diferiu.

Tabela 72. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para o fator tratamento de estudo da temperatura da água

Tratamento	Média	Grupo de Tukey
6	21,7282	A
1	21,6769	A
3	21,5923	A
2	21,5077	A
4	21,4769	A
5	21,4179	A

As análises de variância dos valores da Cor aparente ambiente se encontram na Tabela 73.

Tabela 73. Análise de variância para a Cor aparente (Pt/L), nos diferentes tratamentos, no sistema CWs. Legenda: GL = grau de liberdade; SQ = soma dos quadrados; QM = quadrado médio; F = frequência da distribuição; PR = probabilidade

Cor Aparente	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Número de coletas	11	66050,2093	13210,0418	107,83	0,0001
Tratamento	5	5794,2239	526,7476	4,30	0,0001
Dia x tratamento	55	10226,1663	185,9302	1,52	0,0237

Para o fator número de coletas, ao nível de 5% ($p \leq 0,05$) de significância, não houve diferenças entre as mesmas (Tabela 73).

Aplicando-se o teste de Tukey (Tabela 74), para o fator tratamento, verificou-se que o tratamento 6 diferiu do tratamento 5.

Tabela 74. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para o fator tratamento de estudo da Cor Aparente

Tratamento	Média	Grupo de Tukey
6	65,761	A
4	40,910	B
2	30,615	C
3	26,479	C
1	23,731	C
5	12,404	D

No grupo de Tukey, letras diferentes significam que os níveis são diferentes.

As análises de variância dos valores de pH se encontram na Tabela 75.

Tabela 75. Análise de variância para o pH nos diferentes tratamentos, no sistema CWs. Legenda: GL = grau de liberdade; SQ = soma dos quadrados; QM = quadrado médio; F = frequência da distribuição; PR = probabilidade

pH	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Número de coletas	11	123,2760	24,6552	221,84	0,0001
Tratamento	5	8,4295	0,7663	6,90	0,0001
Dia x tratamento	55	14,4319	0,2623	2,36	0,0001

Para o fator número de coletas, ao nível de 5% ($p \leq 0,05$) de significância, não houve diferenças entre as mesmas (Tabela 75).

Aplicando-se o teste de Tukey (Tabela 76), para o fator tratamento, verificou-se que o tratamento 3 diferiu do tratamento 5.

Tabela 76. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para o fator tratamento de estudo do pH

Tratamento	Média	Grupo de Tukey
3	8,52897	A
2	7,64923	A B
1	7,26923	C
6	6,71718	D
4	6,63436	D
5	6,40308	E

No grupo de Tukey, letras diferentes significam que os níveis são diferentes.

As análises de variância dos valores de Condutividade elétrica se encontram na Tabela 77.

Tabela 77. Análise de variância para Condutividade elétrica ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$), nos diferentes tratamentos, no sistema CWs. Legenda: GL = grau de liberdade; SQ = soma dos quadrados; QM = quadrado médio; F = frequência da distribuição; PR = probabilidade

Condutividade elétrica	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Número de coletas	11	11465,1989	2293,0397	10,51	0,0001
Tratamento	5	1898,9005	172,6273	0,79	0,6485
Dia x tratamento	55	15246,5240	277,2095	1,27	0,1273

Para o fator número de coletas, ao nível de 5% ($p \leq 0,05$) de significância, houve diferenças entre as mesmas (Tabela 77).

Aplicando-se o teste de Tukey (Tabela 78), para o fator tratamento, verificou-se que o tratamento 6 diferiu do tratamento 1.

Tabela 78. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para o fator tratamento de estudo da Condutividade Elétrica

Tratamento	Média	Grupo de Tukey
6	38,736	A
3	36,852	A
5	32,916	A B
4	32,138	A B
2	26,338	B C
1	17,831	C

No grupo de Tukey, letras diferentes significam que os níveis são diferentes.

As análises de variância dos valores de TDS se encontram na Tabela 79.

Tabela 79. Análise de variância para TDS (mg.L^{-1}), nos diferentes tratamentos, no sistema CWs. Legenda: GL = grau de liberdade; SQ = soma dos quadrados; QM = quadrado médio; F = frequência da distribuição; PR = probabilidade

TDS	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Número de coletas	11	2757,2307	551,4461	232,34	0,0001
Tratamento	5	13,8440	1,2585	0,53	0,8807
Dia x tratamento	55	119,9636	2,1811	0,92	0,6341

Para o fator número de coletas, ao nível de 5% ($p \leq 0,05$) de significância, houve diferenças entre as mesmas (Tabela 79).

Aplicando-se o teste de Tukey (Tabela 80), para o fator tratamento, verificou-se que o tratamento 6 diferiu do tratamento 1.

Tabela 80. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para o fator tratamento de estudo dos sólidos totais dissolvidos

Tratamento	Média	Grupo de Tukey
6	18,2051	A
3	17,9744	A
4	15,0513	B
5	12,7692	C
2	12,2308	C
1	8,3846	D

No grupo de Tukey, letras diferentes significam que os níveis são diferentes.

As análises de variância dos valores de Turbidez se encontram na Tabela 81.

Tabela 81. Análise de variância da Turbidez (UNT), nos diferentes tratamentos, no sistema CWs. Legenda: GL = grau de liberdade; SQ = soma dos quadrados; QM = quadrado médio; F = frequência da distribuição; PR = probabilidade

Turbidez	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Número de coletas	11	3369,3373	673,8674	149,74	0,0001
Tratamento	5	66,2942	6,0267	1,34	0,2073
Dia x tratamento	55	475,5061	8,6455	1,92	0,0009

Para o fator número de coletas, ao nível de 5% ($p \leq 0,05$) de significância, não houve diferenças entre as mesmas (Tabela 81).

Aplicando-se o teste de Tukey (Tabela 82), para o fator tratamento, verificou-se que o tratamento 6 diferiu do tratamento 5.

Tabela 82. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para o fator tratamento de estudo da turbidez

Tratamento	Média	Grupo de Tukey
6	12,4346	A
4	8,4838	B
2	7,1854	B
3	4,2715	C
1	2,0031	D
5	1,7044	D

No grupo de Tukey, letras diferentes significam que os níveis são diferentes.

As análises de variância dos valores de Oxigênio dissolvido se encontram na Tabela 83.

Tabela 83. Análise de variância para o Oxigênio dissolvido (mg.L^{-1}), nos diferentes tratamentos, no sistema CWs. Legenda: GL = grau de liberdade; SQ = soma dos quadrados; QM = quadrado médio; F = frequência da distribuição; PR = probabilidade

Oxigênio dissolvido	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Número de coletas	11	419,1845	83,8369	31,65	0,0001
Tratamento	5	33,7108	3,0646	1,16	0,3211
Dia x tratamento	55	79,2543	1,4409	0,54	0,9949

Para o fator número de coletas, ao nível de 5% ($p \leq 0,05$) de significância, houve diferenças entre as mesmas (Tabela 83).

