



Universidade Federal do Rio de Janeiro
Escola Politécnica & Escola de Química
Programa de Engenharia Ambiental

Alessandra Pereira Ribeiro da Silva

AVALIAÇÃO DA MICROBIOLOGIA DE LODOS ATIVADOS EM
ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTOS DA REGIÃO
METROPOLITANA DO RIO DE JANEIRO

Rio de Janeiro

2019



UFRJ

Alessandra Pereira Ribeiro da Silva

AVALIAÇÃO DA MICROBIOLOGIA DE LODOS ATIVADOS EM ESTAÇÕES DE
TRATAMENTO DE ESGOTOS DA REGIÃO METROPOLITANA DO RIO DE
JANEIRO

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Engenharia Ambiental, Escola Politécnica & Escola de Química, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental.

Orientadores:

Selma Gomes Ferreira Leite, D.Sc.

Inácio Domingos da Silva Neto, D.Sc.

Rio de Janeiro

2019

Silva, Alessandra Pereira Ribeiro da

Avaliação da Microbiologia de Lodos Ativados em Estações de Tratamento de Esgotos da Região Metropolitana do Rio de Janeiro / Alessandra Pereira Ribeiro da Silva. – 2019.

f.: 139, 51 il. 30cm

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica e Escola de Química, Programa de Engenharia Ambiental, Rio de Janeiro, 2019.

Orientadores: Selma Gomes Ferreira Leite e Inácio Domingos da Silva Neto

1. Microbiologia de lodos ativados. 2. Estações de Tratamento de Esgotos. 3. Microfauna. 4. Lodo Ativado. I. Leite, Selma Gomes Ferreira. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Escola Politécnica e Escola de Química. III. Avaliação da Microbiologia de Lodos Ativados em Estações de Tratamento de Esgotos da Região Metropolitana do Rio de Janeiro



UFRJ

AVALIAÇÃO DA MICROBIOLOGIA DE LODOS ATIVADOS EM ESTAÇÕES DE
TRATAMENTO DE ESGOTOS DA REGIÃO METROPOLITANA DO RIO DE
JANEIRO

Alessandra Pereira Ribeiro da Silva

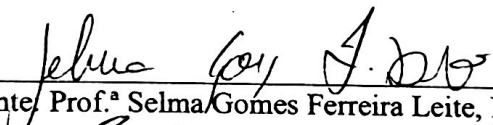
Orientadores:

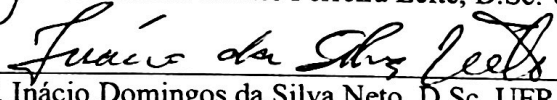
Prof.^a Dr.^a Selma Gomes Ferreira Leite


Prof. Dr. Inácio Domingos da Silva Neto

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Engenharia Ambiental, Escola Politécnica & Escola de Química, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental.

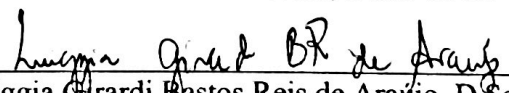
Aprovada pela Banca:


Presidente Prof.^a Selma Gomes Ferreira Leite, D.Sc. UFRJ


Prof. Inácio Domingos da Silva Neto, D.Sc. UFRJ


Prof.^a Cristina Aparecida Gomes Nassar, D.Sc. UFRJ


Prof. Isaac Volschan Júnior, D.Sc. UFRJ


Prof.^a Luígia Girardi Bastos Reis de Araújo, D.Sc. IFRJ

Rio de Janeiro

2019

*Dedico este trabalho aos amores da minha vida,
Wagner, Vinícius e Ana Alice por serem os meus
alicerces e os motivos do meu sorriso e esforço.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo seu infinito amor, pela presença constante em minha vida, pela minha saúde e perseverança.

Aos meus pais João e Clemencia pelo amor e apoio incondicionais.

Aos meus orientadores Prof.^a Selma e Prof. Inácio pela compreensão, apoio e valiosa orientação.

