



GUILHERME AUGUSTO DA SILVA

**CARACTERIZAÇÃO DE MICROFAUNA AERÓBIA E
REDUÇÃO DE TOXICIDADE EM SISTEMA
COMBINADO DE TRATAMENTO DE EFLUENTE
SANITÁRIO**

Campinas

2014



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO**

GUILHERME AUGUSTO DA SILVA

**CARACTERIZAÇÃO DE MICROFAUNA AERÓBIA E
REDUÇÃO DE TOXICIDADE EM SISTEMA COMBINADO DE
TRATAMENTO DE EFLUENTE SANITÁRIO**

Dissertação de mestrado apresentada à Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil na área de Saneamento e Ambiente.

Orientador: Profº Drº Edson Aparecido Abdul Nour

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DA DISSERTAÇÃO DEFENDIDA PELO ALUNO GUILHERME AUGUSTO DA SILVA, E ORIENTADO PELO PROFº EDSON APARECIDO ABDUL NOUR

Campinas

2014

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca da Área de Engenharia e Arquitetura
Elizangela Aparecida dos Santos Souza - CRB 8/8098

Si38c Silva, Guilherme Augusto da, 1989-
Caracterização da microfauna aeróbia e redução de toxicidade em sistema combinado de tratamento de efluente sanitário / Guilherme Augusto da Silva. – Campinas, SP : [s.n.], 2014.

Orientador: Edson Aparecido Abdul Nour.
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo.

1. Protozoários. 2. Ecotoxicologia. 3. Nitrificação. 4. Tratamento de efluentes. I. Nour, Edson Aparecido Abdul, 1961-. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. III. Título.

Informações para Biblioteca Digital

Título em outro idioma: Microfauna characterization and toxicity reduction in combined treatment system of sanitary effluent

Palavras-chave em inglês:

Protozoa

Ecotoxicology

Nitrification

Effluent treatment

Área de concentração: Saneamento e Ambiente

Titulação: Mestre em Engenharia Civil

Banca examinadora:

Edson Aparecido Abdul Nour [Orientador]

Cassiana Maria Reganhan Coneglian

Maria Bernadete Amâncio Varesche

Data de defesa: 04-04-2014

Programa de Pós-Graduação: Engenharia Civil

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO

CARACTERIZAÇÃO DA MICROFAUNA AERÓBIA E REDUÇÃO DE
TOXICIDADE EM SISTEMA COMBINADO DE TRATAMENTO DE
EFLUENTE SANITÁRIO

Guilherme Augusto da Silva

Dissertação de Mestrado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:



Prof. Dr. Edson Aparecido Abdul Nour
Presidente e Orientador - UNICAMP



Profa. Dra. Cassiana Maria Reganhan Coneglian
UNICAMP



Profa. Dra. Maria Bernadete Amâncio Varesche
USP

Campinas, 04 de Abril de 2014

RESUMO

Esse trabalho avaliou um sistema combinado anaeróbio-aeróbio com o objetivo de caracterizar a microfauna contida na biomassa aderida do reator aeróbio e determinar sua correlação com variáveis físicas e químicas, além de avaliar a redução da toxicidade do afluente do sistema para as espécies *Vibrio fischeri* e *Girardia tigrina*. O tratamento de esgoto com características sanitárias foi realizado por sistema em escala piloto constituído por filtro anaeróbio (FA), com volume de 300 L, seguido de biofiltro aeróbio submerso (BAS), com volume de 150 L, ambos preenchidos com meio suporte, seguidos de um decantador (DEC) com volume de 50 L. O sistema está instalado nas dependências do Laboratório de Protótipos de Tratamento de Águas e Efluentes (LABPRO) da FEC/UNICAMP. A pesquisa foi dividida em 4 etapas que se diferenciaram pela razão de recirculação entre efluente tratado e o efluente bruto que alimentava o sistema. Na etapa 1 (E1) não houve recirculação, ou seja, razão 0, na etapa 2 (E2) a razão foi de 1,5, na etapa 3 (E3) de 3,0 e na etapa 4 (E4) de 4,0. Foram monitorados 5 pontos de coleta no sistema: P1-efluente bruto, P4- altura de 40 cm no BAS, P6-altura de 140 cm no BAS, P7-altura de 200 cm no BAS e P8- efluente tratado. Foram coletadas amostras semanalmente para caracterização da microfauna e determinação das variáveis físicas e químicas, enquanto que os testes de toxicidade foram realizados 3 vezes em cada etapa sendo: início, meio e fim da etapa. A correlação foi estabelecida entre os grupos componentes da microfauna – ciliados predadores de flocos (CPF), ciliados livre natantes (CLN), ciliados fixos (CF), amebas (AMB), flagelados (F) e micrometazoários (MTZ), e variáveis físicas e químicas tais como pH, temperatura, oxigênio dissolvido, nitrogênio amoniacal, nitrito, nitrato e demanda química de oxigênio (DQO). Na E1 foi encontrada correlação negativa entre o grupo F e as variáveis pH, alcalinidade parcial, alcalinidade total e nitrogênio amoniacal em P4. Em P7 foi determinada correlação positiva entre o grupo CF e pH, alcalinidade parcial, alcalinidade total, NTK e nitrogênio amoniacal, e correlação negativa com nitrato. Na E2 no ponto P4 foi possível correlacionar positivamente o grupo MTZ com nitrato, e negativamente com alcalinidade parcial. O grupo CLN foi correlacionado positivamente com nitrogênio amoniacal, NTK e DBO, e negativamente com nitrito e nitrato em P7. Na E3 o grupo CLN do P7 apresentou correlação positiva com pH, alcalinidade parcial e DBO, e negativa com oxigênio dissolvido e nitrato. Na E4 não foram obtidas correlações significantes para os pontos P4 e P6. Já em P7, o grupo AMB foi correlacionado positivamente com NTK. O efluente bruto que alimentou o sistema foi tóxico em todas amostras coletadas tanto para *Vibrio fischeri* quanto para *Girardia tigrina*. Para o organismo *Vibrio fischeri* todos os valores de CE50 determinados para o efluente tratado foram considerados não tóxico em cada etapa. Para *Girardia tigrina* ocorreu redução gradual da toxicidade do esgoto tratado ao longo de E1, E2 e E3, e não foi observada toxicidade em E4. P7 se mostrou como o melhor ponto para caracterização da microfauna devido à maior frequência dos grupos da microfauna, além de gerar maior número de correlações com as variáveis do que os pontos P4 e P6. Além disso, foi possível concluir que o sistema combinado foi considerado eficiente na redução de toxicidade para as espécies utilizadas de acordo com os parâmetros de operação aplicados ao sistema.

Palavras chave: Protozoários; Ecotoxicologia; Nitrificação; Tratamento de efluente.

ABSTRACT

This study monitored an anaerobic-aerobic combined system aiming to characterize the microfauna contained in the aerobic reactor biomass and to determine its correlation to physical and chemical variables; it also aimed to assess the wastewater toxicity reduction of the system to the *Vibrio fischeri* and *Girardia tigrina* species. The treatment of wastewater with sanitary characteristics was accomplished by a pilot-scale system using an anaerobic filter (AF - 50 L) followed by a submerged aerobic biofilter (SAB - 150 L), both filled with support media, and a clarifier (50 - L). The system is installed at the Laboratório de Protótipos de Tratamento de Águas e Efluentes (LABPRO) from FEC/UNICAMP. The research was divided into 4 stages that differentiate from each other by the recirculation ratio of treated effluent over affluent in the system. In stage 1 (S1), there was no recirculation, so the recirculation ratio was 0. In stage 2 (S2), the ratio was 1,5; in stage 3 (S3), the ratio was 3,0 and in stage 4 (S4), the ratio was 4,0. Five sample points were monitored in the system: P1 - raw wastewater, P4 - 40 cm height in SAB, P6 - 140 cm height in SAB, P7 - 200 cm height in SAB, and P8 - treated wastewater. Samples were collected weekly for microfauna characterization and determination of physical and chemical variables, while toxicity essays were conducted 3 times at each stage: one at the start of the stage, one in the middle of the stage, and the last one at the end of the stage. The correlation was established between the groups that constitute microfauna - crawling ciliates (CC), free swimming ciliates (FSC), sessile ciliates (SC), testae amobae (TA), flagellates (F) and micrometazoa (MTZ), as well as physical and chemical variables, such as pH, temperature, dissolved oxygen, chemical oxygen demand (COD), and others. In S1, negative correlation was established between group F and the variables pH, partial alkalinity, total alkalinity and ammonia nitrogen for P4. In P7, positive correlation was determined between group SC and pH, partial alkalinity, total alkalinity, TKN and ammonia nitrogen, and negative correlation to nitrate. In S2 for P4, it was possible to positively correlate the group MTZ to nitrate, and negatively to partial alkalinity. The group FSC correlated positively to ammonia nitrogen, TKN and BOD, and negatively to nitrite and nitrate in P7. In S3, the FSC group of P7 correlated positively to pH, partial alkalinity and BOD, and negatively to dissolved oxygen and nitrate. In S4, no significant correlation was found for P4 and P6. For P7, the TA group showed positive correlation to TKN. The raw wastewater that fed the system was determined as toxic to all samples collected to *Vibrio fischeri* and *Girardia tigrina*. For the organism *Vibrio fischeri*, all CE50 values determined for treated wastewater were considered nontoxic in every stage. For *Girardia tigrina*, a gradual toxicity reduction occurred for treated wastewater during S1, S2, and S3, but in S4, all samples were nontoxic. From the results, P7 showed to be the best point for microfauna characterization due to the bigger frequency of microfauna groups in this point and because it generated more significant coefficients that correlated to variables than points P4 and P6. In addition, the combined system is considered efficient when it comes to reducing toxicity for the species used according to the operation parameters applied in the system.

Keywords: Protozoários; Ecotoxicologia; Nitrificação; Efluente treatment.

SUMÁRIO

RESUMO	vii
ABSTRACT	ix
SUMÁRIO	xi
AGRADECIMENTOS	xiii
LISTA DE FIGURAS	xv
LISTA DE TABELAS	xix
LISTA DE SIGLAS	xxiii
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	3
2.1 Objetivo geral	3
2.2 Objetivos específicos	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
3.1 Sistema combinado de tratamento de esgoto	5
3.2 Processo biológico de nitrificação e desnitrificação	5
3.3 Microfauna	6
3.4 Ecotoxicologia	11
3.4.1 <i>Vibrio fischeri</i>	12
3.4.2 <i>Giardia tigrina</i>	13
4. MATERIAL E MÉTODOS	17
4.1 Local de estudo	17
4.2 Origem do afluente	17
4.3 Aspectos construtivos	17
4.4 Pontos de coleta	20
4.5 Métodos analíticos	22
4.6 Controle operacional do sistema	23
4.7 Determinação da microfauna	24
4.8 Ensaios ecotoxicológicos	25
4.8.1 Preservação de amostras	25
4.8.2 <i>Vibrio fischeri</i>	25
4.8.3 <i>Giardia tigrina</i>	26

4.9	Análise dos dados	26
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
5.1	Etapa 1	27
5.1.1	Variáveis físicas e químicas	27
5.1.2	Caracterização da microfauna	34
5.1.3	Ensaio ecotoxicológicos	37
5.2	Etapa 2	40
5.2.1	Variáveis físicas e químicas	40
5.2.2	Caracterização da microfauna	49
5.2.3	Ensaio ecotoxicológicos	53
5.3	Etapa 3	55
5.3.1	Variáveis físicas e químicas	55
5.3.2	Caracterização da microfauna	63
5.3.3	Ensaio ecotoxicológicos	67
5.4	Etapa 4	69
5.4.1	Variáveis físicas e químicas	69
5.4.2	Caracterização da microfauna	78
5.4.3	Ensaio ecotoxicológicos	81
5.5	Caracterização da microfauna de todas as Etapas	82
5.6	Discussão Geral	84
6.	CONCLUSÃO	89
7.	RECOMENDAÇÕES	91
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	93
	ANEXO A – Tabela de dados para determinação do IBL	99

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Anete e Edson e irmão Gabriel, por todo o suporte, amor e compreensão dos momentos de ausência para a realização desse trabalho.

Ao Professor Dr. Edson Aparecido Abdul Nour pela orientação, atenção, paciência, confiança e principalmente, por se preocupar em me ensinar a pesquisar e criticar.

Ao doutorando Mario Luiz Rodrigues Foco pela cooperação na concepção, construção, monitoramento, operação e revezamento na manutenção do sistema, e pelos ensinamentos.

Aos técnicos do LABSAN-FEC Enelton Fagnani, Fernando Candello e Lígia Maria Domingues, por todo o auxílio, prontidão, disponibilidade e ensinamentos prestados no desenvolvimento do trabalho.

Ao técnico do LABSAN-FEAGRI Giovani Brota por todo auxílio, prontidão disponibilidade, ensinamentos e ajuda na realização dos ensaios de toxicidade com *Vibrio fischeri*.

Ao Departamento de Saneamento e Ambiente da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo e à todos os funcionários que de alguma forma colaboraram diretamente ou indiretamente para o desenvolvimento desse trabalho.

Aos pesquisadores e professores: Adriano Tonetti pela participação na qualificação, Maria Bernadete Amâncio Varesche e Cassiana Maria Reganhan Coneglian na defesa.

À Professora Dr^a Regina Maura Bueno Franco, Isabel Siqueira e em especial à Sandra Yamashiro do Laboratório de Protozoologia – Departamento de Biologia Animal-IB, por toda paciência, amizade, cooperação e ensinamentos ao longo do trabalho.

A todos que participaram do revezamento para limpar a caixa de passagem que abastece os sistemas em operação no LABPRO, em especial Jenifer, Lays, Talita, Mario e Daniel.

À FAPESP pela bolsa de mestrado concedida, processo 2012/11252-8 Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo.

Aos amigos Paulo Ângelo e Gabriela por toda ajuda na correção da dissertação, suas sugestões foram muito bem vindas.

A todos amigos da pós-graduação: Bianca, Denise, Gabriela, Jenifer, Jorge, Julyenne, Lays, Marcela, Maiara, Roberto e Talita, por todas as conversas e apoio.

Aos moradores e ex-moradores da república “Depois Eu?”, pela amizade, conversas, apoio e infinitos momentos de risadas, descontração e diversão. Em especial Cris, Cotuca,

Higuita, Tito, Paulo, Francês, Michel, Kill, Pastel, Édinho, Carioca, Fernando e Daniel, vocês contribuíram todos de alguma forma nesse trabalho.

Às amigas Cabs, Zóio e Gabi, por estarem presentes sempre que possível, por toda ajuda, pelos ouvidos amigos e pelas inúmeras conversas e troca de experiências, vocês são muito especiais.

Aos amigos dos tempos de graduação com os quais me encontrei eventualmente e sempre tive excelentes momentos. Em especial Aline, Glauco, Samili, Talita, Camila, Carol, Gustavo e Mariana.

Aos amigos do trapézio e do tecido, por gerar momentos de intensa paz e descontração nas minhas turbulentas semanas. Em especial Caio, Camila, Isabela e Diego.

A todos que contribuíram de alguma forma para a conclusão deste trabalho.

LISTA DE FIGURAS

Figura 4.1 Esquema da instalação experimental	18
Figura 4.2: Meio suporte utilizado no FA e no BAS.....	19
Figura 4.3: Fotografia do sistema piloto de tratamento de esgoto anaeróbio-aeróbio utilizado na pesquisa	19
Figura 4.4: Dispositivo de aeração do BAS	20
Figura 4.5: Pontos de coleta do BAS.....	21
Figura 4.6: Fluxograma experimental do sistema de tratamento	23
Figura 5.1: Box plot dos valores de pH nos pontos de amostragem avaliados na Etapa 1	28
Figura 5.2: Box plot dos valores de alcalinidade parcial nos pontos de amostragem avaliados na Etapa 1	28
Figura 5.3: Box plot dos valores de alcalinidade total nos pontos de amostragem avaliados na Etapa 1	29
Figura 5.4: Box plot dos valores de ácidos orgânicos voláteis nos pontos de amostragem avaliados na Etapa 1	30
Figura 5.5: Box plot dos valores de DQO nos pontos de amostragem avaliados na Etapa 1.....	31
Figura 5.6: Box plot dos valores de Nitrogênio Amoniacal nos pontos de amostragem avaliados na Etapa 1	32
Figura 5.7: Box plot dos valores de NTK nos pontos de amostragem avaliados na Etapa 1	32
Figura 5.8: Box plot dos valores de nitrito nos pontos de amostragem avaliados na Etapa 1	33
Figura 5.9: Box plot dos valores de nitrato nos pontos de amostragem avaliados na Etapa 1	33
Figura 5.10: Número de organismos por mililitro no período de 100 dias nos pontos de amostragem avaliados.....	35
Figura 5.11: Box plot dos valores de temperatura nos pontos de amostragem avaliados na Etapa 2	41
Figura 5.12: Box plot dos valores de oxigênio dissolvido nos pontos de amostragem avaliados na Etapa 2	42
Figura 5.13: Box plot dos valores de pH nos pontos de amostragem avaliados na Etapa 2	43
Figura 5.14: Box plot dos valores de alcalinidade parcial nos pontos de amostragem avaliados na Etapa 2	43

Figura 5.15: Box plot dos valores de alcalinidade total nos pontos de amostragem avaliados na Etapa 2	44
Figura 5.16: Box plot dos valores de ácidos orgânicos voláteis nos pontos de amostragem avaliados na Etapa 2	45
Figura 5.17: Box plot dos valores de nitrogênio amoniacal nos pontos de amostragem avaliados na Etapa 2	46
Figura 5.18: Box plot dos valores de nitrogênio total kjeldahl nos pontos de amostragem avaliados na Etapa 2	47
Figura 5.19: Box plot dos valores de nitrito nos pontos de amostragem avaliados na Etapa 2.....	47
Figura 5.20: Box plot dos valores de nitrato nos pontos de amostragem avaliados na Etapa 2....	48
Figura 5.21: Box plot dos valores de DQO nos pontos de amostragem avaliados na Etapa 2.....	49
Figura 5.22: Número de organismos por mililitro ao longo do tempo de operação da Etapa 2 nos pontos de amostragem avaliados.	51
Figura 5.23: Box plot dos valores de temperatura nos pontos de amostragem avaliados na Etapa 3	56
Figura 5.24: Box plot dos valores de oxigênio dissolvido nos pontos de amostragem avaliados na Etapa 3	57
Figura 5.25: Box plot dos valores de pH nos pontos de amostragem avaliados na Etapa 3	58
Figura 5.26: Box plot dos valores de alcalinidade parcial nos pontos de amostragem avaliados na Etapa 3	58
Figura 5.27: Box plot dos valores de alcalinidade total nos pontos de amostragem avaliados na Etapa 3	59
Figura 5.28: Box plot dos valores de ácidos orgânicos voláteis nos pontos de amostragem avaliados na Etapa 3	60
Figura 5.29: Box plot dos valores de nitrogênio amoniacal nos pontos de amostragem avaliados na Etapa 3	61
Figura 5.30: Box plot dos valores de nitrogênio total kjeldahl nos pontos de amostragem avaliados na Etapa 3	61
Figura 5.31: Box plot dos valores de nitrito nos pontos de amostragem avaliados na Etapa 3.....	62
Figura 5.32: Box plot dos valores de nitrato nos pontos de amostragem avaliados na Etapa 3....	62
Figura 5.33: Box plot dos valores de DQO nos pontos de amostragem avaliados na etapa 3	63

Figura 5.34: Número de organismos por mililitro ao longo do tempo de operação da Etapa 3 nos pontos de amostragem avaliados	65
Figura 5.35: Box plot dos valores de temperatura nos pontos de amostragem avaliados na Etapa 4	70
Figura 5.36: Box plot dos valores de oxigênio dissolvido nos pontos de amostragem avaliados na Etapa 4	71
Figura 5.37: Box plot dos valores de pH nos pontos de amostragem avaliados na Etapa 4	72
Figura 5.38: Box plot dos valores de alcalinidade parcial nos pontos de amostragem avaliados na Etapa 4	72
Figura 5.39: Box plot dos valores de alcalinidade total nos pontos de amostragem avaliados na Etapa 4	73
Figura 5.40: Box plot dos valores de ácidos orgânicos voláteis nos pontos de amostragem avaliados na Etapa 4	74
Figura 5.41: Box plot dos valores de nitrogênio amoniacal nos pontos de amostragem avaliados na Etapa 4	75
Figura 5.42: Box plot dos valores de nitrogênio total kjeldahl nos pontos de amostragem avaliados na Etapa 4	76
Figura 5.43: Box plot dos valores de nitrito nos pontos de amostragem avaliados na Etapa 4.....	76
Figura 5.44: Box plot dos valores de nitrato nos pontos de amostragem avaliados na Etapa 4....	77
Figura 5.45: Box plot dos valores de DQO nos pontos de amostragem avaliados na etapa 4	77
Figura 5.46: Número de organismos por mililitro ao longo do tempo de operação da Etapa 4 nos pontos de amostragem avaliados.....	79
Figura 5.47: Organismos dos grupos componentes da microfauna. (a) <i>Sterkiella</i> sp. CPF, (b) <i>Paramecium</i> sp. CLN, (c) <i>Vorticella</i> sp. CF, (d) <i>Arcella</i> sp. AMB, (e) <i>Entosiphon</i> sp. F, (f) <i>Rhabditis</i> MTZ. Fonte(Arquivo pessoal).....	83

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Classificação utilizada para agrupar os organismos da microfauna e principais características dos grupos	7
Tabela 3.2 – Conversão do Índice Biológico do Lodo (IBL) em quatro classes de qualidade e respectivas características do sistema.....	10
Tabela 3.3: Emprego do organismo <i>Vibrio fischeri</i> em pesquisas	13
Tabela 3.4: Emprego do organismo <i>Girardia tigrina</i> em pesquisas	15
Tabela 4.1 Métodos empregados nos ensaios laboratoriais.....	22
Tabela 4.2 Avaliação microbiológica e ensaios ecotoxicológicos empregados.....	22
Tabela 4.3 Etapas de desenvolvimento do projeto	23
Tabela 5.1: Valores médios e desvio-padrão das variáveis avaliadas para cada ponto de amostragem na primeira etapa.....	27
Tabela 5.2: Frequência de grupos da microfauna observada na etapa 1 (n=15 amostras coletadas)	35
Tabela 5.3: Coeficientes de correlação entre as variáveis físicas e químicas para P4	36
Tabela 5.4: Coeficientes de correlação entre as variáveis físicas e químicas para P6	36
Tabela 5.5: Coeficientes de correlação entre as variáveis físicas e químicas para P7	37
Tabela 5.6: Resultados dos ensaios ecotoxicológicos para os pontos P1 e P8 do sistema de tratamento para o 93°, 121° e 163° dias de operação.....	38
Tabela 5.7: Valores médios e desvio- padrão das variáveis avaliadas para cada ponto de amostragem na segunda etapa.	40
Tabela 5.8: Frequência de grupos da microfauna observada na etapa 2 (n=12 amostras coletadas)	49
Tabela 5.9: Coeficientes de correlação entre as variáveis físicas, químicas e biológicas para P4	51
Tabela 5.10: Coeficientes de correlação entre as variáveis físicas, químicas e biológicas para P6	52
Tabela 5.11: Coeficientes de correlação entre as variáveis físicas, químicas e biológicas para P7	52
Tabela 5.12: Resultados dos ensaios ecotoxicológicos para os pontos P1 e P8 do sistema de tratamento para o 172°, 221° e 249° dias de operação.....	54

Tabela 5.13: Valores médios e desvio- padrão das variáveis avaliadas para cada ponto de amostragem na terceira etapa.	55
Tabela 5.14: Frequência de grupos da microfauna observada na Etapa 3 (n=12 amostras coletadas).....	64
Tabela 5.15: Coeficientes de correlação entre as variáveis físicas, químicas e biológicas para P4	65
Tabela 5.16: Coeficientes de correlação entre as variáveis físicas, químicas e biológicas para P6	66
Tabela 5.17: Coeficientes de correlação entre as variáveis físicas, químicas e biológicas para P7	66
Tabela 5.18: Resultados dos ensaios ecotoxicológicos para os pontos P1 e P8 do sistema de tratamento para o 256°, 298° e 333° dias de operação.....	67
Tabela 5.19: Valores médios e desvio- padrão das variáveis avaliadas para cada ponto de amostragem na quarta etapa.	69
Tabela 5.20: Frequência de grupos da microfauna observada na Etapa 4 (n=6 amostras coletadas)	78
Tabela 5.21: Coeficientes de correlação entre as variáveis físicas, químicas e biológicas para P4	80
Tabela 5.22: Coeficientes de correlação entre as variáveis físicas, químicas e biológicas para P6	80
Tabela 5.23: Coeficientes de correlação entre as variáveis físicas, químicas e biológicas para P7	80
Tabela 5.24: Resultados dos ensaios ecotoxicológicos para os pontos P1 e P8 do sistema de tratamento para o 340° e 375° dias de operação.....	81
Tabela 5.25: Frequência de grupos da microfauna observada em todas etapas.	82
Tabela 5.29: Porcentagem de amostras segundo a classe do IBL (n=45 amostras).	84
Tabela 1: Número total de ciliados, grupos dominantes, Índice Biótico de Lodo e classe da amostra P4.	100
Tabela 2: Número total de ciliados, grupos dominantes, Índice Biótico de Lodo e classe da amostra P6.	102

Tabela 3: Número total de ciliados, grupos dominantes, Índice Biótico de Lodo e classe da amostra P7.	104
--	-----

LISTA DE SIGLAS

AMB - Amebas

AOV – Ácidos Orgânicos Voláteis

AP – Alcalinidade Parcial

AT – Alcalinidade Total

BAS – Biofiltro Aerado Submerso

CE50 – Concentração causadora de efeito adverso efetivo médio a 50% dos organismos estudados.

CF – Ciliados fixos

CLN – Ciliados livre natantes

CL50 – concentração letal média a 50% dos organismos estudados.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

CPF – Ciliados pedradores de flocos

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

DQO – Demanda Química de Oxigênio

F - Flagelados

FA – Filtro Anaeróbio

FEAGRI – Faculdade de Engenharia Agrícola

FEC – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo

IBL – Índice Biótico de Lodo

LABPBIO – Laboratório de Processos Biológicos

LABPRO – Laboratório de Protótipos de Tratamento de Águas e Efluentes

LABSAN – Laboratório de Saneamento

MTZ - Micrometazoários

NTK – Nitrogênio Total Kjeldhal

OD – Oxigênio Dissolvido

pH – Potencial hidrogeniônico

SC – Sistema Combinado

1. INTRODUÇÃO

Diversas pesquisas comprovam que em sistemas de tratamento aeróbio de esgotos existem alguns componentes responsáveis pela obtenção do esgoto tratado, tais como concentração de oxigênio dissolvido, de matéria orgânica, tempo de detenção hidráulica e organismos constituintes da microfauna. Dentre esses componentes, a microfauna é um fator determinante na avaliação da qualidade do efluente tratado.

A microfauna de reatores aeróbios é composta por protozoários, amebas e metazoários. Devido à sensibilidade ao meio que estão situados, existe uma variação desses organismos de acordo com a operação do processo de tratamento de esgoto. Logo, sistemas que objetivam remoção de matéria orgânica de esgoto possuem microfauna específica, enquanto sistemas focados na remoção de nutrientes possuem outra variação dessa população. Além disso, essa microfauna pode variar de acordo com mudanças no tempo de detenção hidráulica (TDH) e taxas de carregamento orgânico (TCO) do sistema. A partir de dados físicos, químicos e biológicos obtidos pela caracterização do esgoto é possível correlacionar as variáveis analisadas da microfauna presentes na mesma amostra.

Na literatura existem extensos relatos de caracterização de microfauna em sistemas aeróbio sem meio suporte (biomassa dispersa). Entretanto, há poucos relatos da caracterização de microfauna em sistemas aeróbios contendo reatores com meio suporte (biomassa aderida). Sabe-se que em sistemas com biomassa dispersa, a microfauna se altera quando o sistema está nitrificando, já quando o sistema passa a desnitrificar, a microfauna é composta por outros organismos, observando-se variação na população existente.

De acordo com Bento *et al.* (2005), no Brasil os sistemas de tratamento de esgoto são predominantemente monitorados e controlados por determinações de análises físicas e químicas. Raros são os locais onde se utilizam observações microscópicas para se avaliar o sistema de tratamento. A falta de utilização de observações microscópicas se deve principalmente à falta de mão-de-obra qualificada e quando essa opção é utilizada, ela é aplicada por curtos períodos de tempo e os resultados obtidos geralmente são subutilizados.

Desse modo, o trabalho objetiva correlacionar as determinações físicas, químicas e biológicas à caracterização e quantificação da microfauna presente ao longo da altura do biofiltro aerado submerso. Tal correlação ocorre sob diferentes condições de operação, de forma a possibilitar a utilização da caracterização da microfauna presente como ferramenta adicional no

monitoramento de sistemas de tratamento, contribuindo para identificar possíveis problemas operacionais.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O objetivo principal deste trabalho foi caracterizar a microfauna contida na biomassa aderida presente em um biofiltro aerado submerso (BAS), tratando esgoto sanitário, e verificar sua correlação com variáveis físicas e químicas, além de avaliar a redução de toxicidade ocorrida no sistema utilizando organismos de diferentes níveis tróficos: *Vibrio fischeri* e *Girardia tigrina*, propondo assim uma ferramenta adequada para o monitoramento de biofiltros aerado submersos.

2.2 Objetivos específicos

- Caracterizar a microfauna (ciliados livre natantes, ciliados predadores de flocos, ciliados fixos, flagelados, amebas e micrometazoários) encontrada no BAS em diferentes pontos de amostragem ao longo de sua altura;
- Avaliar a toxicidade do esgoto bruto e tratado, e a consequente eficiência na redução dessa toxicidade aos organismos *Vibrio fischeri* (CE50) e *Girardia tigrina* (CL50);
- Avaliar a relação entre microfauna e as principais variáveis físicas e químicas determinantes na operação do sistema quando houver ocorrência dos processos de nitrificação e desnitrificação.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Sistema combinado de tratamento de esgoto

Os processos anaeróbios são vantajosos devido à baixa produção de lodo, ao baixo consumo de energia, à baixa demanda de área e aos baixos custos de implementação. Já os processos aeróbios são vantajosos quanto à redução de carga orgânica e à conversão de compostos nitrogenados para a sua forma mais oxidada. Com a combinação de ambos os processos, é possível alcançar diminuição satisfatória da carga orgânica e de nitrogênio total do efluente com menor geração de lodo, aliado a operação mais robusta do sistema (VAN HAANDEL e LETTINGA, 1994; CHERNICARO, 2007; KASSAB *et. al*, 2010).

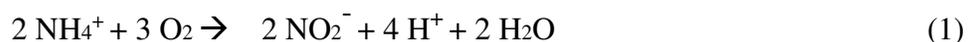
Atualmente, os sistemas combinados anaeróbio-aeróbio são empregados em sistemas de tratamento de esgoto e em diversas pesquisas com objetivos específicos, tais como: remoção de corantes azo (LI *et al.*, 2010), mineralização de biossólidos (PARAMESWARAN e ANDERSON, 2007), tratamento de efluentes com alta carga orgânica (REBAH *et al.*, 2010), alta carga de compostos aromáticos (CHEN *et al.*, 2009), remoção de nutrientes com adição de carbono orgânico (ZHENG *et al.*, 2009), tratamento de esgoto contendo formaldeído (CASTAGNATO, 2006; BATISTA, 2007; SANTOS, 2011), entre outros. Dentre as pesquisas citadas, cada uma utiliza diferentes concepções de reatores anaeróbios e aeróbios para constituir o sistema combinado.

3.2 Processo biológico de nitrificação e desnitrificação

O nitrogênio é um importante componente no meio ambiente aquático, sendo um nutriente indispensável para o crescimento de algas e a toda microbiota presente. Entretanto, quando encontrado em elevadas concentrações é considerado um poluente que pode causar efeitos adversos ao corpo d'água, como por exemplo, crescimento exagerado de algas (devido à eutrofização) e depleção do oxigênio dissolvido (devido à nitrificação). Na forma de amônia livre, o nitrogênio é extremamente tóxico aos peixes, e na forma de nitrato, pode causar a doença metahemoglobinemia em recém-nascidos (síndrome do bebê azul). A legislação brasileira, Resolução CONAMA 357/2005, possui padrões para descarte em corpos hídricos referentes à concentração de nitrogênio amoniacal total em efluentes finais (20 mg/L N). Portanto, a remoção

de nitrogênio de efluentes é de extrema importância (MOTA e VON SPERLING, 2009; BRASIL, 2005).

A nitrificação é um processo de oxidação no qual o íon amônio (NH_4^+) é convertido em nitrito (NO_2^-) e este em nitrato (NO_3^-). O processo é suscetível a fatores ambientais, tais como pH, toxicidade, metais e amônia não ionizada. Os micro-organismos responsáveis pela nitrificação são autótrofos quimiossintetizantes, pertencentes ao gênero *Nitrossomonas* (produção de nitrito) e *Nitrobacter* (produção de nitrato), os quais utilizam o gás carbônico como fonte de carbono. A nitrificação ocorre de acordo com as equações 1 e 2 (TCHOBANOGLIOUS *et al.*, 2003).



No processo de nitrificação, para cada grama de íon amônio oxidado, completamente, são utilizados 4,57 gramas de oxigênio. Também são consumidos 7,14 gramas de alcalinidade, em termos de carbonato de cálcio, para cada grama de íon de amônio oxidado até nitrato (TCHOBANOGLIOUS *et al.*, 2003).

Já o processo de desnitrificação consiste na redução do nitrato a óxido nítrico, depois a óxido nitroso e finalmente a nitrogênio gasoso. O processo é realizado por micro-organismos heterotróficos anaeróbios facultativos que utilizam o nitrito e o nitrato como receptor de elétrons, provenientes de uma fonte de matéria orgânica, reduzindo-os a nitrogênio gasoso. A reação global da desnitrificação é descrita na equação 3 (TCHOBANOGLIOUS *et al.*, 2003).



No processo de desnitrificação, para cada grama de nitrato reduzido são gerados 3,57 gramas de alcalinidade, em termos de carbonato de cálcio. Também são consumidos cerca de 4 gramas de DBO para a redução de um grama de nitrato (TCHOBANOGLIOUS *et al.*, 2003).

3.3 Microfauna

No processo aeróbio, a biomassa microbiana é constituída substancialmente por bactérias e pelos organismos que compõem a microfauna (protozoários e metazoários). Enquanto as

bactérias são as principais responsáveis pela depuração da matéria orgânica contida em efluentes e estruturação de flocos. A microfauna age consumindo parte da matéria orgânica, bactérias livres (cooperando com a manutenção da comunidade bacteriana), removendo organismos patogênicos e participando na formação de flocos dentro do reator. (VON SPERLING, 1996; BENTO *et al.*, 2005).

A microfauna é agrupada de acordo com Jenkins *et al.*(1993), Madoni (1994)(b), Figueiredo e Domingues (1997) e Bento *et al.* (2005) em Ciliados Predadores de Flocos (CPF), Ciliados Livres Natantes (CLN), Ciliados Fixos (CF), Tecamebas (TAMB), Amebas Nuas (AMN), Flagelados (F) e Rotíferos, Nematóides, Anelídeos e Tardígrafos (MTZ). Embora, já tenham sido observadas por volta de 230 espécies em sistemas de tratamento aeróbio, somente as espécies descritas na Tabela 3.1 são observadas com maior frequência.

Tabela 3.1 – Classificação utilizada para agrupar os organismos da microfauna e principais características dos grupos

Grupos	Classificação	Breve descrição	Gêneros
Ciliados	Ciliados Predadores de Flocos (CPF)	Embora sejam formas livres, habitam a superfície do floco. Possuem a célula achatada dorsoventralmente e cílios modificados e agrupados na parte do corpo que fica em contato com o substrato. São vorazes predadores de bactérias.	<i>Sterkiella sp.</i> <i>Aspidisca sp.</i>
	Ciliados Livres Natantes (CLN)	Possuem cílios distribuídos regularmente por toda a célula e nadam livremente entre os flocos. São predadores e carnívoros.	<i>Paramecium sp.</i> <i>Metopus sp.</i> <i>Tetrahymena sp.</i>
	Ciliados Fixos (CF)	Ficam unidos ao substrato por pedúnculo, sendo algumas espécies coloniais. Os cílios encontram-se na região anterior do corpo, próximo à cavidade oral.	<i>Vorticella sp.</i> <i>Podophrya sp.</i>
Amebas (AMB)	Tecamebas (TAMB)	Possuem revestimento externo constituído por proteínas, sílica, calcário, ferro, etc.	<i>Arcella sp.</i>
	Amebas Nuas (ANM)	Não possuem forma definida, tem corpo mole.	<i>Amoeba sp.</i>
Flagelados	Flagelados (F)	São flagelados não pigmentados podendo ter de um a vários flagelos. Ingerem matéria sólida ou	<i>Peranema sp.</i>

		substâncias orgânicas dissolvidas.	
Micrometazoários	Rotíferos, Nematóides, Anelídeos, Tardígrafos (MTZ)	São organismos pluricelulares de vários filos. Possuem lenta taxa de crescimento, sendo a maioria composta por predadores de bactérias e protozoários.	<i>Philodinavus sp.</i> <i>Epiphanes sp.</i>

Fonte: Adaptado de Bento et al., 2005.