Aplicando-se o teste de Tukey (Tabela 84), para o fator tratamento, verificou-se que o tratamento 2 diferiu do tratamento 6.

Tabela 84. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para o fator tratamento de estudo do Oxigênio dissolvido

Tratamento	Média	Grupo de Tukey
2	10,7585	A
3	9,2592	B
4	9,0077	B
5	7,8610	C
1	7,0623	C
6	6,9705	C

No grupo de Tukey, letras diferentes significam que os níveis são diferentes.

As análises de variância do Nitrogênio total ambiente se encontram na Tabela 85.

Tabela 85. Análise de variância do Nitrogênio total (mg.L^{-1}), nos diferentes tratamentos, no sistema CWs. Legenda: GL = grau de liberdade; SQ = soma dos quadrados; QM = quadrado médio; F = frequência da distribuição; PR = probabilidade

Nitrogênio total	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Número de coletas	11	3,0194	0,6038	14,28	0,0001
Tratamento	5	6,5193	0,5926	14,01	0,0001
Dia x tratamento	55	3,0919	0,0562	1,33	0,0884

Para o fator número de coletas, ao nível de 5% ($p \leq 0,05$) de significância, houve diferenças entre as mesmas (Tabela 85).

Aplicando-se o teste de Tukey (Tabela 86), para o fator tratamento, verificou-se que o tratamento 2 diferiu do tratamento 4.

Tabela 86. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para o fator tratamento de estudo do Nitrogênio total

Tratamento	Média	Grupo de Tukey
2	0,9046	A
3	0,8795	A B
1	0,7538	B C
6	0,6797	C D
5	0,6310	C D
4	0,6164	D

No grupo de Tukey, letras diferentes significam que os níveis são diferentes.

As análises de variância dos valores do Fósforo total se encontram na Tabela 87.

Tabela 87. Análise de variância do Fósforo total ($\mu\text{g.L}^{-1}$), nos diferentes tratamentos, no sistema CWs. Legenda: GL = grau de liberdade; SQ = soma dos quadrados; QM = quadrado médio; F = frequência da distribuição; PR = probabilidade

Fósforo total	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Número de coletas	11	130311,4925	26062,2985	125,47	0,0001
Tratamento	5	17383,3553	1580,3050	7,61	0,0001
Dia x tratamento	55	32451,6449	590,0299	2,84	0,0001

Para o fator número de coletas, ao nível de 5% ($p \leq 0,05$) de significância, não houve diferenças entre as mesmas (Tabela 87).

Aplicando-se o teste de Tukey (Tabela 88), para o fator tratamento, verificou-se que o tratamento 2 diferiu do tratamento 4.

Tabela 88. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para o fator tratamento de estudo do Fósforo Total

Tratamento	Média	Grupo de Tukey
2	80,508	A
1	70,565	B
3	59,249	C
6	37,597	D
5	20,901	E
4	19,606	E

No grupo de Tukey, letras diferentes significam que os níveis são diferentes.

As análises de variância dos valores de Amônia se encontram na Tabela 89.

Tabela 89. Análise de variância da Amônia (mg.L^{-1}), nos diferentes tratamentos, no sistema CWs. Legenda: GL = grau de liberdade; SQ = soma dos quadrados; QM = quadrado médio; F = frequência da distribuição; PR = probabilidade

Amônia	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Número de coletas	11	0,0018	0,0004	59,12	0,0001
Tratamento	5	0,0009	0,0001	14,37	0,0001
Dia x tratamento	55	0,0022	0,0001	6,51	0,0001

Para o fator número de coletas, ao nível de 5% ($p \leq 0,05$) de significância, não houve diferenças entre as mesmas (Tabela 89).

Aplicando-se o teste de Tukey (Tabela 90), para o fator tratamento, verificou-se que o tratamento 6 diferiu do tratamento 4.

Tabela 90. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para o fator tratamento de estudo da Amônia

Tratamento	Média	Grupo de Tukey
6	0,0064	A
2	0,0061	A
3	0,0020	B
1	0,0000	C
5	0,0000	C
4	0,0000	C

No grupo de Tukey, letras diferentes significam que os níveis são diferentes.

4.3. Eficiência do sistema “CWs” na redução de bactérias e nutrientes do efluente de piscicultura

Os valores médios e as eficiências do sistema “CWs” na remoção dos parâmetros analisados estão apresentados nas Tabelas 91 a 101.

As eficiências máximas foram: 4,6% para Condutividade elétrica e Alcalinidade total foi 14,0% em 8 dias de operação (Tabela 92), enquanto que o TDS foi 6,7% e Nitrito 100,0% em 8 dias de operação (Tabela 92). Para a DQO foi 78,1% em 22 dias

de operação (Tabela 93), Schulz et al, (2004) após concluírem a pesquisa com tratamento de efluentes de piscicultura através de CWs verificaram que houve eficiência de 30,0-31,0% na remoção de DQO após 56 e 98 dias de tratamento, respectivamente. Lekang et al, (2000) pesquisaram sobre um sistema integrado para tratamento de água de piscicultura baseado em solos filtrantes, obtendo eficiência de 49,3% para fósforo total 49,3%, 42,7% para nitrogênio total, 48,0% para DQO e 74,4% para sólidos totais.

O Nitrogênio total foi 66,3% em 43 dias de operação (Tabela 95). Henry-Silva, (2001) utilizando macrófitas aquáticas flutuantes (*Eichhornia crassipes*, *Pistia stratiotes*, *Salvinia molesta*) no tratamento de efluentes de piscicultura, verificaram que *E. crassipes* e *P. stratiotes* foram mais eficientes na remoção de fósforo total (82,0% e 83,3%) e nitrogênio orgânico total (46,1% e 43,9%, respectivamente) em relação à *S. molesta* (72,1% de fósforo total e 42,7% de nitrogênio orgânico total), concluindo que os sistemas compostos de *E. crassipes* e *P. stratiotes* foram os melhores quando comparados com os demais.

A DBO₅ foi 47,4% em 58 dias de operação (Tabela 96); enquanto que os Coliformes totais apresentaram 39,2% de eficiência em 73 dias de operação (Tabela 97); Amônia foi 84,1% em 86 dias (Tabela 98); Sendo que o Fósforo total foi 96,6% em 100 dias de operação (Tabela 99); Cor aparente 98,2% em 115 dias de operação (Tabela 100) do sistema “CWs”; Turbidez foi 89,6%; Nitrito 83,3% e *E. coli* 67,1% em 115 dias de operação (Tabela 100).