Aos professores que gentilmente aceitaram fazer parte da banca examinadora, professores Cristina Nassar, Isaac Volschan e Luiggia de Araújo.

À Universidade Federal do Rio de Janeiro e ao Programa de Engenharia Ambiental pelo ensino público de qualidade. Aos professores do programa pelos ensinamentos e conhecimentos compartilhados. À secretária do PEA Andréia pela ajuda e solução de problemas.

À CEDAE pela autorização para a realização do mestrado e aprovação do projeto, nas pessoas do então Diretor Jorge Briard e então Gerente da GTE Miguel Cunha; ao atual Gerente Wilton Lemos pela colaboração na fase final da defesa; à Assistente da Gerência Tereza Silva pela passagem de conhecimento na área e amizade; aos chefes de operação das ETES Alegria, Pavuna, Sarapuí, Penha e Ilha, Paulo Afonso, Igor, Célio, Fábio Nunes, Wallace Pimentel e Vitor Hugo pelas informações operacionais fornecidas; ao coordenador de operação Wallace Pimentel pelas fotos da ETE Penha gentilmente tiradas e fornecidas; aos coordenadores, Sheila, Thelma e Robson e demais profissionais dos Laboratórios de Controle de Qualidade de Esgotos de Alegria, Pavuna e Ilha do Governador pelas análises físico-químicas e pelo fornecimento de dados analíticos; aos colegas de trabalho Thelma, Paulo, Paula e Marques pelo apoio diário.

À técnica de laboratório Aline Medeiros e à analista da qualidade Cristiane Mathias e aos estagiários pelas realizações das análises da microfauna e fotos das análises.

À equipe do Departamento de Controle de Qualidade de Esgotos (CEDAE), Tiago Viana, Tiago Tourinho, Cristiane Mathias, Mauro e demais estagiários e aos profissionais do Laboratório de Protistologia (UFRJ) pelas fotos dos organismos.

Ao amigo Tiago Tourinho pelo incentivo à realização do mestrado, pelas parcerias nos trabalhos publicados e principalmente pela amizade engrandecedora.

Ao colega Robson Campos pela disponibilidade e ajuda nos testes estatísticos.

À colega de mestrado Rosana Caetano por compartilhar experiências e por tornar os dias de aula mais leves.

À amiga Rosane Soares pelo inestimável apoio e orações.

À Karina Cardim pelo suporte em casa que me deu a tranquilidade necessária para a realização desse trabalho.

Ao irmão de coração Charles Martins pelas incontáveis conversas, trocas de experiências e pelo auxílio nas referências bibliográficas.

À amiga e psicóloga Sandra Quintas e ao colega de trabalho Robson pelas palavras finais que me motivaram a não desistir.

Enfim, àqueles que, de alguma forma, tornaram possível a realização deste trabalho.

A todos, o meu mais sincero e profundo: Muito obrigada!

“Por vezes sentimos que aquilo que fazemos não é senão uma gota de água no oceano. Mas o oceano seria menor se lhe faltasse uma gota”.

Santa Madre Teresa de Calcutá

RESUMO

SILVA, Alessandra. **Avaliação da Microbiologia de Lodos Ativados em Estações de Tratamento de Esgotos da Região Metropolitana do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro, 2019. Dissertação (Mestrado) – Programa de Engenharia Ambiental, Escola Politécnica e Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019.