Diversos estudos determinaram que a microfauna presente em reatores aeróbios podem servir como indicadora tanto da qualidade do efluente tratado quanto da condição de operação do sistema de tratamento, por ser sensível às mudanças físicas, químicas, ambientais e operacionais. As alterações na microfauna podem ser devidas à aeração, idade do lodo, taxa de carregamento orgânico, remoção de sólidos suspensos, presença de compostos tóxicos, nitrificação e à relação matéria orgânica/micro-organismo (MADONI, 1993; MADONI 1994 (a); LORDA-DE-LOS-RÍOS *et al.*, 2002; BENTO *et al.*, 2005; ZHOU *et al.*, 2008; NTOUGIAS *et al.*, 2011). Em decorrência de todas essas possíveis correlações, caracterizar a microfauna de um reator é uma ferramenta valiosa para a sua operação e manutenção da qualidade do efluente final.

Dentre os estudos citados, todos têm em comum o sistema de tratamento utilizado, que é o Sistema de Lodos Ativados. Há pouca literatura referente à caracterização de microfauna em sistemas combinados, dentre os existentes podem ser citados os trabalhos de Pérez-Uz *et al.* (2010) Dubber e Gray (2011) e Goulart (2013).

No trabalho de Pérez-Uz *et al.* (2010) foi realizado o monitoramento de 3 estações de tratamento de esgoto na Espanha concebidas para a remoção de nitrogênio. O principal objetivo do trabalho foi avaliar a correlação entre a comunidade de protistas presente entre estações de tratamento avançado e estações convencionais de lodos ativados. O monitoramento das 3 estações foi realizado ao longo de um ano, ocorrendo coleta mensal de amostras nas estações. Foi constatado que as comunidades protistas de sistemas avançados para remoção de nitrogênio são diferentes das comunidades existentes em sistemas convencionais e que o grupo de amebas apresentou diminuição em sua população de acordo com a diminuição da remoção de compostos nitrogenados no sistema. Enquanto, os organismos flagelados apresentaram correlação positiva com o aumento das taxas de nitrificação e os protozoários ciliados mostraram relação com DQO.

Dubber e Gray (2011) utilizaram quatro reatores sequenciais em batelada alternando períodos anaeróbios e anóxicos para avaliar o efeito desses períodos em comunidades aeróbias da microfauna. Avaliaram também a eficiência com relação à redução da concentração de matéria orgânica, da nitrificação e da desnitrificação. Os reatores utilizados tinham volume de 3,4 L e foram operados em dois ciclos por dia utilizando diferentes períodos anóxico/anaeróbio de 0, 60, 120 e 200 minutos nos reatores 1, 2, 3 e 4, respectivamente. Em cada ciclo, os reatores recebiam 1,7 L de esgoto sintético. O tempo de detenção hidráulica foi de 1 dia. Os reatores foram monitorados por 24 dias. Ao fim da pesquisa pôde-se concluir que organismos do grupo de ciliados fixos e ciliados predadores de flocos sobreviveram a longos períodos anóxicos e anaeróbios, houve diminuição da comunidade de protozoários com o aumento de períodos anóxico/anaeróbio. O período de 60 minutos obteve os melhores resultados com relação à eficiência de redução da concentração de matéria orgânica (98%), da nitrificação (80-90%) e à presença de uma comunidade de protozoários da microfauna diversa e abundante.

Goulart (2013) desenvolveu sua pesquisa utilizando um sistema combinado de filtro anaeróbio seguido de biofiltro aerado submerso em escala de bancada (cujas configurações influenciaram diretamente a concepção do sistema combinado em escala piloto utilizado nesse trabalho) e uma estação de tratamento de esgoto da cidade de Campinas. O principal foco de seu trabalho foi avaliar a eficiência dos sistemas com relação à remoção de protozoários patogênicos (*Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp.), além de caracterizar a microfauna para avaliar e monitorar os sistemas. O sistema em escala de bancada foi composto por filtro anaeróbio com volume de 32,6 L e biofiltro aerado submerso com volume de 17,6 L, ambos preenchidos com meio suporte. O sistema foi operado por seis etapas, as quais se diferenciaram pelo aumento da razão de recirculação de efluente tratado no sistema a partir da terceira etapa. O sistema foi monitorado ao longo de 437 dias, quando foram realizadas coletas semanais de amostras. Os resultados gerados a partir dos dados do efluente tratado indicaram a correlação negativa do grupo CPF com DQO, DBO₅, NTK, nitrogênio amoniacal e nitrito. Os grupos CLN e CF apresentaram correlação negativa para DQO e DBO₅, o grupo AMB teve correlação positiva com OD, nitrito e nitrato, o grupo F não apresentou correlações para nenhuma das variáveis e o grupo MTZ apresentou correlação positiva para nitrogênio total e amônia.

Madoni (1994)(b), depois de mais de 20 anos avaliando e caracterizando a microfauna de estações de tratamento de esgoto por lodos ativados, propôs um Índice Biótico de Lodo (IBL), o qual classifica a qualidade do tratamento de acordo com a microfauna presente no sistema de tratamento. O método é baseado na sensibilidade de alguns grupos-chaves de micro-organismos às variáveis físicas e químicas e de operação e à abundância e diversidade dos mesmos, determinados em 45 reatores. Na presente pesquisa, o IBL será utilizado para avaliar o sistema combinado.

Os valores do IBL e seus respectivos significados são apresentados na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 – Conversão do Índice Biológico do Lodo (IBL) em quatro classes de qualidade e respectivas características do sistema

Valor do IBL	Classe	Características
8 – 10	I	Sistema bem colonizado com excelente atividade biológica e ótimo desempenho.
6 – 7	II	Lodo estável e bem colonizado, atividade biológica em declínio e bom desempenho.
4 – 5	III	Insuficiente depuração biológica no tanque de aeração e médio desempenho.
0 – 3	IV	Fraca depuração biológica no tanque de aeração e baixo desempenho.

Fonte: Madoni 1994(b).

O IBL é determinado com o auxílio de uma tabela produzida por Madoni (1994)(b). É importante ressaltar que tal índice foi estabelecido somente a partir de sistema de tratamento com biomassa dispersa (lodos ativados). Desde então, pesquisadores que trabalham com microfauna utilizam o IBL para avaliar seus sistemas. Bento *et al.* (2005) Zhou *et al.* (2008), dentre outros adotaram o índice para avaliar e monitorar o desempenho de seus sistemas de tratamento e encontraram resultados condizentes com a proposta do índice. Entretanto, outros pesquisadores vem criticando o índice, pois este não refletiu com fidedignidade o desempenho de seus sistemas de tratamento de acordo com as variáveis físicas e químicas (DRZEWICKI e KULIKOWSKA, 2011; GOULART, 2013).

Drzewicki e Kulikowska (2011), monitorando uma estação de tratamento de esgoto que recebia eventualmente altas cargas de matéria orgânica e nitrogênio (advindo de tanques sépticos), determinaram altos valores de IBL (7 – 10) durante toda a pesquisa devido à

composição taxonômica abundante, independente da qualidade do efluente, que era baixa quando o sistema recebia as altas cargas de afluente. Logo, o índice não foi representativo com a realidade do sistema de tratamento.

Goulart (2013) calculou o IBL para o sistema anaeróbio-aeróbio em escala de bancada em que monitorou. Em sua pesquisa, 78,6% das amostras foram classificadas como classe IV, 12,9% como classe III e 8,6% como classe II. Ao fim, concluiu que o índice não estava de acordo com os dados físicos e químicos.

3.4 Ecotoxicologia

A ecologia é a ciência que estuda as relações entre os seres vivos e o ambiente. Pode também ser conceituada como o estudo do aproveitamento e da distribuição da energia no sistema. Por meio da toxicologia, por outro lado, estuda-se os efeitos deletérios de substâncias em um determinado organismo. Apesar das duas ciências possuírem estruturas e direcionamentos distintos, ambas estudam a questão da poluição ambiental. A partir da junção dos conhecimentos da ecologia e da toxicologia surgiu a ecotoxicologia (ZAGATTO e BERTOLETTI, 2008).

Por meio da ecotoxicologia é possível avaliar os danos ocorridos nos diversos ecossistemas após contaminação e ainda permite prever futuros impactos que possam vir a ocorrer, como os advindos da comercialização de produtos químicos e/ou lançamentos de despejos em um determinado ambiente. Análises estatísticas e modelagem matemática vêm sendo utilizadas como ferramentas essenciais na quantificação dos efeitos biológicos e na determinação da probabilidade de ocorrência desses efeitos biológicos sobre diferentes condições ambientais (ZAGATTO e BERTOLETTI, 2006). Os ensaios ecotoxicológicos são realizados expondo organismos vivos à diversas concentrações da amostra a ser analisada. Dentre os organismos utilizados podem ser citados a bactéria *Vibrio fischeri*, a alga *Pseudokirchneriella subcapitata*, o cladóceros *Daphnia similis*, o platelminto *Girardia tigrina* e o peixe *Danio rerio*.

Nessa pesquisa os organismos escolhido para realização de ensaios de toxicidade foram *Vibrio fischeri* e *Girardia tigrina*.

3.4.1 *Vibrio fischeri*

Vibrio fischeri é uma bactéria gram-negativa, tipicamente de águas salgadas (ambientes marinhos), anaeróbia facultativa, bioluminescente encontrada em simbiose com outros animais. É devido as duas últimas características citadas que a *Vibrio fischeri* tem sido cada vez mais utilizada como microorganismo teste para ensaios de toxicidade aguda (SCHEERER *et. al.*, 2006).

Por ela ser anaeróbia facultativa, existem diversas possibilidades de sua aplicação: amostras superficiais e subterrâneas, efluentes complexos, esgoto sanitário e sedimentos. O ensaio de inibição da bioluminescência tem sido aplicado como uma ferramenta rápida e sensível para a determinação de toxicidade da amostra a ser analisada como um todo (SCHEERER *et. al.*, 2006; PARVEZ *et. al.*, 2006).

Em 1979, Bulish desenvolveu a técnica para utilizar a bactéria, enquanto a Beckman Instrumentos Inc. patenteou e comercializou o Sistema Microtox® 1982, o qual é representado atualmente pela SDIX. O sistema consiste em um fotômetro de precisão, o qual detecta a bioluminescência emitida pela bactéria, culturas liofilizadas da bactéria, cubetas especiais para realização do ensaio, além de reagentes de reativação e diluição da cultura liofilizada (BROTA, 2012).

Na Tabela 3.3 é apresentado levantamento bibliográfico do emprego da bactéria *Vibrio fischeri* em pesquisas.

Tabela 3.3: Emprego do organismo *Vibrio fischeri* em pesquisas

Tipo de Amostra	Composto avaliado	Referência Bibliográfica
Efluente farmacêutico	Amoxicilina, canamicina, lincomicina e cirprofloxacina	Ji <i>et al.</i> , 2013
Solução preparada	MTBE misturado com diuron, linuron, diclofluanida, sea nine, irgarol e TBT	Hernando <i>et al.</i> , 2003
Efluente têxtil	11 corantes e 8 substâncias auxiliares no processo	Wang <i>et al.</i> , 2002
Solução preparada	Nanopartículas de boro, dióxido de titânio e alumínio	Strigul <i>et al.</i> , 2009
Solo	Cádmio e chumbo	An <i>et al.</i> , 2012
Solução preparada	Carbofurano, cyromazine, fenamifos, formetanato e propamocarbo	Fernandez-Alba <i>et al.</i> , 2001
Esgoto tratado	Amostras que passaram por processo de cloração-decloração	Bayo <i>et al.</i> , 2009
Água e solução preparada	Citronela e efluente tratado pós irrigação contendo adubação	Brota, 2012

MTBE - Methyl-tert-butyl ether ; TBT - ributyltin

Além do organismo vir sendo utilizado em diversas pesquisas, como pôde ser observado na Tabela 3.3, o ensaio de toxicidade utilizando o equipamento Microtox® já está incluído desde a 19ª Edição do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, de 1995 (BROTA, 2012).

Em razão dos fatores citados, a bactéria *Vibrio Fischeri* é excelente bioindicador de toxicidade devido à rapidez do resultado, reprodutibilidade, custo baixo, fácil operação e por não existirem problemas éticos com relação ao uso dessa bactéria, o que não ocorre no caso de peixes, ratos e coelhos (PARVEZ *et al.*, 2006).

3.4.2 *Girardia tigrina*

A *Girardia tigrina* é uma espécie de planária, pertencente à infra-ordem Paludicola (Platyhelminthes: Tricladia). São acelomados de vida livre, possuem metabolismo complexo, tecidos e órgãos especializados, além de apresentarem simetria bilateral, cópula interna e cefalização. Em ecossistemas límnicos, são de grande importância, possuem ampla distribuição

geográfica (mundial) e vêm sendo utilizadas em diversas áreas de pesquisa, tal como a ecotoxicologia (PRÁ *et al.*, 2005; BARROS *et al.*, 2006).

As planárias têm sido empregadas em ensaios de toxicidade devido a sua sensibilidade a uma série de compostos farmacológicos e metálicos, e à capacidade de alta proliferação celular que implica em total regeneração. Devido a essas características, o organismo também é utilizado em ensaios de genotoxicidade para avaliar efeitos carcinogênicos, teratogênicos e mutagênicos de compostos (KNAKIEVICS e FERREIRA, 2008; PRÁ *et al.*, 2005; BARROS *et al.*, 2006).

Na Tabela 3.4 encontra-se um levantamento com pesquisas nas quais planárias do gênero *Girardia tigrina* foram empregadas. Como pode ser observado nesta tabela, há uma diversidade de amostras e métodos que utilizam a *Girardia tigrina*. Há também diversos ensaios de toxicidade com planárias (toxicidade aguda, crônica e de regeneração) e muitos deles acabam por utilizar a mortalidade como principal efeito observado. Entretanto, não existe um protocolo internacional vigente que dite as diretrizes de como os ensaios utilizando o organismo devem ser realizados. Preza e Smith (2001) desenvolveram uma metodologia para ensaios de toxicidade aguda com *Girardia tigrina* com boa reprodutibilidade e que será utilizada nesse trabalho.

Tabela 3.4: Emprego do organismo *Girardia tigrina* em pesquisas

Amostra-teste	Efeito Observado	Referência Bibliográfica
Cobre, Zinco, Cádmio, Mercúrio e Cromo	Mortalidade e degeneração	Sáfadi, 1993
Cromo	Mortalidade	Preza e Smith, 2001
Efluente de refinaria de petróleo	Alteração no processo de regeneração encefálica	Barros <i>et al.</i> , 2006
Radiação (raio γ), metilmetanosulfonato e ciclofosfamido	Mortalidade, alteração no processo de regeneração encefálica e ocorrência de micronúcleos	Knakievicz <i>et al.</i> , 2008
Cobre	Acumulação do metal, alteração da mobilidade, alteração no processo de regeneração encefálica, ocorrência de micronúcleos e análise do desempenho reprodutivo	Knakievicz e Ferreira, 2008
Malation e Fibronil	Mortalidade, alterações histológicas e alteração no processo de regeneração encefálica	Butturi-Gomes, 2008
Irradiação UV	Mortalidade, alterações morfológicas e de mobilidade	Kalafátic <i>et al.</i> , 2006
Nicotina, picrotoxin, N-metil D-aspartato e carbamazepina	Alterações no comportamento e na mobilidade	Remarkrishnan e Des aer., 2011
Esterigmatocistina	Mortalidade	Piontek, 2010
Campos magnéticos	Alteração da regeneração e da fissão corpórea	Novikov <i>et al.</i> , 2008
Esgoto sanitário contendo formaldeído	Mortalidade	Santos, 2011
Cobre, corante disperse Red1, atrazina, nanotubos de carbono, efluente de ETE e água superficial	Mortalidade e regeneração encefálica	Ribeiro, 2012

Fonte: Adaptado de Ribeiro 2012.

Santos (2011) realizou sua pesquisa em sistema combinado de tratamento de esgoto sanitário contendo formaldeído em diversas concentrações. Nesse trabalho foram utilizados 4 organismos de diferentes níveis tróficos para avaliar a redução de toxicidade do sistema de tratamento. Os organismos utilizados foram: *Pseudokirchneriella subcapitata* (alga), *Daphnia similis* (microcrustáceo), *Girardia tigrina* (platelminto) e *Poecilia reticulata* (peixe). Ao fim da pesquisa, concluiu-se que a *Girardia tigrina* foi o organismo teste mais sensível quando exposto

ao efluente tratado do sistema e, portanto, o mais representativo ao possível impacto causado pelo formaldeído e a configuração do sistema de tratamento.

Além da alta sensibilidade, a *Girardia tigrina* é uma boa espécie para determinação da toxicidade de efluentes devido à facilidade na manipulação e manutenção do organismo em laboratório. Os organismos são mantidos em um meio relativamente simples (água ausente de cloro) e são alimentadas com fígado bovino semanalmente (RIBEIRO, 2012). Devido a essas características, a espécie se torna atrativa para ser empregada em ensaios de avaliação de toxicidade.

Logo, esse trabalho acaba por caracterizar a microfauna de biofiltro aerado submerso com biomassa aderida, enquanto a maioria dos trabalhos caracteriza sistemas com biomassa dispersa, além de avaliar a qualidade do efluente tratado gerado pelo sistema combinado de tratamento.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Local de estudo

O sistema de tratamento foi implantado nas dependências do Laboratório de Protótipos de Tratamento de Águas e Efluentes (LABPRO). Os ensaios ecotoxicológicos com *Daphnia similis* e *Girardia tigrina* foram realizados no Laboratório de Processos Biológicos (LABPBIO). As análises físicas, químicas e microbiológicas foram realizadas no Laboratório de Saneamento (LABSAN). Todos os laboratórios são pertencentes ao Departamento de Saneamento e Ambiente (DSA) da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo (FEC-UNICAMP). O ensaio ecotoxicológico Microtox® foi realizado no Laboratório de Saneamento da Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI-UNICAMP). As avaliações da microfauna foram conduzidas no LABSAN e junto ao Instituto de Biologia (Laboratório de Protozoologia / Departamento de Biologia Animal). As unidades são pertencentes à UNICAMP.

4.2 Origem do afluente

A origem do afluente utilizado nesse trabalho foi da rede coletora de esgoto de uma área em que está situado o complexo de saúde da UNICAMP (Hospital das Clínicas, Hemocentro e Centro de Atenção Integral a Saúde da Mulher), a qual é frequentada por cerca de 10 mil pessoas diariamente; nessa área está localizada faculdades, agências bancárias, uma creche, uma escola estadual e também o almoxarifado central da UNICAMP. O afluente utilizado para abastecer o sistema é bombeado diretamente de uma caixa de passagem localizada na rede coletora dessa região. Tal esgoto foi considerado sanitário em função de suas fontes geradoras, do regime de geração e de sua composição, todas decorrentes das diversas atividades desenvolvidas, principalmente a sazonalidade inerente a sua geração e característica das atividades universitárias.

4.3 Aspectos construtivos

Na Figura 4.1 é possível observar o esquema do sistema de tratamento adotado, sendo que os dois reatores utilizados apresentam fluxo ascendente. O sistema é composto pelas seguintes

unidades: filtro anaeróbio (FA), biofiltro aerado submerso (BAS) e decantador (DEC). Com as respectivas dimensões; FA – volume de 300,0 L, diâmetro de 0,6 m e altura do leito fixo de 1,0 m; BAS – volume de 150,0 L, diâmetro de 0,3 m e altura do leito fixo de 2,0 m; DEC – volume de 50,0 L, diâmetro 0,3 m e altura de 0,5 m. O meio suporte empregado para adesão do biofilme em ambos os reatores biológicos é constituído por anéis de polipropileno reciclado, com dimensões de 38x38 mm (diâmetro x altura), área superficial de 128 m⁻² m⁻³ e índice de vazios de 89% (Figura 4.2). Na Figura 4.3 é apresentada uma fotografia da instalação piloto utilizada neste estudo, na qual é possível ver o FA à direita, o BAS ao meio e à esquerda o decantador.

Figura 4.1 Esquema da instalação experimental

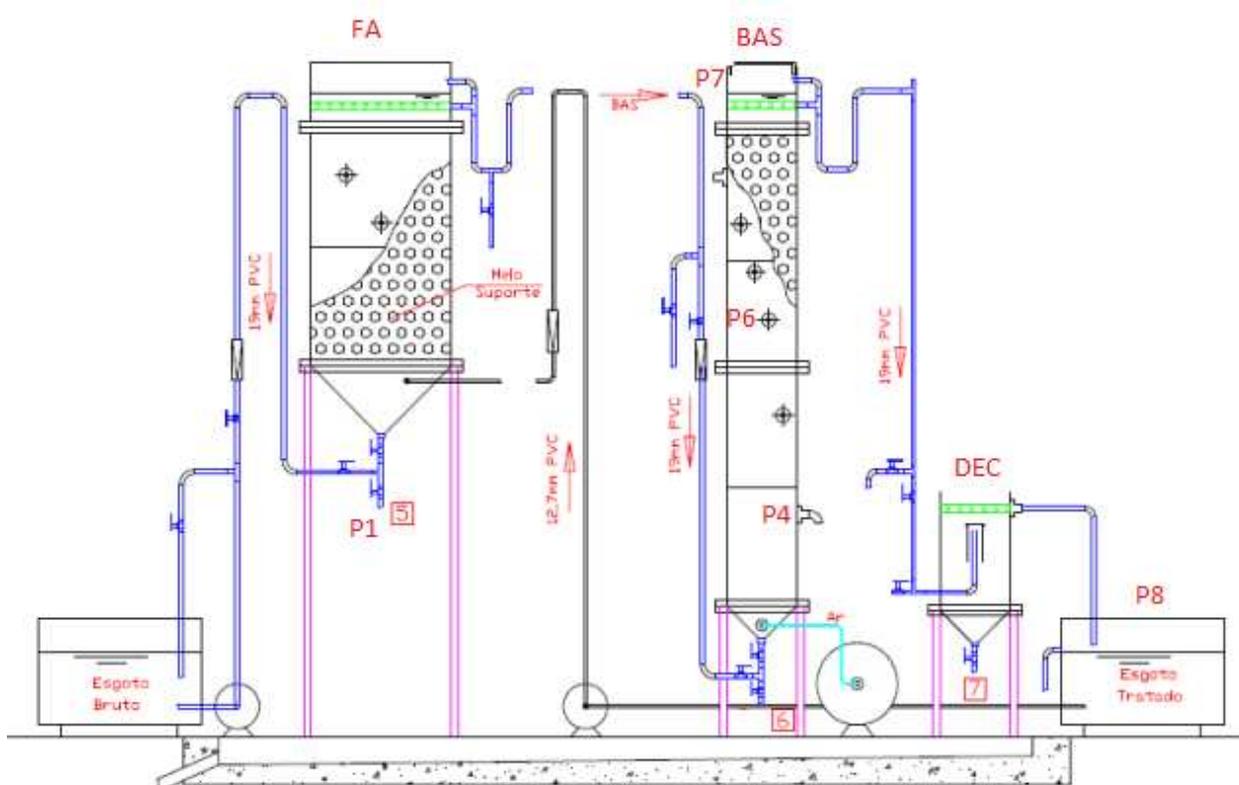


Figura 4.2: Meio suporte utilizado no FA e no BAS



Figura 4.3: Fotografia do sistema piloto de tratamento de esgoto anaeróbio-aeróbio utilizado na pesquisa



Na base do BAS está instalado o dispositivo responsável pela aeração do meio que é alimentado por um compressor. O dispositivo, que foi construído a partir de canos de PVC unidos por um mangote de borracha com microfuros e conectado a um compressor, pode ser observado na Figura 4.4. Quando o compressor envia ar, o mangote se expande e o ar é difundido para o sistema através dos microfuros.

Figura 4.4: Dispositivo de aeração do BAS



4.4 Pontos de coleta

No sistema existem diversos pontos de amostragem para as necessárias amostragem de efluentes líquidos: 6 pontos no FA, 10 pontos no BAS e 2 pontos no decantador, além de 3 pontos de amostragem de lodo, Figuras 4.1 e 4.5.

Neste trabalho os pontos de coletas de amostras utilizados foram 5: P1 - Entrada do reator anaeróbio (esgoto bruto), P4 – parte inferior do BAS (40 cm de altura), P6 – parte superior do BAS (140 cm de altura), P7 – topo do BAS (200 cm de altura) e P8 – saída do sistema, representando o esgoto tratado (Figura 4.1).

Nas amostras coletas nos pontos P1 e P8, foram realizadas as determinações de todas variáveis apresentadas na Tabela 4.1, com exceção da DBO e OD e os ensaios ecotoxicológicos.

Já nas amostras coletadas nos pontos P4, P6 e P7, todos pertencentes ao BAS, foram realizados os ensaios de todas variáveis da Tabela 4.1 e a caracterização da microfauna. Tais pontos foram escolhidos devido à possibilidade de determinar se existe variação da população da microfauna entre a parte inferior (0,2 m), mediana (1,4 m) e superior (saída) do BAS. Na Figura 4.5 são indicados os pontos de coleta ao longo do corpo do BAS.

Figura 4.5: Pontos de coleta do BAS



4.5 Métodos analíticos

Nas Tabelas 4.1 e 4.2 estão descritas as variáveis que foram analisadas, os respectivos métodos analíticos empregados e a frequência de coleta de amostras.

Tabela 4.1 Métodos empregados nos ensaios laboratoriais

Nome	Metodologia*	Frequência
Ácidos Graxos Voláteis	Titulométrico – DiLallo (1961)	1 X / semana
Alcalinidade Parcial	Titulométrico – Ripley (1986)	1 X / semana
Alcalinidade Total	SM20 2320 B	1 X / semana
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	SM20 5210 B	2 X / mês
Demanda Química de Oxigênio (DQO)	SM20 5520 D	1 X / semana
Oxigênio Dissolvido	SM20 4500-O-D	1 X / semana
Nitrato	Colorimétrico-NitraVer 5-HACH	1 X / semana
Nitrito	SM20 4500 NO ₂ B	1 X / semana
Nitrogênio Amoniacal	SM20 4500 NH ₃ C	1 X / semana
Nitrogênio Kjeldahl	SM20 4500 N Org B e 4500 NH ₃ C	1 X / semana
pH	SM20 4500 H ⁺ B	1 X / semana

* Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA *et. al.* 1998)

Tabela 4.2 Avaliação microbiológica e ensaios ecotoxicológicos empregados

Nome	Metodologia	Frequência
Caracterização da microfauna	Jenkins <i>et al.</i> (1993), Patterson (1998), Berk & Gunderson (1993)	1 X / semana
<i>Vibrio fischeri</i>	NBR 15411-3:2006 (ABNT, 2012)	(*)
<i>Girardia tigrina</i>	Preza & Smith (2001)	(*)

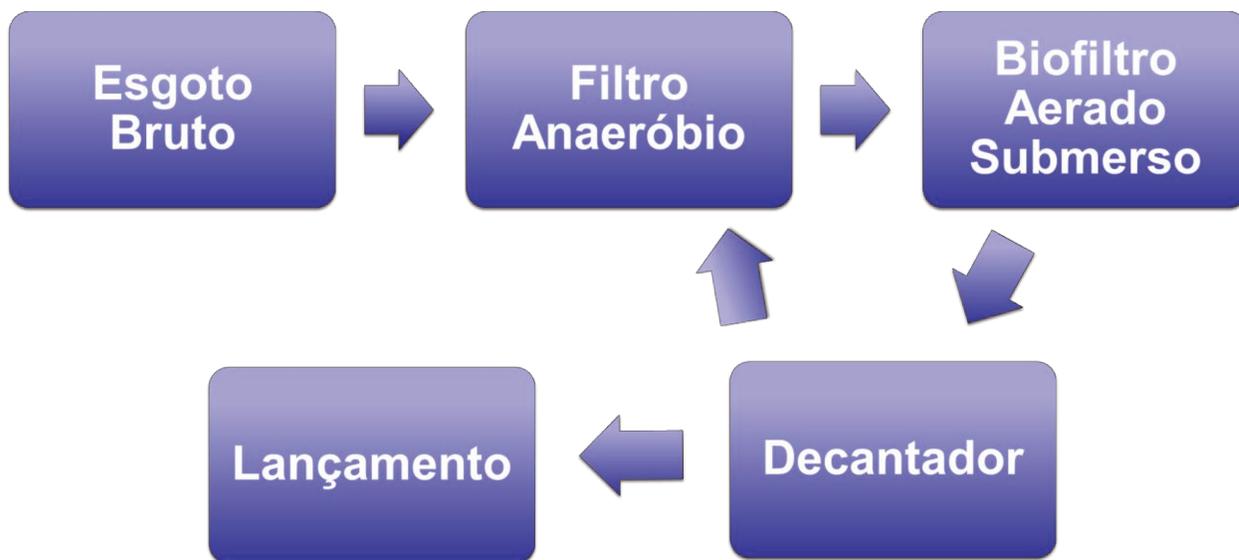
* no início, meio e fim das etapas.

As determinações da concentração de DQO dos pontos P4, P6 e P7 foram relevantes, somente, quando confrontados com a caracterização da microfauna, pois para a realização do ensaio de DQO nesses pontos, utilizou-se somente a fração sobrenadante da amostra, após decantação, que não é representativa quanto a real redução de concentração de DQO que ocorre no BAS.

4.6 Controle operacional do sistema

O sistema foi operado de acordo com o fluxograma experimental da Figura 4.6.

Figura 4.6: Fluxograma experimental do sistema de tratamento



A investigação experimental ocorreu em quatro etapas, todas descritas na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 Etapas de desenvolvimento do projeto

Etapa	Dia de operação (d)	Tempo de duração (d)	Q (L h ⁻¹)	q (L h ⁻¹)	q/Q	TDH (horas)			
						Anae	Anox	BAS	SC
1	42 - 141	100	24,6	0	0	12,1	0	5,3	17,4
2	172 - 249	84		36,9	1,5				
3	256 - 333	84	24,6	73,8	3,0	6,0	6,1	5,3	17,4
4	340 - 375	42		98,4	4,0				

d = dias; Q = vazão de afluente; q = vazão de efluente tratado recirculado; q/Q = razão de recirculação; TDH = tempo de detenção hidráulica; Anae = anaeróbio; Anox = anóxico; BAS = Biofiltro aerado submerso; SC = sistema combinado.

Durante todas as etapas, a única variável que permaneceu inalterada foi a vazão de esgoto bombeada para o sistema combinado. Na primeira etapa ocorreu o início de operação do sistema (SC), quando foi verificado o comportamento do sistema como um todo durante o

estabelecimento do equilíbrio dinâmico. Nessa etapa não foi realizada recirculação do efluente tratado, coletado na saída do decantador. As etapas subsequentes se diferenciaram pela razão de recirculação de efluente tratado (q/Q) para o filtro anaeróbio, cujos valores utilizados foram de 1,5, 3,0 e 4,0 nas etapas 2, 3 e 4, respectivamente.

4.7 Determinação da microfauna

A avaliação quantitativa dos protozoários ciliados e micrometazoários realizada na primeira etapa do experimento foi realizada em câmara de Sedgwick-Rafter utilizando microscópio ótico em aumento de 100X (CETESB, 2009). Esta câmara tem formato retangular (50 x 20 mm), com 1 mm de profundidade, área de 1000 mm², volume útil de 1 mL e com 1.000 subdivisões, cada uma com área de 1 mm². A amostra homogeneizada pode ser diluída em água mineral na proporção de 1:5 a 1:10, e com auxílio de uma pipeta de 1 mL, a câmara foi lentamente preenchida. A contagem foi realizada em 100 campos, distribuídos aleatoriamente na câmara. Tais organismos foram identificados conforme características morfológicas descritas por Jenkins *et al.* (1993), Patterson (1998) e Berk e Gunderson (1993).

A partir da segunda etapa, a metodologia de quantificação dos protozoários ciliados e micrometazoários foi alterada. Mesmo sendo a metodologia até então um protocolo utilizado pela CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental), era necessário utilizar uma metodologia capaz gerar informações possíveis de se alinhar com a metodologia mais utilizada em pesquisas internacionais, podendo assim comparar os resultados obtidos diretamente com os de outros estudos, já que as correlações determinadas foram geradas a partir da mesma metodologia de contagem. Desta forma se utilizou a metodologia de DUBBER e GRAY (2009), a qual consiste na análise do volume de 25 µL da amostra em lâmina coberta por uma lamínula. Para cada amostra devem ser realizadas 6 replicatas, contadas em até 8 horas após a coleta das amostras, assegurando assim recuperação de espécies entre 90% e 95%, excluindo até 3 espécies raras.

4.8 Ensaios ecotoxicológicos

4.8.1 Preservação de amostras

As amostras referentes aos ensaios ecotoxicológicos foram coletadas e preservadas em freezer a temperaturas abaixo de -10°C . Segundo a NBR 15469 (2007), tais amostras poderiam ser preservadas por até 60 dias nessa condição, para realização dos ensaios. As amostras que foram utilizadas nos testes foram descongeladas em geladeira a temperatura de 4°C e, para a realização do ensaio, foi utilizada somente a porção da amostra que se situava à meia altura da coluna de amostra existente no recipiente no qual foi congelada. Para a realização do ensaio com *Girardia tigrina*, as amostras foram oxigenadas por 20 minutos, para garantir que a falta de oxigênio na amostra recém descongelada não se transformasse em uma variável responsável pela toxicidade aos organismos.

4.8.2 *Vibrio fischeri*

O ensaio de toxicidade aguda com *Vibrio fischeri* (CE50 – 15min) foi conduzido segundo a norma técnica NBR 15411-3 (2012) ABNT. Este ensaio foi realizado com bactérias liofilizadas as quais foram reativadas antes da avaliação das amostras coletadas. As bactérias foram submetidas à diluições decrescentes das amostras coletadas por um período de 15 minutos. Os valores das diluições foram estabelecidos em ensaios preliminares. O ensaio foi realizado no Laboratório de Saneamento da Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP (FEAGRI) com o equipamento Microtox®, o qual capta a luz proveniente das bactérias e controla a temperatura necessária para a realização do ensaio (de 4°C a 15°C).

A cultura liofilizada utilizada nos ensaios de toxicidade contém 10^8 células de *Vibrio fischeri* por ampola. Para a realização do ensaio, essa cultura é reativada e então sua concentração é diluída por volta de 10^6 bactérias em 1,5 mL, podendo assim ser exposta à amostra teste. São determinadas medidas de emissão de luz no aparelho antes e após a mistura da suspensão de bactérias, para que após a mistura, as medidas possam ser determinadas aos 5, 15 e/ou 30 minutos. A escolha do tempo está sempre de acordo com o método utilizado na avaliação da amostra. Ao fim desse intervalo, com os valores determinados pelo equipamento, determina-se o

valor da toxicidade (CE50) com o auxílio do software Microtox Omni (BROTA, 2012; ABNT, 2012).

4.8.3 *Giardia tigrina*

O ensaio de toxicidade aguda com *Giardia tigrina* (CL50 – 96h) foi conduzido conforme a metodologia descrita no trabalho de Preza e Smith (2001). Esse ensaio foi realizado com 14 indivíduos jovens (0 a 10 dias) os quais foram submetidos à concentrações decrescentes das amostras coletadas por um período de 96 horas, com observação a cada 24 horas. As concentrações das diluições foram estabelecidas em ensaios preliminares, os quais foram realizados antes do início do monitoramento do sistema com a amostra afluenta. O ensaio foi realizado em duplicata, e os animais foram mantidos sem alimentação, à temperatura de $24 \pm 2^\circ\text{C}$, sob iluminação natural. O ensaio foi realizado no LABPBIO da FEC.

4.9 Análise dos dados

Após a tabulação dos resultados das variáveis físicas e químicas, a análise dos dados foi realizada por meio de gráficos e de análise estatística (média e desvio padrão), possibilitando assim avaliar as variáveis monitoradas em todas as etapas de operação do sistema.

Para a determinação da correlação entre microfauna e variáveis físicas e químicas e ecotoxicológicos dos organismos foi utilizado o teste de correlação de Pearson (SOKAL e ROHLF, 1995). Somente coeficientes com valores de significância $p \leq 0,05$ foram considerados significantes. Para a realização dos testes estatísticos foram também utilizados os programas BioEstat 2.0 e PAST (HAMMER *et al.*, 2001).