Tabela 91 – Valores médios dos parâmetros estudados e as eficiências do sistema "CWs", durante o tratamento do efluente de piscicultura. No período de amostragem – 1º dia (após 2 horas do início do experimento – 10/06/2003), nos diferentes tratamentos de coleta. Legenda: T= Tratamento, T1 (água de entrada no viveiro em policultura); T2 (efluente gerado do viveiro em policultura); T3 (testemunho – sem plantas e sem solo filtrante); T4 (sistema CWs – aguapé com solo filtrante); T5 (somente aguapé); T6 (somente solo filtrante), $*[(T2-T4)/T2].100$, $**[(T2-T5)/T2].100$, $***[(T2-T6)/T6].100$

Parâmetros	Tratamentos						Eficiência (%) T2-T4*	Eficiência (%) T2-T5**	Eficiência (%) T2-T6***
	T1	T2	T3	T4	T5	T6			
Temperatura água °C	24,00	24,17	25,76	24,18	25,06	24,51	-	-	-
Temperatura ambiente °C	29,00	29,13	28,54	28,46	28,50	28,67	-	-	-
pH	6,79	7,01	8,12	6,73	7,71	6,81	-	-	-
Oxigênio Dissolvido (mg.L ⁻¹)	7,64	7,98	8,30	3,15	7,09	4,74	-	-	-
Cor aparente (Pt/L)	53,00	52,50	52,39	327,17	60,33	229,17	-523,18	-14,91	-336,51
Condutividade (µS.cm ⁻¹)	16,18	15,33	35,64	89,08	46,08	95,63	-481,08	-200,59	-523,81
TDS (mg.L ⁻¹)	7,50	7,67	16,78	41,89	21,67	44,83	-446,15	-182,53	-484,49
Salinidade (‰)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
Turbidez (UNT)	3,68	7,80	7,00	45,08	7,43	34,42	-477,95	4,74	-341,28
Alcalinidade total (mg.L ⁻¹)	8,70	10,47	16,41	15,54	21,12	14,49	-48,42	-101,72	-38,40
DQO (mg.O ₂ .L ⁻¹)	28,50	21,00	22,28	45,72	25,78	28,50	-117,71	-22,76	-35,71
Fósforo total (µg.L ⁻¹)	14,70	43,53	25,00	82,82	55,52	108,30	-90,26	-27,54	-148,79
Nitrito (mg.L ⁻¹)	0,001	0,010	0,005	0,077	0,030	0,045	-670,00	-200,00	-350,00
Nitrato (mg.L ⁻¹)	0,22	0,20	0,14	0,89	0,17	1,40	-342,50	16,50	-600,00
Amônia (mg.L ⁻¹)	0,09	0,21	0,19	1,39	0,22	1,74	-561,90	-4,76	-728,57
Nitrogênio total (mg.L ⁻¹)	0,49	0,42	0,77	0,70	1,82	1,87	-66,67	-333,33	-345,24
DBO ₅ (mg.O ₂ .L ⁻¹)	7,85	10,20	12,00	15,63	13,17	16,97	-53,24	-29,12	-66,37
Coliforme total (NMP)	2,69	3,38	3,38	4,05	4,38	4,05	-19,82	-29,59	-19,82
<i>E. coli</i> (NMP)	0,82	0,80	1,05	3,64	3,49	3,59	-355,00	-336,25	-348,75

Tabela 92 – Valores médios dos parâmetros estudados e as eficiências do sistema "CWs", durante o tratamento do efluente de piscicultura. No período de amostragem – 8º dia (17/06/2003), nos diferentes tratamentos de coleta. Legenda: T= Tratamento, T1 (água de entrada no viveiro em policultura); T2 (efluente gerado do viveiro em policultura); T3 (testemunho – sem plantas e sem solo filtrante); T4 (sistema CWs – aguapé com solo filtrante); T5 (somente aguapé); T6 (somente solo filtrante), $*[(T2-T4)/T2].100$, $**[(T2-T5)/T2].100$, $***[(T2-T6)/T6].100$

Parâmetros	Tratamentos						Eficiência (%) T2-T4*	Eficiência (%) T2-T5**	Eficiência (%) T2-T6***
	T1	T2	T3	T4	T5	T6			
Temperatura água °C	23,37	23,37	20,34	21,16	20,84	21,48	-	-	-
Temperatura ambiente °C	26,70	24,00	22,53	22,60	22,56	22,80	-	-	-
pH	6,39	7,14	8,26	6,43	7,00	6,69	-	-	-
Oxigênio Dissolvido (mg.L ⁻¹)	7,46	7,46	8,13	5,09	7,28	5,09	-	-	-
Cor aparente (Pt/L)	54,00	48,00	42,33	359,00	33,50	482,17	-647,92	30,21	-904,52
Condutividade (µS.cm ⁻¹)	16,63	31,07	34,64	30,50	29,63	34,69	1,83	4,63	-11,65
TDS (mg.L ⁻¹)	7,67	15,00	16,33	14,33	14,00	16,33	4,47	6,67	-8,87
Salinidade (‰)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
Turbidez (UNT)	4,20	6,55	4,10	56,98	2,67	83,20	-769,92	59,24	-1170,23
Alcalinidade total (mg.L ⁻¹)	10,47	16,23	16,76	13,96	15,36	14,84	13,99	5,36	8,56
DQO (mg.O ₂ .L ⁻¹)	40,00	47,00	38,78	33,11	27,44	36,78	29,55	41,62	21,74
Fósforo total (µg.L ⁻¹)	13,76	21,48	34,10	82,11	13,97	81,11	-282,26	34,96	-277,61
Nitrito (mg.L ⁻¹)	0,001	0,002	0,002	0,031	0,001	0,051	-1450,00	50,00	-2450,00
Nitrato (mg.L ⁻¹)	0,23	0,10	0,07	0,78	0,00	1,34	-678,00	100,00	-1240,00
Amônia (mg.L ⁻¹)	0,08	0,07	0,13	0,57	0,10	0,83	-714,29	-42,86	-1085,71
Nitrogênio total (mg.L ⁻¹)	0,35	0,49	0,54	0,63	0,47	0,47	-28,57	4,08	4,08
DBO ₅ (mg.O ₂ .L ⁻¹)	9,10	9,60	7,63	7,37	6,50	7,60	23,23	32,29	20,83
Coliforme total (NMP)	2,81	3,38	3,38	4,74	4,89	5,20	-40,24	-44,67	-53,85
<i>E. coli</i> (NMP)	1,00	0,49	0,30	2,50	1,33	3,96	-410,20	-171,43	-708,16

Tabela 93 – Valores médios dos parâmetros estudados e as eficiências do sistema "CWs", durante o tratamento do efluente de piscicultura. No período de amostragem – 22º dia (1/07/2003), nos diferentes tratamentos de coleta. Legenda: T= Tratamento, T1 (água de entrada no viveiro em policultura); T2 (efluente gerado do viveiro em policultura); T3 (testemunho – sem plantas e sem solo filtrante); T4 (sistema CWs – aguapé com solo filtrante); T5 (somente aguapé); T6 (somente solo filtrante), * $[(T2-T4)/T2].100$, ** $[(T2-T5)/T2].100$, *** $[(T2-T6)/T6].100$