O sistema de lodos ativados, amplamente utilizado mundialmente, consiste num tratamento biológico aeróbio dos esgotos. Componentes da microfauna de lodos ativados desempenham papel preponderante na clarificação do efluente e podem ser utilizados como indicadores do processo. A determinação do Índice Biótico de Lodos-IBL é um modelo utilizado para avaliação da eficiência dos processos de tratamento. Medições de diâmetro do floco biológico e de filamentos auxiliam na avaliação da sedimentabilidade do lodo. O objetivo do estudo foi monitorar e avaliar a microbiologia dos lodos ativados de cinco Estações de Tratamento de Esgotos operadas pelo sistema de lodos ativados da Região Metropolitana do Rio de Janeiro, visando uma possível correlação da dinâmica populacional com as condições operacionais. Uma das ETEs realiza cotratamento de lixiviado de aterro sanitário e essa influência na microbiologia de lodos ativados também foi avaliada. O estudo foi realizado no período de maio a dezembro/2017, no qual foram realizadas medições de campo, análises físico-químicas, análises qualitativas e quantitativas da microfauna, medições do diâmetro do floco e comprimento das bactérias filamentosas. Os resultados foram correlacionados com parâmetros físico-químicos e operacionais e o IBL calculado. Verificou-se ocorrência de todos os grupos morfofuncionais da microfauna. As análises de densidade e riqueza de espécies mostraram microfauna diversificada e dominância de ciliados predadores de floco, ciliados sésseis e tecamebas que indicaram boa depuração e efluente de alta qualidade na maior parte do período estudado. Testes estatísticos apresentaram as seguintes correlações: amebas nuas indicaram elevada relação alimento/micro-organismo e má depuração; tecamebas indicaram baixa relação alimento/micro-organismo e remoção da Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO; pequenos flagelados indicaram má depuração; ciliados predadores de floco, boa depuração e *Aspidisca cicada* ocorrência de nitrificação; micrometazoários indicaram elevada idade do lodo e remoção de DBO. O IBL mostrou-se aplicável à avaliação da eficiência do tratamento. Análises de diâmetro de floco relacionaram flocos pequenos à baixa carga orgânica e ao cisalhamento provocado pela aeração mecânica. O volume de lixiviado de aterro sanitário contribuiu para o aumento do diâmetro dos flocos e interferiu na riqueza de espécies e população de tecamebas. A

proliferação de bactérias filamentosas influenciou na sedimentabilidade do lodo e foi causada por alterações dos seguintes fatores: pH e concentração de oxigênio dissolvido. As bactérias filamentosas influenciaram também na eficiência de remoção de DBO e sólidos suspensos totais.

Palavras-chave: microfauna, lodo ativado, protozoários, tratamento de esgotos, microscopia.

ABSTRACT

SILVA, Alessandra. Evaluation of microbiology of activated sludge in Wastewater Treatment Plants in the Metropolitan Region of Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2019. Dissertação (Mestrado) – Programa de Engenharia Ambiental, Escola Politécnica e Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019.

The activated sludge system, widely used worldwide, consists of an aerobic biological treatment of sewage. Microfauna components of activated sludge play a major role in clarifying the effluent and can be used as process indicators. The Sludge Biotic Index - SBI is a model used to evaluate the efficiency of the treatment processes. Measurements of sludge flocs size and filament aid in the assessment of sedimentability of sludge. The objective of the study was to monitor and evaluate the microbiology of activated sludge from five Wastewater Treatment Plants – WTP operated by the activated sludge system of the Metropolitan Region of Rio de Janeiro, aiming at a possible correlation between population dynamics and operational conditions. One of the TEEs carries out treatment of landfill leachate and this influence on activated sludge microbiology was also evaluated. The study was carried out from May to December/2017, in which field measurements, physical and chemical analyzes qualitative and quantitative analyzes of the microfauna, measurements of the sludge flocs size and length of the filamentous bacteria were carried out. The results were correlated with physical-chemical and operational parameters and the calculated SBI. All morphofunctional groups in the microfauna were found to occur, density analyzes and the diversity of species showed the occurrence of diversified microfauna and dominance of crawling and sessile ciliates and testate amoebae indicated good performance and quality of effluent during the majority of the study period. Statistical tests showed the following correlations: naked amoebas indicated high F/M ratio and poor performance; testate amoebae indicated a low F/M ratio and BOD removal; small flagellates indicated poor performance; crawling ciliate indicated good performance and *Aspidisca cicada* indicated the occurrence of nitrification; micrometazoa indicated high sludge age and removal of BOD. The SBI proved to be applicable to the evaluation of treatment efficiency. Sludge flocs size analyses related small flocs at low organic load and shear caused by mechanical aeration. The volume of landfill leachates contributed to the increase in the sludge flocs size and interfered in the diversity of species and population of testates amoebae. The proliferation of filamentous bacteria influenced the sedimentability of the sludge were caused by the

following factors: pH and concentration of dissolved oxygen. Filamentous bacteria influenced the efficiency of removal of BOD and SST.