Para a determinação da toxicidade aguda para a bactéria *Vibrio fischeri* foi utilizado o software Microtox Omni e para a determinação da toxicidade aguda para o organismo *Giardia tigrina* o programa Trimmed Spearman-Kärber (HAMILTON *et al.*, 1977).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados apresentados e discutidos são de acordo com cada uma das Etapas de operação do sistema de tratamento, iniciando-se pela Etapa 1, onde não houve a recirculação de efluente tratado.

5.1 Etapa 1

A Etapa 1 durou 100 dias, não ocorreu a recirculação do efluente tratado ao filtro anaeróbio e foi abastecido com vazão de 24,6 L/h de efluente bruto.

5.1.1 Variáveis físicas e químicas

Na Tabela 5.1 são apresentados os valores das variáveis físicas e químicas determinadas na primeira etapa do experimento (n=15, amostras coletadas).

Tabela 5.1: Valores médios e desvio-padrão das variáveis avaliadas para cada ponto de amostragem na primeira etapa

Variável	P1 (EB)		P4 (BAS)		P6 (BAS)		P7 (BAS)		P8 (DEC)	
	MED	DP	MED	DP	MED	DP	MED	DP	MED	DP
pH	6,9	0,3	7,0	0,6	6,9	0,7	7,0	1,0	7,3	0,5
Ap [mg CaCO ₃ /L]	131	40	129	81	117	85	118	89	125	87
At [mg CaCO ₃ /L]	291	34	190	118	166	119	164	120	171	115
AOV [mg Hac/L]	230	56	76	39	61	36	50	31	49	24
NH ₄ ⁺ [mg/L]	63	7	39	18	35	19	35	18	35	19
NTK [mg/L]	70	6	100	78	70	40	43	23	43	23
NO ₂ ⁻ [mg/L]	nd		3,9	6,1	5,7	7,5	4,3	6,8	4,9	6,5
NO ₃ ⁻ [mg/L]	-		21,2	29,2	25,8	29,3	17,4	10,2	20,2	6,8
DQO [mg O ₂ /L]	518	131	206	171	137	114	119	71	95	54

(-) não realizado; (nd) não-detectado (nível de detecção de 0,01 mg/L de NO₂⁻; EB – Efluente Bruto; BAS- Biofiltro Aeróbio Submerso; DEC – Decantador; Ap - alcalinidade parcial (até pH=5,75); At = alcalinidade total (até pH=4,30)

Nas Figuras 5.1, 5.2 e 5.3 podem ser verificados os valores de pH, alcalinidade parcial e alcalinidade total, respectivamente, no período da primeira etapa.

Figura 5.1: Box plot dos valores de pH nos pontos de amostragem avaliados na Etapa 1

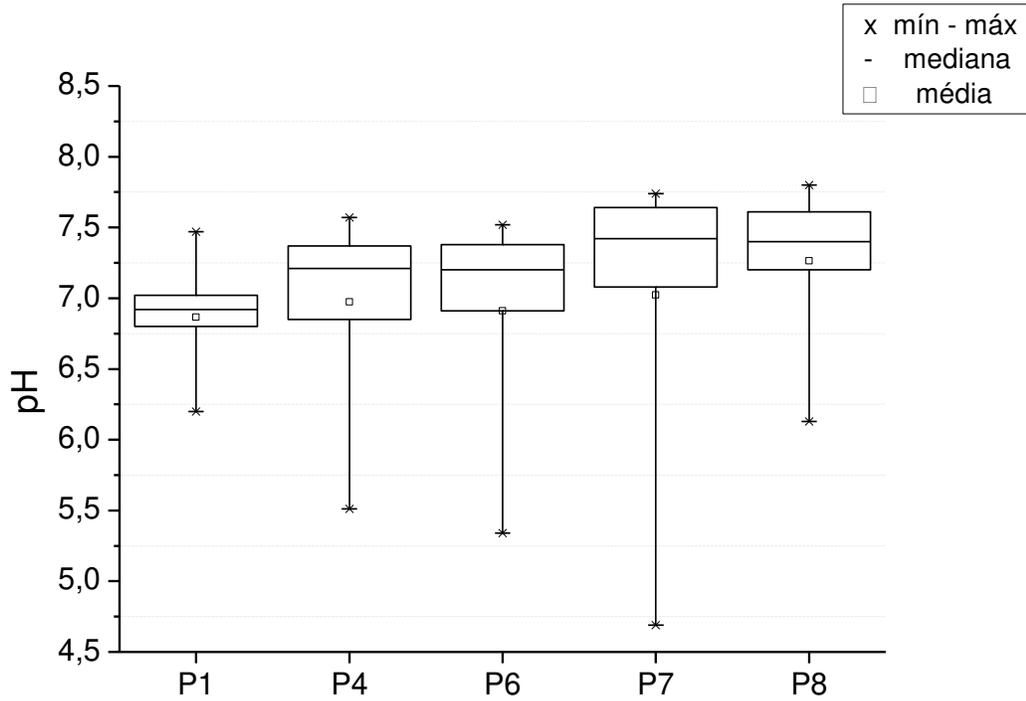


Figura 5.2: Box plot dos valores de alcalinidade parcial nos pontos de amostragem avaliados na Etapa 1

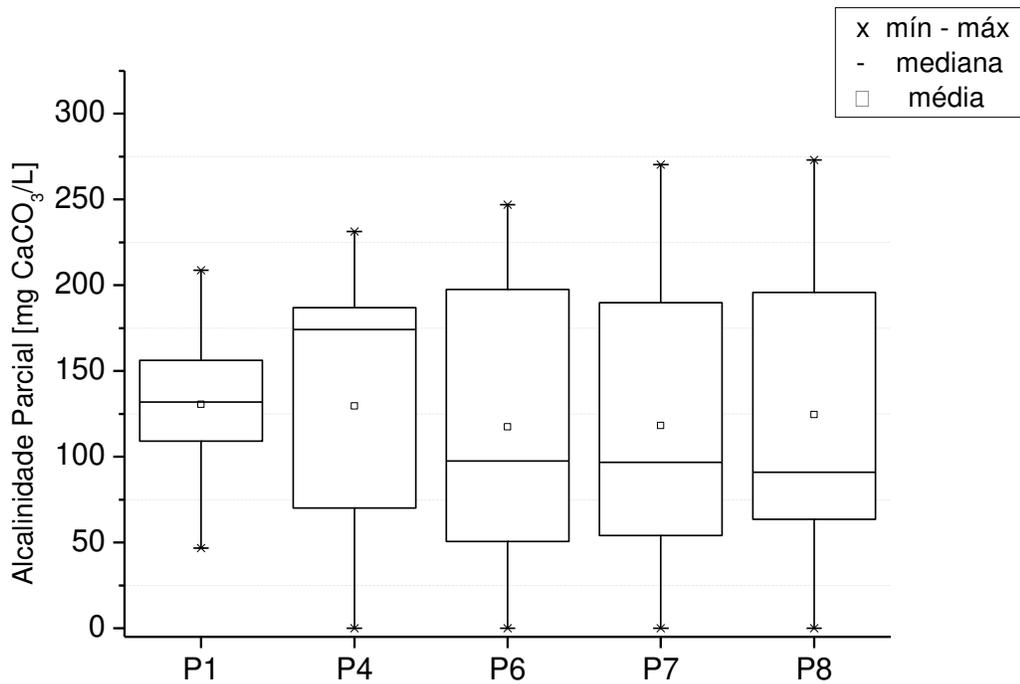
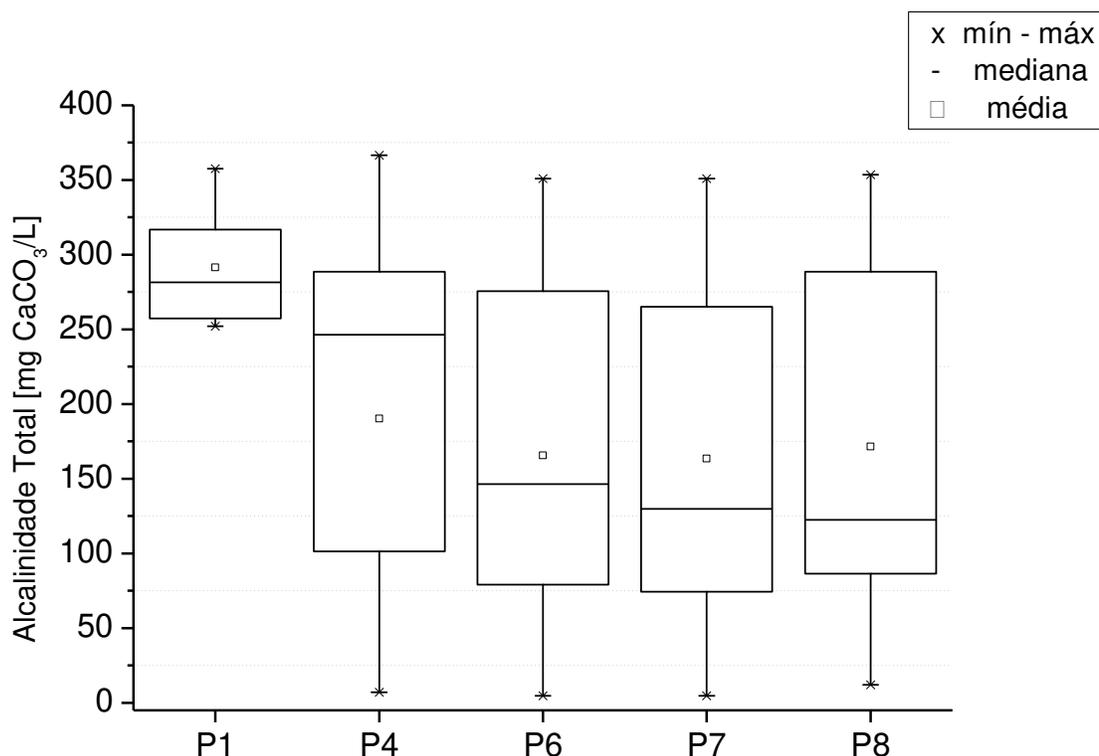


Figura 5.3: Box plot dos valores de alcalinidade total nos pontos de amostragem avaliados na Etapa 1



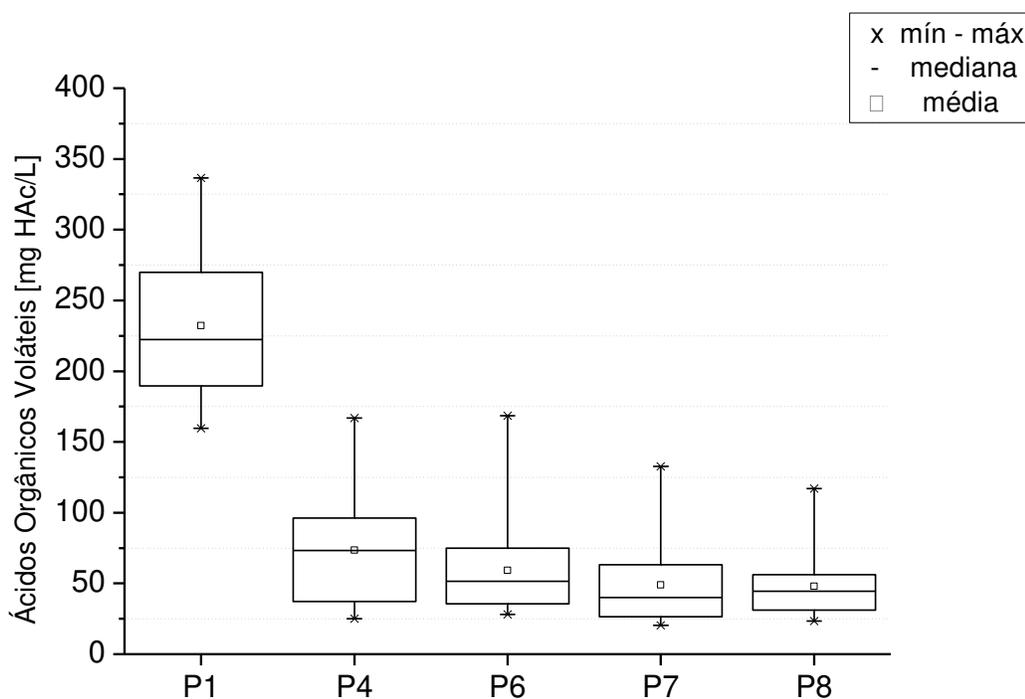
Como pode ser observado na Figura 5.1, os valores de pH do afluente do sistema (ponto P1) não apresentaram valores abaixo de 6,2 em nenhum momento. Como na primeira etapa o efluente se manteve por volta de 6,7 e 7,2 na maioria das amostras, não houve a necessidade de adição de alcalinizante ou acidificante para corrigir o afluente do sistema.

Na Figura 5.3 por outro lado, pôde-se constatar que a alcalinidade do esgoto bruto (P1) se manteve na média de 291 mg CaCO₃/L. É possível verificar que os valores de pH dos pontos P4, P6 e P7 atingiram em alguns momentos valores abaixo de 5,8, enquanto que os valores de alcalinidade total diminuíram em relação aqueles observados no efluente bruto, em algumas amostras não podendo ser detectado por meio do método aplicado. Tais determinações evidenciam o início do processo de nitrificação no BAS, devido ao consumo da alcalinidade presente no efluente, ao longo da altura do reator.

O comportamento da concentração de ácidos orgânicos voláteis está representado na Figura 5.4. De acordo com a figura, o comportamento dos valores de ácidos orgânicos voláteis

(AOV) foram semelhantes para os pontos P4, P6, P7 e P8, ressaltando para a semelhança grande entre P6, P7 e P8, a qual indica a estabilidade atingida para esta variável, ao longo da altura e no final do BAS e na saída do sistema.

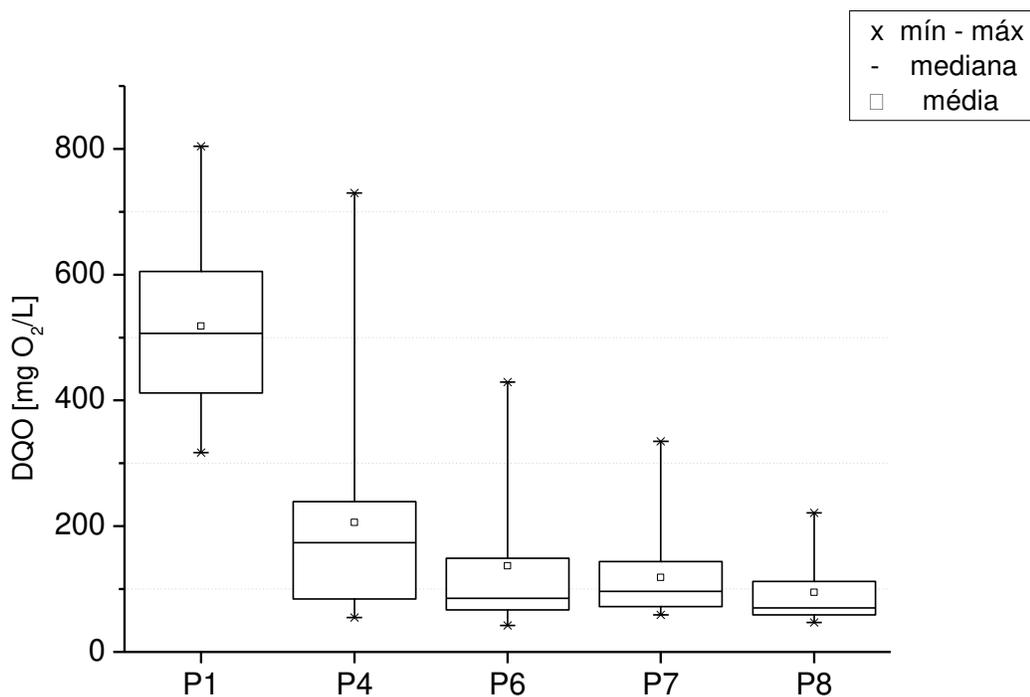
Figura 5.4: Box plot dos valores de ácidos orgânicos voláteis nos pontos de amostragem avaliados na Etapa 1



Comparando-se os valores de ácidos de P1 com os outros pontos, nota-se que existe consumo/assimilação dos AOV pela biomassa presente no BAS. Tal consumo garantiu e favoreceu o equilíbrio dinâmico, em relação aos valores de pH observados no sistema de tratamento.

Na Figura 5.5 verifica-se a concentração de DQO das amostras na primeira etapa.

Figura 5.5: Box plot dos valores de DQO nos pontos de amostragem avaliados na Etapa 1



A média dos valores da DQO de P1 foi de 518 mg O₂/L, enquanto a média da DQO de P8 foi de 95 mg O₂/L. Tais resultados atestam a eficiência do sistema na redução da DQO, atingindo valores médios de eficiência da ordem de 85%.

Os valores determinados para as concentrações de nitrogênio amoniacal, nitrogênio total, nitrito e nitrato podem ser visualizados nas Figuras 5.6, 5.7, 5.8 e 5.9, respectivamente.

Figura 5.6: Box plot dos valores de Nitrogênio Amoniacal nos pontos de amostragem avaliados na Etapa 1

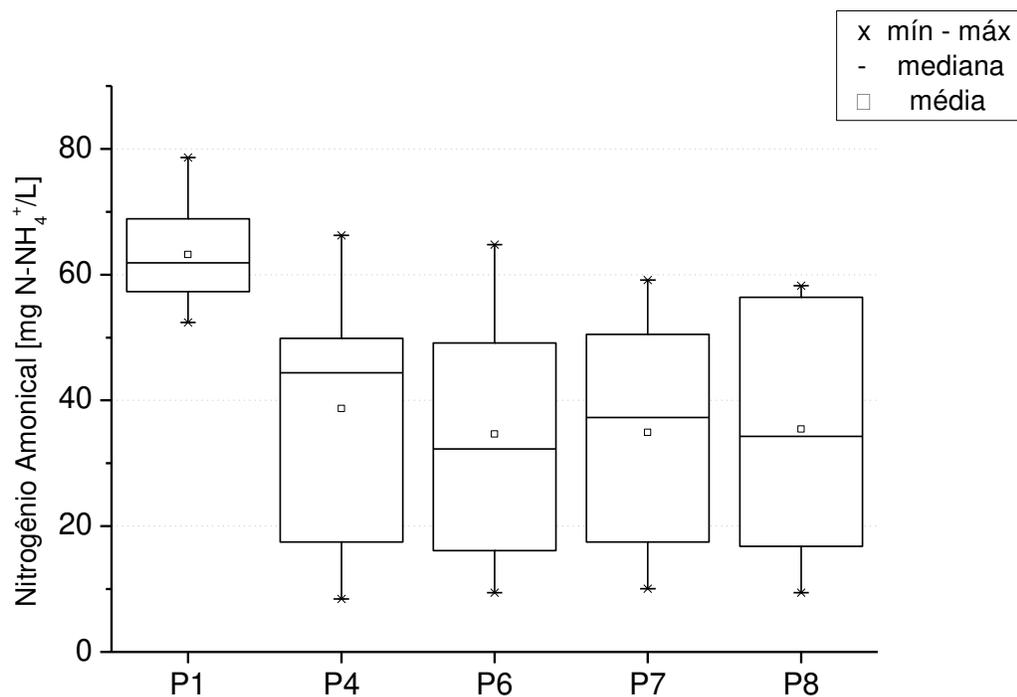


Figura 5.7: Box plot dos valores de NTK nos pontos de amostragem avaliados na Etapa 1

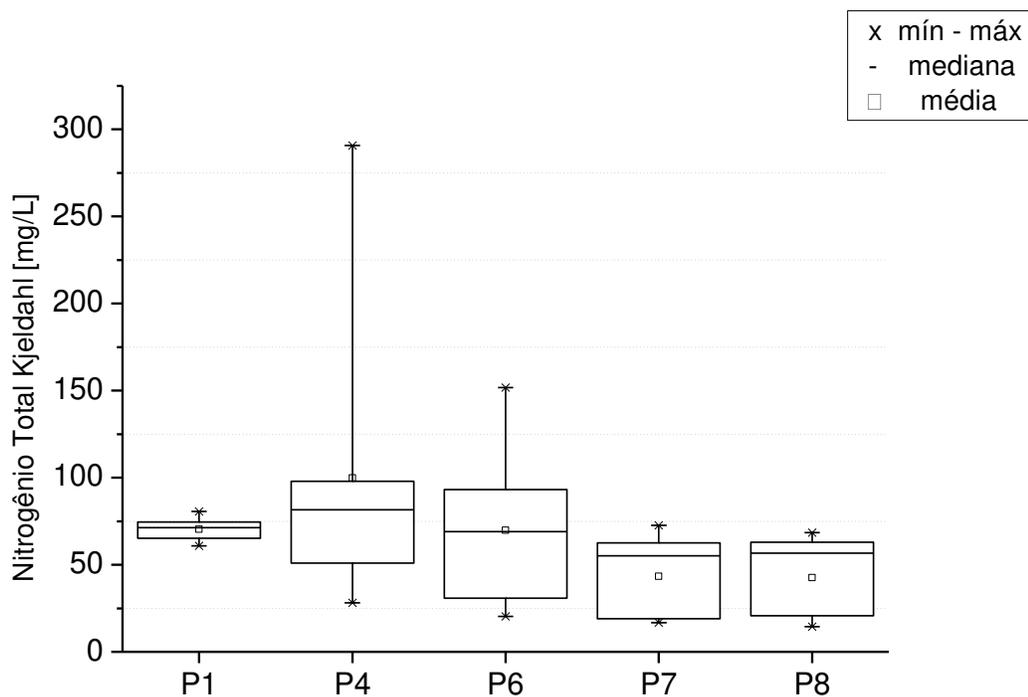


Figura 5.8: Box plot dos valores de nitrito nos pontos de amostragem avaliados na Etapa 1

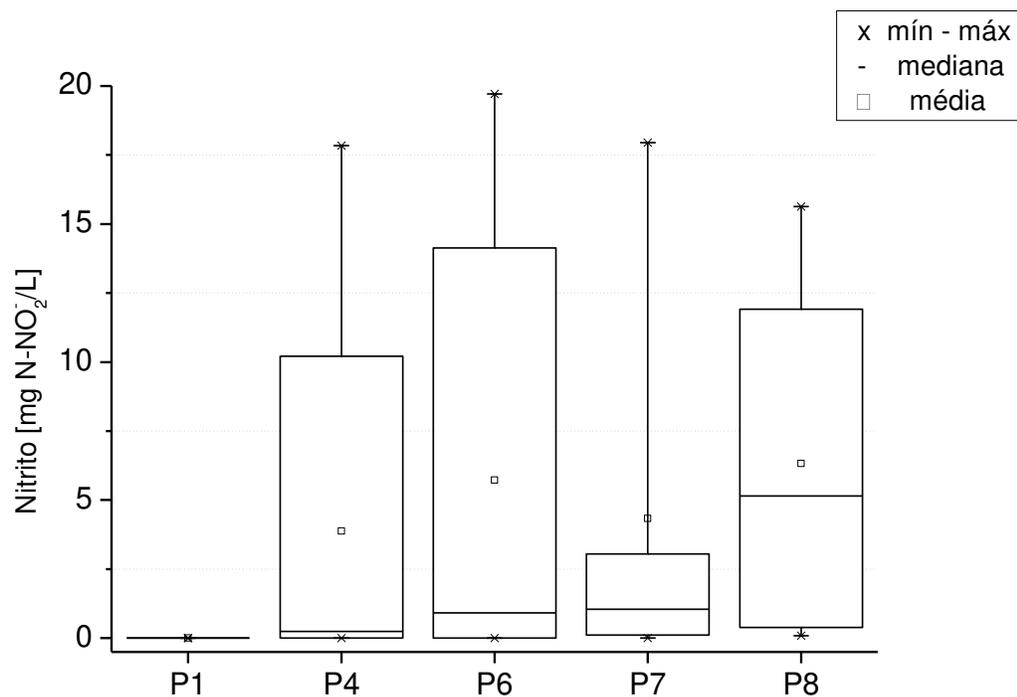
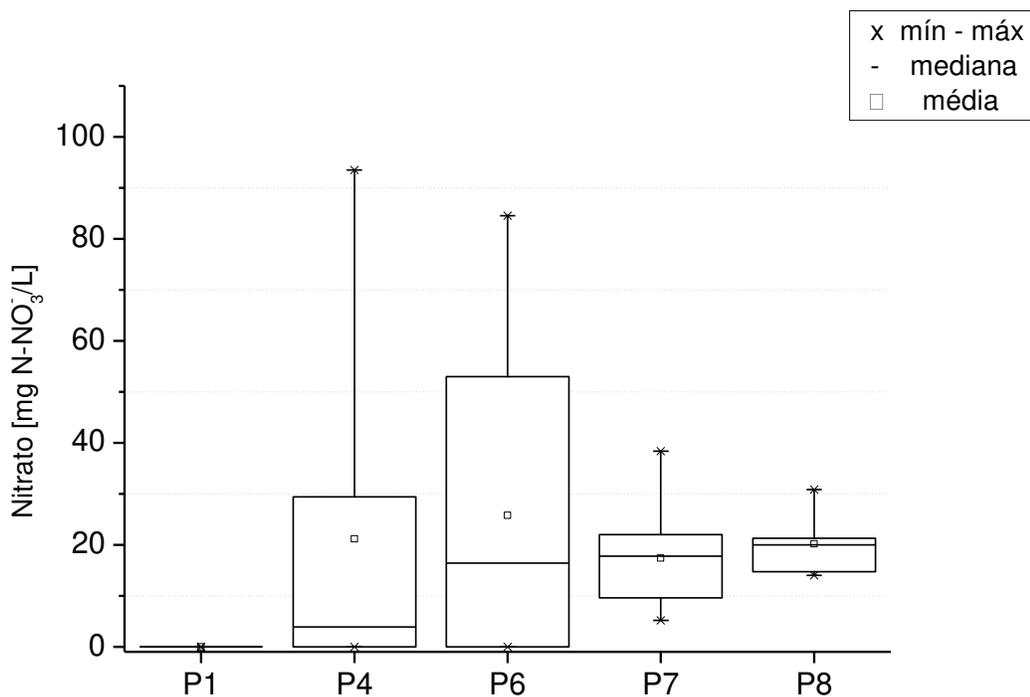


Figura 5.9: Box plot dos valores de nitrato nos pontos de amostragem avaliados na Etapa 1



A partir das Figuras 5.6 e 5.7 pode-se verificar que em P1 a variação da concentração de nitrogênio amoniacal e nitrogênio total foi baixa quando comparado com os outros pontos. Isso evidencia a pouca variabilidade do esgoto bruto com relação à quantidade de nitrogênio que entra no sistema. Em P1 também não foi detectado concentração de nitrito de acordo com o limite de detecção do método (0,01 mg/L), (Fig. 5.8), o que já se é esperado de esgotos sanitário bruto em que há predominantemente a presença de compostos nitrogenados na espécie amoniacal e orgânica.

Com relação aos resultados de nitrito P4, P6 e P7 é possível verificar que houve o início do processo de nitrificação no BAS sugerido pelas amostragens que apresentaram concentração de nitrito acima de 15 mg/L. Já com relação aos valores de nitrato há algumas ressalvas. Os resultados que apresentaram concentração de nitrato acima de 40 mg/L não podem ser considerados, pois eles provavelmente foram afetados por interferentes ao método de determinação contidos na amostras, os quais não foram identificados, prejudicando o resultado analítico. Outro fator que evidencia tal interferência é a concentração de alcalinidade, que não era suficiente para que existisse a possibilidade de conversão do nitrogênio amoniacal a essas concentrações de nitrato. A concentração de nitrato em P8 (Figura 5.9) acaba por reforçar que houve equilíbrio de nitrificação no sistema, com concentração média de nitrato de 14 mg NO_3^-/L , excluindo os resultados afetados por interferentes.

5.1.2 Caracterização da microfauna

Na Tabela 5.2 são apresentados os valores de frequência dos grupos que compõem a microfauna nos pontos de amostragem do BAS ao longo da primeira etapa (n=15, amostras coletadas).

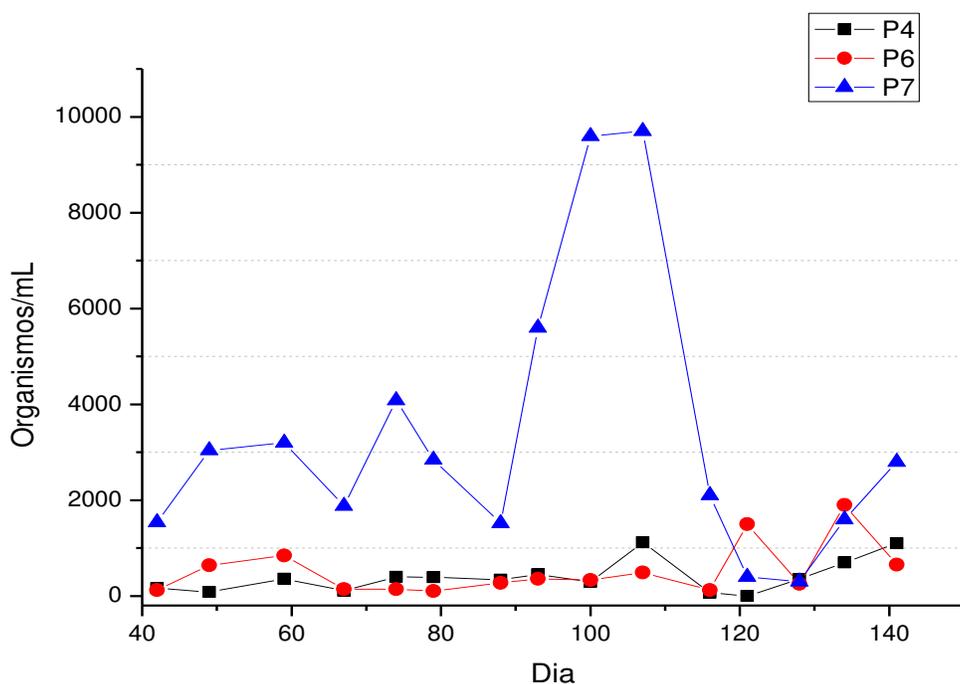
Como pode ser observado na Tabela 5.2, o ponto P7 teve maior frequência dos grupos CLN, CPF, CF, AMB e MTZ, do que os pontos P4 e P6. Isso indica que a microfauna desse ponto foi mais variada do que a microfauna dos pontos P4 e P6. Os CLN e MTZ estavam presentes em 14 das 15 amostras caracterizadas do P7. Já nos pontos P4 e P6 as maiores frequências foram dos grupos CLN, CF e MTZ.

Tabela 5.2: Frequência de grupos da microfauna observada na etapa 1 (n=15 amostras coletadas).

Grupo	Frequência (%)		
	P4	P6	P7
Ciliados Livres Natantes - CLN	67	67	94
Ciliados Predadores de Flocos - CPF	27	34	54
Ciliados Fixos - CF	67	74	74
Flagelados - F	40	53	34
Amebas - AMB	47	47	87
Micrometazoários - MTZ	73	67	94

A Figura 5.10 apresenta o perfil de quantidade de organismos por mL ao longo da primeira etapa.

Figura 5.10: Número de organismos por mililitro no período de 100 dias nos pontos de amostragem avaliados.



Como pode ser observado na Figura 5.10, somente em duas coletas, das quinze realizadas, a população da microfauna de P7 (400 e 1600 organismos) não foi maior que a de P6 (1500 e 1900 organismos) ao longo da Etapa 1. No restante das coletas a população de P7 (linha com

triângulos azuis) sempre foi superior que as populações de P4 e P6 (linha com quadrados pretos e círculos vermelhos, respectivamente), como pode ser visto na Figura 5.10. O gráfico também evidencia que P7 acaba por ser mais colonizado que P4 e P6, além de apresentar uma microfauna composta por quase todos os grupos que a compõem. Tal acontecimento ocorreu devido a maior concentração média de oxigênio dissolvido em P7 (7,5 mgO₂/L) que em P4 e P6 (4,5 mgO₂/L e 5,8 mgO₂/L).

Já os pontos P4 e P6 apresentaram quantidade de população semelhante ao longo da Etapa 1, com exceção de duas coletas, no 121° e 134° dias, em que a população de P6 foi visivelmente superior à população de P4.

Nas Tabelas 5.3, 5.4 e 5.5 são apresentados os coeficientes de correlação entre a caracterização e quantificação dos organismos componentes da microfauna e as variáveis físico-químicas.

Tabela 5.3: Coeficientes de correlação entre as variáveis físicas e químicas para P4

	pH	Ap	At	AOV	NTK	NH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	DQO
CLN	-0,101	0,224	0,195	-0,074	-0,075	0,225	-0,430	-0,356	0,183
CPF	0,137	0,283	0,371	0,668	0,212	0,370	-0,275	-0,334	-0,027
CF	-0,483	-0,437	-0,427	-0,363	0,084	-0,339	-0,247	0,121	-0,317
F	-0,767**	-0,551*	-0,541*	-0,392	-0,354	-0,550*	-0,296	0,161	0,347
AMB	0,012	0,043	0,041	0,126	-0,150	0,063	-0,210	-0,214	0,872**
MTZ	-0,120	-0,181	-0,199	-0,226	-0,332	-0,133	0,361	0,250	-0,163

*p < 0,05; **p < 0,001 ; CLN=ciliados livre natantes; CPF=ciliados predadores de flocos; CF=ciliados fixos; F=flagelados; AMB=amebas; MTZ=micrometazoários

Tabela 5.4: Coeficientes de correlação entre as variáveis físicas e químicas para P6

	pH	Ap	At	AOV	NTK	NH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	DQO
CLN	-0,278	0,005	0,007	-0,282	0,233	0,052	-0,326	-0,277	-0,001
CPF	-0,640**	-0,384	-0,368	-0,127	-0,292	-0,346	-0,282	-0,059	-0,103
CF	-0,249	0,160	0,167	-0,085	0,425	0,198	-0,467	-0,360	-0,121
F	-0,210	-0,319	-0,391	-0,285	-0,449	-0,249	0,417	0,165	-0,212
AMB	-0,051	0,094	0,107	-0,262	0,393	0,163	-0,189	-0,192	-0,091
MTZ	0,102	-0,036	-0,001	0,089	-0,282	-0,059	0,326	0,230	0,137

**p < 0,001; CLN=ciliados livre natantes; CPF=ciliados predadores de flocos; CF=ciliados fixos; F=flagelados; AMB=amebas; MTZ=micrometazoários

Tabela 5.5: Coeficientes de correlação entre as variáveis físicas e químicas para P7

	pH	Ap	At	AOV	NTK	NH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	DQO
CLN	-0,047	0,144	0,104	-0,393	-0,006	0,012	-0,470	-0,154	-0,260
CPF	-0,616*	-0,312	-0,279	0,197	-0,245	-0,240	-0,062	0,043	0,264
CF	0,317	0,679*	0,652*	-0,049	0,620*	0,670*	-0,456	-0,704*	-0,152
F	-0,423	-0,305	-0,313	-0,106	-0,291	-0,253	-0,043	0,140	-0,093
AMB	-0,088	-0,074	-0,089	-0,085	-0,145	-0,028	-0,084	-0,033	-0,176
MTZ	0,249	-0,145	-0,148	0,079	-0,296	-0,258	0,264	0,281	-0,050

*p < 0,05 ; CLN=ciliados livre natantes; CPF=ciliados predadores de flocos; CF=ciliados fixos; F=flagelados; AMB=amebas; MTZ=micrometazoários

A partir dos coeficientes encontrados na Tabela 5.3, é possível afirmar que a presença de flagelados (F) em P4 foi relacionada à menor concentração de pH, alcalinidade parcial, alcalinidade total e nitrogênio amoniacal. Já o aumento da população de amebas (AMB) esteve relacionado ao aumento dos valores de DQO, logo a presença de amebas em P4 indica aumento da carga orgânica na entrada do BAS.

Na Tabela 5.4 houve somente uma correlação significativa na qual o aumento da população de ciliados predadores de floco (CPF) indicou menores valores de pH.

Os dados da Tabela 5.5 indicam que quanto maior a presença de ciliados fixos (CF), maior os valores para pH, alcalinidade parcial, alcalinidade total, nitrogênio total e nitrogênio amoniacal. Porém, com relação à concentração de nitrato, quando esta aumentou, a população de CF diminuiu. Isso pode ser visto de fato ao longo da Etapa 1. Quando houve aumento da concentração de nitrato em P7, os ciliados fixos (CF) no mesmo ponto estavam ausentes. Assim como em P6, o aumento de ciliados predadores de flocos (CPF) estava condicionado à diminuição de valores de pH.

5.1.3 Ensaios ecotoxicológicos

Na Tabela 5.6 são apresentados os resultados de CE50 para *Vibrio fischeri* e CL50 para *Girardia tigrina* obtidos para os dias de operação 93, 121 e 163 pertencentes à etapa 1.