Parâmetros	Tratamentos						Eficiência (%) T2-T4*	Eficiência (%) T2-T5**	Eficiência (%) T2-T6***
	T1	T2	T3	T4	T5	T6			
Temperatura água °C	18,90	19,00	17,20	17,60	16,67	18,33	-	-	-
Temperatura ambiente °C	18,50	18,50	18,50	18,50	18,50	18,50	-	-	-
pH	7,19	7,06	8,93	7,14	7,31	7,12	-	-	-
Oxigênio Dissolvido (mg.L ⁻¹)	7,81	7,76	8,25	4,12	7,08	3,36	-	-	-
Cor aparente (Pt/L)	5,33	43,33	32,06	164,56	28,06	321,33	-279,78	35,24	-641,59
Condutividade (µS.cm ⁻¹)	15,73	33,80	45,34	38,06	40,49	44,33	-12,60	-19,79	-31,15
TDS (mg.L ⁻¹)	7,33	16,00	21,67	17,89	19,22	20,78	-11,81	-20,13	-29,88
Salinidade (‰)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
Turbidez (UNT)	3,16	5,05	3,76	23,46	2,97	50,03	-364,55	41,19	-890,69
Alcalinidade total (mg.L ⁻¹)	6,93	15,84	21,94	17,82	21,12	18,97	-12,50	-33,33	-19,76
DQO (mg.O ₂ .L ⁻¹)	17,00	34,00	22,25	22,67	29,33	7,44	33,32	13,74	78,12
Fósforo total (µg.L ⁻¹)	15,63	45,95	35,10	34,93	28,50	65,05	23,98	37,98	-41,57
Nitrito (mg.L ⁻¹)	0,001	0,001	0,003	0,010	0,001	0,031	-900,00	0,00	-3000,00
Nitrato (mg.L ⁻¹)	0,20	0,20	0,10	0,40	0,03	0,83	-100,00	83,50	-316,50
Amônia (mg.L ⁻¹)	0,10	0,09	0,06	0,24	0,06	0,52	-166,67	33,33	-477,78
Nitrogênio total (mg.L ⁻¹)	0,42	0,70	0,51	0,75	0,56	0,61	-7,14	20,00	12,86
DBO ₅ (mg.O ₂ .L ⁻¹)	6,60	9,90	6,80	6,90	7,70	6,70	30,30	22,22	32,32
Coliforme total (NMP)	2,54	4,38	3,99	3,90	4,38	4,46	10,96	0,00	-1,83
<i>E. coli</i> (NMP)	0,49	3,21	2,40	2,00	2,43	2,86	37,69	24,30	10,90

Tabela 94 – Valores médios dos parâmetros estudados e as eficiências do sistema "CWs", durante o tratamento do efluente de piscicultura. No período de amostragem – 29º dia (8/07/2003), nos diferentes tratamentos de coleta. Legenda: T= Tratamento, T1 (água de entrada no viveiro em policultura); T2 (efluente gerado do viveiro em policultura); T3 (testemunho – sem plantas e sem solo filtrante); T4 (sistema CWs – aguapé com solo filtrante); T5 (somente aguapé); T6 (somente solo filtrante), $*[(T2-T4)/T2].100$, $**[(T2-T5)/T2].100$, $***[(T2-T6)/T6].100$

Parâmetros	Tratamentos						Eficiência (%) T2-T4*	Eficiência (%) T2-T5**	Eficiência (%) T2-T6***
	T1	T2	T3	T4	T5	T6			
Temperatura água °C	19,10	22,17	20,49	20,48	20,06	20,74	-	-	-
Temperatura ambiente °C	21,63	24,03	23,11	21,42	22,31	22,41	-	-	-
pH	6,82	7,37	8,13	6,64	6,75	6,79	-	-	-
Oxigênio Dissolvido (mg.L ⁻¹)	7,61	7,31	7,81	4,48	6,37	5,68	-	-	-
Cor aparente (Pt/L)	0,00	0,00	3,83	74,83	0,00	170,17	-74,83	0,00	-170,17
Condutividade (µS.cm ⁻¹)	17,13	34,23	40,99	40,06	37,99	37,63	-17,03	-10,98	-9,93
TDS (mg.L ⁻¹)	8,00	16,00	19,00	19,00	18,00	17,67	-18,75	-12,50	-10,44
Salinidade (‰)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
Turbidez (UNT)	2,25	4,88	3,38	17,13	1,58	30,55	-251,02	67,62	-526,02
Alcalinidade total (mg.L ⁻¹)	7,92	15,84	19,07	18,64	17,98	16,33	-17,68	-13,51	-3,09
DQO (mg.O ₂ .L ⁻¹)	35,33	37,00	29,89	30,56	29,78	33,72	17,41	19,51	8,86
Fósforo total (µg.L ⁻¹)	3,04	32,68	20,47	21,16	8,67	31,90	35,25	73,47	2,39
Nitrito (mg.L ⁻¹)	0,001	0,005	0,002	0,011	0,001	0,020	-120,00	80,00	-300,00
Nitrato (mg.L ⁻¹)	0,20	0,13	0,16	0,33	0,09	0,67	-150,38	33,08	-401,50
Amônia (mg.L ⁻¹)	0,09	0,14	0,15	0,21	0,09	0,38	-50,00	35,71	-171,43
Nitrogênio total (mg.L ⁻¹)	0,42	0,70	0,75	0,65	0,37	0,79	7,14	47,14	-12,86
DBO ₅ (mg.O ₂ .L ⁻¹)	6,30	8,10	6,35	4,87	4,83	5,40	39,88	40,37	33,33
Coliforme total (NMP)	2,48	4,25	3,08	3,58	4,46	3,92	15,76	-4,94	7,76
<i>E. coli</i> (NMP)	0,30	2,30	1,58	2,16	1,33	2,34	6,09	42,17	-1,74

Tabela 95 – Valores médios dos parâmetros estudados e as eficiências do sistema "CWs", durante o tratamento do efluente de piscicultura. No período de amostragem – 43º dia (22/07/2003), nos diferentes tratamentos de coleta. Legenda: T= Tratamento, T1 (água de entrada no viveiro em policultura); T2 (efluente gerado do viveiro em policultura); T3 (testemunho – sem plantas e sem solo filtrante); T4 (sistema CWs – aguapé com solo filtrante); T5 (somente aguapé); T6 (somente solo filtrante), *[(T2-T4)/T2].100, **[(T2-T5)/T2].100, ***[(T2-T6)/T6].100