Keyword: microfauna, activated sludge, protozoa, wastewater treatment, microscopy

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1: Região Hidrográfica da Baía de Guanabara	5
Figura 2.2: Localização das Estações de Tratamento de Esgotos de Alegria, Pavuna, Sarapuí, Penha e Ilha do Governador no mapa da região no entorno da Baía de Guanabara.	6
Figura 2.3: Fluxograma das etapas do tratamento da fase líquida dos esgotos	9
Figura 2.4: Esquema das unidades da etapa biológica do sistema de lodos ativados.....	11
Figura 2.5: Representação esquemática de um floco biológico do sistema de lodos ativados	19
Figura 2.6: Flocos biológicos de lodos ativados; A. Floco biológico adequado. B. Floco biológico com <i>bulking</i> filamentoso; C. Floco biológico disperso tipo “ <i>pin point</i> ”	20
Figura 2.7: Esquema da sucessão dos grupos com o tempo em sistemas descontínuos..	25
Figura 2.8: Gráfico da sucessão de micro-organismos durante a estabilização da microfauna de lodos ativados.	26
Figuras 3.1 Estações de Tratamentos de Esgotos nas quais o estudo foi realizado. A. Alegria; B. Pavuna; C. Sarapuí; D. Penha; E. Ilha	43
Figura 3.2 A, B e C: Tanques de aeração da ETE Alegria.	45
Figura 3.3: Tanques de aeração. A. ETE Pavuna; B. ETE Sarapuí	46
Figuras 3.4 A e B: Tanques de aeração da ETE Penha, destaque para o aerador mecânico de superfície.	47
Figuras 3.5 A e B: Tanques de aeração da ETE Ilha; C. Destaque para o aerador mecânico de superfície.	48
Figura 3.6 A e B: Medições de oxigênio dissolvido nos tanques de aeração.....	49
Figura 3.7: Lâmina e lamínula utilizadas para análise qualitativa da microfauna	51
Figura 3.8: Câmara de Sedgewick-Rafter sendo preenchida de amostra de lodo ativado para realização de análise quantitativa da microfauna	53
Figura 4.1: Fotomicrografias de amebas nuas encontradas nos lodos ativados das ETEs; A. Pavuna; B. Alegria.	61
Figura 4.2: Fotomicrografias de tecamebas; A. <i>Centropyxis aculeata</i> encontrada no lodo ativado da ETE Pavuna; B. <i>Euglypha rotunda</i> encontrada no lodo ativado da ETE Ilha; C. <i>Euglypha</i> sp. encontrada no lodo ativado da ETE Pavuna; D. <i>Arcella vulgaris</i> encontrada no lodo ativado da ETE Ilha.	61
Figura 4.3: Fotomicrografias de ciliados predadores de floco; A. <i>Euplotes aediculatus</i> encontrado no lodo ativado da ETE Alegria; B. <i>Aspidisca cicada</i> encontrado no lodo ativado da ETE Penha; C. <i>Chilodonella</i> sp. encontrado no lodo ativado da ETE Penha; D. <i>Euplotes aediculatus</i> encontrado no lodo ativado da ETE Sarapuí.	62