Tabela 5.6: Resultados dos ensaios ecotoxicológicos para os pontos P1 e P8 do sistema de tratamento para o 93°, 121° e 163° dias de operação

Organismo	(93)		(121)		(163)	
	P1	P8	P1	P8	P1	P8
<i>Vibrio fischeri</i>	2% [1,6 – 2,6]	87% [27,3 – 277*]	7,1% [5,1 – 9,8]	81,4% * [53,5 – 123,8*]	14,89% [12,0 – 18,4]	NT
<i>Girardia tigrina</i>	28,3% [22 – 36]	< 80%	20% [**]	96% [87,5 – 107,2*]	34,64% [30,8 – 38,8]	87,81% [75,7 – 101,5*]

[] – limites de confiança (95%)

NT – não tóxico

* - valor não válido

** - limites não determinados

Na Tabela 5.6 é possível observar que para a bactéria *Vibrio fischeri*, o sistema combinado de tratamento reduziu a toxicidade do efluente bruto que o abastece, quando na última coleta da Etapa 1 o efluente tratado foi considerado não tóxico para a espécie.

Já para *Girardia tigrina*, no dia 93, a CL50 para P1 foi de 28,3% e para P8, não foi possível determinar a toxicidade, podendo somente afirmar que o valor da CL50 certamente é menor que 80%. No dia 121 houve redução da toxicidade, em que o efluente final do sistema quase resultou em um efluente não tóxico (CL50 = 96%). No dia 163, houve redução da toxicidade do esgoto bruto, entretanto foi determinada toxicidade do efluente tratado de 87%, que é mais tóxico que o efluente tratado do teste do dia 121.

Alguns resultados não apresentam limites de confiança, pois estes ou não puderam ser calculados pelo software, ou o valor encontrado é não válido. O valor é considerado não válido quando o valor do limite calculado resulta acima de 100% (*Girardia tigrina*), o que é impossível, já que o valor de 100% representa exposição à amostra sem diluição alguma. No caso do *Vibrio fischeri*, valores acima de 80% já são considerados não tóxicos, pois no preparo da amostra para realização do ensaio já ocorre uma diluição prévia da amostra.

Para a *Girardia tigrina* foi possível notar uma relação entre toxicidade e redução de amônia no efluente tratado. No dia 93 a eficiência na redução de nitrogênio amoniacal foi de 11%, no dia

121 foi de 56% e no dia 163 foi de 74%. Logo, como pôde ser determinado nessa etapa no dia 93 foi determinado CE50 com valor mais tóxico para *Girardia tigrina*, enquanto os dias 121 e 163 apresentaram valores de CE50 próximos a não tóxico.

A partir desses resultados é possível perceber que o sistema tem potencial para reduzir a toxicidade do esgoto bruto que entra no sistema.

5.2 Etapa 2

A Etapa 2 durou 84 dias, iniciou-se a recirculação do efluente tratado ao filtro anaeróbio com razão de 1,5, ou seja, o sistema de tratamento foi abastecido com 36,9 L/h de efluente tratado e 24,6 L/h de efluente bruto.

5.2.1 Variáveis físicas e químicas

Na Tabela 5.7 são apresentados os valores das variáveis físicas e químicas determinadas na segunda etapa do experimento (n=12, amostras coletadas, com exceção de DBO, na qual n=5).

Tabela 5.7: Valores médios e desvio- padrão das variáveis avaliadas para cada ponto de amostragem na segunda etapa.

Variável	P1 (EB)		P4 (BAS)		P6 (BAS)		P7 (BAS)		P8 (DEC)	
	MED	DP	MED	DP	MED	DP	MED	DP	MED	DP
Temperatura [°C]	17	3	17	3	17	3	17	3	17	3
OD [mg O ₂ /L]	-	-	3,7	2,5	5,5	1,9	7,2	1,3	-	-
pH	6,7	0,2	7,4	0,2	7,5	0,2	7,5	0,1	7,5	0,2
Ap [mg CaCO ₃ /L]	124	41	169	29	165	29	166	37	159	34
At [mg CaCO ₃ /L]	273	52	232	48	220	45	222	46	219	50
AOV [mg Hac/L]	318	66	98	29	93	25	90	35	88	26
NH ₄ ⁺ [mg/L]	62	9	46	9	46	9	47	10	46	11
NTK [mg/L]	76	11	50	10	49	10	53	10	48	9
NO ₂ ⁻ [mg/L]	nd		1,1	1,4	1,5	1,4	1,7	1,6	1,6	1,6
NO ₃ ⁻ [mg/L]	-		5,8	5,0	5,9	5,0	5,9	5,1	6,1	5,7
DQO [mg O ₂ /L]	608	130	103	32	71	24	118	50	67	21
DBO [mg O ₂ /L]	-		16	5	12	1	13	6	-	

(-) não realizado; (nd) não-detectado (nível de detecção de 0,01 mg/L de NO₂⁻; EB – Efluente Bruto; BAS- Biofiltro Aeróbio Submerso; DEC – Decantador; Ap - alcalinidade parcial (até pH=5,75); At = alcalinidade total (até pH=4,30)

Na Figura 5.11 pode ser verificado os valores de temperatura na segunda etapa.

A Etapa 2 compreendeu o período que foi do fim do outono e estendeu-se ao longo do inverno. Devido a esse fato, a média de temperatura nas amostras foi de 17 °C. É importante

ressaltar que por sete semanas as temperaturas das amostras foram de 17 °C ou menos, o que afeta negativamente o processo de nitrificação, pois a atividade das bactérias responsáveis pelo processo é inibida.

Na Figura 5.12 pode ser verificado o comportamento dos valores de oxigênio dissolvido obtidos na segunda etapa de operação.

Figura 5.11: Box plot dos valores de temperatura nos pontos de amostragem avaliados na Etapa 2

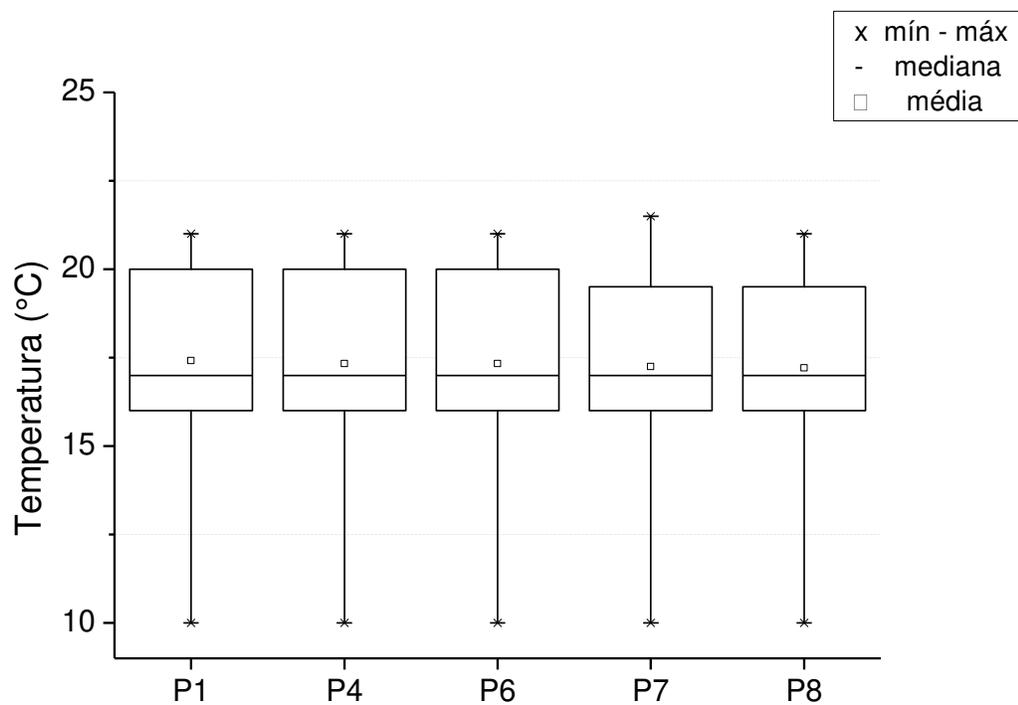
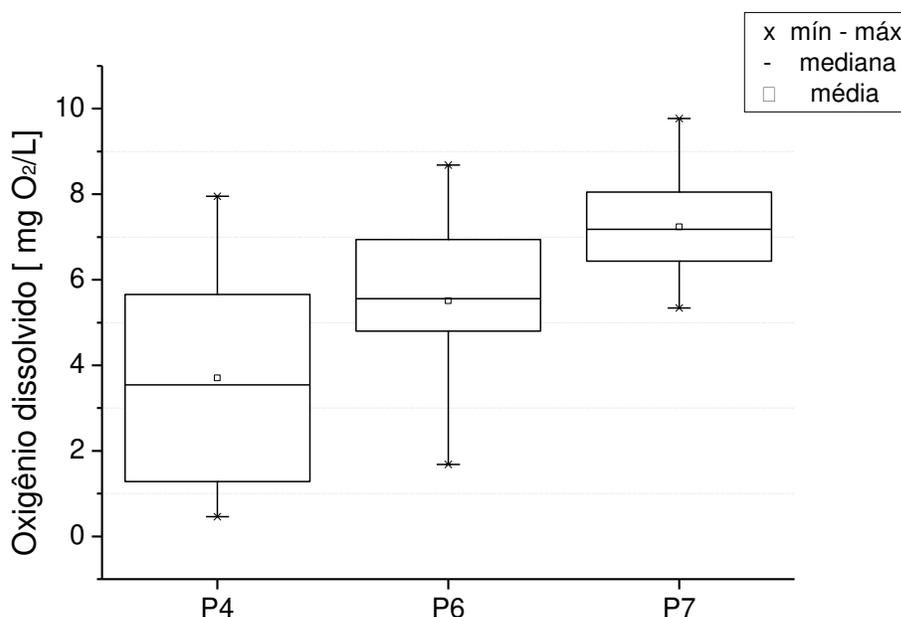


Figura 5.12: Box plot dos valores de oxigênio dissolvido nos pontos de amostragem avaliados na Etapa 2



Na Figura 5.12 pode ser observado que é em P7 ocorreu a maior concentração de oxigênio dissolvido no reator, 7,2 mgO₂/L. Este resultado pode vir a esclarecer questões ligadas à microfauna, como por exemplo, o fato de P7 apresentar população maior em quantidade e diversidade de organismos, quando comparado com P4 e P6 (3,7 e 5,5 mgO₂/L, respectivamente).

Nas Figuras 5.13, 5.14 e 5.15 podem ser verificados os valores de pH, alcalinidade parcial e alcalinidade total, respectivamente, na segunda etapa.

Em comparação com a Etapa 1, o pH de P1 na Etapa 2 é mais baixo (Figura 5.13). Enquanto que P4, P6, P7 e P8, na Etapa 2, são ligeiramente maiores que na Etapa 1. Já as variáveis alcalinidade parcial e total (Figura 5.14 e 5.15, respectivamente) tiveram suas concentrações aumentadas na Etapa 2 para os pontos P4, P6, P7 e P8, enquanto P1 teve uma queda na concentração. Além dos valores verificados em P4, P6, P7 e P8 terem aumentado para essas variáveis, o desvio padrão desses pontos diminuiu quando comparados com o desvio dos pontos da Etapa 1, tal diferencial indica que o sistema esteve mais estável na Etapa 2.

Figura 5.13: Box plot dos valores de pH nos pontos de amostragem avaliados na Etapa 2

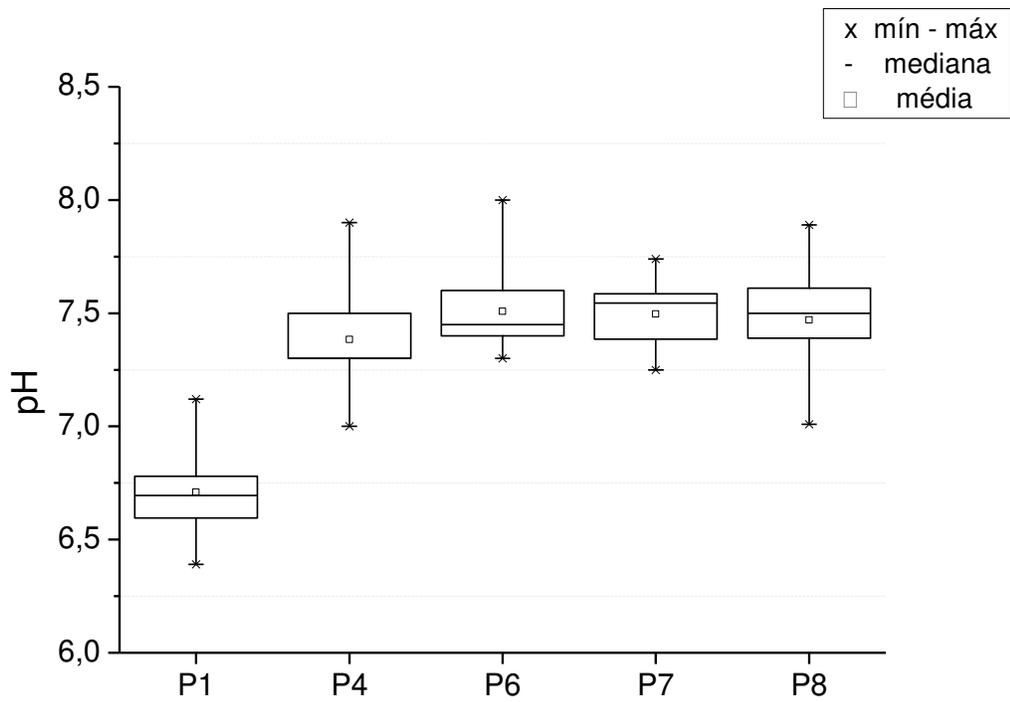


Figura 5.14: Box plot dos valores de alcalinidade parcial nos pontos de amostragem avaliados na Etapa 2

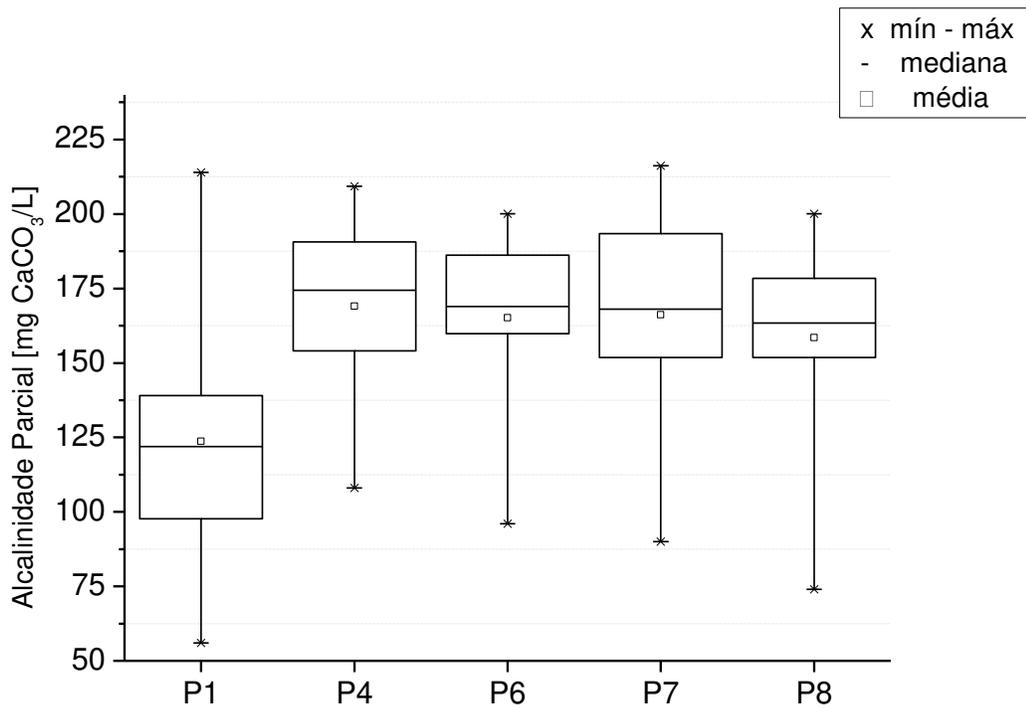
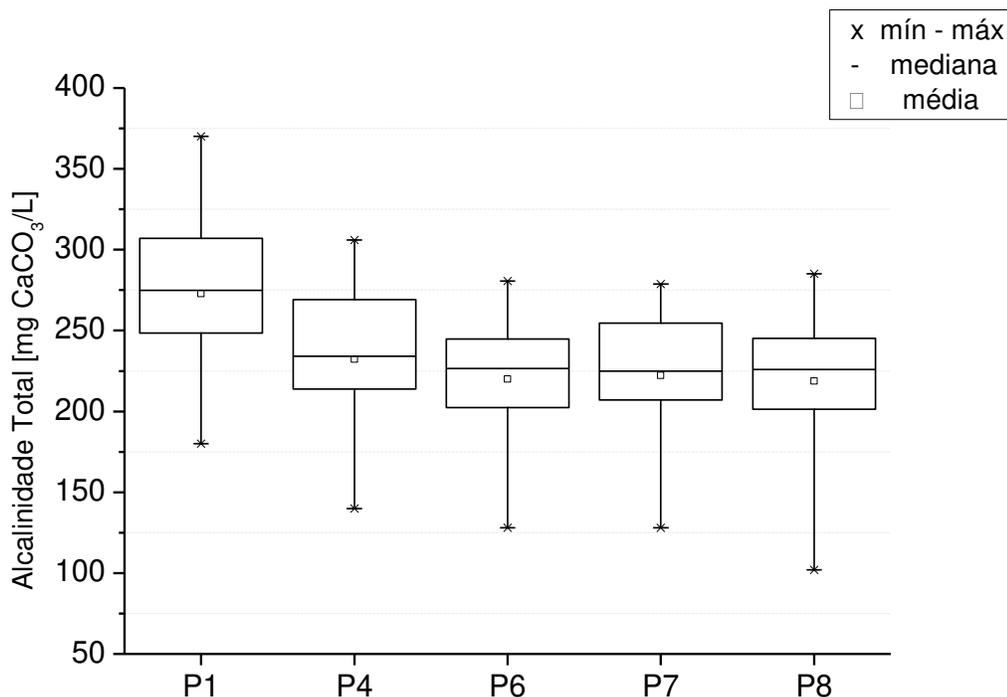


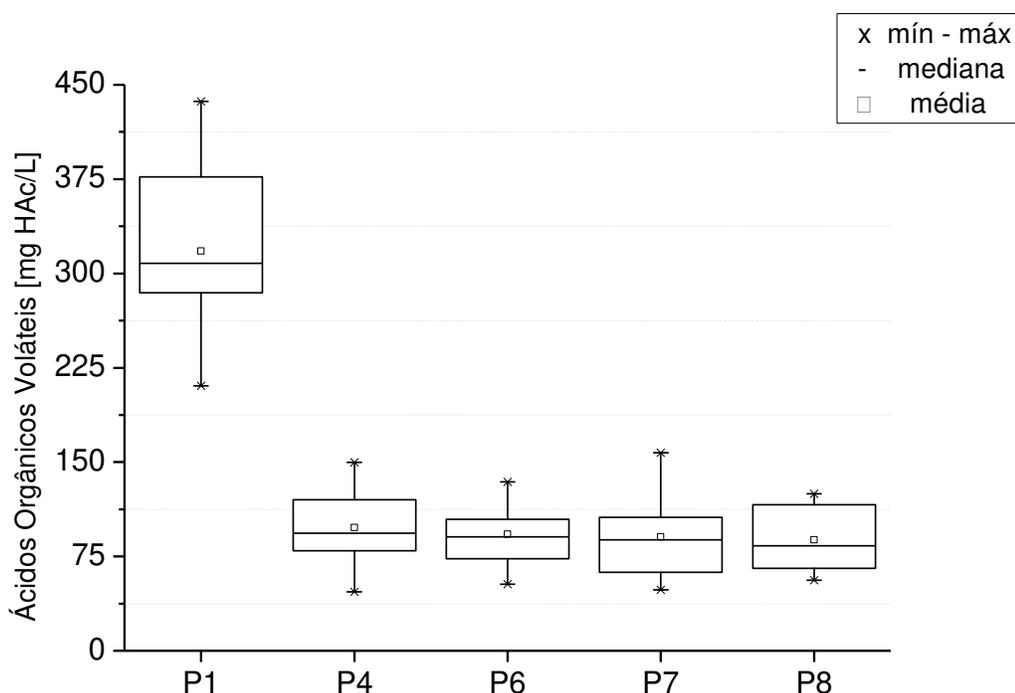
Figura 5.15: Box plot dos valores de alcalinidade total nos pontos de amostragem avaliados na Etapa 2



Na Figura 5.16 pode ser visualizada a concentração de ácidos orgânicos voláteis na segunda etapa.

Assim como na primeira etapa, os valores de ácidos orgânicos voláteis de P1, quando comparado com o restante dos pontos, indicam o consumo/assimilação desses ácidos pelo BAS. A média da concentração de ácidos orgânicos voláteis em P1 foi de 318 mgHAc/L, enquanto que em P8 foi de 88 mgHAc/L. Esse consumo garante equilíbrio ao sistema de tratamento.

Figura 5.16: Box plot dos valores de ácidos orgânicos voláteis nos pontos de amostragem avaliados na Etapa 2



As Figuras 5.17, 5.18, 5.19 e 5.20 apresentam os valores determinados para as concentrações de nitrogênio amoniacal, nitrogênio total, nitrito e nitrato, respectivamente.

É possível notar, a partir das Figuras 5.17 e 5.18, que no efluente bruto não ocorreram grandes variações na concentração de nitrogênio amoniacal e nitrogênio total, 62 ± 9 mgNH₄⁺/L e 76 ± 11 mgNTK/L. Nos outros pontos houve uma maior variação na concentração de nitrogênio amoniacal, enquanto que os valores de nitrogênio total se mantiveram bem próximos e com baixa variação, entre 48 e 53 mgNTK/L.

Assim como na primeira etapa, não foi detectada a presença de nitrito, como já se era esperado de esgoto bruto onde há predominantemente a presença de compostos nitrogenados na espécie amoniacal e orgânica. Já para os pontos P4, P6, P7 e P8 a média da concentração tanto de nitritos quanto de nitrato foi menor do que na Etapa 1. Isso provavelmente ocorreu devido às baixas temperaturas do fim do outono e do inverno. O sistema é suscetível às mudanças climáticas, pois por ser um sistema em escala piloto é mantido a céu aberto. Portanto, a nitrificação que ocorreu ao longo da segunda etapa foi menor do que a esperada. Os valores verificados para Alcalinidade total e, principalmente, parcial (Figuras 5.15 e 5.14,

respectivamente) confirmam inibição no processo de nitrificação, pois não houve o consumo desses no sistema de tratamento, P1 teve concentração média de alcalinidade total de 273 mg CaCO₃/L e P8 teve concentração média de 219 mg CaCO₃/L.

Figura 5.17: Box plot dos valores de nitrogênio amoniacal nos pontos de amostragem avaliados na Etapa 2

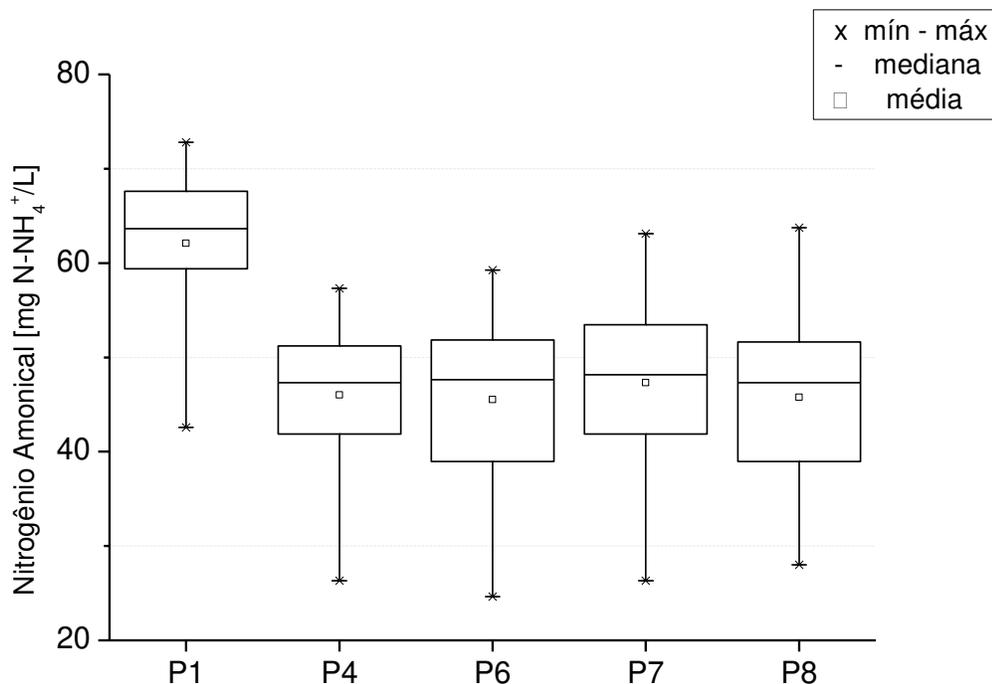


Figura 5.18: Box plot dos valores de nitrogênio total kjeldahl nos pontos de amostragem avaliados na Etapa 2

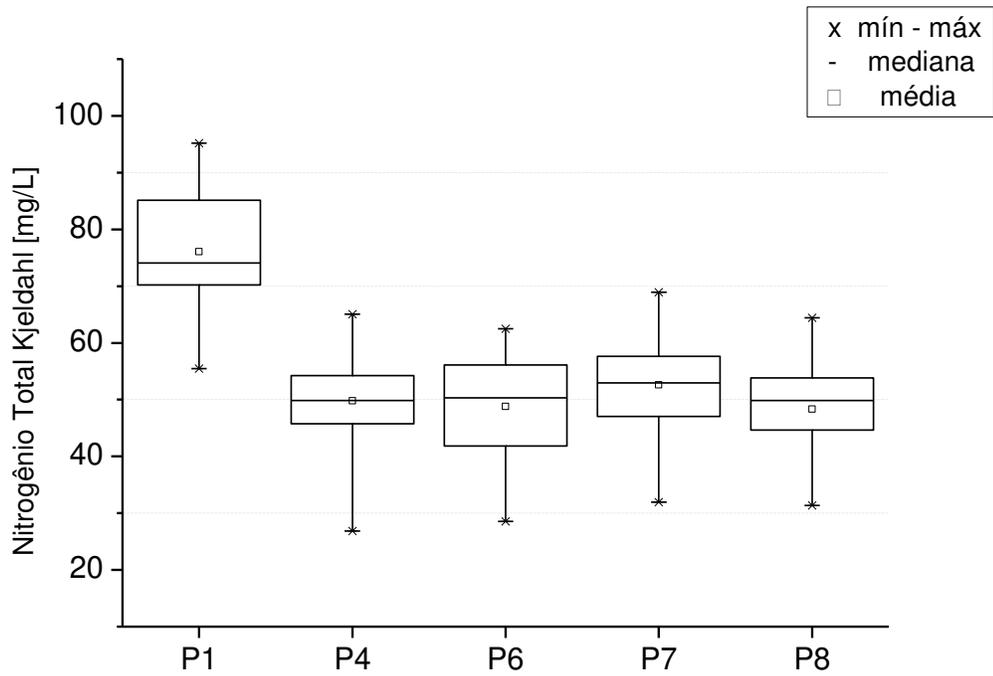


Figura 5.19: Box plot dos valores de nitrito nos pontos de amostragem avaliados na Etapa 2

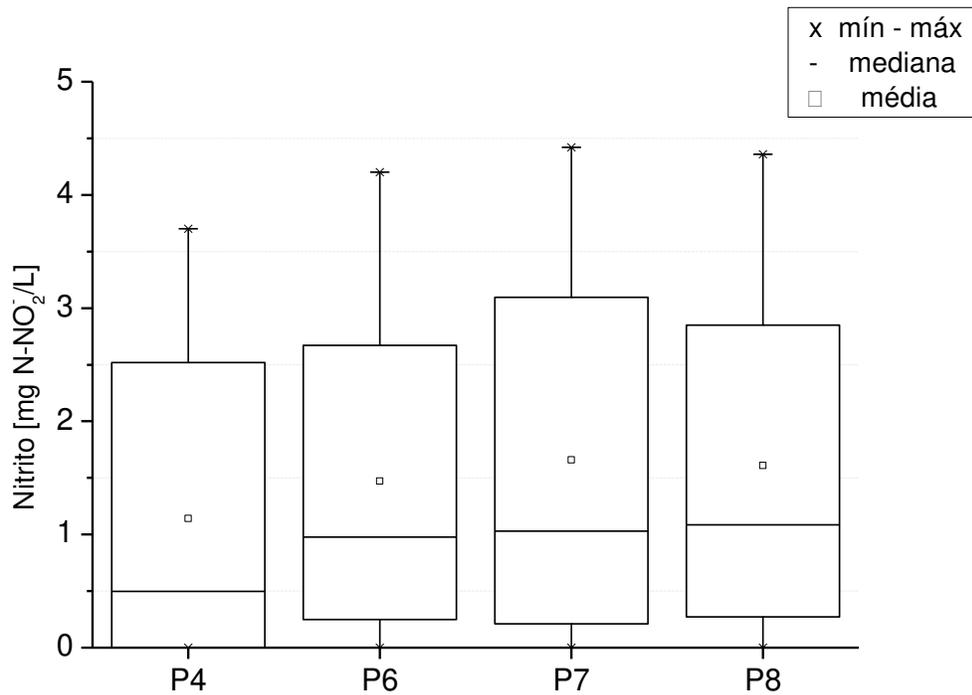
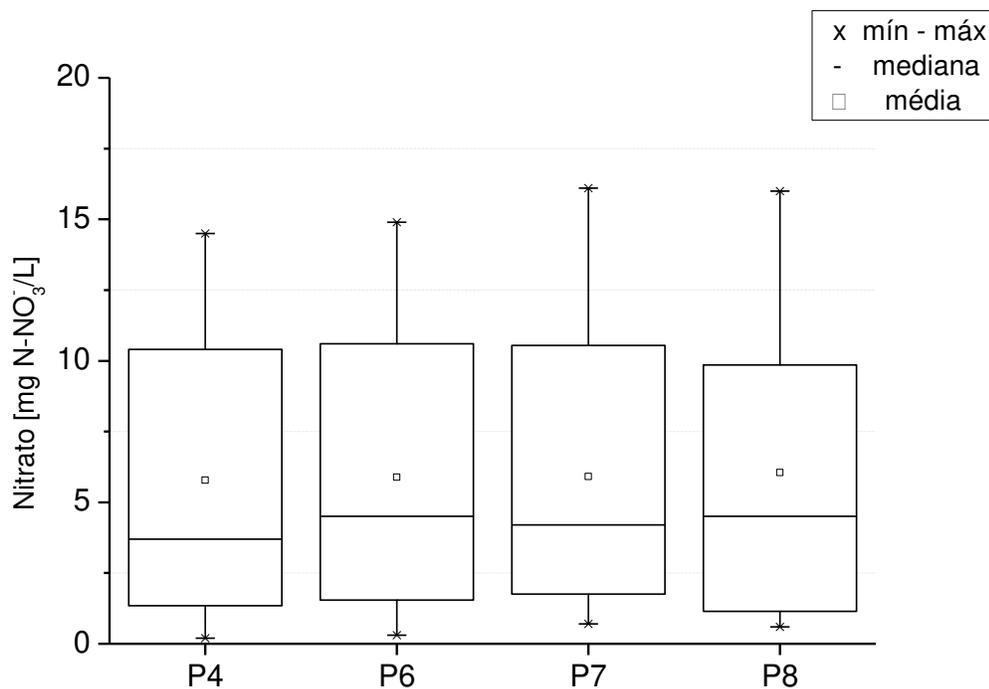


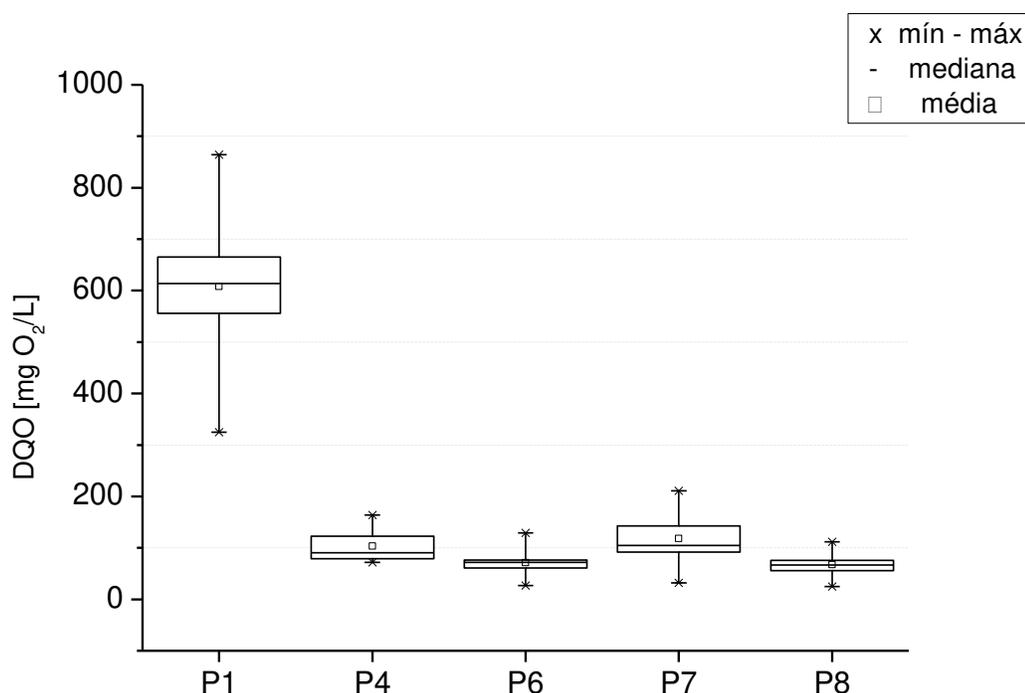
Figura 5.20: Box plot dos valores de nitrato nos pontos de amostragem avaliados na Etapa 2



Na Figura 5.21 é apresentado o comportamento dos valores da concentração de DQO das amostras na segunda etapa.

Como pode ser verificado na Figura 5.21 e na Tabela 5.7, a média de DQO em P1 foi de 608 mg O₂/L, enquanto que em P8 a média foi de 67 mg O₂/L. Portanto, a eficiência média na redução da DQO ao longo da Etapa 2 foi de 89%, uma eficiência semelhante que a da Etapa 1, que foi de 85%. Para esta variável o efeito da recirculação não afetou o desempenho do sistema.

Figura 5.21: Box plot dos valores de DQO nos pontos de amostragem avaliados na Etapa 2



5.2.2 Caracterização da microfauna

Na Tabela 5.8 são apresentados os valores de frequência dos grupos que compõem a microfauna nos pontos de amostragem do BAS ao longo da segunda etapa (n=12, amostras coletadas).

Tabela 5.8: Frequência de grupos da microfauna observada na etapa 2 (n=12 amostras coletadas).