Parâmetros	Tratamentos						Eficiência (%) T2-T4*	Eficiência (%) T2-T5**	Eficiência (%) T2-T6***
	T1	T2	T3	T4	T5	T6			
Temperatura água °C	22,83	22,80	21,07	21,59	21,20	21,46	-	-	-
Temperatura ambiente °C	23,27	23,27	22,52	22,22	22,02	22,21	-	-	-
PH	6,70	7,19	8,10	6,62	6,70	6,92	-	-	-
Oxigênio Dissolvido (mg.L ⁻¹)	6,85	6,40	7,46	3,04	5,54	3,29	-	-	-
Cor aparente (Pt/L)	5,50	39,00	147,50	191,67	133,67	300,33	-391,46	-242,74	-670,08
Condutividade (µS.cm ⁻¹)	17,20	29,97	36,77	36,40	31,89	33,90	-21,45	-6,41	-13,11
TDS (mg.L ⁻¹)	8,00	14,00	17,22	17,11	14,89	16,00	-22,21	-6,36	-14,29
Salinidade (‰)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
Turbidez (UNT)	2,05	5,13	3,99	17,02	1,69	36,87	-231,77	67,06	-618,71
Alcalinidade total (mg.L ⁻¹)	5,44	11,88	16,83	16,66	15,34	13,20	-40,24	-29,12	-11,11
DQO (mg.O ₂ .L ⁻¹)	12,00	16,83	7,17	7,67	14,33	14,67	54,43	14,85	12,83
Fósforo total (µg.L ⁻¹)	17,97	77,86	35,16	10,69	11,67	31,86	86,27	85,01	59,08
Nitrito (mg.L ⁻¹)	0,001	0,002	0,001	0,009	0,001	0,022	-350,00	50,00	-1000,00
Nitrato (mg.L ⁻¹)	0,20	0,30	0,13	0,37	0,00	0,97	-22,33	100,00	-222,33
Amônia (mg.L ⁻¹)	0,08	0,22	0,15	0,23	0,10	0,39	-4,55	54,55	-77,27
Nitrogênio total (mg.L ⁻¹)	0,28	0,98	0,42	0,77	0,33	1,26	21,43	66,33	-28,57
DBO ₅ (mg.O ₂ .L ⁻¹)	5,60	7,50	6,70	5,40	4,93	5,17	28,00	34,27	31,07
Coliforme total (NMP)	2,45	4,22	4,14	3,59	4,11	3,43	14,93	2,61	18,72
<i>E. coli</i> (NMP)	0,32	3,04	2,14	2,00	1,58	2,45	34,21	48,03	19,41

Tabela 96 – Valores médios dos parâmetros estudados e as eficiências do sistema "CWs", durante o tratamento do efluente de piscicultura. No período de amostragem – 58º dia (5/08/2003), nos diferentes tratamentos de coleta. Legenda: T= Tratamento, T1 (água de entrada no viveiro em policultura); T2 (efluente gerado do viveiro em policultura); T3 (testemunho – sem plantas e sem solo filtrante); T4 (sistema CWs – aguapé com solo filtrante); T5 (somente aguapé); T6 (somente solo filtrante), *[(T2-T4)/T2].100, **[(T2-T5)/T2].100, ***[(T2-T6)/T6].100

Parâmetros	Tratamentos						Eficiência (%) T2-T4*	Eficiência (%) T2-T5**	Eficiência (%) T2-T6***
	T1	T2	T3	T4	T5	T6			
Temperatura água °C	24,13	24,93	22,59	22,34	22,04	22,84	-	-	-
Temperatura ambiente °C	25,93	25,90	24,54	23,22	22,98	23,59	-	-	-
pH	6,76	8,04	8,91	6,80	6,83	7,08	-	-	-
Oxigênio Dissolvido (mg.L ⁻¹)	7,65	7,75	7,63	3,29	5,11	3,17	-	-	-
Cor aparente (Pt/L)	180,50	252,00	175,50	230,17	189,17	344,33	8,66	24,93	-36,64
Condutividade (µS.cm ⁻¹)	17,73	25,27	36,10	32,87	27,81	35,63	-30,08	-10,05	-41,00
TDS (mg.L ⁻¹)	8,00	11,67	17,00	15,33	13,33	16,67	-31,36	-14,22	-42,84
Salinidade (‰)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
Turbidez (UNT)	2,52	10,21	5,89	12,17	2,84	27,58	-19,20	72,18	-170,13
Alcalinidade total (mg.L ⁻¹)	8,91	12,37	17,32	15,84	15,18	16,00	-28,05	-22,72	-29,35
DQO (mg.O ₂ .L ⁻¹)	45,50	44,00	53,33	39,67	45,50	44,00	9,84	-3,41	0,00
Fósforo total (µg.L ⁻¹)	18,54	83,56	76,98	36,05	48,50	54,01	56,86	41,96	35,36
Nitrito (mg.L ⁻¹)	0,002	0,006	0,004	0,005	0,002	0,011	16,67	66,67	-83,33
Nitrato (mg.L ⁻¹)	0,15	0,25	0,13	0,24	0,12	0,48	2,40	53,20	-91,20
Amônia (mg.L ⁻¹)	0,17	0,45	0,32	0,20	0,18	0,42	55,56	60,00	6,67
Nitrogênio total (mg.L ⁻¹)	0,70	0,98	0,89	0,76	0,53	0,84	22,45	45,92	14,29
DBO ₅ (mg.O ₂ .L ⁻¹)	5,80	10,40	11,40	5,47	6,10	5,90	47,40	41,35	43,27
Coliforme total (NMP)	2,87	4,68	4,38	3,64	4,38	3,15	22,22	6,41	32,69
<i>E. coli</i> (NMP)	1,00	3,48	2,61	1,16	1,87	1,69	66,67	46,26	51,44

Tabela 97 – Valores médios dos parâmetros estudados e as eficiências do sistema "CWs", durante o tratamento do efluente de piscicultura. No período de amostragem – 73º dia (19/08/2003), nos diferentes tratamentos de coleta. Legenda: T= Tratamento, T1 (água de entrada no viveiro em policultura); T2 (efluente gerado do viveiro em policultura); T3 (testemunho – sem plantas e sem solo filtrante); T4 (sistema CWs – aguapé com solo filtrante); T5 (somente aguapé); T6 (somente solo filtrante), *[(T2-T4)/T2].100, **[(T2-T5)/T2].100, ***[(T2-T6)/T6].100