Figura 4.4: Fotomicrografias de ciliados livre-natantes; A. <i>Uronema</i> sp. encontrado no lodo ativado da ETE Alegria; B. <i>Blefarisma</i> sp encontrado no lodo ativado da ETE Alegria; C. <i>Paramecium aurelia</i> encontrado no lodo ativado da ETE Alegria; D. <i>Spirostomum teres</i> encontrado no lodo ativado da ETE Penha.	63
Figura 4.5: Fotomicrografias de ciliados sésseis; A. <i>Epistylis chrysemydis</i> encontrada no lodo ativado da ETE Ilha; B. <i>Vorticella microstoma</i> encontrada no lodo ativado da ETE Penha.	64
Figura 4.6: Fotomicrografias de ciliados carnívoros A. Suctória (<i>Tokophrya infusionum</i>) encontrada no lodo ativado da ETE Penha; B. <i>Coleps</i> sp. encontrado no lodo ativado da ETE Sarapuí.	64
Figura 4.7: Fotomicrografias de flagelados; A. Pequeno flagelado encontrado no lodo ativado da ETE Alegria; B. Grande flagelado <i>Peranema</i> sp. encontrado no lodo ativado da ETE Alegria.	65
Figura 4.8: Fotomicrografias de micrometazoários; A. Nematódeo encontrado no lodo ativado da ETE Pavuna; B. Rotífero encontrado no lodo ativado da ETE Pavuna; C. Oligoqueto <i>Aeolosoma</i> sp. encontrado no lodo ativado da ETE Pavuna; D. Tardígrado encontrado no lodo ativado da ETE Penha.	65
Figura 4.9: Gráfico da distribuição do número de organismos.L ⁻¹ do lodo ativado da ETE Alegria.	70
Figura 4.10: Gráfico da distribuição do número de organismos.L ⁻¹ do lodo ativado da ETE Pavuna.	70
Figura 4.11: Gráfico da distribuição do número de organismos.L ⁻¹ do lodo ativado da ETE Sarapuí.	71
Figura 4.12: Gráfico da distribuição do número de organismos.L ⁻¹ do lodo ativado da ETE Penha.	71
Figura 4.13: Gráfico da distribuição do número de organismos.L ⁻¹ do lodo ativado da ETE Ilha	72
Figura 4.14: Gráfico da riqueza de organismos da microfauna dos lodos ativados das ETEs Alegria, Pavuna, Sarapuí, Penha e Ilha expressa pelo número de táxons identificados por litro. A linha vermelha indica o valor a partir do qual a riqueza de espécies é adequada e indicativa de bom desempenho de depuração.	73
Figura 4.15: Gráfico da porcentagem dos grupos morfofuncionais da microfauna no lodo ativado da ETE Alegria.	76
Figura 4.16: Gráfico da porcentagem dos grupos morfofuncionais da microfauna no lodo ativado da ETE Pavuna.	77
Figura 4.17: Gráfico da porcentagem dos grupos morfofuncionais da microfauna no lodo ativado da ETE Sarapuí	77
Figura 4.18: Gráfico da porcentagem dos grupos morfofuncionais da microfauna no lodo ativado da ETE Penha.	78