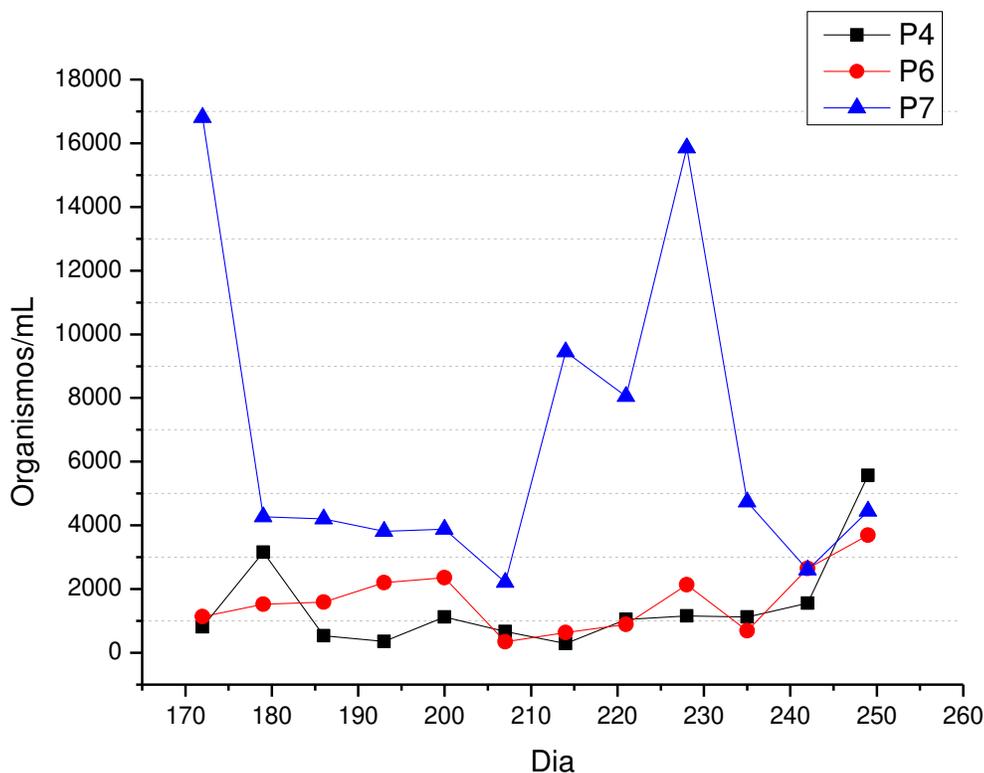
Grupo	Frequência (%)		
	P4	P5	P7
Ciliados Livres Natantes - CLN	92	100	100
Ciliados Predadores de Flocos - CPF	92	100	100
Ciliados Fixos - CF	100	100	100
Flagelados - F	42	75	100
Amebas - AMB	83	83	100
Micrometazoários - MTZ	92	100	100

Assim como na Etapa 1, o ponto P7 apresentou maior frequência dos grupos da microfauna que os pontos P4 e P6. Na Etapa 2, todos os grupos componentes da microfauna estavam presentes em todas as coletas para o P7. Já os pontos P4 e P6 apresentaram aumento na frequência dos grupos da microfauna quando comparado as suas respectivas frequências da Etapa 1. O grupo de ciliados fixos foi o único grupo que esteve presente em todas as amostras coletadas de todos os pontos.

Na Figura 5.22 é apresentada a quantidade de organismos totais por mililitro ao longo da segunda etapa.

Assim como na Etapa 1, a população da microfauna do P7 foi superior que de P4 e P6 na maior parte da Etapa 2, como pode ser observado na figura 5.22, com exceção dos dias 242 e 249, em que os pontos P6 e P4 foram superiores, respectivamente. O fato de P7 apresentar uma população maior de organismos e ter frequência de presença de 100% dos grupos da microfauna, evidencia-se a preferência dos organismos por colonizar o topo do reator. Essa preferência talvez ocorra devido à maior concentração de oxigênio dissolvido em P7, que é em média de 7,2 mg O₂/L, enquanto que em P4 e P6 a concentração é em média de 3,7 e 5,5 mg O₂/L, respectivamente.

Figura 5.22: Número de organismos por mililitro ao longo do tempo de operação da Etapa 2 nos pontos de amostragem avaliados.



As Tabelas 5.9, 5.10 e 5.11 apresentam os coeficientes de correlação entre a caracterização e quantificação dos organismos componentes da microfauna e as variáveis físicas e químicas.

Tabela 5.9: Coeficientes de correlação entre as variáveis físicas, químicas e biológicas para P4

	Temp	O.D	pH	Ap	At	AOV	NTK	NH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	DQO	DBO
CLN	-0,018	0,271	0,191	0,163	0,019	-0,018	0,184	0,224	0,302	0,171	-0,162	-0,016
CPF	-0,113	0,363	0,165	0,034	-0,080	-0,013	0,048	0,091	0,349	0,230	-0,266	-0,084
CF	-0,056	0,242	0,674*	0,270	0,148	0,255	-0,135	-0,056	0,516	0,125	-0,543	-0,390
F	0,024	0,249	-0,169	-0,222	-0,212	-0,561*	-0,329	-0,359	-0,097	-0,108	-0,248	-0,061
AMB	-0,179	0,187	-0,066	-0,513	-0,417	-0,086	-0,251	-0,269	0,328	0,544	-0,307	-0,439
MTZ	-0,418	0,516	0,087	-0,696*	-0,718	-0,263	-0,515	-0,520	0,471	0,604*	-0,461	-0,538

*p < 0,05; CLN=ciliados livre natantes; CPF=ciliados predadores de flocos; CF=ciliados fixos; F=flagelados; AMB=amebas; MTZ=micrometazoários

Tabela 5.10: Coeficientes de correlação entre as variáveis físicas, químicas e biológicas para P6

	Temp	O.D	pH	Ap	At	AOV	NTK	NH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	DQO	DBO
CLN	0,126	-0,257	0,545	0,417	0,312	-0,288	0,424	0,440	0,319	0,076	0,228	-0,702*
CPF	-0,071	0,155	-0,038	0,071	0,038	0,225	0,145	0,180	0,232	0,164	0,192	0,417
CF	0,231	-0,320	-0,278	0,306	0,341	-0,193	0,054	0,153	-0,145	-0,247	0,092	0,497
F	-0,587*	0,451	-0,098	-0,306	-0,344	-0,126	-0,537	-0,560	-0,067	-0,041	-0,009	0,351
AMB	-0,003	-0,088	-0,148	-0,021	0,046	-0,151	-0,051	0,021	0,319	0,306	-0,052	0,280
MTZ	-0,168	0,115	-0,079	-0,340	-0,346	-0,258	-0,335	-0,275	0,471	0,431	0,142	0,077

*p < 0,05; CLN=ciliados livre natantes; CPF=ciliados predadores de flocos; CF=ciliados fixos; F=flagelados; AMB=amebas; MTZ=micrometazoários

Tabela 5.11: Coeficientes de correlação entre as variáveis físicas, químicas e biológicas para P7

	Temp	O.D	pH	Ap	At	AOV	NTK	NH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	DQO	DBO
CLN	0,453	-0,480	0,106	0,504	0,539	-0,070	0,635*	0,624*	-0,590*	-0,571*	0,437	0,639*
CPF	-0,042	-0,005	0,212	0,090	0,050	0,382	0,024	0,199	0,325	0,333	-0,178	-0,588
CF	0,476	-0,592*	0,500	0,493	0,496	0,221	0,142	0,422	-0,071	-0,136	-0,577*	-0,363
F	-0,493	0,523	-0,468	-0,424	-0,443	-0,135	-0,489	-0,621*	-0,135	-0,180	0,089	-0,526
AMB	-0,115	0,033	-0,050	-0,024	-0,018	-0,106	-0,790	0,022	0,637*	0,519	-0,142	0,213
MTZ	0,037	-0,035	-0,333	-0,235	-0,201	-0,289	-0,110	-0,175	0,506	0,457	-0,037	-0,073

*p < 0,05; CLN=ciliados livre natantes; CPF=ciliados predadores de flocos; CF=ciliados fixos; F=flagelados; AMB=amebas; MTZ=micrometazoários

Como pode ser visto na Tabela 5.9, o aumento da população de ciliados fixos (CF) está relacionado ao pH, isso evidencia que valores mais altos de pH são favoráveis para o aumento de ciliados fixos em P4. A ausência de flagelados (F) indica maiores concentrações de AOV, enquanto a diminuição da alcalinidade parcial e o aumento da concentração de nitratos estão relacionados com os micrometazoários, em que a população de micrometazoários (MTZ) aumenta com diminuição da alcalinidade parcial e com o aumento da concentração de nitratos no reator. O fato dos micrometazoários estarem relacionados à concentração de nitratos evidencia que os organismos desse grupo estão conectados ao processo de nitrificação. Para os grupos CF, F e MTZ os gêneros mais frequentes foram *Vorticella* sp., *Peranema* sp. e *Philodinavus* sp.

Ao contrário da Etapa 1, quando não foi possível traçar relação com nenhuma variável físico e química, P6 apresentou correlação para dois grupos da microfauna na Etapa 2, como pode ser observado na Tabela 5.10. A diminuição da temperatura está relacionado ao aumento da

população de flagelados (F) e o aumento da população de ciliados livres natantes (CLN) está relacionado com a diminuição da concentração de DBO. Logo, nessa etapa, os ciliados livres natantes (CLN) indicam a qualidade do efluente quanto à diminuição ou aumento da carga orgânica. Para os grupos CLN e F os gêneros mais frequentes foram *Tetrahymena* sp. e *Peranema* sp.

Na Tabela 5.11 é possível determinar que os ciliados livre natantes (CLN) estão relacionados ao balanço de nitrogênio no reator, já que houve correlação entre esse grupo e todas as formas de nitrogênio avaliadas nessa pesquisa. O aumento da população de ciliados livres natantes (CLN) em P7 foi diretamente relacionado ao aumento das concentrações de nitrogênio amoniacal e NTK e à diminuição das concentrações de nitrato e nitrito. Além dessa correlação, diferentemente do ponto P6, os ciliados livres natantes (CLN) estão relacionados ao aumento da concentração de DBO.

Os ciliados fixos (CF) que apresentaram correlação com diversas variáveis em P7 na Etapa 1 apresentaram na Etapa 2 correlação com duas variáveis diferentes das da Etapa 1. Foi possível determinar que o aumento da população de ciliados fixos (CF) foi relacionado com a diminuição da concentração de oxigênio dissolvido e de DQO. Do grupo CF os gêneros mais frequentes foram *Vorticella* sp., *Sphaerophya* sp. e *Epistylis* sp.

Para a população de flagelados (F) e amebas (AMB) pode-se relacionar cada uma com uma variável em P7 na Etapa 2. Os flagelados (F) foram relacionados à concentração de nitrogênio amoniacal, onde o aumento da população de flagelados (F) indica menores concentrações de nitrogênio amoniacal. As amebas (AMB), por outro lado, estão relacionadas à concentração de nitrito, onde o aumento da população está relacionado ao aumento da concentração de nitrito em P7. Do grupo F o gênero mais frequente foi *Peranema* sp., enquanto para o grupo AMB os gêneros mais frequente foram *Arcella* sp. e *Amoeba* sp.

5.2.3 Ensaios ecotoxicológicos

Na Tabela 5.12 são apresentados os resultados de CE50 para *Vibrio fischeri* e CL50 para *Girardia tigrina* obtidos para os dias de operação 172, 221 e 249 pertencentes à Etapa 2.

Tabela 5.12: Resultados dos ensaios ecotoxicológicos para os pontos P1 e P8 do sistema de tratamento para o 172º, 221º e 249º dias de operação

Organismo	(172)		(221)		(249)	
	P1	P8	P1	P8	P1	P8
<i>Vibrio fischeri</i>	7,9% [4,7 – 13,4]	NT	11,6% [9,3 – 14,5]	83,1%* [71,0 – 97,1*]	2,1% [1,8 – 2,6]	100,2%* [58,1 – 172,8*]
<i>Girardia tigrina</i>	39,1% [34,2 – 44,6]	43,4% [54,4 – 75,1]	37,2% [33,6 – 41,2]	63,9% [54,3 – 75,0]	65,6% [57,2 – 75,3]	NT

[] – limites de confiança (95%)

NT – não tóxico

* valores inválidos

Como apresentado na Tabela 5.12, para os dois organismos utilizados nos ensaios ocorreu a redução da toxicidade do efluente bruto que abastece o sistema. No caso do *Vibrio fischeri*, houve a total redução da toxicidade para esse organismo no início da etapa. No meio da etapa, também ocorreu redução de toxicidade, lembrando que valores de CE50 acima de 80% para *Vibrio fischeri* são considerados não tóxicos. E no fim da etapa, novamente ocorreu redução da toxicidade do efluente para esse organismo.

Para *Girardia tigrina*, também observou-se redução da toxicidade do efluente tratado ao longo da Etapa 2. No início dessa etapa, a toxicidade do efluente foi de 43,4%, no meio foi de 63,9% e no fim foi não tóxico. Notou-se que quanto maior a porcentagem da CL50, menor era a toxicidade. Assim como na Etapa 1, na Etapa 2 foi possível notar uma relação entre toxicidade e redução de amônia no efluente tratado. No dia 172 a eficiência na redução de nitrogênio amoniacal foi de 6% (de 61 para 57 mg/L), no dia 221 foi de 30% (de 67 para 46 mg/L) e no dia 249 foi de 33% (de 72 para 48 mg/L). Logo, como pôde ser determinado nessa etapa o dia 172 foi o que apresentou o CE50 com valor mais tóxico para *Girardia tigrina*, enquanto o dia 221 apresentou um valor menos tóxico que o início da etapa (dia 172) e o dia 249 não apresentou toxicidade.

5.3 Etapa 3

A Etapa 3 durou 84 dias, manteve-se a recirculação do efluente tratado ao filtro anaeróbio, mas a razão foi alterada para 3, ou seja, o sistema de tratamento foi abastecido com 73,8 L/h de efluente tratado e 24,6 L/h de efluente bruto.

5.3.1 Variáveis físicas e químicas

Na Tabela 5.13 são apresentados os valores das variáveis físicas e químicas determinadas na terceira etapa do experimento (n=12, amostras coletadas, com exceção de DBO, na qual n=6).

Tabela 5.13: Valores médios e desvio-padrão das variáveis avaliadas para cada ponto de amostragem na terceira etapa.

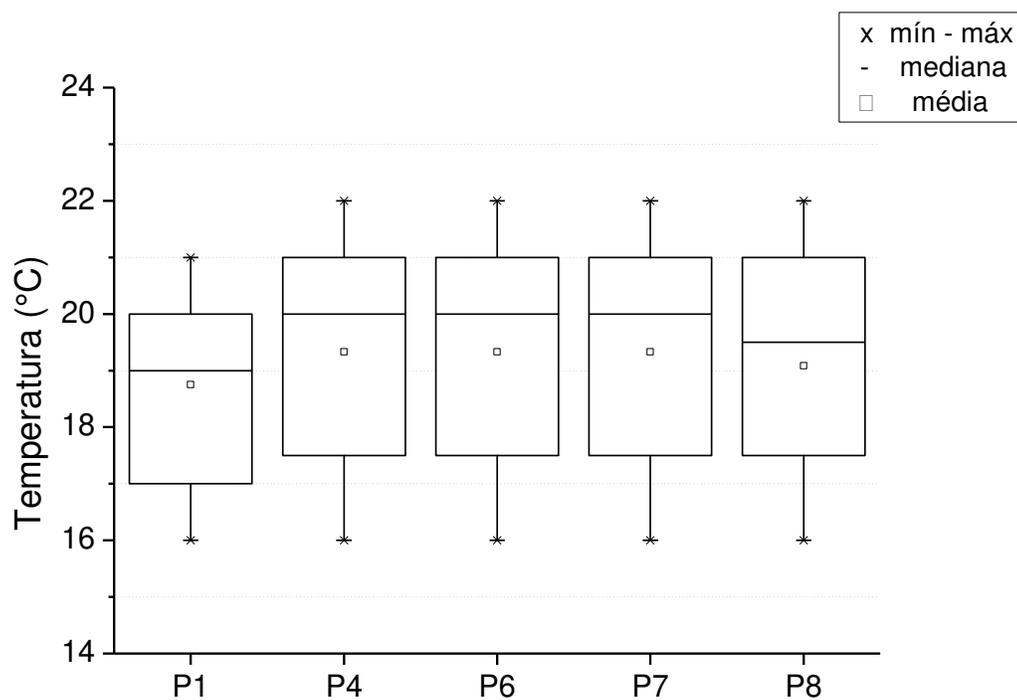
Variável	P1 (EB)		P4 (BAS)		P6 (BAS)		P7 (BAS)		P8 (DEC)	
	MED	DP	MED	DP	MED	DP	MED	DP	MED	DP
Temperatura [°C]	19	2	19	2	19	2	19	2	19	2
OD [mg O ₂ /L]	-	-	6,0	1,6	6,9	1,2	7,3	1,5	6,5	1,2
pH	6,7	0,2	7,0	0,4	6,8	0,7	6,8	0,7	6,8	0,6
Ap [mg CaCO ₃ /L]	123	25	66	62	60	63	58	64	53	60
At [mg CaCO ₃ /L]	261	28	91	81	83	83	82	84	75	79
AOV [mg Hac/L]	212	41	41	26	37	24	34	22	35	26
NH ₄ ⁺ [mg/L]	56	6	29	12	27	12	28	12	26	12
NTK [mg/L]	68	11	29	13	27	14	28	13	28	13
NO ₂ ⁻ [mg/L]	nd	nd	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2	0,1
NO ₃ ⁻ [mg/L]	-	-	15,3	9,1	14,3	8,8	15,4	8,9	16,6	8,4
DQO [mg O ₂ /L]	566	107	74	25	68	24	74	20	69	25
DBO [mg O ₂ /L]	-	-	22	11	21	12	20	14	-	-

(-) não realizado; (nd) não-detectado (nível de detecção de 0,01 mg/L de NO₂⁻ ; EB – Efluente Bruto; BAS- Biofiltro Aeróbio Submerso; DEC – Decantador; Ap - alcalinidade parcial (até pH=5,75); At = alcalinidade total (até pH=4,30)

Na Figura 5.23 pode ser verificado os valores de temperatura na terceira etapa, de acordo com os resultados não houve grandes variações na mesma, a média para todos os pontos foi de 19 °C, com valores máximos de 22 °C e mínimos de 16 °C. Ao contrário da Etapa 2, quando a

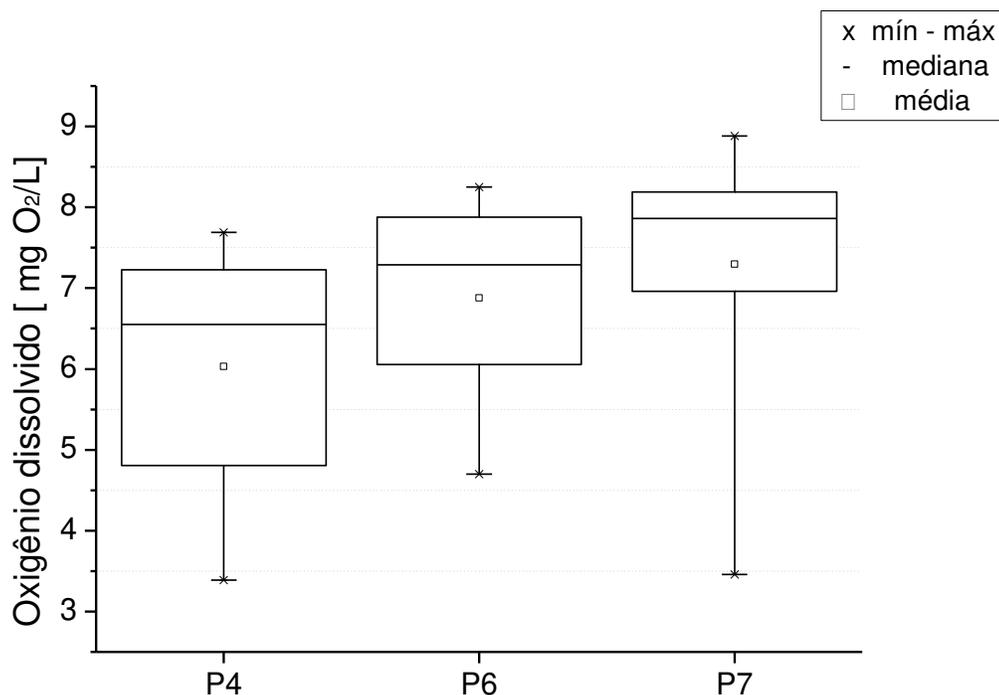
eficiência de nitrificação do sistema diminui devido à baixas temperaturas, na Etapa 3 não houve tal interferência.

Figura 5.23: Box plot dos valores de temperatura nos pontos de amostragem avaliados na Etapa 3



Na Figura 5.24 pode ser visualizado os valores de oxigênio dissolvido, onde a concentração média de oxigênio dissolvido na Etapa 3 foi maior no ponto P7, assim como na Etapa 2, o que reforça a influência do oxigênio dissolvido na abundância de organismos em P7.

Figura 5.24: Box plot dos valores de oxigênio dissolvido nos pontos de amostragem avaliados na Etapa 3



Nas Figuras 5.25, 5.26 e 5.27 podem ser verificados os valores de pH, alcalinidade parcial e alcalinidade total, respectivamente, na terceira etapa.

A média dos valores de pH para todos os pontos na Etapa 3 foi entre 6,7 e 7,0 (Figura 5.25). A média de P1 foi semelhante à média de P1 na Etapa 2, enquanto que para os pontos P4, P6, P7 e P8 houve diminuição de valores quando comparados com as médias da Etapa 2 para os mesmos pontos. Para as variáveis alcalinidade parcial e total (Figura 5.26 e 5.27, respectivamente) pode-se observar uma diminuição de concentração para os pontos P4, P6, P7 e P8 na Etapa 3. Quando comparado com as médias da Etapa 2, o ponto P1 manteve a média das concentrações na Etapa 3 semelhantes às médias das Etapas 1 e 2. Tal diminuição dos valores nos pontos P4, P6, P7 e P8 tanto para alcalinidade parcial (que chegou a não ser detectado pela limitação do método e abaixo de 10 mg CaCO₃/L por 4 semanas) quanto para alcalinidade total estão ligados ao consumo de alcalinidade no sistema devido ao aumento da taxa de nitrificação. Isso explica também a diminuição dos valores de pH, pois, com menor alcalinidade há a diminuição do efeito tampão no sistema.

Figura 5.25: Box plot dos valores de pH nos pontos de amostragem avaliados na Etapa 3

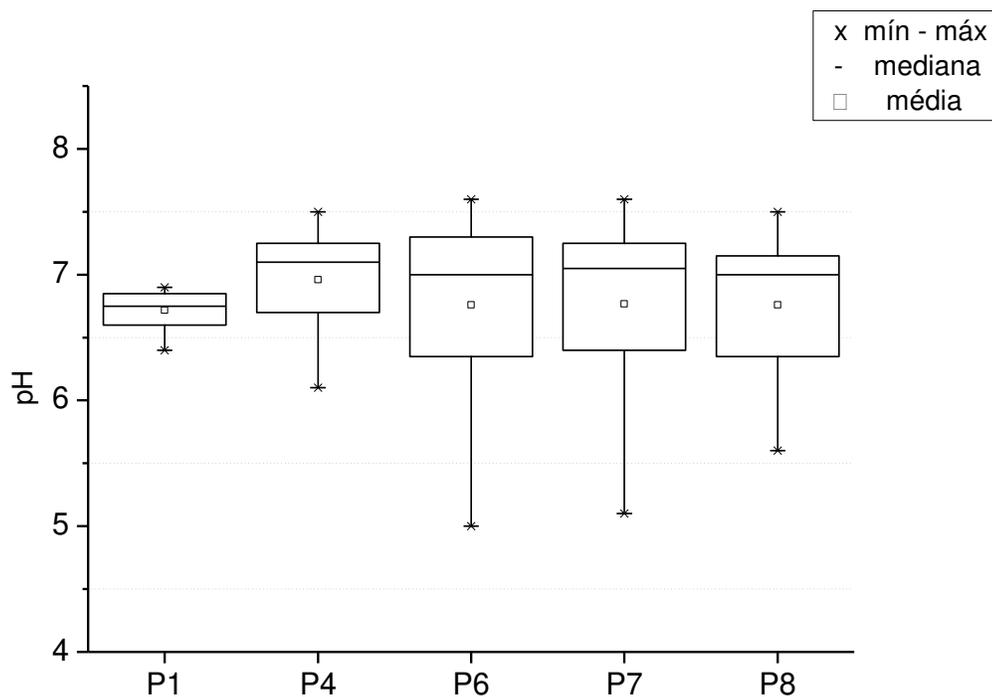


Figura 5.26: Box plot dos valores de alcalinidade parcial nos pontos de amostragem avaliados na Etapa 3

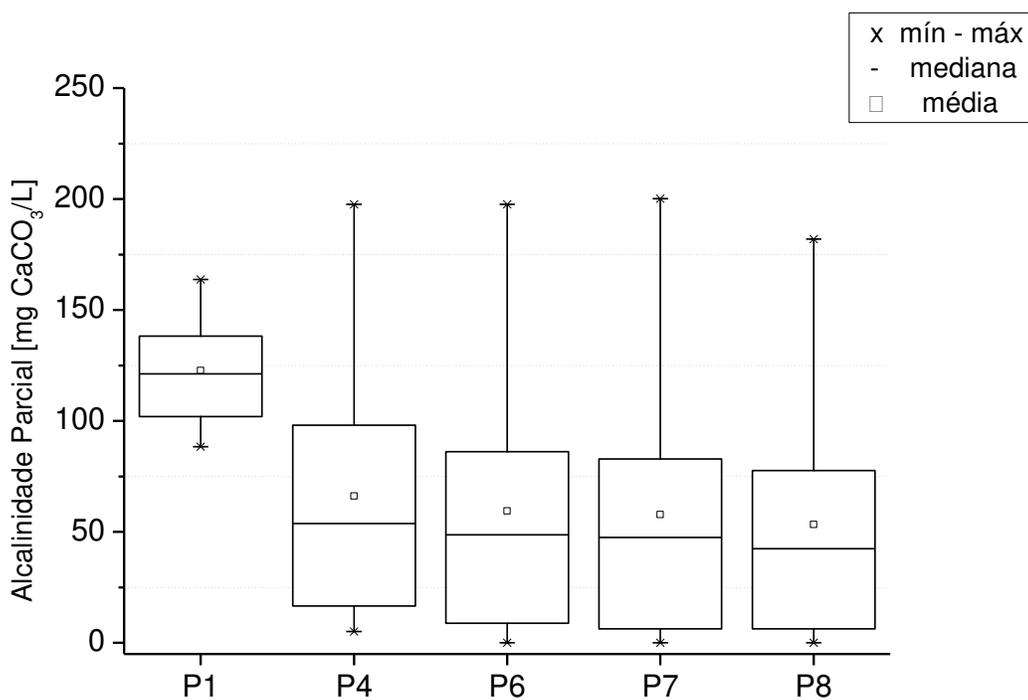
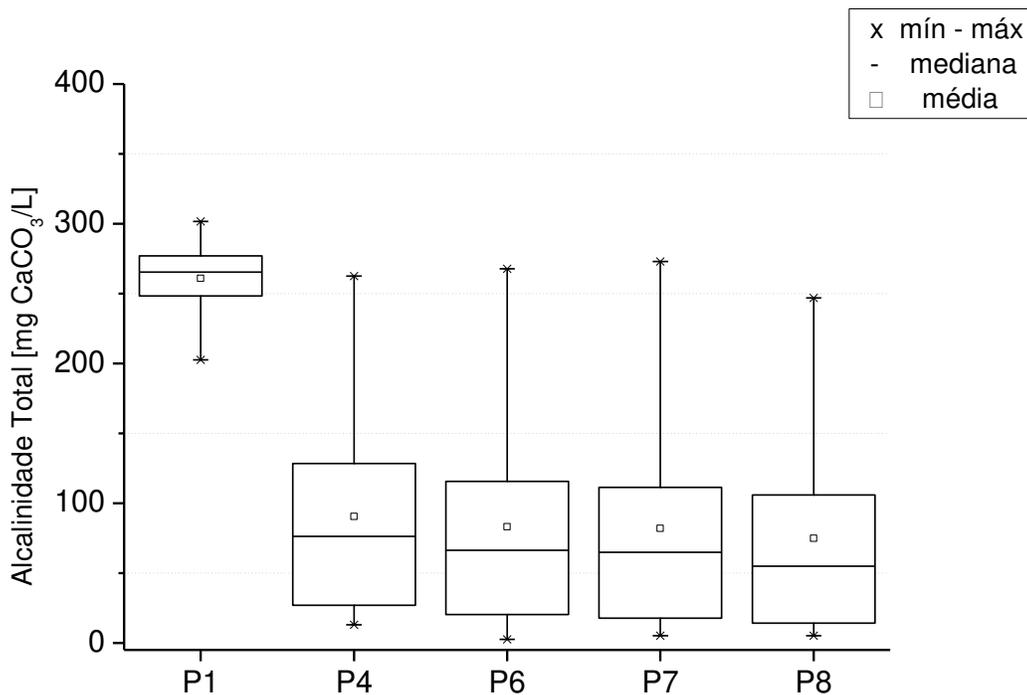


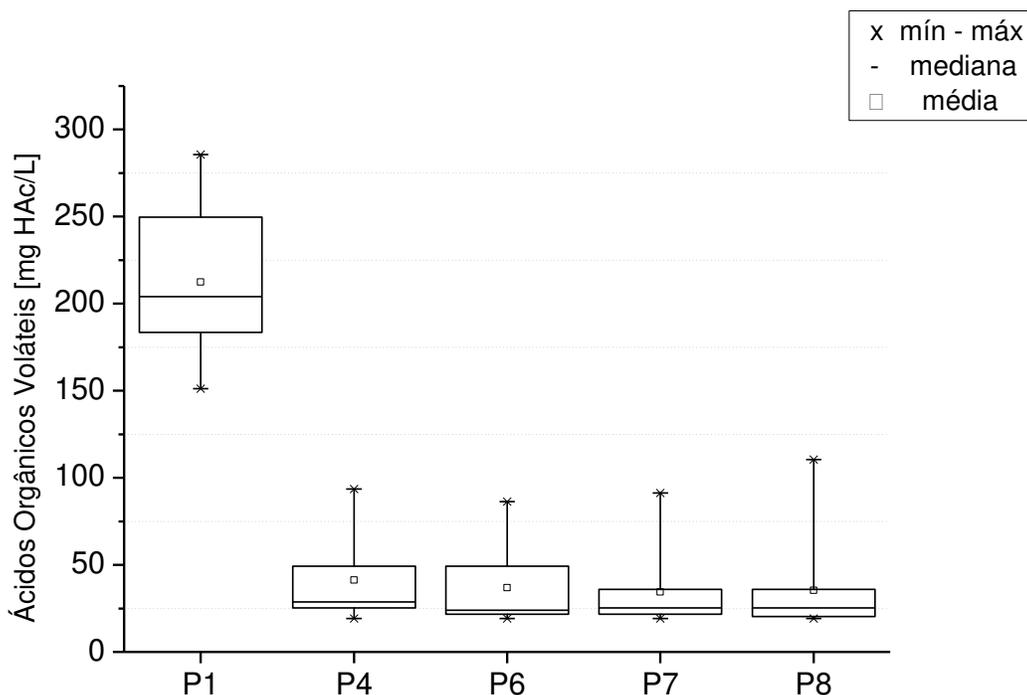
Figura 5.27: Box plot dos valores de alcalinidade total nos pontos de amostragem avaliados na Etapa 3



Na Figura 5.28 pode ser visualizada a concentração de ácidos orgânicos voláteis na terceira etapa.

Assim como nas Etapas 1 e 2, os valores de ácidos orgânicos voláteis de P1 (média de 212 mg HAC/L), quando comparado com o restante dos pontos na Etapa 3 (valores entre 34 e 41 mg HAC/L), indicam o consumo/assimilação desses ácidos pelo BAS. Esse consumo garante equilíbrio ao sistema de tratamento.

Figura 5.28: Box plot dos valores de ácidos orgânicos voláteis nos pontos de amostragem avaliados na Etapa 3



As Figuras 5.29, 5.30, 5.31 e 5.32 apresentam os valores determinados para as concentrações de nitrogênio amoniacal, nitrogênio total, nitrito e nitrato, respectivamente.

Na Etapa 3 foi mantido o perfil da concentração de nitrogênio amoniacal e nitrogênio total (Figuras 5.29 e 5.30, respectivamente) observados nas Etapas 1 e 2. Nos outros pontos (P4, P5, P6 e P8) houve diminuição na concentração de nitrogênio amoniacal e nitrogênio total, o que evidencia a oxidação dos compostos nitrogenados a nitrato.

Novamente não foi detectada a presença de nitrito no ponto P1 na Etapa 3 pela metodologia empregada, assim como nas Etapas 1 e 2. Os pontos P4, P6, P7 e P8 apresentaram média de concentração de nitrito menores que nas Etapas 1 e 2, os valores foram de 0,1 e 0,2 mg NO_2^-/L (Figura 5.31), o que evidencia que a maior parte do nitrito foi convertido a nitrato, por isso a baixa concentração de nitrito nas amostras. A concentração média de nitrato nas amostras foi de 15 mg NO_3^-/L (Figura 5.32), que foi superior à média da Etapa 2 quando as concentrações de nitrato foram baixas devido às várias semanas de baixa temperatura.