Parâmetros	Tratamentos						Eficiência (%) T2-T4*	Eficiência (%) T2-T5**	Eficiência (%) T2-T6***
	T1	T2	T3	T4	T5	T6			
Temperatura água °C	19,93	22,17	19,99	21,16	21,12	21,30	-	-	-
Temperatura ambiente °C	23,70	22,73	21,32	21,94	21,81	21,50	-	-	-
pH	6,67	7,28	8,72	6,61	6,66	7,04	-	-	-
Oxigênio Dissolvido (mg.L ⁻¹)	8,30	8,25	8,50	5,01	6,33	3,57	-	-	-
Cor aparente (Pt/L)	29,67	55,00	38,89	73,00	21,00	110,00	-32,73	61,82	-100,00
Condutividade (µS.cm ⁻¹)	17,30	25,47	36,69	30,21	29,31	34,56	-18,61	-15,08	-35,69
TDS (mg.L ⁻¹)	8,00	12,00	17,33	14,00	14,00	16,00	-16,67	-16,67	-33,33
Salinidade (‰)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
Turbidez (UNT)	2,24	6,03	4,01	9,64	1,30	14,09	-59,87	78,44	-133,67
Alcalinidade total (mg.L ⁻¹)	7,92	13,36	18,48	14,85	16,83	17,16	-11,15	-25,97	-28,44
DQO (mg.O ₂ .L ⁻¹)	18,00	21,00	29,67	9,11	7,52	13,72	56,62	64,19	34,67
Fósforo total (µg.L ⁻¹)	8,68	48,91	44,78	17,80	16,17	19,81	63,61	66,94	59,50
Nitrito (mg.L ⁻¹)	0,004	0,007	0,005	0,006	0,002	0,015	14,29	71,43	-114,29
Nitrato (mg.L ⁻¹)	0,20	0,20	0,20	0,25	0,00	0,45	-25,00	98,00	-125,00
Amônia (mg.L ⁻¹)	0,16	0,24	0,20	0,23	0,14	0,31	4,17	41,67	-29,17
Nitrogênio total (mg.L ⁻¹)	0,70	0,98	0,84	1,26	0,70	1,40	-28,57	28,57	-42,86
DBO ₅ (mg.O ₂ .L ⁻¹)	5,70	3,00	4,50	2,53	3,83	2,27	15,67	-27,67	24,33
Coliforme total (NMP)	2,71	3,95	3,99	2,72	4,13	2,40	31,14	-4,56	39,24
<i>E. coli</i> (NMP)	0,78	2,61	2,47	1,16	2,40	1,90	55,56	8,05	27,20

Tabela 98 – Valores médios dos parâmetros estudados e as eficiências do sistema "CWs", durante o tratamento do efluente de piscicultura. No período de amostragem – 86º dia (2/09/2003), nos diferentes tratamentos de coleta. Legenda: T= Tratamento, T1 (água de entrada no viveiro em policultura); T2 (efluente gerado do viveiro em policultura); T3 (testemunho – sem plantas e sem solo filtrante); T4 (sistema CWs – aguapé com solo filtrante); T5 (somente aguapé); T6 (somente solo filtrante), *[(T2-T4)/T2].100, **[(T2-T5)/T2].100, ***[(T2-T6)/T6].100

Parâmetros	Tratamentos						Eficiência (%) T2-T4*	Eficiência (%) T2-T5**	Eficiência (%) T2-T6***
	T1	T2	T3	T4	T5	T6			
Temperatura água °C	20,30	20,70	19,30	19,23	19,30	19,57	-	-	-
Temperatura ambiente °C	20,40	20,40	20,40	20,40	20,40	20,40	-	-	-
pH	6,93	6,77	7,83	6,66	6,37	6,59	-	-	-
Oxigênio Dissolvido (mg.L ⁻¹)	10,38	9,64	9,26	7,11	7,22	7,41	-	-	-
Cor aparente (Pt/L)	9,00	52,00	30,50	52,83	22,67	81,50	-1,60	56,40	-56,73
Condutividade (µS.cm ⁻¹)	17,50	26,60	36,63	33,83	26,23	37,83	-27,18	1,39	-42,22
TDS (mg.L ⁻¹)	8,00	12,00	17,33	16,00	12,33	17,67	-33,33	-2,75	-47,25
Salinidade (%)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
Turbidez (UNT)	1,91	6,13	4,13	9,42	4,53	14,17	-53,67	26,10	-131,16
Alcalinidade total (mg.L ⁻¹)	7,92	12,37	17,57	16,82	14,35	16,33	-35,97	-16,01	-32,01
DQO (mg.O ₂ .L ⁻¹)	13,50	29,00	15,83	14,11	17,00	12,33	51,34	41,38	57,48
Fósforo total (µg.L ⁻¹)	7,35	83,50	66,09	26,87	24,74	35,58	67,82	70,37	57,39
Nitrito (mg.L ⁻¹)	0,002	0,008	0,004	0,002	0,002	0,006	75,00	75,00	25,00
Nitrato (mg.L ⁻¹)	0,20	0,20	0,10	0,10	0,05	0,30	50,00	73,50	-50,00
Amônia (mg.L ⁻¹)	0,09	0,19	0,12	0,05	0,03	0,13	73,68	84,21	31,58
Nitrogênio total (mg.L ⁻¹)	0,58	0,70	0,69	0,55	0,46	0,48	21,43	34,29	31,43
DBO ₅ (mg.O ₂ .L ⁻¹)	4,90	9,30	2,85	5,03	5,90	8,77	45,91	36,56	5,70
Coliforme total (NMP)	3,42	4,08	3,65	3,06	3,92	3,28	25,00	3,92	19,61
<i>E. coli</i> (NMP)	1,00	3,64	3,20	1,30	2,00	2,12	64,29	45,05	41,76

Tabela 99 – Valores médios dos parâmetros estudados e as eficiências do sistema "CWs", durante o tratamento do efluente de piscicultura. No período de amostragem – 100º dia (16/09/2003), nos diferentes tratamentos de coleta. Legenda: T= Tratamento, T1 (água de entrada no viveiro em policultura); T2 (efluente gerado do viveiro em policultura); T3 (testemunho – sem plantas e sem solo filtrante); T4 (sistema CWs – aguapé com solo filtrante); T5 (somente aguapé); T6 (somente solo filtrante), *[(T2-T4)/T2].100, **[(T2-T5)/T2].100, ***[(T2-T6)/T6].100

Parâmetros	Tratamentos						Eficiência (%) T2-T4*	Eficiência (%) T2-T5**	Eficiência (%) T2-T6***
	T1	T2	T3	T4	T5	T6			
Temperatura água °C	21,80	21,67	20,98	21,47	21,24	21,16	-	-	-
Temperatura ambiente °C	19,47	19,63	19,84	19,48	19,02	19,19	-	-	-
pH	7,22	8,29	7,82	6,04	6,03	7,35	-	-	-
Oxigênio Dissolvido (mg.L ⁻¹)	7,76	6,56	7,66	4,43	5,51	5,34	-	-	-
Cor aparente (Pt/L)	55,00	120,00	57,83	33,33	17,67	75,33	72,23	85,28	37,23
Condutividade (µS.cm ⁻¹)	17,37	28,83	40,53	33,08	29,59	38,31	-14,74	-2,64	-32,88
TDS (mg.L ⁻¹)	8,00	14,00	19,11	15,33	14,00	18,33	-9,50	0,00	-30,93
Salinidade (‰)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
Turbidez (UNT)	2,49	12,40	7,59	6,85	1,58	11,12	44,76	87,26	10,32
Alcalinidade total (mg.L ⁻¹)	9,90	14,35	18,97	15,51	15,01	16,50	-8,08	-4,60	-14,98
DQO (mg.O ₂ .L ⁻¹)	12,50	16,00	11,00	7,33	7,17	17,83	54,19	55,19	-11,44
Fósforo total (µg.L ⁻¹)	9,69	116,61	65,80	8,23	3,99	29,85	92,94	96,58	74,40
Nitrito (mg.L ⁻¹)	0,004	0,011	0,005	0,004	0,002	0,006	63,64	81,82	45,45
Nitrato (mg.L ⁻¹)	0,35	0,25	0,18	0,13	0,12	0,28	46,80	53,20	-13,20
Amônia (mg.L ⁻¹)	0,13	0,35	0,22	0,16	0,09	0,25	54,29	74,29	28,57
Nitrogênio total (mg.L ⁻¹)	0,70	0,84	0,75	0,59	0,42	0,61	29,76	50,00	27,38
DBO ₅ (mg.O ₂ .L ⁻¹)	4,50	14,10	13,20	9,73	8,40	10,77	30,99	40,43	23,62
Coliforme total (NMP)	3,45	5,30	4,60	3,58	4,11	3,46	32,45	22,45	34,72
<i>E. coli</i> (NMP)	2,71	4,28	4,31	1,54	1,58	2,46	64,02	63,08	42,52