Figura 4.19: Gráfico da porcentagem dos grupos morfofuncionais da microfauna no lodo ativado da ETE Ilha	78
Figura 4.20: Gráfico das dominâncias relativas da microfauna de lodos ativados. A. ETE Alegria; B. ETE Pavuna; C. ETE Sarapuí; D. ETE Penha; E. ETE Ilha.	79
Figura 4.21: Gráfico da variação do Índice Biótico de Lodo das ETES Alegria, Pavuna, Sarapuí, Penha e Ilha no período de maio a dezembro de 2017.	81
Figura 4.22: Gráfico da distribuição dos flocos observados e média dos diâmetros dos flocos biológicos observados no lodo ativado da ETE Alegria.	85
Figura 4.23: Gráfico da distribuição dos flocos observados e média dos diâmetros dos flocos biológicos observados no lodo ativado da ETE Pavuna.	85
Figura 4.24: Gráfico da distribuição dos flocos observados e média dos diâmetros dos flocos biológicos observados no lodo ativado da ETE Sarapuí.	86
Figura 4.25: Gráfico da distribuição dos flocos observados e média dos diâmetros dos flocos biológicos observados no lodo ativado da ETE Penha.	86
Figura 4.26: Gráfico da distribuição dos flocos observados e média dos diâmetros dos flocos biológicos observados no lodo ativado da ETE Ilha.	87
Figura 4.27: Gráfico da distribuição do diâmetro do floco do lodo ativado da ETE Alegria e o volume de chorume recebido.	88
Figura 4.28: Gráfico da variação das medições de bactérias filamentos nos lodos ativados das ETES Alegria, Pavuna, Sarapuí, Penha e Ilha no período de maio a dezembro de 2017.	91
Figura 4.29: Gráfico da distribuição da população de tecamebas no lodo ativado da ETE Penha e do volume de chorume recebido para tratamento.	94
Figura 4.30: Gráfico da distribuição da população de tecamebas e da relação A/M no lodo ativado da ETE Penha	95
Figura 4.31: Gráfico da distribuição da população de tecamebas no lodo ativado da ETE Penha e da concentração de DBO efluente.	96
Figura 4.32: Gráfico da distribuição da população de tecamebas no lodo ativado da ETE Pavuna e o pH do tanque de aeração.	97
Figura 4.33: Gráfico da distribuição da população de pequenos flagelados e sólidos sedimentáveis no lodo ativado da ETE Penha.	98
Figura 4.34: Gráfico da distribuição da população de ciliados predadores de floco e o pH no lodo ativado da ETE Penha.	99
Figura 4.35: Gráfico da distribuição da população de micrometazoários e sólidos em suspensão totais no lodo ativado da ETE Penha.	100

.LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Faixa de Índice Volumétrico de Lodo recomendada pelos diferentes autores.	15
Tabela 2.2: Causas de perturbações na formação do floco biológico e de ruptura do sistema flocular.....	21
Tabela 2.3: Microfauna indicadora da eficiência das estações de tratamento por lodos ativados.....	35
Tabela 2.4: Micro-organismos indicadores das condições de depuração.....	36
Tabela 2.5: Grupos dominantes da microfauna e sua correlação com a eficiência da ETE e as possíveis causas de desequilíbrios.....	37
Tabela 2.6: Espécies da microfauna como indicadoras do desempenho de sistemas de lodos ativados convencional.....	38
Tabela 2.7: Grupos/Espécies da microfauna como indicadora do desempenho de sistemas de lodos ativados convencional.....	39
Tabela 3.1: Informações da vazão de projeto, localização, lançamento de efluente, população atendida e local atendido pelas ETEs Alegria, Pavuna, Sarapuí, Penha e Ilha.	42
Tabela 3.2: Informações sobre o número de tanques de aeração em funcionamento, o volume total de cada tanque de aeração e o tipo de aeração das ETEs Alegria, Pavuna, Sarapuí, Penha e Ilha	44
Tabela 3.3: Parâmetros analisados, métodos analíticos empregados, fonte das metodologias e unidades de medidas para a realização de análises físico-químicas	50
Tabela 3.4: Agrupamento de organismos de diversos gêneros	52
Tabela 3.5: Tabela de duas entradas para o cálculo do Índice Biótico de Lodo – IBL (SBI - sigla em inglês) baseado nos grupos-chave dominante, densidade e número de unidades taxonômicas da microfauna	54
Tabela 3.6: Conversão dos valores de IBL em quatro classes de qualidade e seus respectivos diagnósticos.	55
Tabela 3.7: Agrupamento dimensional dos flocos biológicos	55
Tabela 3.8: Interpretação do coeficiente de correlação de Pearson (r).	57
Tabela 4.1: Resultados médios, mínimos e máximos de análises físico-químicas, medições de campo e parâmetros operacionais de maio a dezembro de 2017 das ETEs Alegria, Pavuna e Sarapuí.	58
Tabela 4.2: Resultados médios, mínimos e máximos de análises físico-químicas, medições de campo e parâmetros operacionais de maio a dezembro de 2017 das ETEs Penha e Ilha	59
Tabela 4.3 – Listagem de táxons/espécies identificadas nos líquidos sob aeração dos lodos ativados da ETEs Alegria, Pavuna, Sarapuí, Penha e Ilha no período de maio a dezembro de 2017.....	60