Figura 5.29: Box plot dos valores de nitrogênio amoniacal nos pontos de amostragem avaliados na Etapa 3

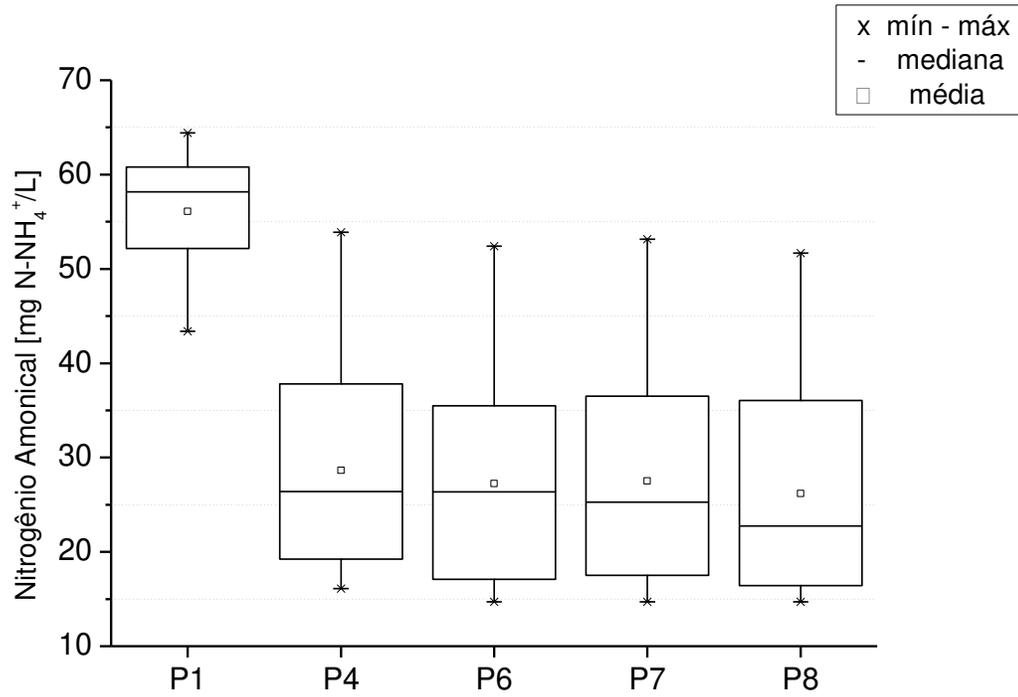


Figura 5.30: Box plot dos valores de nitrogênio total kjeldahl nos pontos de amostragem avaliados na Etapa 3

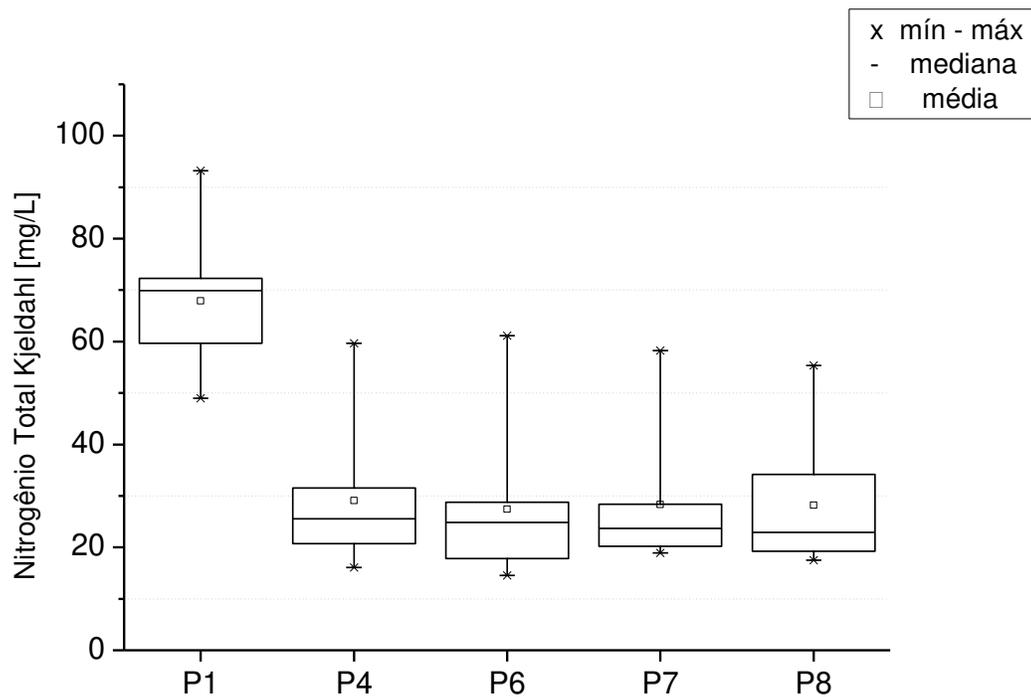


Figura 5.31: Box plot dos valores de nitrito nos pontos de amostragem avaliados na Etapa 3

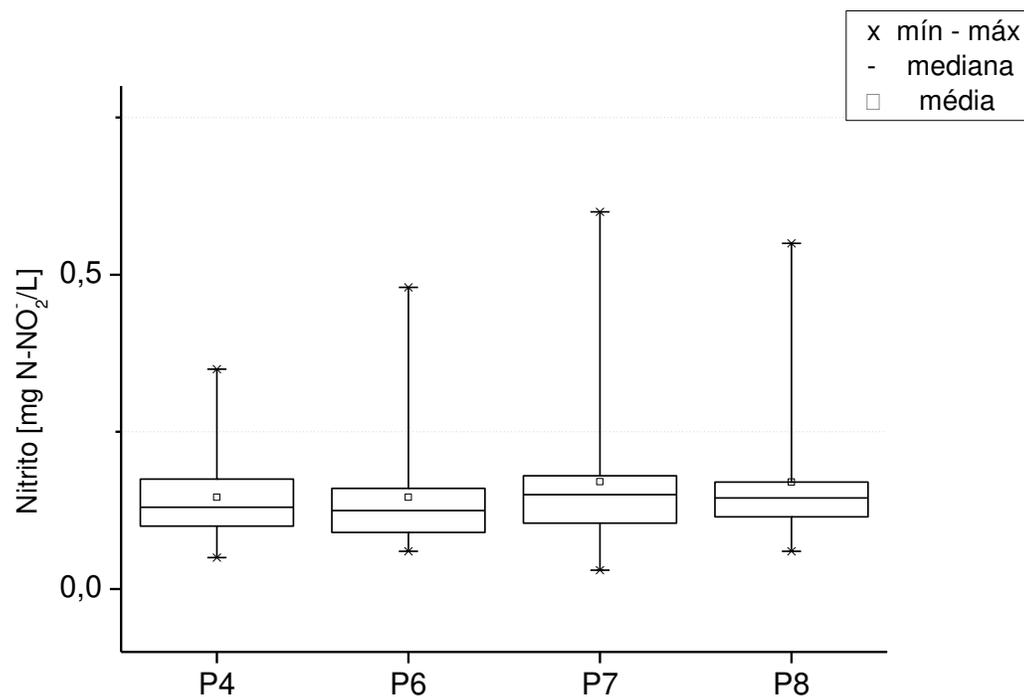
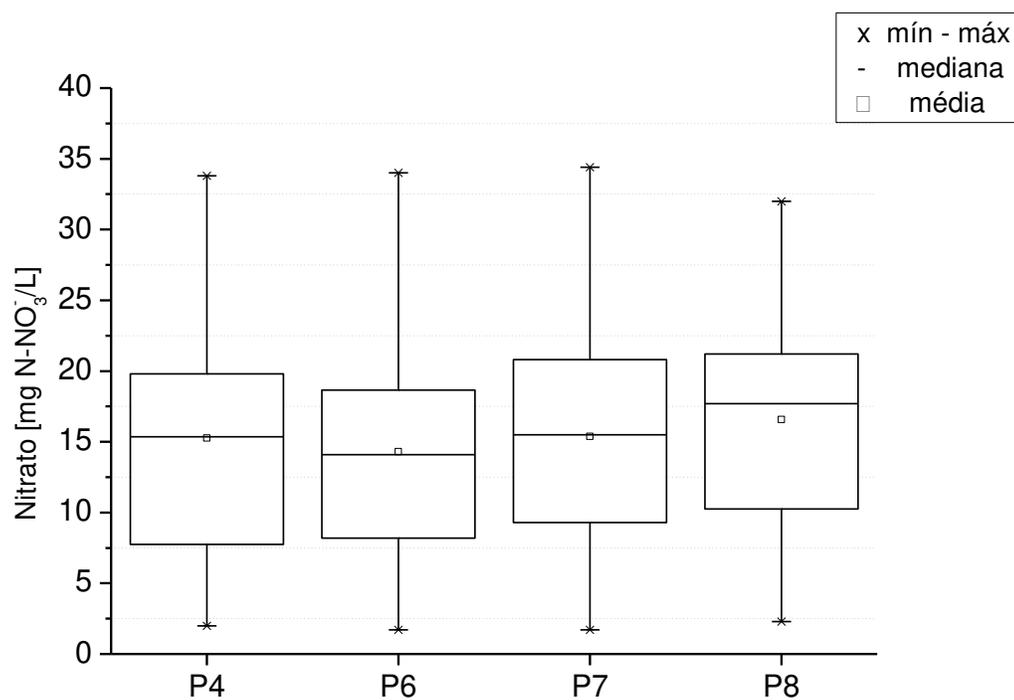
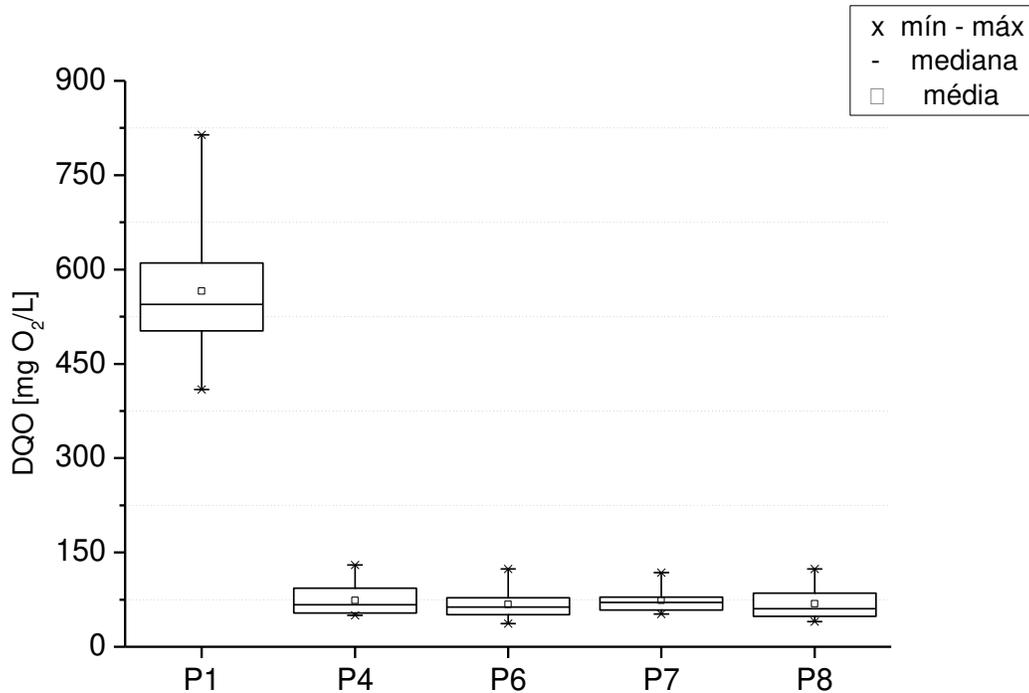


Figura 5.32: Box plot dos valores de nitrato nos pontos de amostragem avaliados na Etapa 3



Na Figura 5.33 verifica-se a concentração de DQO das amostras na terceira etapa.

Figura 5.33: Box plot dos valores de DQO nos pontos de amostragem avaliados na etapa 3



Como pode ser visto na Figura 5.33 e na Tabela 5.13, a média de DQO em P1 foi de 566 mg O₂/L, enquanto que em P8 a média foi de 69 mg O₂/L. Portanto, a eficiência média na redução da DQO ao longo da Etapa 3 foi de 87%, que é uma eficiência semelhante as eficiências das Etapas 1 e 2 que foram respectivamente de 89% e 85%.

5.3.2 Caracterização da microfauna

Na Tabela 5.14 são apresentados os valores de frequência dos grupos que compõem a microfauna nos pontos de amostragem do BAS ao longo da terceira etapa (n=12, amostras coletadas).

Tabela 5.14: Frequência de grupos da microfauna observada na Etapa 3 (n=12 amostras coletadas)

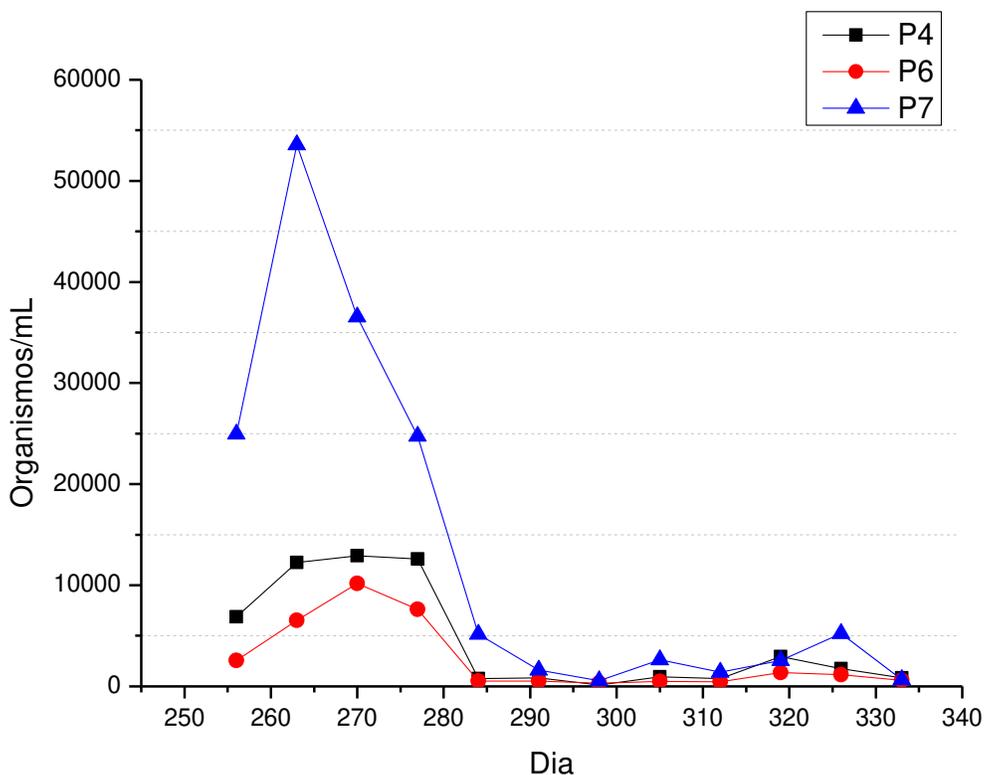
Grupo	Frequência (%)		
	P4	P6	P7
Ciliados Livres Natantes - CLN	100	83	100
Ciliados Predadores de Flocos - CPF	75	58	83
Ciliados Fixos - CF	100	100	100
Flagelados - F	83	75	83
Amebas - AMB	100	100	100
Micrometazoários - MTZ	92	100	100

Assim como nas Etapas 1 e 2, o ponto P7 apresentou maior ou igual frequência dos grupos da microfauna que os pontos P4 e P6. Entretanto, quando P7 da Etapa 3 é comparado com P7 da Etapa 2 houve diminuição da frequência para os grupos CPF e F, os quais estavam presentes em todas as coletas da Etapa 2. Um perfil semelhante à Etapa 2 foi observado na Etapa 3, em que os grupos CF e MTZ apresentaram as mesmas frequências em seus respectivos pontos. Nessa etapa, tanto o grupo de ciliados fixos quanto o de amebas foram observados em todas as amostras coletadas e em todos os pontos avaliados.

A Figura 5.34 apresenta a quantidade de organismos totais por mililitro ao longo da terceira etapa.

Assim como nas Etapas 1 e 2, a população da microfauna do ponto P7 foi superior que a dos pontos P4 e P6 ao longo da Etapa 3 na maioria das coletas, com exceção dos dias 319 e 333, em que o ponto P4 foi superior. Como pode ser observado na Figura 5.34 e na Tabela 5.14, P7 apresentou maior população de organismos que os outros pontos. É notável que nas quatro primeiras coletas houve aumento da população de organismos da microfauna para todos os pontos, com P7 chegando a atingir mais de 50.000 org/ml. Tal aumento pode ter ocorrido devido à mudança de etapa, a qual consistiu em uma maior taxa de recirculação de efluente tratado no sistema de tratamento. De acordo com os resultados das variáveis físicas e químicas, não foi possível determinar qual parâmetro pode ter sido responsável por esse aumento do número de organismos da microfauna.

Figura 5.34: Número de organismos por mililitro ao longo do tempo de operação da Etapa 3 nos pontos de amostragem avaliados



As Tabelas 5.15, 5.16 e 5.17 apresentam os coeficientes de correlação entre a caracterização e quantificação dos organismos componentes da microfauna e as variáveis físicas e químicas.

Tabela 5.15: Coeficientes de correlação entre as variáveis físicas, químicas e biológicas para P4

	Temp	O.D	pH	Ap	At	AOV	NTK	NH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	DQO	DBO
CLN	0,361	-0,196	0,484	0,344	0,351	0,147	0,329	0,224	0,302	-0,121	0,627*	0,652
CPF	-0,362	0,160	0,085	-0,008	-0,028	-0,174	-0,048	0,091	0,349	-0,079	-0,173	-0,303
CF	-0,242	-0,042	0,262	0,312	0,291	0,305	0,174	0,259	0,521	-0,338	-0,252	0,126
F	-0,512	0,313	-0,208	-0,248	-0,259	-0,244	-0,228	-0,325	0,028	0,063	-0,069	-0,352
AMB	-0,349	0,392	-0,295	-0,394	-0,401	-0,463	-0,345	-0,389	-0,321	0,213	0,177	-0,497
MTZ	0,555	-0,124	-0,154	-0,220	-0,240	-0,041	-0,332	-0,244	0,355	0,284	0,053	-0,584

*p < 0,05; CLN=ciliados livre natantes; CPF=ciliados predadores de flocos; CF=ciliados fixos; F=flagelados; AMB=amebas; MTZ=micrometazoários

Tabela 5.16: Coeficientes de correlação entre as variáveis físicas, químicas e biológicas para P6

	Temp	O.D	pH	Ap	At	AOV	NTK	NH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	DQO	DBO
CLN	-0,222	-0,376	0,489	0,516	0,513	0,309	0,516	0,224	0,302	-0,536	0,053	0,881*
CPF	-0,281	0,039	0,196	0,026	0,014	-0,213	0,052	0,091	0,349	-0,115	-0,077	-0,048
CF	-0,561*	0,351	0,198	0,054	0,049	-0,198	0,111	-0,032	-0,196	-0,123	-0,062	0,246
F	-0,532	0,434	-0,064	-0,303	-0,298	-0,330	-0,269	-0,357	-0,062	0,144	-0,022	-0,229
AMB	-0,351	0,417	-0,230	-0,437	-0,430	-0,426	-0,354	-0,418	-0,208	0,266	0,220	-0,245
MTZ	0,570*	0,098	-0,299	-0,453	-0,449	-0,469	-0,327	-0,312	-0,169	0,548	0,504	-0,582

*p < 0,05; CLN=ciliados livre natantes; CPF=ciliados predadores de flocos; CF=ciliados fixos; F=flagelados; AMB=amebas; MTZ=micrometazoários

Tabela 5.17: Coeficientes de correlação entre as variáveis físicas, químicas e biológicas para P7

	Temp	O.D	pH	Ap	At	AOV	NTK	NH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	DQO	DBO
CLN	-0,041	-0,634*	0,582*	0,562*	0,557	0,293	0,315	0,224	0,302	-0,623*	0,180	0,981**
CPF	-0,370	0,137	0,151	0,014	-0,001	-0,184	-0,011	0,091	0,349	-0,166	-0,292	-0,157
CF	-0,294	-0,009	0,317	0,314	0,302	-0,082	0,144	0,282	0,389	-0,382	-0,379	0,178
F	-0,522	0,430	0,086	-0,138	-0,155	-0,353	-0,202	-0,165	0,176	-0,061	-0,294	-0,234
AMB	-0,429	0,095	0,094	-0,059	-0,077	-0,295	-0,016	-0,028	-0,312	-0,132	0,074	0,056
MTZ	0,372	-0,090	-0,004	-0,254	-0,257	-0,448	-0,360	-0,220	0,249	0,188	0,323	-0,696

*p < 0,05

**p < 0,001 ; CLN=ciliados livre natantes; CPF=ciliados predadores de flocos; CF=ciliados fixos; F=flagelados; AMB=amebas; MTZ=micrometazoários

Como pode ser observado na Tabela 5.15, o aumento da população de ciliados livre natantes (CLN) está relacionado ao aumento de DQO em P4. Do grupo CLN os gêneros mais frequentes foram *Metopus* sp. e *Paramecium* sp.

Ao contrário da Etapa 2, o aumento na população de ciliados livre natantes (CLN) na Etapa 3 indicam aumento da concentração de DBO em P6. Outros dois grupos apresentaram coeficientes para outra variável nesse ponto: os ciliados fixos (CF) e os micrometazoários (MTZ). Enquanto o aumento de temperatura está relacionado à diminuição de ciliados fixos (CF), para os micrometazários (MTZ) esse aumento de temperatura também indica aumento de população. Logo, assim como na Etapa 2, os ciliados livre natantes (CLN) indicam a qualidade do efluente quanto à diminuição ou aumento da carga orgânica. Do grupo CLN os gêneros mais frequentes

foram *Tetrahymena* sp., *Paramecium* sp. e *Metopus* sp. Para o grupo CF os gêneros mais frequentes foram *Epistylis* sp., *Podophrya* sp. e *Vorticella* sp.

Já para o ponto P7 na Etapa 3, somente o grupo de ciliado livre natantes (CLN) apresentou relação com as variáveis físicas e químicas. Assim como na Etapa 2, o aumento da população de ciliados livre natantes (CLN) está relacionado à diminuição das concentrações de nitrato e ao aumento da concentração de DBO. Além dessas variáveis, foi determinada relação direta com o pH e alcalinidade parcial. Para o oxigênio dissolvido, a relação é inversa, o aumento de oxigênio dissolvido está relacionado à diminuição da população de ciliados livre natantes (CLN). Os gêneros mais constantes foram *Tetrahymena* sp., *Paramecium* sp. e *Spathidium* sp.

5.3.3 Ensaios ecotoxicológicos

Na Tabela 5.18 são apresentados os resultados de CE50 para *Vibrio fischeri* e CL50 para *Girardia tigrina* obtidos para os dias de operação 256, 298 e 333 pertencentes à Etapa 3.

Tabela 5.18: Resultados dos ensaios ecotoxicológicos para os pontos P1 e P8 do sistema de tratamento para o 256°, 298° e 333° dias de operação

Organismo	(256)		(298)		(333)	
	P1	P8	P1	P8	P1	P8
<i>Vibrio fischeri</i>	1,0% [0,7 - 1,4]	NT	2,6% [2,3 - 3,0]	NT	3,7% [3,4 - 4,0]	NT
<i>Girardia tigrina</i>	34,0% [29,6 - 39,0]	46,5% [41,4 - 52,4]	21,2% [17,3 - 26,0]	54,2% [57,2 - 75,3]	24,7% [22,4 - 27,3]	NT

[] – limites de confiança (95%)

NT – não tóxico

Como pode ser observado na Tabela 5.18, a toxicidade do efluente bruto que alimenta o sistema foi reduzida para o organismos *Vibrio fischeri* no início, meio e fim da Etapa 3.

Já a toxicidade para *Girardia tigrina* apresentou comportamento similar ao da Etapa 2. Inicialmente, o organismo apresentou toxicidade ao efluente tratado de 46,5%, diminuindo para 54,2% no meio da etapa e por fim não apresentando toxicidade ao organismo. Assim como nas Etapas 1 e 2, foi possível notar relação entre toxicidade e redução de amônia no efluente tratado na Etapa 3. No dia 256 a eficiência na redução de nitrogênio amoniacal foi de 27% (de 53 para 38

mg/L), no dia 298 foi de 27% (de 52 para 38 mg/L) e no dia 333 foi de 72% (de 58 para 16 mg/L). Logo, como pôde ser determinado nessa etapa os dias 256 e 298 foram os que apresentaram os valores de CE50 mais tóxicos para *Girardia tigrina*, enquanto o dia 333 não apresentou toxicidade.

Para ambos os organismos, o efluente bruto apresentou toxicidade acima dos valores determinados para o efluente tratado em todas as amostras coletadas. Pode-se afirmar que, ao fim da terceira etapa, o efluente tratado produzido pelo sistema já não apresentou mais toxicidade tanto para *Vibrio fischeri*, quanto para *Girardia tigrina*.

5.4 Etapa 4

A Etapa 4 durou 42 dias, manteve-se a recirculação do efluente tratado ao filtro anaeróbio, mas a razão foi alterada para 4, ou seja, o sistema de tratamento foi abastecido com 98,4 L/h de efluente tratado e 24,6 L/h de efluente bruto.

5.4.1 Variáveis físicas e químicas

Na Tabela 5.19 são apresentados os valores das variáveis físicas e químicas determinadas na quarta etapa do experimento (n=12, amostras coletadas, com exceção de DBO, na qual n=4).

Tabela 5.19: Valores médios e desvio-padrão das variáveis avaliadas para cada ponto de amostragem na quarta etapa.

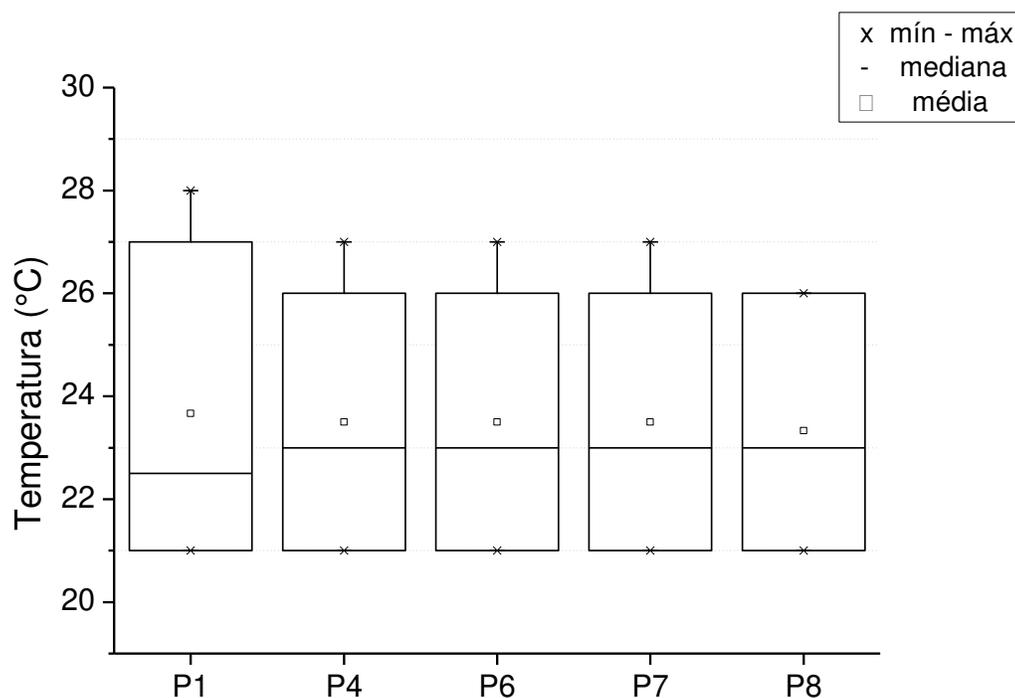
Variável	P1 (EB)		P4 (BAS)		P6 (BAS)		P7 (BAS)		P8 (DEC)	
	MED	DP	MED	DP	MED	DP	MED	DP	MED	DP
Temperatura [°C]	24	3	24	3	24	3	24	3	24	3
OD [mg O ₂ /L]	-	-	6,6	1	6,8	0,9	6,9	0,8	6,6	1,2
pH	6,8	0,1	6,6	0,8	6,5	1,0	6,5	1,0	6,4	0,8
Ap [mg CaCO ₃ /L]	127	24	57	65	55	67	56	68	50	73
At [mg CaCO ₃ /L]	258	26	85	94	78	90	79	91	70	93
AOV [mg Hac/L]	198	29	36	11	38	15	38	15	44	24
NH ₄ ⁺ [mg/L]	55	7	27	13	27	13	27	12	25	13
NTK [mg/L]	67	9	28	13	28	14	29	11	25	9
NO ₂ ⁻ [mg/L]	nd	nd	0,2	0,1	0,2	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1
NO ₃ ⁻ [mg/L]	-	-	20,4	9,8	19,3	9,4	21,1	10,6	22,7	11,3
DQO [mg O ₂ /L]	577	120	54	8	54	15	53	12	60	19
DBO [mg O ₂ /L]	-	-	24	21	26	15	16	5	-	-

(-) não realizado; (nd) não-detectado (nível de detecção de 0,01 mg/L de NO₂⁻ ; EB – Efluente Bruto; BAS- Biofiltro Aeróbio Submerso; DEC – Decantador; Ap - alcalinidade parcial (até pH=5,75); At = alcalinidade total (até pH=4,30)

Na Figura 5.35 podem ser verificados os valores de temperatura na quarta etapa, notou-se que não houve grandes variações, a média para todos os pontos foi de 24 °C, com valores máximos de 28 °C e mínimos de 21 °C. Assim a Etapa 4 foi a que apresentou a maior média de

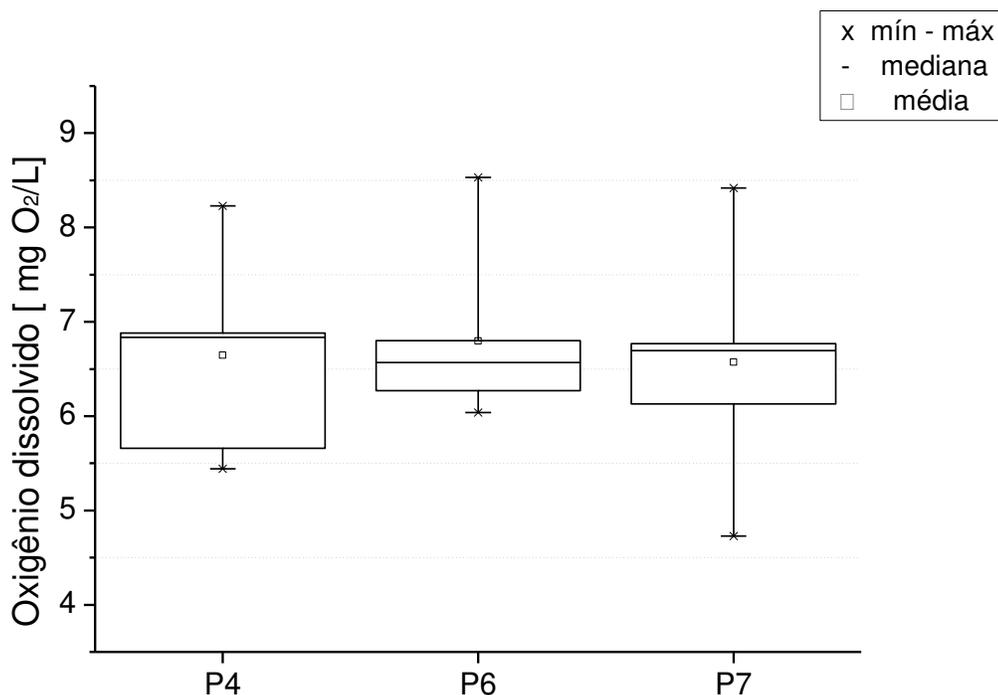
temperatura durante o experimento, o que contribui para melhor atividade microbiana nitrificante e de remoção de matéria orgânica.

Figura 5.35: Box plot dos valores de temperatura nos pontos de amostragem avaliados na Etapa 4



Na Figura 5.36 pode ser visualizado os valores de oxigênio dissolvido. A concentração média de oxigênio dissolvido na Etapa 4 foi maior no ponto P7, 6,9 mg O₂/L, assim como nas Etapas 2 e 3, mas a diferença entre as médias foi de somente 0,1 e 0,2 mg O₂/L. Tal diferença não influenciou na abundância de organismos nessa etapa.

Figura 5.36: Box plot dos valores de oxigênio dissolvido nos pontos de amostragem avaliados na Etapa 4



Nas Figuras 5.37, 5.38 e 5.39 podem ser verificados os valores de pH, alcalinidade parcial e alcalinidade total, respectivamente, na quarta etapa.

A média dos valores de pH para os pontos na Etapa 4 ficou entre 6,4 e 6,8 (Figura 5.37). A média de P1 (6,8) acompanhou as médias determinadas nas etapas prévias, o que indica a pouca variabilidade do esgoto bruto ao longo do estudo. Nos pontos P4, P6, P7 e P8 houve diminuição de valores quando comparados com as médias das Etapas 2 e 3 para os mesmos pontos. Para as variáveis alcalinidade parcial e total (Figura 5.38 e 5.39, respectivamente) pode-se observar estabilização da concentração para os pontos P4, P6, P7 e P8 na Etapa 4 comparada à Etapa 3. Quando comparado com as médias da Etapa 2, o ponto P1 manteve a média das concentrações na Etapa 4 semelhantes às médias das Etapas 1, 2 e 3, o que reforça a baixa variação da qualidade do afluente do sistema. Assim como na Etapa 3, os pontos P4, P6, P7 e P8 na Etapa 4 também apresentaram baixos valores de concentração tanto para alcalinidade parcial quanto para alcalinidade total (que chegou a não ser detectado pelo método empregado e de 5 mg CaCO₃/L por 2 semanas). O consumo de alcalinidade no sistema ocorreu novamente devido ao aumento da taxa de nitrificação, e reflete na diminuição dos valores de pH.

Figura 5.37: Box plot dos valores de pH nos pontos de amostragem avaliados na Etapa 4

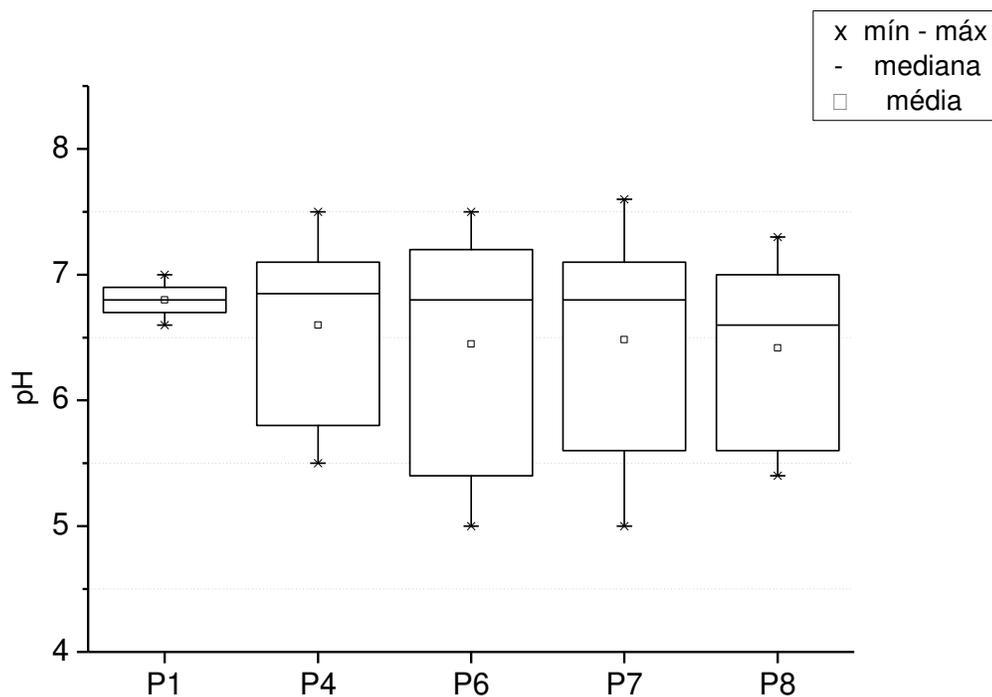


Figura 5.38: Box plot dos valores de alcalinidade parcial nos pontos de amostragem avaliados na Etapa 4

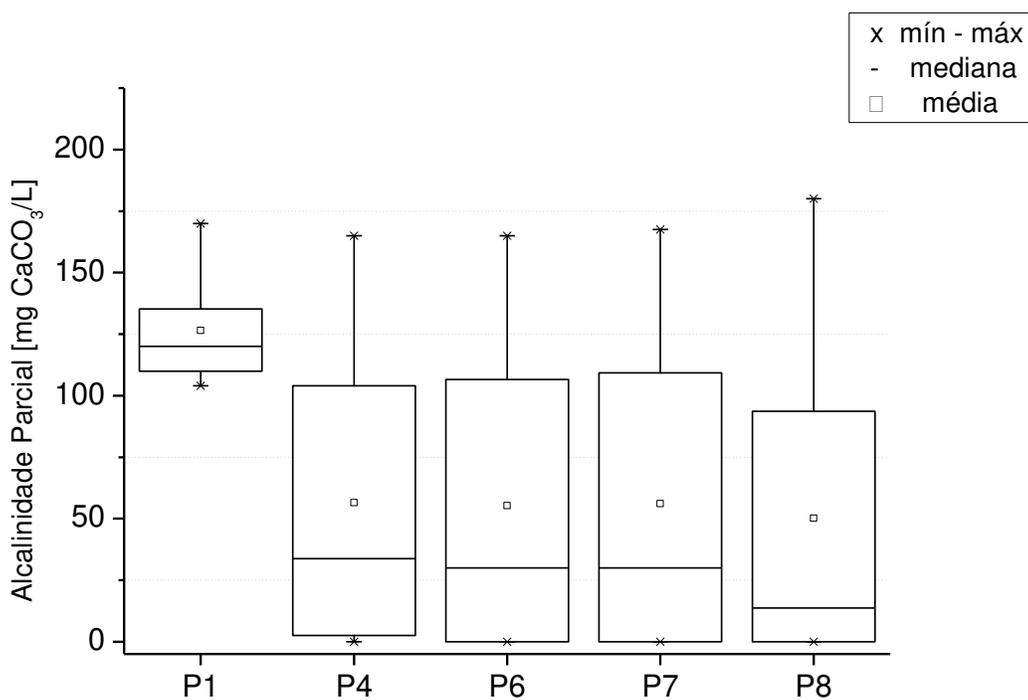
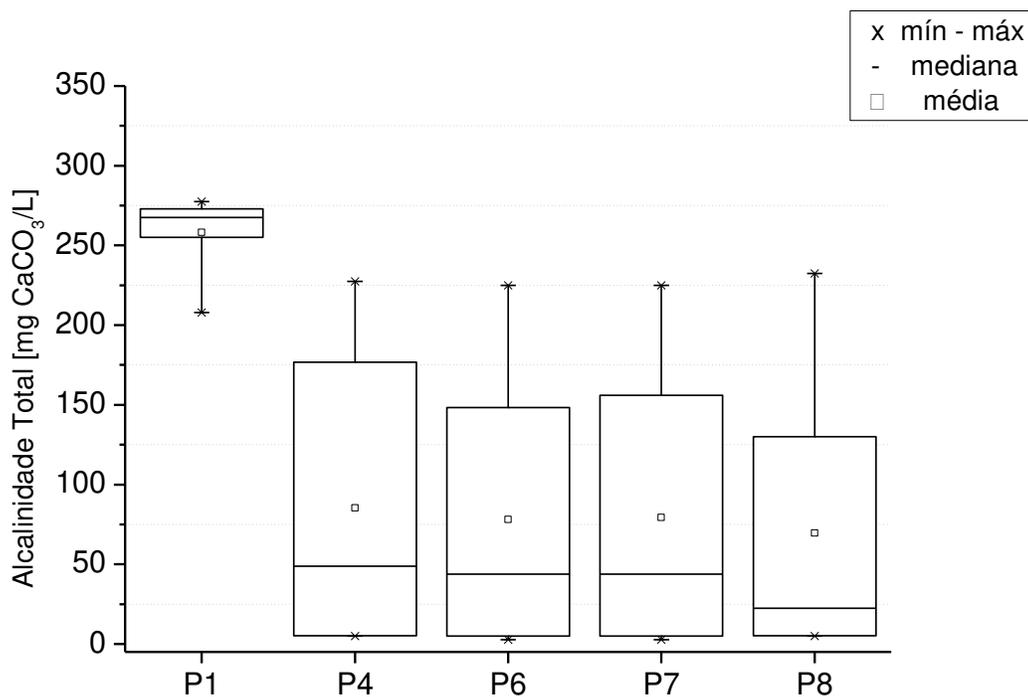
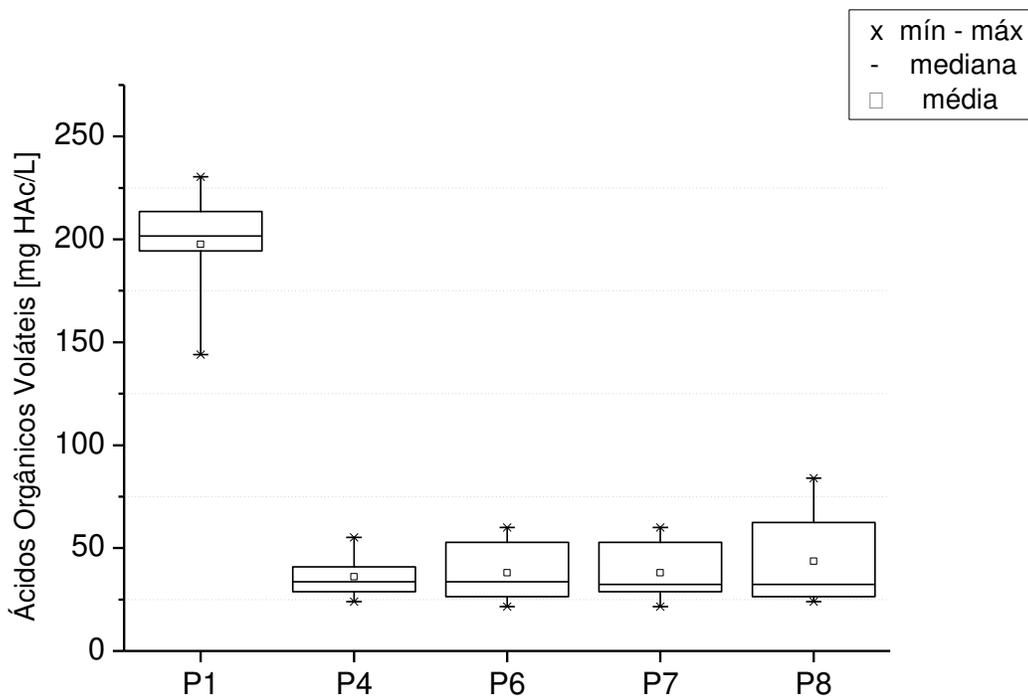


Figura 5.39: Box plot dos valores de alcalinidade total nos pontos de amostragem avaliados na Etapa 4



Na Figura 5.40 pode ser visualizada a concentração de ácidos orgânicos voláteis, assim como nas Etapas 1, 2 e 3, os valores de ácidos orgânicos voláteis de P1 (198 mg HAc/L), quando comparado com o restante dos pontos na Etapa 4 (entre 36 e 44 mg HAc/L), indicam o consumo/assimilação desses ácidos pelo BAS. Esse consumo garante equilíbrio ao sistema de tratamento.