Tabela 100 – Valores médios dos parâmetros estudados e as eficiências do sistema "CWs", durante o tratamento do efluente de piscicultura. No período de amostragem – 115º dia (1/10/2003), nos diferentes tratamentos de coleta. Legenda: T= Tratamento, T1 (água de entrada no viveiro em policultura); T2 (efluente gerado do viveiro em policultura); T3 (testemunho – sem plantas e sem solo filtrante); T4 (sistema CWs – aguapé com solo filtrante); T5 (somente aguapé); T6 (somente solo filtrante), $*[(T2-T4)/T2].100$, $**[(T2-T5)/T2].100$, $***[(T2-T6)/T6].100$

Parâmetros	Tratamentos						Eficiência (%) T2-T4*	Eficiência (%) T2-T5**	Eficiência (%) T2-T6***
	T1	T2	T3	T4	T5	T6			
Temperatura água °C	24,47	24,40	23,23	23,47	23,34	23,51	-	-	-
Temperatura ambiente °C	28,20	27,30	27,23	27,90	27,57	27,57	-	-	-
pH	6,53	7,69	7,94	6,46	6,27	6,93	-	-	-
Oxigênio Dissolvido (mg.L ⁻¹)	7,11	5,96	7,13	4,27	5,04	5,68	-	-	-
Cor aparente (Pt/L)	1,00	57,50	76,83	4,17	1,00	12,50	92,75	98,26	78,26
Condutividade (µS.cm ⁻¹)	17,13	31,47	42,42	42,08	33,07	48,70	-33,71	-5,08	-54,75
TDS (mg.L ⁻¹)	8,00	15,00	20,00	19,56	15,56	22,67	-30,40	-3,73	-51,13
Salinidade (‰)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
Turbidez (UNT)	2,47	8,17	6,26	5,42	0,85	6,15	33,66	89,60	24,72
Alcalinidade total (mg.L ⁻¹)	7,92	14,85	19,96	18,81	16,50	20,95	-26,67	-11,11	-41,08
DQO (mg.O ₂ .L ⁻¹)	22,00	35,50	36,67	15,83	22,67	21,00	55,41	36,14	40,85
Fósforo total (µg.L ⁻¹)	7,20	67,59	63,12	6,93	15,78	28,82	89,75	76,65	57,36
Nitrito (mg.L ⁻¹)	0,001	0,006	0,007	0,001	0,001	0,003	83,33	83,33	50,00
Nitrato (mg.L ⁻¹)	0,10	0,10	0,13	0,15	0,10	0,15	-50,00	0,00	-50,00
Amônia (mg.L ⁻¹)	0,18	0,34	0,25	0,22	0,07	0,26	35,29	79,41	23,53
Nitrogênio total (mg.L ⁻¹)	0,70	0,56	0,89	0,70	0,70	0,65	-25,00	-25,00	-16,07
DBO ₅ (mg.O ₂ .L ⁻¹)	4,10	8,50	11,13	5,90	6,55	7,80	30,59	22,94	8,24
Coliforme total (NMP)	3,52	4,17	4,35	3,25	3,37	3,49	22,06	19,18	16,31
<i>E. coli</i> (NMP)	1,61	3,04	2,00	1,10	1,00	1,50	63,82	67,11	50,66

Tabela 101 – Valores médios dos parâmetros estudados e as eficiências do sistema "CWs", durante o tratamento do efluente de piscicultura. No período de amostragem – 128º dia (14/10/2003), nos diferentes tratamentos de coleta. Legenda: T= Tratamento, T1 (água de entrada no viveiro em policultura); T2 (efluente gerado do viveiro em policultura); T3 (testemunho – sem plantas e sem solo filtrante); T4 (sistema CWs – aguapé com solo filtrante); T5 (somente aguapé); T6 (somente solo filtrante), * $[(T2-T4)/T2].100$, ** $[(T2-T5)/T2].100$, *** $[(T2-T6)/T6].100$

Parâmetros	Tratamentos						Eficiência (%) T2-T4*	Eficiência (%) T2-T5**	Eficiência (%) T2-T6***
	T1	T2	T3	T4	T5	T6			
Temperatura água °C	22,80	23,35	22,34	22,48	22,64	22,90	-	-	-
Temperatura ambiente °C	24,90	25,00	24,50	24,25	24,10	24,07	-	-	-
pH	6,53	7,99	7,95	6,85	6,40	7,13	-	-	-
Oxigênio Dissolvido (mg.L ⁻¹)	7,41	6,21	6,81	4,78	4,71	4,24	-	-	-
Cor aparente (Pt/L)	68,00	98,00	57,67	65,33	45,00	56,33	33,34	54,08	42,52
Condutividade (µS.cm ⁻¹)	17,70	30,03	44,61	32,86	34,24	64,14	-9,42	-14,02	-113,59
TDS (mg.L ⁻¹)	8,00	14,00	20,78	19,83	16,00	29,78	-41,64	-14,29	-112,71
Salinidade (‰)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
Turbidez (UNT)	3,41	9,30	3,83	6,65	2,53	3,52	28,49	72,80	62,15
Alcalinidade total (mg.L ⁻¹)	7,92	14,85	22,44	17,13	15,88	31,29	-15,35	-6,94	-110,71
DQO (mg.O ₂ .L ⁻¹)	23,50	16,00	34,94	28,22	22,83	18,50	-76,38	-42,69	-15,63
Fósforo total (µg.L ⁻¹)	32,38	67,41	70,79	16,94	24,17	30,69	74,87	64,14	54,47
Nitrito (mg.L ⁻¹)	0,004	0,008	0,005	0,002	0,003	0,003	75,00	62,50	62,50
Nitrato (mg.L ⁻¹)	0,40	0,30	0,17	0,23	0,08	0,32	22,33	72,33	-5,67
Amônia (mg.L ⁻¹)	0,19	0,25	0,20	0,19	0,13	0,30	24,00	48,00	-20,00
Nitrogênio total (mg.L ⁻¹)	0,70	0,70	0,61	0,61	0,56	0,69	12,86	20,00	1,43
DBO ₅ (mg.O ₂ .L ⁻¹)	4,90	9,60	8,23	6,27	6,07	5,70	34,69	36,77	40,63
Coliforme total (NMP)	4,08	4,25	3,68	2,93	4,07	2,88	31,06	4,24	32,24
<i>E. coli</i> (NMP)	1,80	2,00	2,00	1,00	1,00	1,00	50,00	50,00	50,00

5. CONCLUSÕES

Em geral observou-se uma variação da eficiência do sistema construído de áreas alagadas (wetland), durante os 128 dias de operação.