Tabela 4.4: Estimativa dos coeficientes de correlação de Pearson (r) entre os parâmetros operacionais e os grupos morfofuncionais na ETE Alegria	67
Tabela 4.5: Estimativa dos coeficientes de correlação de Pearson (r) entre os parâmetros operacionais e os grupos morfofuncionais na ETE Pavuna.	68
Tabela 4.6: Estimativa dos coeficientes de correlação de Pearson (r) entre os parâmetros operacionais e os grupos morfofuncionais na ETE Sarapuí	68
Tabela 4.7: Estimativa dos coeficientes de correlação de Pearson (r) entre os parâmetros operacionais e os grupos morfofuncionais na ETE Penha	69
Tabela 4.8: Estimativa dos coeficientes de correlação de Pearson (r) entre os parâmetros operacionais e os grupos morfofuncionais na ETE Ilha.	69
Tabela 4.9: Média do número de táxons encontrados por ETE estudada no período de maio a dezembro/2017.....	75
Tabela 4.10: Média do comprimento dos filamentos do lodo ativado das ETE Alegria, Pavuna, Sarapuí, Penha e Ilha no período de maio a dezembro de 2017	91
Tabela 4.11: Resumos das principais correlações entre a microbiologia de lodos ativados das ETEs Alegria, Pavuna, Sarapuí, Penha e Ilha e os parâmetros operacionais e de desempenho dos sistemas de tratamento, observadas neste estudo e das correlações observadas na literatura por diversos autores	102

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AMN	Gimnamebas ou Amebas nuas
BID	Banco Interamericano de Desenvolvimento
CEDAE	Companhia Estadual de Águas e Esgotos
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental de São Paulo
CF	Ciliados Sésseis ou Fixos
CLN	Ciliados Livre-natantes
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CPF	Ciliados Predadores de Floco
DBO	Demanda Bioquímica de oxigênio
DBO ₅	Demanda Bioquímica de Oxigênio em 5 dias
DQO	Demanda Química de Oxigênio
ETE	Estação de Tratamento de Esgotos
GFLA	Grandes Flagelados
IBL	Índice Biótico de Lodo (sigla em inglês SBI)
INEA	Instituto Estadual do Ambiente
IVL	Índice Volumétrico de Lodo
JBIC	<i>Japan Bank for International Cooperation</i>
MBBR	Reatores de Leito Móvel com Biofilme
MBR	Biorreatores com Membranas
MTZ	Micrometazoários
OD	Oxigênio Dissolvido
PDBG	Programa de Despoluição da Baía de Guanabara
PFLA	Pequenos Flagelados
PROSAB	Programa de Pesquisa de Saneamento Básico
PSAM	Programa de Saneamento Ambiental dos Municípios do Entorno da Baía da Guanabara
RBC	Reator biológico de Contato
Relação A/M	Relação Alimento/Micro-organismo
RMRJ	Região Metropolitana do Rio de Janeiro
SEA	Secretaria de Estado do Ambiente
SMWW	<i>Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater</i>
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
SS	Sólidos em Suspensão
SSed	Sólidos Sedimentáveis
SST	Sólidos em Suspensão Totais
SSTTA	Sólidos em Suspensão Totais no Tanque de Aeração
SSV	Sólidos em Suspensão Voláteis
SSVTA	Sólidos em Suspensão Voláteis no Tanque de Aeração
TA	Tanque de Aeração
TAM	Tecamebas
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 OBJETIVOS.....	4
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1 ESGOTAMENTO SANITÁRIO NA BAÍA DE GUANABARA.....	5
2.2 TRATAMENTO DE ESGOTOS.....	7
2.3 O SISTEMA DE LODOS ATIVADOS.....	10
2.4 CONTROLE DE PROCESSO.....	13
2.4.1 Concentração de Sólidos em Suspensão no Tanque de Aeração (SSTTA).....	13
2.4.2 Idade do lodo (Θ_c).....	13
2.4.3 Relação Alimento/Micro-organismo (Relação A/M).....	14
2.4.4 Índice Volumétrico de Lodo – IVL.....	15
2.5 O COTRATAMENTO DE LIXIVIADOS DE ATERROS SANITÁRIOS EM ETEs.....	16
2.6 MICROBIOLOGIA DE LODOS ATIVADOS.....	17
2.6.1 O Floco biológico.....	19
2.6.2 A Microfauna de Lodos Ativados.....	21
2.6.3 Dinâmica de Populações do Lodo Ativado.....	24
2.6.4 Fatores Ambientais que Afetam a Microbiologia dos Lodos Ativados.....	26
2.6.5 Microscopia como Importante Ferramenta de Monitoramento dos Lodos Ativados.....	30
2.6.6 Protozoários como Indicadores do Processo de Lodos Ativados.....	31
2.6.7 Modelos de Correlação entre a Microfauna e Desempenho do Sistema de Lodos Ativados.....	33
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	41
3.1 ÁREA DE ESTUDO.....	41
3.2 COLETAS DE AMOSTRAS E MEDIÇÕES DE CAMPO.....	49
3.3 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS E PARÂMETROS OPERACIONAIS.....	50
3.4 ANÁLISES MICROSCÓPICAS.....	50
3.4.1 Análises Qualitativas da Microfauna de Lodo Ativado.....	51
3.4.2 Análises Quantitativas da Microfauna de Lodo Ativado.....	52
3.4.3 Determinação do Índice Biótico de Lodo (IBL).....	53
3.4.4 Análise do Floco Biológico.....	55