Figura 5.40: Box plot dos valores de ácidos orgânicos voláteis nos pontos de amostragem avaliados na Etapa 4



As Figuras 5.41, 5.42, 5.43 e 5.44 apresentam os valores determinados para as concentrações de nitrogênio amoniacal, nitrogênio total, nitrito e nitrato, respectivamente, na quarta etapa. Na Etapa 4 foi mantido o perfil da concentração de nitrogênio amoniacal (entre 55 e 70 mg/L) e nitrogênio total (entre 80 e 65 mg/L), Figuras 5.41 e 5.42, respectivamente, como observado nas Etapas 1, 2 e 3. Nos pontos P4, P6, P7 e P8 não houve mudança significativa na concentração média de nitrogênio amoniacal e nitrogênio total (se mantiveram em 27 mg/L e 28 mg/L, respectivamente), o que continua a evidenciar a oxidação dos compostos nitrogenados a nitrato, assim como na Etapa 3.

Novamente não foi detectada a presença de nitrito no ponto P1 na Etapa 4 de acordo com o método empregado (Figura 5.43), assim como nas Etapas 1, 2 e 3. Os pontos P4, P6, P7 e P8 apresentaram média de concentração de nitrito semelhantes aos das Etapa 3, com valores de concentração média de 0,1 e 0,2 mg NO_2^-/L , o que evidencia que a maior parte do nitrito foi convertido a nitrato, por isso a baixa concentração de nitrito nas amostras. A concentração média de nitrato nas amostras foi em torno de 20 mg NO_3^-/L (Figura 5.44), que foi superior à média da Etapa 3 quando as concentrações de nitrato foram de 15 mg NO_3^-/L . Tal ocorrência indica

aumento da nitrificação na Etapa 4, pois as concentrações de nitrogênio amoniacal foram semelhantes nas duas etapas, mas houve aumento da concentração de nitrato na Etapa 4.

Figura 5.41: Box plot dos valores de nitrogênio amoniacal nos pontos de amostragem avaliados na Etapa 4

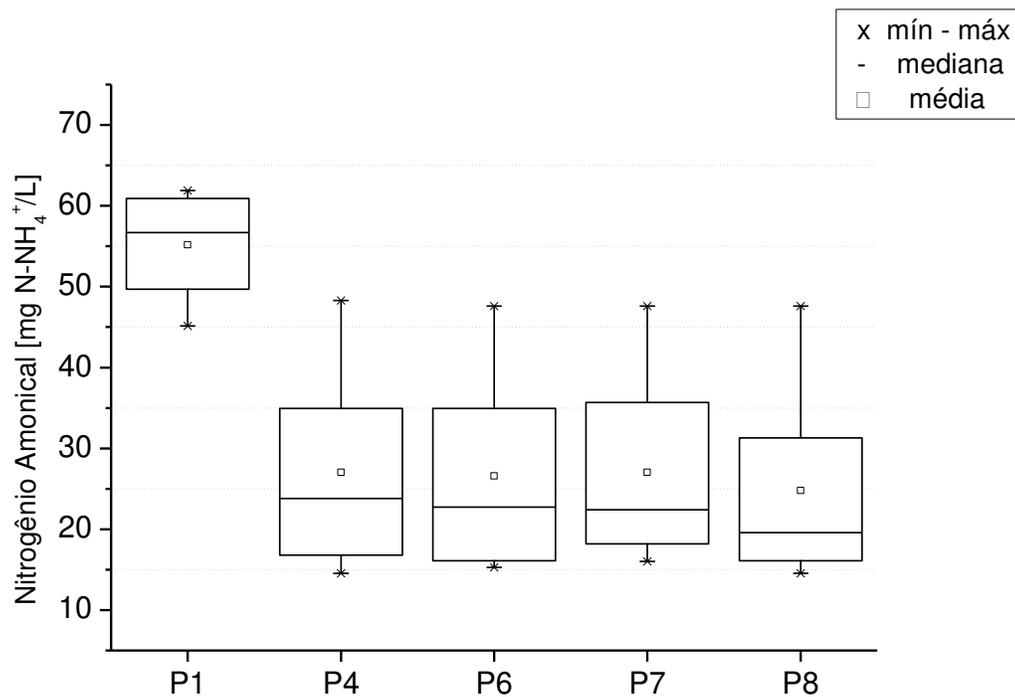


Figura 5.42: Box plot dos valores de nitrogênio total kjeldahl nos pontos de amostragem avaliados na Etapa 4

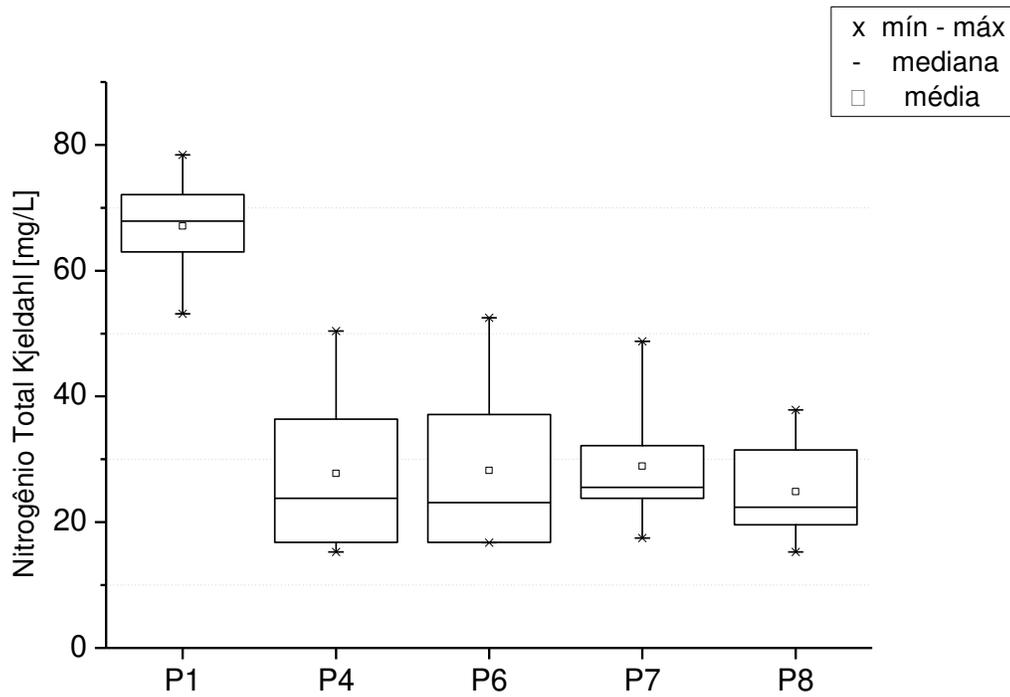


Figura 5.43: Box plot dos valores de nitrito nos pontos de amostragem avaliados na Etapa 4

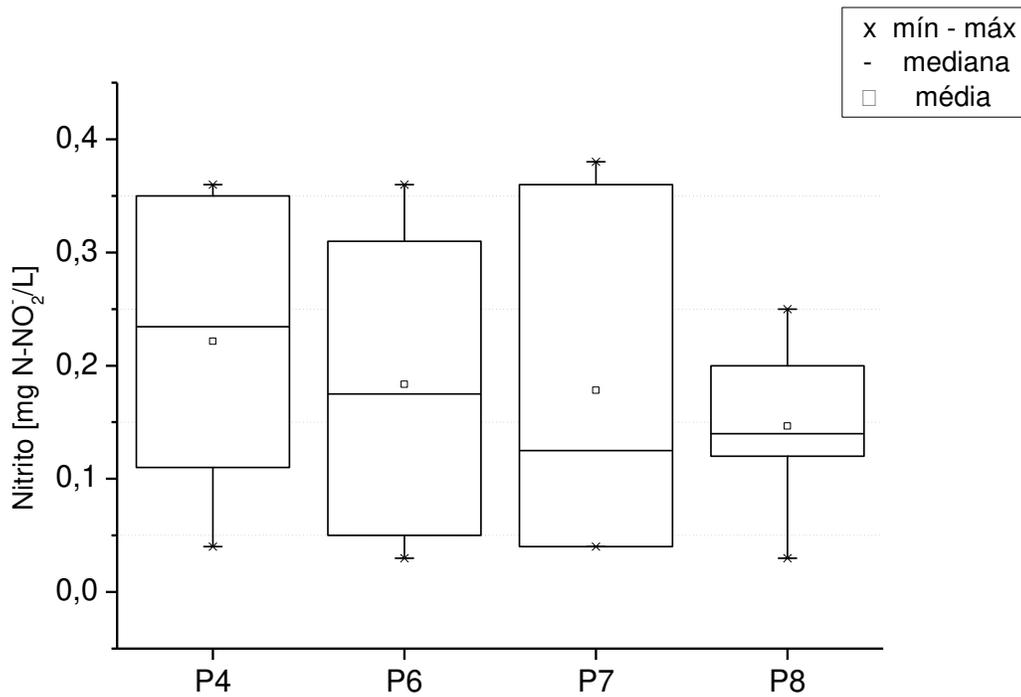
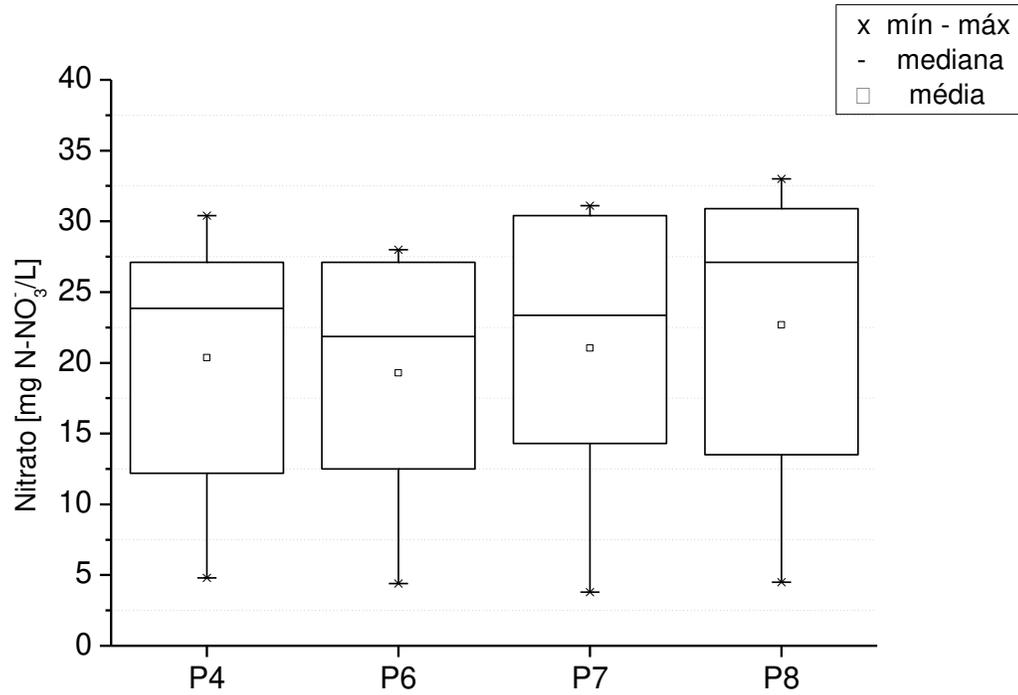
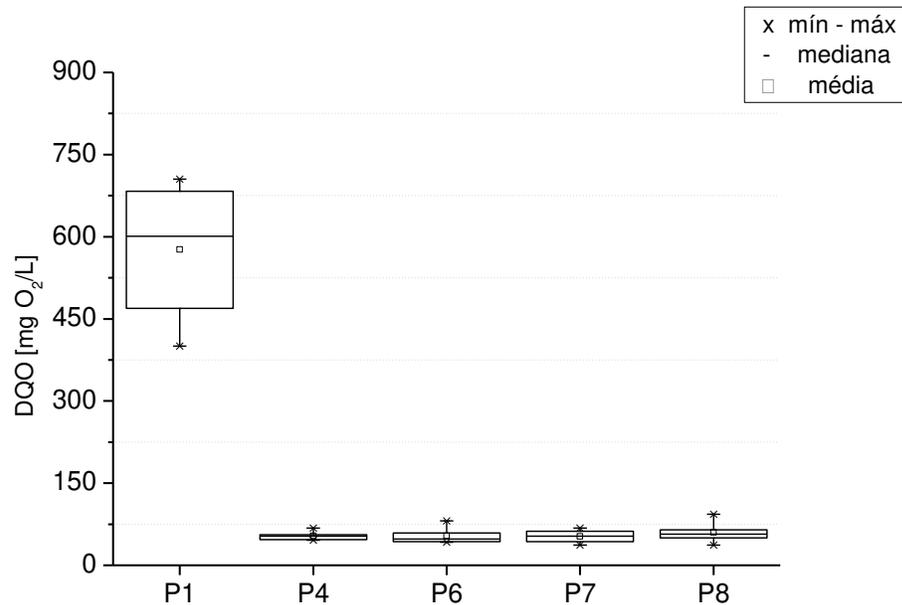


Figura 5.44: Box plot dos valores de nitrato nos pontos de amostragem avaliados na Etapa 4



Na Figura 5.45 verifica-se a concentração de DQO das amostras na quarta etapa.

Figura 5.45: Box plot dos valores de DQO nos pontos de amostragem avaliados na etapa 4



Como pode ser visto na Figura 5.45 e na Tabela 5.19, a média de DQO em P1 foi de 577 mg O₂/L, enquanto que em P8 a média foi de 60 mg O₂/L. Portanto, a eficiência média na redução da DQO ao longo da Etapa 4 foi de 89%, que é uma eficiência igual a eficiência média da Etapa 2 que foi de 89% e maior que as das Etapas 1 e 3 que foram de 85% e 87%, respectivamente.

5.4.2 Caracterização da microfauna

Na Tabela 5.20 são apresentados os valores de frequência dos grupos que compõem a microfauna nos pontos de amostragem do BAS ao longo da quarta etapa (n=6, amostras coletadas).

Tabela 5.20: Frequência de grupos da microfauna observada na Etapa 4 (n=6 amostras coletadas)

Grupo	Frequência (%)		
	P4	P6	P7
Ciliados Livres Natantes - CLN	67	50	50
Ciliados Predadores de Flocos - CPF	33	33	50
Ciliados Fixos - CF	83	67	100
Flagelados - F	100	83	67
Amebas - AMB	100	100	100
Micrometazoários - MTZ	100	100	100

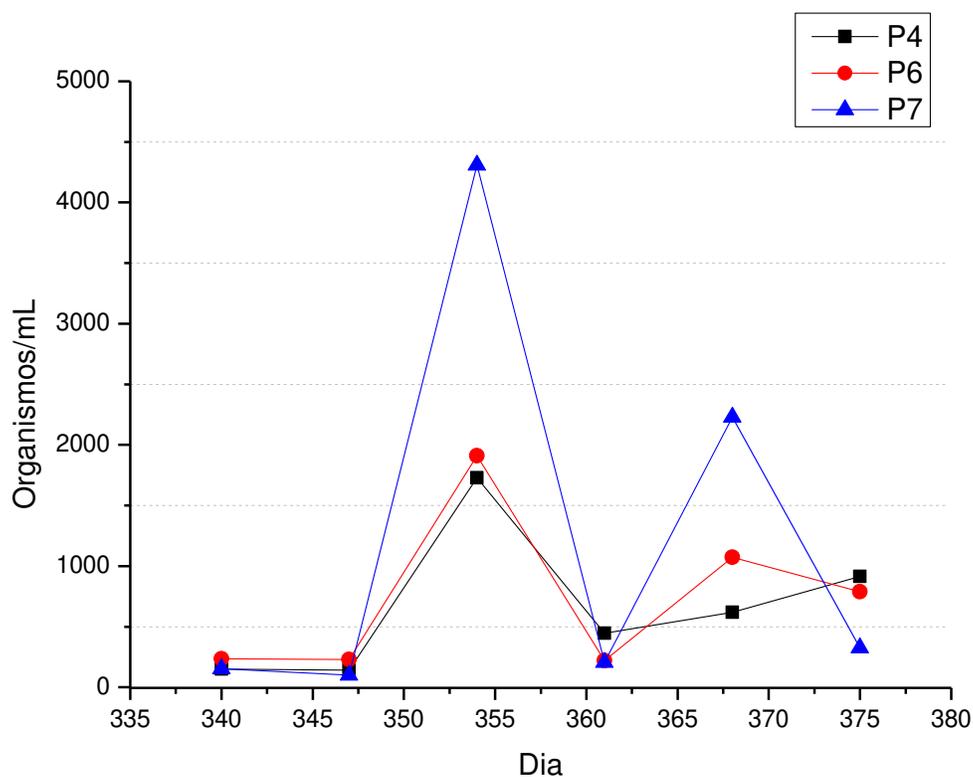
Na Etapa 4, P4 foi o ponto que apresentou maior frequência dos grupos da microfauna com exceção do grupo CF, o qual teve maior frequência em P7. Assim, diferentemente de todas as etapas anteriores em que o P7 apresentou as maiores frequências, P4 passou a apresentar essa maior frequência. Na Etapa 4, o grupo AMB e MTZ estavam presentes em todos os pontos e em todas as amostras coletadas.

A Figura 5.46 apresenta a quantidade de organismos totais por mililitro ao longo da quarta etapa.

Como pode ser observado na Figura 5.46 o ponto P7 foi superior em número de organismos somente em duas amostras coletadas, enquanto nas etapas anteriores ele foi superior aos pontos

P4 e P6 em quase todas as amostras coletadas. Uma possível explicação desse comportamento é devido à mudança da taxa de recirculação na Etapa 4 que foi a maior do experimento, o que levou ao aumento da velocidade ascensional dentro do BAS, que pode ter impactado no carregamento de organismos da microfauna para fora do sistema.

Figura 5.46: Número de organismos por mililitro ao longo do tempo de operação da Etapa 4 nos pontos de amostragem avaliados.



As Tabelas 5.21, 5.22 e 5.23 apresentam os coeficientes de correlação entre a caracterização e quantificação dos organismos componentes da microfauna e as variáveis físicas e químicas.

Tabela 5.21: Coeficientes de correlação entre as variáveis físicas, químicas e biológicas para P4

	Temp	O.D	pH	Ap	At	AOV	NTK	NH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	DQO	DBO
CLN	-0,368	-0,261	-0,177	-0,551	-0,570	-0,625	-0,500	-0,479	0,373	0,634	-0,221	0,048
CPF	-0,549	-0,379	0,056	-0,280	-0,287	-0,344	-0,238	-0,225	0,443	0,415	0,074	-0,265
CF	-0,620	-0,248	-0,019	-0,339	-0,357	-0,334	-0,306	-0,297	0,407	0,500	-0,045	-0,298
F	-0,489	-0,499	0,168	-0,171	-0,170	-0,285	-0,125	-0,108	0,492	0,290	0,197	-0,242
AMB	-0,695	0,454	0,037	0,126	0,172	0,305	0,065	0,034	-0,242	0,000	0,324	-0,835
MTZ	-0,140	-0,636	0,063	-0,109	-0,133	-0,238	-0,049	-0,032	0,370	0,162	0,127	-0,263

CLN=ciliados livre natantes; CPF=ciliados predadores de flocos; CF=ciliados fixos; F=flagelados; AMB=amebas; MTZ=micrometazoários

Tabela 5.22: Coeficientes de correlação entre as variáveis físicas, químicas e biológicas para P6

	Temp	O.D	pH	Ap	At	AOV	NTK	NH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	DQO	DBO
CLN	-0,133	-0,228	0,109	-0,076	-0,063	0,057	-0,107	-0,091	-0,087	0,172	0,696	-0,357
CPF	-0,444	-0,477	0,231	-0,289	-0,287	-0,475	-0,260	-0,231	0,681	0,297	0,060	-0,063
CF	-0,595	-0,223	-0,056	-0,467	-0,466	-0,511	-0,431	-0,421	0,503	0,499	-0,055	-0,368
F	-0,471	-0,495	0,192	-0,214	-0,208	-0,334	-0,179	-0,166	0,638	0,288	0,231	-0,415
AMB	-0,723	0,616	-0,082	0,057	0,059	0,610	0,010	-0,002	-0,289	-0,019	0,607	-0,614
MTZ	-0,192	-0,435	0,365	0,030	0,042	0,047	0,003	0,034	0,217	0,041	0,749	-0,159

CLN=ciliados livre natantes; CPF=ciliados predadores de flocos; CF=ciliados fixos; F=flagelados; AMB=amebas; MTZ=micrometazoários

Tabela 5.23: Coeficientes de correlação entre as variáveis físicas, químicas e biológicas para P7

	Temp	O.D	pH	Ap	At	AOV	NTK	NH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	DQO	DBO
CLN	-0,149	0,166	-0,018	-0,318	-0,331	-0,401	-0,415	-0,325	-0,180	0,206	-0,544	0,923
CPF	-0,367	-0,472	0,107	-0,340	-0,337	-0,439	-0,282	-0,331	0,572	0,490	-0,005	0,212
CF	-0,573	-0,278	0,051	-0,329	-0,326	-0,323	-0,298	-0,336	0,565	0,528	0,196	0,062
F	-0,490	-0,413	0,172	-0,227	-0,222	-0,268	-0,197	-0,228	0,645	0,422	0,171	0,075
AMB	-0,354	0,030	0,304	0,385	0,415	0,733	0,879*	0,344	-0,111	-0,290	0,706	-0,621
MTZ	-0,496	-0,454	0,248	-0,115	-0,105	-0,120	-0,022	-0,120	0,665	0,329	0,295	-0,065

*p < 0,05; CLN=ciliados livre natantes; CPF=ciliados predadores de flocos; CF=ciliados fixos; F=flagelados; AMB=amebas; MTZ=micrometazoários

Na Etapa 4 os pontos P4 e P5 não apresentaram coeficientes significâncias ($p < 0,05$ ou $p < 0,01$) suficientes que permitissem qualquer afirmação sobre as correlações traçadas.

Já o ponto P7 apresentou somente um coeficiente que indicou que o aumento da população de amebas no sistema foi correlacionado ao aumento da concentração de NTK no sistema na Etapa 4. Logo, a caracterização da microfauna por grupos não foi efetiva quando da

operação do sistema dentro dos parâmetros estabelecidos na Etapa 4. O gênero que estava mais constante nas amostras foi a *Arcella* sp.

5.4.3 Ensaios ecotoxicológicos

Na Tabela 5.24 são apresentados os resultados de CE50 para *Vibrio fischeri* e CL50 para *Girardia tigrina* obtidos para os dias de operação 340, e 375 pertencentes à Etapa 4.

Tabela 5.24: Resultados dos ensaios ecotoxicológicos para os pontos P1 e P8 do sistema de tratamento para o 340° e 375° dias de operação

Organismo	(340)		(375)	
	P1	P8	P1	P8
<i>Vibrio fischeri</i>	23,9% [15,3 - 37,2]	NT	1,4% [1,0 - 1,9]	NT
<i>Girardia tigrina</i>	14,14% *	NT	21,7% [19,3 - 24,5]	NT

[] – limites de confiança (95%)

NT – não tóxico

* limites de confiança não-determinados

Na Etapa 4 o organismo *Vibrio fischeri* apresentou o mesmo comportamento observado na Etapa 3. Houve redução da toxicidade do efluente bruto no início e fim da etapa, com o efluente tratado não apresentando toxicidade nos dias avaliados.

Já a toxicidade do efluente bruto para *Girardia tigrina* foi determinada nas duas coletas, sendo ambas reduzidas e consideradas não tóxicas para o efluente tratado. Na Etapa 4 a redução de amônia no efluente tratado foi de 69% (de 56 mg/L para 18 mg/L) e 76% (de 72 mg/L para 15 mg/L) para os dias 340 e 375, respectivamente. Assim, é possível perceber que o organismo é sensível a presença de amônia no efluente final.

Assim, a Etapa 4 (aquela em que ocorreu a maior taxa de recirculação no sistema) não apresentou toxicidade no efluente tratado desde o seu início de operação.

5.5 Caracterização da microfauna de todas as Etapas

Na Tabela 5.25 são apresentados os valores de frequência dos grupos que compõem a microfauna nos pontos de amostragem do BAS ao longo de todas as etapas (n=45, amostras coletadas).

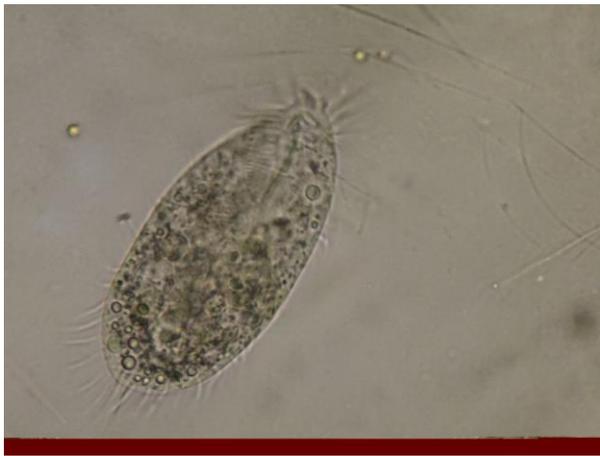
Tabela 5.25: Frequência de grupos da microfauna observada em todas etapas.

Grupo	Frequência (%)		
	P4	P6	P7
Ciliados Livres Natantes - CLN	82	78	91
Ciliados Predadores de Flocos - CPF	58	58	73
Ciliados Fixos - CF	87	82	91
Flagelados - F	60	69	69
Amebas - AMB	78	78	96
Micrometazoários - MTZ	87	89	98

Quando avaliada a frequência geral dos grupos da microfauna de todas amostras coletadas ao longo do experimento, foi possível concluir que o ponto P7, que se situa no topo do BAS, foi o que apresentou maior frequência de todos os grupos quando comparados com os pontos P4 e P6. Os grupos CLN, CF, AMB e MTZ, apresentaram frequência superior a 90% em P7, enquanto P4 e P6 não apresentaram frequência acima de 90% para nenhum grupo da microfauna. Tal fato evidencia que P7 é o melhor ponto a ser avaliado no BAS, já que ocorre neste uma maior frequência dos grupos e também maior população de organismos.

Já quando utilizados os dados de correlação de todas as etapas juntas, não houve a geração de coeficientes significativos. Todos os pontos não apresentaram coeficientes no qual se pode afirmar relações entre grupo da microfauna e variáveis físicas e químicas. Esse fato evidencia que em sistemas em que se ocorre mudanças de operação, a correlação deve ser realizada isoladamente para cada formato de operação.

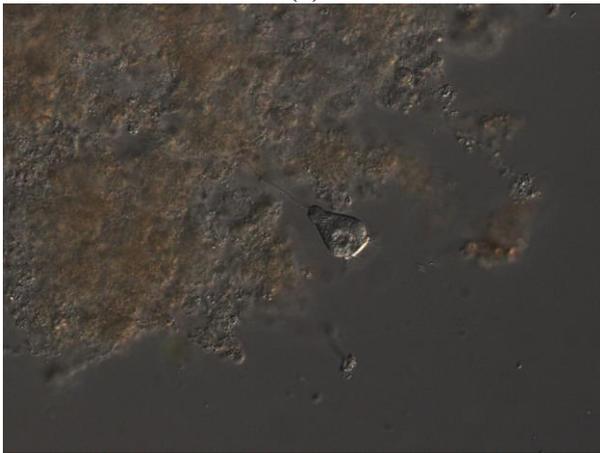
Figura 5.47: Organismos dos grupos componentes da microfauna. (a)*Sterkiella* sp. CPF, (b)*Paramecium* sp. CLN, (c)*Vorticella* sp. CF, (d)*Arcella* sp. AMB, (e)*Entosiphon* sp. F, (f)*Rhabditis* MTZ. Fonte(Arquivo pessoal)



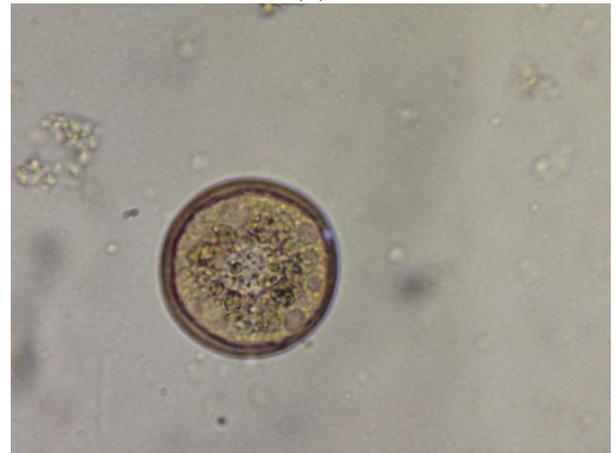
(a)



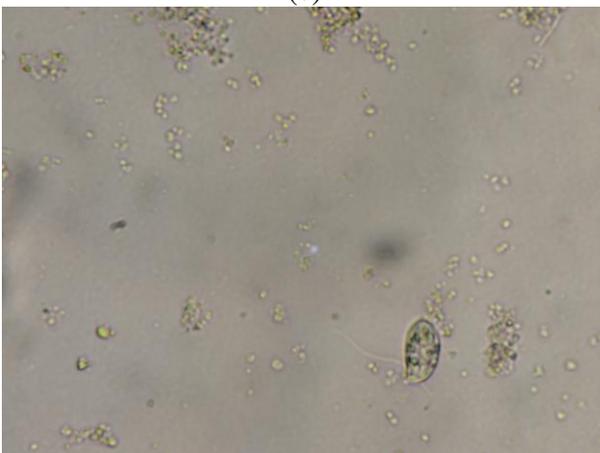
(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

A partir dos resultados do IBL no ANEXO A, foi possível construir a Tabela 5.29, que apresenta a porcentagem de amostras para cada classe ao longo de todo o estudo.

Tabela 5.29: Porcentagem de amostras segundo a classe do IBL (n=45 amostras).

Ponto	Classe das amostras segundo IBL (%)			
	I	II	III	IV
P4	16,3	32,5	25,6	25,6
P6	15,6	35,5	15,6	33,3
P7	37,7	26,7	20	15,6

Tais resultados determinados na Tabela 5.29 indicam que P7 é novamente o ponto de melhor qualidade do reator, pois em mais de 60% das amostras coletadas, P7 foi classificado como I ou II, o que indicam reatores com lodo estável bem colonizados e atividade biológica com bom desempenho.

5.6 Discussão Geral

Nesse trabalho, o ponto de coleta que apresentou o maior número de correlação com as variáveis físicas e químicas foi o ponto P7. Tal ponto apresentou as maiores concentrações de oxigênio dissolvido ao longo de todo o monitoramento, além de apresentar a maior frequência dos grupos componentes da microfauna que os pontos P4 e P5. Por essas determinações, o ponto P7 se apresenta como o melhor ponto para se realizar a caracterização da microfauna de um BAS como o empregado no sistema de tratamento desse trabalho.

O grupo CLN apresentou correlação com variáveis relacionadas à matéria orgânica presente no sistema e à nitrificação ao longo da pesquisa. No estudo de Goulart (2013), o grupo que apresentou tais correlações foi o grupo CPF para biofiltro aerado submerso em escala de bancada. Além desse, o grupo CLN também apresentou correlação negativa com as variáveis referentes à matéria orgânica (DQO e DBO), ao contrário dessa pesquisa em que o grupo CLN apresentou correlação positiva para DBO. Logo, é possível verificar que houve diferença de grupos para as mesmas variáveis de acordo com o aspecto construtivo do sistema. Na pesquisa de Pérez-Uz *et al.* (2010), foram os grupos F e AMB que apresentaram correlação com a nitrificação do sistema monitorado com biomassa dispersa.

Ao longo da pesquisa foi possível observar a ocorrência de geração de diversos coeficientes com valor acima de 0,400, indicando que existe correlação importante e considerável

entre grupo e variável. Porém, esses coeficientes não tiveram valores de significância menor que 0,05, o que, segundo a metodologia estatística empregada, indica que esses coeficientes não poderiam ser utilizados para afirmar que existe correlação entre grupo e variável. Entretanto, esses coeficientes, e desta forma as correlações decorrentes, não devem ser descartados.

Sob o ponto de vista de operação de um sistema de tratamento em escala piloto sujeito a variáveis como temperatura, comportamento hidráulico decorrente da recirculação de efluente tratado e variações na qualidade do afluente, é importante e necessário considerar as prováveis correlações resultantes dos valores obtidos para esses coeficientes, mesmo com valores de significância maiores, pois esses apontam condições que de fato ocorreram no sistema, como pôde ser observado de acordo com as determinações físicas e químicas. Uma inferência possível de ser feita é que tais coeficientes só não atingiram baixos valores de significância devido as condições de operação ocorridas, as quais se aproximaram muita daquelas que normalmente ocorrem em sistemas reais e de maiores dimensões: paradas do sistema para a manutenção periódica de equipamentos, variação na qualidade e temperatura do efluente bruto, principalmente. Nas tabelas de correlação 5.3 , 5.4 , 5.5 (Etapa 1), 5.9 , 5.10, 5.11 (Etapa 2), 5.15, 5.16 , 5.17 (Etapa 3), 5.21 , 5.22 , 5.23 (Etapa 4) esses coeficientes foram grafados na cor amarela.

A Etapa 4 (recirculação 4,0) foi a que apresentou somente um coeficiente válido estatisticamente, para o ponto P7 entre o grupo AMB e NTK. Entretanto, analisando os coeficientes grafados nota-se que os grupos CPF, CF, F e MTZ tem relação com nitrito e nitrato, ou seja, são indicadores de nitrificação no sistema. Para a Etapa 3 (recirculação 3) no ponto P7, houve somente um coeficiente de indicação de nitrificação, entre o grupo CLN e nitrato. Para a Etapa 2 (recirculação 1,5) no ponto P7, os grupos AMB, MTZ e CLN são indicadores de nitrificação no reator. Enquanto que na Etapa 1 (recirculação 0) foram os grupos CLN e CF que indicaram a ocorrência de nitrificação. Essa diferenciação que existe entre as etapas dos grupos que indicam a nitrificação demonstra que de acordo com o parâmetro de operação do sistema, um ou mais grupos podem ser responsáveis por indicar um mesmo equilíbrio atingido pelo sistema.

Portanto, diante dos objetivos propostos, é importante considerar a utilização das correlações decorrentes de coeficientes com as características citadas, fora do padrão estabelecido pelo método estatístico, como uma ferramenta de indicação de avaliação da qualidade do sistema.