O CWs vegetado com o aguapé (*Eichhornia crassipes*) usado neste presente estudo mostrou ser eficiente para o tratamento do efluente de piscicultura.

Para alguns parâmetros somente o uso do aguapé (*Eichhornia crassipes*) foi suficiente para a redução dos valores dos mesmos.

O CWs contendo solo, carvão do babaçu e pedregulhos possibilitou pouca eficiência. Após a estabilização dos CWs, as melhores eficiências foram observadas no sistema contendo apenas aguapé (*Eichhornia crassipes*), dependendo do parâmetro analisado.

O “CWs” é um processo dinâmico e sua eficiência variou com o tempo de tratamento do efluente de piscicultura.

O CWs estudado mostrou-se eficiente na remoção do número da cor aparente, turbidez, DQO, fósforo total, nitrato, nitrogênio total, DBO₅, coliformes totais e *Escherichia coli*, em diferentes tempos de tratamento, acarretando melhoria acentuada na qualidade microbiológica e dos nutrientes do efluente de piscicultura, quanto aos parâmetros aqui estudados.

6. REFERÊNCIAS

APHA (AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION). **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 20. ed. Washington: American Public Health Association, AWWA, WPCF, 1998. 1569p.

BRIX, H.; SCHIERUP, H. H. The use of aquatic macrophytes in water pollution control. **Ambio**, Elmsford, USA, v. 18, p. 100-107, 1989.

BRIX, H. How “Green” Are Constructed Wetland Treatment Systems. In: INTERNATIONAL CONFERENCE WETLAND SYSTEMS FOR WATER POLLUTION CONTROL, 6., 1998, Águas de São Pedro. **Anais...** Águas de São Pedro: S. M. Tauk-Tornisielo, 1998. p. 1-10.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. **Resoluções do CONAMA nº 357**. 5. ed. Brasília: IBAMA, 2005. 23p.

DELBIN, C.T.; PATERNIANI, J.E.S. – Diagnóstico da qualidade da água de viveiros de peixes destinados à pesca no Estado de São Paulo e sul de Minas Gerais: resultados preliminares. In: CONGRESSO SUL AMERICANO DE AQUICULTURA, 1., SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AQUICULTURA, 10., SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE CULTIVO DE CAMARÕES, 5., FEIRA DE TECNOLOGIA E PRODUTOS PARA AQUICULTURA, 2., 1998, Recife. **Anais...** Recife : sine nomine [s.n.], nov. 1998. Paper n. 198.

GOPAL, B. Natural and constructed wetlands for wastewater treatments: potentials and problems. **Water Science and Technology**, London, England, v. 40, n. 3, p. 27-35, 1999.

HAMMER, D. A. **Constructed wetlands for wastewater treatment: municipal, industrial and agricultura**. Chelsea: Lewis, 1989. 350p.

HENRY-SILVA, G. G. **Utilização de macrófitas aquáticas flutuantes (*Eichhornia crassipes*, *Pistia stratiotes*, *Salvinia molesta*) no tratamento de efluentes de piscicultura**. 2001. 79 f. Dissertação (Mestrado em Aqüicultura em Águas Continentais) - Instituto de Aqüicultura de Jaboticabal, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2001.

KNIGHT, R. L.; KADLEC, R. H.; OHLENDORF, H. M. The use of treatment wetlands for petroleum industry effluents. **Environmental Science and Technology**, Iowa, USA, v. 33, n. 7, p. 973-980, 1999.

KOHLER, E. A.; POOLE, V. L.; REICHER, Z. J.; TURCO, R. F. Nutrient, metal, and pesticide removal during storm and nonstorm events by a constructed wetland on an urban golf course. **Ecological Engineering**, Colombus, USA, v. 23, p. 285-298, 2004.

LEKANG, O. I.; BERGHEIM, A.; DALEN, H. An integrated wastewater treatment system for land-based fish-farming. **Aquacult. Eng.**, Montlake Blvd East Seattle, USA, v. 22, p. 199-211, 2000.

LIN, Y.F.; JING, S. R.; LEE, D. Y.; WANG, T. W. Nutrient removal from aquaculture wastewater using a constructed wetlands system. **Aquaculture**, Mississippi, USA, v. 209, n. 1-4, p. 169-184, 2002.

LIN, Y.F.; JING, S.R.; LEE, D. Y.; CHANG, Y.F.; CHEN, Y.M.; SHIH, K. C. Performance of a constructed wetlands treating intensive shrimp aquaculture wastewater under high hydraulic loading rate. **Environmental Pollution**, Amherst, USA, v. 134, p. 411-421, 2005.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Portaria nº 518/2004 – Controle e Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano e seu Padrão de Potabilidade**. 1. Ed. Brasília: Editora do Ministério da Saúde, 2005. 28p.

MONTEIRO, R. C. M. **Protótipos para sistemas construídos de áreas alagadas para tratamento de efluentes de piscicultura – redução de bactérias e nutrientes**. 2005. 44 f. Trabalho de conclusão de curso (Ecologia) - Instituto de Biociências do Campus de Rio Claro, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2005.

SCHULZ C., GELBRECHT J., RENNERT B. Constructed wetlands with free water surface for treatment of aquaculture effluents. **J. Appl. Ichthyol**, Neu Wulmstorf, Germany, v. 20, p. 64-70, 2004.

SUMMERFELT, S. T.; ADLER, P. R.; GLENN, D. M.; KRETSCHMANN, R. N. Aquaculture sludge removal and stabilization within crested wetlands. **Aquacult. Eng.**, Montlake Blvd East Seattle, USA, v. 19, p. 81-92, 1999.

TANNER, C. C. Plants for constructed wetland treatment systems: A comparison of the growth and nutrient uptake of eight emergent species. **Ecological Engineering**, Columbus, USA, v. 7, p. 59-83, 1996.

WALLACE, S. **Putting wetlands to work**. New York: American Society of Civil Engineers, 1998. 190 p.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)