Feita a caracterização da microfauna foi possível calcular o índice biótico do lodo, outra ferramenta que indica a qualidade do sistema monitorado (ANEXO A). O IBL criado por Madoni (1994) foi determinado a partir da coleta de dados exclusivos de lodos ativados. Esse índice, quando aplicado para outros sistemas, gera dados que não são fidedignos às variáveis físicas e químicas monitoradas das amostras coletadas. Por exemplo, pode ser citado o dia 88 (ou amostra 7), quando a eficiência da redução de DQO foi de 56% (considerada baixa, já que a média de eficiência de DQO no sistema foi de 86%) e os pontos P4, P6 e P7 que receberam classificação II, II e I respectivamente, os quais indicam sistema com boa atividade biológica e ótimo desempenho. Outra incoerência do índice com relação à operação do sistema que pode ser citada é o dia 256 (ou amostra 28), nessa amostra, todos os pontos foram qualificados como classe IV, o que indica fraca depuração biológica e baixo desempenho. Por outro lado, nesse dia houve eficiência de redução da DQO de 93%.

Devido às ocorrências citadas, foi calculado para cada ponto a quantidade de amostras (n=45 amostras) onde o IBL determinado não estava de acordo com a eficiência de redução de DQO para aquela amostra. Para o ponto P4, 40% das amostras estavam em desacordo com o IBL, para o ponto P6 foram 47% e para o ponto P7 foram 44%. Tais conflitos, entre IBL e desempenho do sistema, indicam que o IBL não foi adequado para ser utilizado como um instrumento definidor para a avaliação da qualidade de reatores aeróbios com biomassa aderida, necessitando sempre um olhar crítico para avaliar o significado dos resultados obtidos por essa metodologia, mesmo sendo ela consagrada para sistemas aeróbios utilizando biomassa dispersa. Goulart (2013) não obteve resultados condizentes entre o IBL determinado e os parâmetros físicos e químicos determinados das amostras coletadas em seu trabalho. Drzewicki e Kulikowska (2011), determinaram valores altos de IBL independente da qualidade do efluente do sistema que avaliaram. Portanto, o IBL se apresenta como um índice não fidedigno quando utilizado para avaliar a qualidade de sistemas não convencionais.

Os testes com os organismos *Vibrio fischeri* e *Girardia tigrina* apresentaram boa reprodutibilidade e confiança para serem utilizados como avaliadores de toxicidade. A *Girardia tigrina* apresentou-se como mais sensível às amostras do efluente tratado que o *Vibrio fischeri*, conforme determinado na pesquisa de Santos (2012). Santos (2012) também determinou que o organismo *Girardia tigrina* foi sensível à concentração de amônia presente nas amostras

utilizadas nos ensaios. O mesmo comportamento foi observado nessa pesquisa, o que reforça a utilização do organismo *Girardia tigrina* como indicador da presença de amônia em efluentes.

Ribeiro (2013) avaliou a toxicidade de diversas amostras ambientais para *Girardia tigrina*, determinando ausência de toxicidade para as águas à montante e jusante do Ribeirão dos Cristais. Além dessas amostras foram coletadas amostras do afluente e efluente da ETE Carioba (situada no município de Americana/SP), em ambas as amostras todos os organismos expostos apresentaram mortalidade nas primeiras 24 horas do ensaio e o valor de CE50 não foi determinado. Tais resultados reforçam a necessidade de emprego de ensaios ecotoxicológicos para avaliação da toxicidade de efluentes, já que esses ensaios são representativos da qualidade do efluente.

O trabalho teve alguns desafios no seu desenvolvimento no que se refere à temperatura e operação do sistema. O sistema em questão é considerado de escala piloto e está implantado em local a céu aberto. Esse fato fez com que tal sistema estivesse sujeito principalmente à mudanças de temperatura, que é uma variável que pode vir a afetar o sistema. No período de inverno (Etapa 2), a temperatura das amostras chegou a atingir 10 °C, o que influenciou os organismos componentes da microfauna que estavam presentes no reator em menor abundância, a degradação da matéria orgânica apresentou menor eficiência e levou o sistema a cessar a nitrificação. Outro desafio tange a operação do sistema, uma vez que houve a necessidade de acompanhar o sistema quase que diariamente, pois ocorreram entupimentos nos canos, às vezes nas bombas, paradas do compressor de ar. Tais dificuldades, levaram a falta de entrada de afluente no sistema, falta de aeração e às vezes transbordamento de efluente dos reatores. Talvez, essas complicações podem ter causado alguma interferência que levou ao menor número de correlações entre os grupos e variáveis, mas há também o fato de que o tempo de monitoramento foi pequeno quando comparado a estudos clássicos como os do autor Paolo Madoni (1994).

Ao fim, nota-se que a utilização da caracterização dos grupos da microfauna associada à correlação com as variáveis físicas e químicas se apresenta como uma ferramenta auxiliar no monitoramento de sistemas de biomassa aderida, que deve ser aplicada a mais estudos, contribuindo assim para o aumento de conhecimento sobre o assunto.

6. CONCLUSÃO

A partir desse estudo foi possível concluir que:

- Foi possível caracterizar a microfauna dos pontos em diferentes alturas do BAS, onde a microfauna foi diferente em cada ponto
- O Ponto P7 foi o que apresentou maior número de correlações entre microfauna e variáveis físicas e químicas em todas as quatro etapas monitoradas;
- O sistema foi eficiente quanto a redução de toxicidade para os organismos *Vibrio fischeri* e *Girardia tigrina* em todas as quatro etapas;
- Foi possível correlacionar os grupos da microfauna com o equilíbrio de nitrificação no sistema de tratamento;
- A caracterização da microfauna se constitui como uma ferramenta básica para o monitoramento de biofiltros aerado submersos. Contudo existe a necessidade de um maior tempo de monitoramento para a confirmação de mais correlações e de organismos envolvidos em cada etapa de operação do sistema.

7. RECOMENDAÇÕES

A partir desse trabalho recomenda-se os seguintes tópicos para investigação de microfauna de sistemas combinados de tratamento com biomassa aderida.

- Caracterizar as espécies dos principais gêneros encontrados no sistema de cada grupo da microfauna por PCR;
- Aumentar o tempo de monitoramento do sistema e de cada etapa;
- Caracterizar a microfauna quando o sistema de tratamento estiver desnitrificando;
- Adicionar compostos tóxicos no afluente do sistema e caracterizar a microfauna e se há redução de toxicidade;

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AN, J.; JEONG, S.; MOON, H. S.; JHO, E. H.; NAM, K. Prediction of Cd and Pb toxicity to *Vibrio fischeri* using biotic ligand-based models in soil. **Journal of Hazardous Materials**, 203-204: 69-76, 2012.

APHA/AWWA/WEF. **Standard Methods of the Examination of water and wastewater**. 20th Edition. New York: American Public Health Association, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 15411-3:2012. Ecotoxicologia aquática – Determinação do efeito inibitório de amostras aquosas sobre a emissão de bioluminescência de *Vibrio fischeri* (Ensaio de bactéria luminescente). Parte 3: método utilizando bactérias liofilizadas – 23p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 15469:2007. Ecotoxicologia aquática – Preservação e preparo de amostras – 7p.

BARROS, G.S.; ANGELIS, D.F.; FURLAN, L.T.; CORRÊA-JUNIOR, B. Utilização de Planárias da Espécie *Dugésia* (*Girardia tigrina*) em Testes de Toxicidade de Efluentes de Refinaria de Petróleo. **Journal of Brazilian Society Ecotoxicology**, 1(1): 67-70, 2006.

BATISTA, V. M. **Sistema combinado aplicado ao tratamento de esgoto sanitário contendo formaldeído: desempenho e avaliação da biomassa**. 2007. 101f. Dissertação (mestrado) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Universidade estadual de Campinas, Campinas.

BAYO, J.; ANGOSTO, J. M.; GÓMEZ-LÓPEZ, M. D. Ecotoxicological screening of reclaimed disinfected wastewater by *Vibrio fischeri* bioassay after a chlorination-dechlorination process. **Journal of Hazardous Materials**, 172: 166-171, 2009.

BENTO, A.P.; SEZERINO, P.H.; PHILIPPI, L.S.; REGINATTO, V.; LAPOLLI, F.R. Caracterização da microfauna em Estação de Tratamento de Esgotos do tipo lodos ativados: um instrumento de avaliação e controle do processo. **Eng. Sanit. Ambient**, 10 (4): 329-338, 2005.

BERK, S. G.; GUNDERSON, J. H. **Wastewater organisms: A color atlas**. 1 ed. Boca Raton, Florida: Lewis Publishers, Inc., 43p. 1993.

BRASIL. **Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005**. Ministério do Meio Ambiente, 2005. 23p.

BROTA, G.; A. **Ensaio ecotoxicológicos em organismos-teste *Daphnia similis* e *Vibrio fischeri* na avaliação de efluentes sanitários aplicados na cultura de eucalipto (*Eucalyptus urograndis*)**. 2012, 73f. Dissertação (mestrado) – Faculdade de Engenharia Agrícola. Universidade estadual de Campinas, Campinas.

BUTTURI-GOMES, D. **Avaliação dos efeitos dos inseticidas Malation e Fipronil sobre a viabilidade e regeneração de *Girardia tigrina* (platyhelminthe, tricládida)**. 2008, 67p.

Trabalho de conclusão de curso (Ecologia) – Instituto de Biociência de Rio Claro, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.

CASTAGNATO, R. **Tratabilidade de esgoto sanitário contendo formaldeído em um sistema combinado filtro anaeróbio – biofiltro aerado submerso**. 2006. 156f. Dissertação (mestrado) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Universidade estadual de Campinas, Campinas.

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Apostila do curso de Microbiologia de Lodos Ativados, 2009.

CHERNICARO, C.A.L. **Reatores anaeróbios**. 2ª ed. Belo Horizonte: Departamento de Eng. Sanitária e Ambiental - UFMG, 2007. 380 p.

CHEN, S.; SUN, D.; CHUNG, J. S. Simultaneous methanogenesis and denitrification of aniline wastewater by using anaerobic-aerobic biofilm system with recirculation. **Journal of Hazardous Materials**, 169: 575-580, 2009.

DILALLO, R.; ALBERTSON, O.E. Volatile acids by direct titration. **Journal of Water Pollution Control Federation**, 33(4): 357-365, 1961.

DRZEWICKI, A.; KULIKOWSKA, D. Limitation of sludge biotic index application for control of a wastewater treatment plant working with shock organic and ammonium loadings. **European Journal of Protistology**, 47: 287-294, 2011.

DUBBER, D.; GRAY, N. F. Enumeration of protozoan ciliates in activated sludge: Determination of replicate number using probability. **Water Research**, 43: 3443-3452, 2009.

DUBBER, D.; GRAY, N. F. The effect of anoxia and anaerobia on ciliate community in biological nutrient removal systems using laboratory-scale sequencing batch reactors (SBR). **Water Research**, 45: 2213-2226, 2011.

FERNANDEZ-ALBA, A. R.; GUIL, L. H.; LÓPEZ, G. D.; CHISTI, Y. Toxicity of pesticides in wastewater: a comparative assessment of rapid bioassays. **Analytica Chimica Acta**, 426: 289-301, 2001.

FIGUEIREDO, M. G.; DOMINGUES, V. B. **Microbiologia de Lodos Ativados**. CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. São Paulo: CETESB, 48 p. 1997.

GOULART, J. A. G. **Estudo da remoção de cistos de *Giardia* spp. e oocistos de *Cryptosporidium* spp. e caracterização da microfauna em estações de tratamento de esgoto: instrumentos de avaliação e controle de processo**. 2013. 175f. Tese (doutorado) – Instituto de Biologia. Universidade estadual de Campinas, Campinas.

HAMMER, O.; HARPER, D.A.T.; RYAN, P.D. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. **Palaeontologia Electronica**, 4(1): 9pp, 2001.

HAMILTON, M. A.; RUSSO, R. C.; THURSTON, R. V. Trimmed Spearman-Kärber method for estimating median lethal concentrations in toxicity bioassays. **Environmental Science and Technology**, 11(7): 714-719, 1977.

HERNANDO, M. D.; EJERHOON, M.; FERNANDEZ-ALBA, A. R.; CHISTI, Y. Combined toxicity effects of MTBE and pesticides measured with *Vibrio fischeri* and *Daphnia magna* bioassays. **Water Research**, 37: 4091-4098, 2003.

JENKINS, D., RICHARD, M.G., DAIGGER, G.T. **Manual on the Causes and Control of Activated Sludge Bulking and Foaming**. 2 ed. Chelsea, Michigan: Lewis Publishers, Inc., 193 p. 1993.

Jl, J-Y.; XING, Y-J.; MA, Z-T.; ZHANG, M.; ZHENG, P. Acute toxicity of pharmaceutical wastewaters containing antibiotics to anaerobic digestion treatment. **Chemosphere**, 91: 1094-1098, 2013.

KAFATATIĆ, M.; KOVACEVIC, G.; FRANJEVIC, D. Resistance of two planarian species to UV-irradiation. **Folia Biológica**, 54: 103-108, 2006.

KASSAB, G.; HALALSHEH, M.; KLAPWIJK, A.; FAYYAD, M.; VAN LIER, J. B. Sequential anaerobic-aerobic treatment for domestic wastewater – A review. **Bioresource Technology**, 101: 3299-3310, 2010.

KNAKIEVICZ, T.; FERREIRA, H. B. Evaluation of copper effects upon *Girardia tigrina* freshwater planarians based on a set of biomarkers. **Chemosphere**, 71: 419-428, 2008.

KNAKIEVICZ, T.; SILVEIRA, P.A; FERREIRA, H.B. Planarian neoblast micronucleus assay for evaluating genotoxicity. **Chemosphere**, 72: 1267-1273, 2008.

LI, Z.; ZHANG, X.; LIN, J.; HAN, S.; LEI, L. Azo dye treatment with simultaneous electricity production in an anaerobic-aerobic sequential reactor and microbial fuel cell coupled system. **Bioresource Technology**, 101: 4440-4445, 2010.

LORDA-DE-LOS-RÍOS, I.; BÉCARES-MANTECÓN, E.; TEJERO-MONZÓN, I. Population dynamics in an aerobic submerged fixed bed reactor (ASFBR) process. **Water Science and Technology**, 46(1-2): 257-260, 2002.

MADONI, P.; DAVOLI, D.; CHIERICI, E. Comparative analysis of the activated sludge microfauna in several sewage treatment works. **Water Research**, 27(9): 1485–1491, 1993.

MADONI, P. A. Estimates of ciliated protozoa biomass in activated sludge and biofilm. **Bioresource Technology**, 48: 245-249, 1994. a

MADONI, P. A. Sludge biotic index (SBI) for the evaluation of the biological performance of activated sludge plants based on the microfauna analysis. **Water Research**, 28(1): 67-75, 1994. b

MOTA, S.; VON SPERLING, M, **Nutrientes de esgoto sanitário: utilização e remoção**. Rio de Janeiro: PROSAB/FINEP, 2009 v. 1, 430 p.

NOVIKOV, V.V.; SHEIMAN, I.M.; FESENKO, E.E. Effect of weak static and low-frequency alternating magnetic field on the fission and regeneration of the planarian *Dugesia (girardia) tigrina*. **Bioelectromagnetics**, 29: 387-393, 2008.

NTOUGIAS, S.; TANASIDIS, S.; MELIDIS, P. Microfauna indicators, Ciliophora phylogeny and protozoan population shifts in an intermittently aerated and fed bioreactor. **Journal of Hazardous Materials**, 186: 1862-1869, 2011.

PARAMESWARAN, P.; ANDERSON, P. R. Biosolids mineralization in an anaerobic-aerobic combined reactor system. **Water Research**, 41: 2739-2747, 2007.

PARVEZ, S.; VENKATARAMAN, C.; MUKHERJI, S. A review on advantages of implementing luminescence inhibition test (*Vibrio fischeri*) for acute toxicity prediction of chemicals. **Environmental international**, 32: 265-268, 2006.

PATTERSON, D. J. **Free-living Freshwater protozoa: a Colour Guide**. Manson Publishing, 223 p. 1998.

PÉREZ-UZ, B.; ARREGUI, L.; CALVO, P.; SALVADÓ, H.; FERNANDÉZ, N.; RODRÍGUEZ, E.; ZORNOZA, A.; SERRANO, S. Assesment of plausible bioindicators for plant performance in advanced wastewater treatment systems. **Water Research**, 44: 5059-5069, 2010.

PIONTEK, M. Use of Planarian *Dugesia tigrina* Girard bioassay for assessing the toxicity of sterigmatocystin produced by *Aspergillus versicolor tiraboschi*. **Environmental Protection Engineering**, 36: 65-71, 2010.

PRÁ, D.; LAU, A.H.; KNAKIEVICZ, T.; CARNEIRO, F.R.; ERDTMANN, B. Environmental genotoxicity assessment of an urban stream using freshwater planarians. **Mutation Research**, 585: 79–85, 2005.

PREZA, D.L.C., SMITH, D.H. Use of newborn *Girardia tigrina* (Girard, 1950) in acute toxicity tests. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, 50, 1–3, 2001.

REBAH, F. B.; KANTARDJIEFF, A.; YEZZA, A.; JONES, J. P. Performance of two combined anaerobic-aerobic biofilters packed with clay or plastic media for the treatment of highly concentrated effluent. **Desalination**, 253: 141-146, 2010.

REMAKRISHNAN, L.; DESAER, C. Carbamazepine inhibits distinct chemoconvulsant-induced seizure-like activity in *Dugesia tigrina*. **Pharmacology Biochemistry and Behavior**, 4: 665-670, 2011.

RIBEIRO, A.; R. **Potencial do uso de planárias na avaliação de contaminantes ambientais**. 2012, 71f. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Tecnologia, Universidade Estadual de Campinas, Limeira.

SANTOS, E.; M.; R. **Sistem combinado tratando esgoto sanitário contendo formaldeído: toxicidade remanescente avaliada em diferentes níveis tróficos.** 2011, 178f. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

SÁFADI, R. S. **Emprego de planárias de água doce, *Girardia tigrina* (Girard, 1850) (Platyhelminthes, Tricladida, Paludicola) na avaliação de toxicidade de compostos metálicos – proposta metodológica.** 1993, 208f. Dissertação (Mestrado). Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.

SCHEERER, S.; GOMEZ, F.; LLOYD, D. Bioluminescence of *Vibrio fischeri* in continuous culture: Optimal conditions for stability and intensity of photoemission. **Journal of Microbiological Methods**, 67: 321-329, 2006.

SOKAL, R. R. & ROHLF, F. J. **Biometry.** 3. ed. New York, W. H. Freeman, 1995. 850p.

STRIGUL, N.; VACCARI, L.; GALDUN, C.; WAZNE, M.; LIU, X.; CHRISTODOULATOS, C.; JASINKIEWICZ, K. Acute toxicity of boron, titanium dioxide, and aluminum nanoparticles to *Daphnia magna* and *Vibrio fischeri*. **Desalination**, 248: 771-782, 2009

TCHOBANOGLIOUS, G., F. L. BURTON, AND H.D. STENSEL; **Wastewater Engineering: Treatment and Reuse** / Metcalf & Eddy Inc. New York, NY: McGraw-Hill, 2003, 1819p.

VON SPERLING, M. **Princípios básicos do tratamento de esgotos.** Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; UFMG, 1996. 211 p.

VAN HAANDEL, A.C. & LETTINGA, G. **Tratamento anaeróbio de esgotos: um manual para regiões de clima quente.** Campina Grande, 1994. 240p.

ZAGATTO, P.A.; BERTOLETTI, E. **Ecotoxicologia aquática – Princípios e aplicações.** 478 p. São Carlos: RIMA, 2008.

ZHENG, X.; TONG, J.; LI, H.; CHEN, Y. The investigation of effect of organic carbon sources addition in anaerobic-aerobic (low dissolved oxygen) sequencing batch reactor for nutrients removal from wastewaters. **Bioresource Technology**, 100: 2515-2520, 2009.

ZHOU, K.; XU, M.; LIU, B.; CAO, H. Characteristics of microfauna and their relationships with the performance of an activated sludge plant in China. **Journal of Environmental Sciences**, 20: 482-486, 2008.

WANG, C.; YEDILER, A.; LIENER, D.; WANG, Z.; KETTRUP, K. Toxicity evaluation of reactive dyestuffs, auxiliaries and selected effluents in textile finishing industry to luminescent bacteria *Vibrio fischeri*. **Chemosphere**, 46: 339-344, 2002.

ANEXO A – Tabela de dados para determinação do IBL

Tabela 1: Número total de ciliados, grupos dominantes, Índice Biótico de Lodo e classe da amostra P4.

Amostra	Total Protozoa (n/ml)	Ciliados Livre Natantes	Ciliados Fixos	Ciliados Predadores de Flocos	Amebas	Flagelados	CPF + CF e/ou Tecamebas	Grupo Dominante	Densidade (n/L)	Número total de Táxon	Pequenos flagelados (n/ml)	IBL	Classe/ Qualidade
1	160	0	120	40	0	0	160	CPF+CF+AMB	<10 ⁶	3	<10	6	II
2	80	80	0	0	0	0	0	CLN	<10 ⁶	1	<10	1	IV
3	360	280	80	0	0	0	80	CLN	<10 ⁶	3	<10	1	IV
4	40	20	20	0	0	0	20	CLN	<10 ⁶	3	<10	1	IV
5	0	0	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-
6	220	60	120	40	0	0	160	CPF+CF+AMB	<10 ⁶	7	<10	7	II
7	200	20	20	120	40	0	180	CPF+CF+AMB	<10 ⁶	7	<10	7	II
8	440	70	30	10	220	110	260	CPF+CF+AMB	<10 ⁶	9	>10	6	II
9	180	40	0	0	50	90	50	F	<10 ⁶	5	>10	1	IV
10	90	10	10	0	60	10	70	CPF+CF+AMB	<10 ⁶	6	>10	5	III
11	20	0	0	0	20	0	20	CPF+CF+AMB	<10 ⁶	4	<10	6	II
12	0	0	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-
13	250	0	150	0	0	100	150	CPF+CF+AMB	<10 ⁶	2	>10	4	III
14	600	150	50	0	50	350	100	F	<10 ⁶	5	>10	1	IV
15	900	50	700	0	50	100	750	CPF+CF+AMB	<10 ⁶	4	>10	4	III
16	800	110	80	0	70	540	150	F	<10 ⁶	6	>10	1	IV
17	3020	200	370	110	30	2310	510	F	>10 ⁶	10	>10	2	IV
18	480	220	160	80	20	0	260	CPF+CF+AMB	<10 ⁶	9	<10	8	I
19	326	266	20	33	7	0	60	CLN	<10 ⁶	11	<10	4	III
20	1061	34	760	127	140	0	1027	CPF+CF+AMB	>10 ⁶	7	<10	8	I
21	626	107	413	66	40	0	519	CPF+CF+AMB	<10 ⁶	10	<10	8	I
22	294	180	107	7	0	0	114	CLN	<10 ⁶	7	<10	2	IV
23	973	280	627	66	0	0	693	CPF+CF+AMB	<10 ⁶	6	<10	7	II
24	926	26	707	20	166	7	893	CPF+CF+AMB	<10 ⁶	8	<10	8	I

Tabela 1: Número total de ciliados, grupos dominantes, Índice Biótico de Lodo e classe da amostra P4 – Continuação

Amostra	Total Protozoa (n/ml)	Ciliados Livre Natantes	Ciliados Fixos	Ciliados Predadores de Flocos	Amebas	Flagelados	CPF + CF e/ou Tecamebas	Grupo Dominante	Densidade (n/L)	Número total de Táxon	Pequenos flagelados (n/ml)	IBL	Classe/Qualidade
25	560	7	60	100	393	0	553	CPF+CF+AMB	<10 ⁶	9	<10	8	I
26	1381	0	240	20	27	1094	287	F	>10 ⁶	10	>10	3	IV
27	5486	1586	687	1860	13	1340	2560	CPF+CF+AMB	>10 ⁶	12	>10	8	I
28	6620	60	1470	10	270	4810	1750	F	>10 ⁶	10	>10	3	IV
29	12113	7	1299	940	1027	8840	3266	F	>10 ⁶	13	>10	4	III
30	12866	40	453	13	1213	11147	1679	F	>10 ⁶	10	>10	3	IV
31	12454	20	454	40	680	11260	1174	F	>10 ⁶	14	>10	4	III
32	600	93	100	14	220	173	334	CPF+CF+AMB	<10 ⁶	11	>10	7	II
33	787	13	254	0	320	200	574	CPF+CF+AMB	<10 ⁶	8	>10	6	II
34	133	46	14	0	73	0	87	CPF+CF+AMB	<10 ⁶	4	<10	6	II
35	894	114	733	7	40	0	780	CF	<10 ⁶	12	<10	8	I
36	750	80	570	20	70	10	660	CPF+CF+AMB	<10 ⁶	12	>10	7	II
37	2774	60	347	40	240	2087	627	F	>10 ⁶	13	>10	4	III
38	1530	130	390	0	550	460	940	CPF+CF+AMB	<10 ⁶	10	>10	6	II
39	608	74	187	40	220	87	447	CPF+CF+AMB	<10 ⁶	11	>10	7	II
40	120	10	30	0	70	10	100	CPF+CF+AMB	<10 ⁶	6	>10	5	III
41	50	10	10	0	20	10	30	CPF+CF+AMB	<10 ⁶	7	>10	5	III
42	1530	30	480	50	260	710	790	CPF+CF+AMB	<10 ⁶	11	>10	7	II
43	360	0	34	0	293	33	327	CPF+CF+AMB	<10 ⁶	6	>10	5	III
44	580	0	0	0	520	60	520	CPF+CF+AMB	<10 ⁶	4	>10	4	III
45	873	7	173	7	673	13	853	CPF+CF+AMB	<10 ⁶	8	>10	6	II

Tabela 2: Número total de ciliados, grupos dominantes, Índice Biótico de Lodo e classe da amostra P6.

Amostra	Total Protozoa (n/ml)	Ciliados Livre Natantes	Ciliados Fixos	Ciliados Predadores de Flocos	Amebas	Flagelados	CPF + CF e/ou Tecamebas	Grupo Dominante	Densidade (n/L)	Número total de Táxon	Pequenos flagelados (n/ml)	IBL	Classe/Qualidade
1	120	0	40	0	80	0	120	CPF+CF+AMB	<10 ⁶	3	<10	6	II
2	640	80	560	0	0	0	560	CF	<10 ⁶	3	<10	5	III
3	680	200	280	0	200	0	480	CPF+CF+AMB	<10 ⁶	5	<10	7	II
4	30	10	20	0	0	0	20	CF	<10 ⁶	3	<10	5	III
5	10	10	0	0	0	0	0	CLN	<10 ⁶	2	<10	1	IV
6	100	10	80	10	0	0	90	CF	<10 ⁶	3	<10	5	III
7	150	0	20	110	20	0	150	CPF+CF+AMB	<10 ⁶	6	<10	7	II
8	260	100	70	20	0	70	90	CLN	<10 ⁶	6	>10	0	IV
9	170	80	0	0	60	30	60	CLN	<10 ⁶	6	>10	0	IV
10	100	40	0	0	30	30	30	CLN	<10 ⁶	7	>10	0	IV
11	80	0	0	0	20	60	20	F	<10 ⁶	5	>10	1	IV
12	1500	0	0	0	0	1500	0	F	>10 ⁶	1	>10	1	IV
13	200	0	0	0	0	200	0	F	<10 ⁶	1	>10	0	IV
14	1800	150	550	600	0	500	1150	CPF+CF+AMB	>10 ⁶	6	>10	6	II
15	650	100	100	100	100	250	300	CPF+CF+AMB	<10 ⁶	5	>10	5	III
16	1070	120	440	30	90	390	560	CPF+CF+AMB	<10 ⁶	7	>10	5	III
17	1230	140	570	80	30	410	680	CPF+CF+AMB	<10 ⁶	11	>10	7	II
18	1390	200	840	120	80	150	1040	CPF+CF+AMB	>10 ⁶	11	>10	8	I
19	2040	294	1360	200	166	20	1726	CPF+CF+AMB	>10 ⁶	11	>10	8	I
20	2321	87	1947	47	240	0	2234	CF	>10 ⁶	8	<10	8	I
21	335	74	167	47	27	20	241	CPF+CF+AMB	<10 ⁶	12	>10	7	II
22	580	40	187	353	0	0	540	CPF+CF+AMB	<10 ⁶	8	<10	8	I
23	875	647	187	34	0	7	221	CLN	<10 ⁶	6	>10	0	IV
24	1434	14	993	47	373	7	1413	CPF+CF+AMB	>10 ⁶	8	>10	7	II

Tabela 2: Número total de ciliados, grupos dominantes, Índice Biótico de Lodo e classe da amostra P6 – Continuação

Amostra	Total Protozoa (n/ml)	Ciliados Livre Natantes	Ciliados Fixos	Ciliados Predadores de Flocos	Amebas	Flagelados	CPF + CF e/ou Tecamebas	Grupo Dominante	Densidade (n/L)	Número total de Táxon	Pequenos flagelados (n/ml)	IBL	Classe/Qualidade
25	294	20	27	67	180	0	274	CPF+CF+AMB	<10 ⁶	8	<10	8	I
26	2468	40	354	20	20	2034	394	F	<10 ⁶	13	>10	3	IV
27	3627	287	827	1067	13	1433	1907	CPF+CF+AMB	>10 ⁶	12	>10	8	I
28	2550	20	160	20	100	2250	280	F	>10 ⁶	7	>10	2	IV
29	6462	0	521	227	327	5387	1075	F	>10 ⁶	8	>10	3	IV
30	10167	14	360	20	853	8920	1233	F	>10 ⁶	11	>10	4	IV
31	7533	13	214	0	986	6320	1200	F	>10 ⁶	9	>10	3	IV
32	461	107	67	27	140	120	234	CPF+CF+AMB	<10 ⁶	13	>10	7	II
33	446	13	113	0	220	100	333	CPF+CF+AMB	<10 ⁶	8	>10	6	II
34	307	60	127	0	120	0	247	CPF+CF+AMB	<10 ⁶	7	<10	7	II
35	475	141	287	14	33	0	334	CPF+CF+AMB	<10 ⁶	12	<10	9	I
36	420	140	220	0	60	0	280	CPF+CF+AMB	<10 ⁶	6	<10	7	II
37	1267	40	166	0	107	954	273	F	<10 ⁶	11	>10	3	IV
38	900	0	160	40	310	390	510	CPF+CF+AMB	<10 ⁶	11	>10	7	II
39	416	32	192	16	96	80	304	CPF+CF+AMB	<10 ⁶	12	>10	7	II
40	174	0	67	7	100	0	174	CPF+CF+AMB	<10 ⁶	6	<10	7	II
41	130	10	20	0	60	40	80	CPF+CF+AMB	<10 ⁶	10	>10	6	II
42	1770	10	270	20	290	1180	580	F	<10 ⁶	9	>10	2	IV
43	173	0	0	0	140	33	140	CPF+CF+AMB	<10 ⁶	5	>10	5	III
44	924	14	0	0	830	80	830	CPF+CF+AMB	<10 ⁶	6	>10	5	III
45	768	0	87	0	674	7	761	CPF+CF+AMB	<10 ⁶	8	>10	6	II

Tabela 3: Número total de cílios, grupos dominantes, Índice Biótico de Lodo e classe da amostra P7.

Amostra	Total Protozoa (n/ml)	Cílios Livre Natantes	Cílios Fixos	Cílios Predadores de Flocos	Amebas	Flagelados	CPF + CF e/ou Tecamebas	Grupo Dominante	Densidade (n/L)	Número total de Táxon	Pequenos flagelados (n/ml)	IBL	Classe/Qualidade
1	1500	800	600	40	60	0	700	CLN	<10 ⁶	8	<10	3	IV
2	3000	840	1800	0	360	0	2160	CPF+CF+AMB	>10 ⁶	10	<10	9	I
3	2440	80	2080	0	280	0	2360	CPF+CF+AMB	>10 ⁶	5	<10	8	I
4	920	80	840	0	0	0	840	CF	<10 ⁶	4	<10	5	III
5	280	160	0	40	80	0	120	CLN	<10 ⁶	7	<10	2	IV
6	1880	80	1520	80	200	0	1800	CF	>10 ⁶	8	<10	8	I
7	800	40	280	360	120	0	760	CPF+CF+AMB	<10 ⁶	9	<10	8	I
8	2050	300	900	0	350	500	1250	CPF+CF+AMB	>10 ⁶	5	>10	6	II
9	1100	700	0	0	400	0	400	CLN	<10 ⁶	7	<10	2	IV
10	600	0	0	100	300	200	400	CPF+CF+AMB	>10 ⁶	5	>10	6	II
11	400	200	0	0	100	100	100	CLN	<10 ⁶	4	>10	0	IV
12	400	50	100	100	150	0	350	CPF+CF+AMB	<10 ⁶	4	<10	6	II
13	250	50	150	0	50	0	200	CPF+CF+AMB	<10 ⁶	4	<10	6	II
14	1550	400	300	550	0	300	850	CPF+CF+AMB	<10 ⁶	9	>10	6	II
15	2700	450	750	250	800	450	1800	CPF+CF+AMB	>10 ⁶	10	>10	7	II
16	16560	430	15650	170	30	280	15850	CF	>10 ⁶	12	>10	7	II
17	2200	280	1120	150	140	510	1410	CPF+CF+AMB	>10 ⁶	16	>10	8	I
18	3050	530	1650	250	280	340	2180	CPF+CF+AMB	>10 ⁶	12	>10	8	I
19	3579	719	1847	433	520	60	2800	CPF+CF+AMB	>10 ⁶	14	>10	8	I
20	3833	366	2413	567	467	20	3447	CPF+CF+AMB	>10 ⁶	13	>10	8	I
21	2040	293	1053	214	367	113	1634	CPF+CF+AMB	>10 ⁶	12	>10	8	I
22	8482	354	6860	1074	87	107	8021	CF	>10 ⁶	17	>10	7	II
23	7094	161	5486	733	607	107	6826	CPF+CF+AMB	>10 ⁶	13	>10	8	I
24	11352	113	5953	120	5146	20	11219	CPF+CF+AMB	>10 ⁶	13	>10	8	I

Tabela 3: Número total de ciliados, grupos dominantes, Índice Biótico de Lodo e classe da amostra P7 - Continuação.

Amostra	Total Protozoa (n/ml)	Ciliados Livre Natantes	Ciliados Fixos	Ciliados Predadores de Flocos	Amebas	Flagelados	CPF + CF e/ou Tecamebas	Grupo Dominante	Densidade (n/L)	Número total de Táxon	Pequenos flagelados (n/ml)	IBL	Classe/Qualidade
25	2541	146	74	341	1847	133	2262	CPF+CF+AMB	>10 ⁶	14	>10	8	I
26	2101	133	454	7	107	1400	568	F	>10 ⁶	17	>10	4	III
27	4247	460	1314	1440	20	1013	2774	CPF+CF+AMB	>10 ⁶	13	>10	8	I
28	24250	220	1760	10	280	21980	2050	F	>10 ⁶	7	>10	2	IV
29	53100	40	2160	2830	3350	44720	8340	F	>10 ⁶	14	>10	4	III
30	36253	26	714	86	1780	33647	2580	F	>10 ⁶	10	>10	3	IV
31	24161	60	394	27	1893	21787	2314	F	>10 ⁶	13	>10	4	III
32	4060	333	447	0	880	2400	1327	F	>10 ⁶	12	>10	4	III
33	1320	14	153	20	853	280	1026	CPF+CF+AMB	>10 ⁶	12	>10	8	I
34	534	87	140	14	293	0	447	CPF+CF+AMB	<10 ⁶	7	<10	7	II
35	2547	247	1007	53	1240	0	2300	CPF+CF+AMB	>10 ⁶	12	<10	10	I
36	1330	190	340	30	740	30	1110	CPF+CF+AMB	>10 ⁶	13	>10	8	I
37	2074	20	434	0	120	1500	554	F	<10 ⁶	11	>10	3	IV
38	4210	80	210	20	1460	2440	1690	F	>10 ⁶	13	>10	4	III
39	481	40	187	7	147	100	341	CPF+CF+AMB	<10 ⁶	10	>10	6	II
40	127	46	34	7	40	0	81	CPF+CF+AMB	<10 ⁶	8	<10	8	I
41	50	0	20	10	20	0	50	CPF+CF+AMB	<10 ⁶	6	<10	7	II
42	3990	10	400	60	190	3330	650	F	>10 ⁶	11	>10	4	III
43	147	0	7	0	120	20	127	CPF+CF+AMB	<10 ⁶	5	>10	5	III
44	2130	0	30	0	1960	140	1990	CPF+CF+AMB	>10 ⁶	7	>10	6	II
45	286	13	73	0	180	20	253	CPF+CF+AMB	<10 ⁶	6	>10	5	III