3.4.5 Medida do Comprimento dos Filamentos	56
3.5 ANÁLISES ESTATÍSTICAS	56
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	58
4.1 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS E MEDIÇÕES DE CAMPO.....	58
4.2 ANÁLISES QUALITATIVAS DA MICROFAUNA.....	59
4.3 ANÁLISES QUANTITATIVAS DA MICROFAUNA.....	67
4.3.1 Avaliação da densidade de organismos	70
4.3.2 Riqueza de espécies	73
4.3.3 Dominância das espécies	76
4.3.4 Índice biótico de lodo	81
4.4 AVALIAÇÃO DOS FLOCOS BIOLÓGICOS	84
4.5 AVALIAÇÃO DE BACTÉRIAS FILAMENTOSAS	90
4.6 CORRELAÇÕES ENTRE OS GRUPOS DA MICROFAUNA.....	93
4.6.1 Amebas nuas.....	93
4.6.2 Tecamebas	94
4.6.3 Flagelados.....	97
4.6.4 Ciliados Predadores de Floco	98
4.6.5 Micrometazoários	100
4.7 CORRELAÇÕES ENTRE A MICROBIOLOGIA DE LODOS ATIVADOS E O DESEMPENHO DOS SISTEMAS	101
5 CONCLUSÃO.....	104
SUGESTÕES FUTURAS	105
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	106
APÊNDICE A – DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE BIÓTICO DE LODO E CLASSE DO LODO ATIVADO DA ETE ALEGRIA	114
APÊNDICE B – DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE BIÓTICO DE LODO E CLASSE DO LODO ATIVADO DA ETE PAVUNA	116
APÊNDICE C – DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE BIÓTICO DE LODO E CLASSE DO LODO ATIVADO DA ETE SARAPUÍ.....	117
APÊNDICE D – DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE BIÓTICO DE LODO E CLASSE DO LODO ATIVADO DA ETE PENHA.....	118
APÊNDICE E – DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE BIÓTICO DE LODO E CLASSE DO LODO ATIVADO DA ETE ILHA	119

1 INTRODUÇÃO

O conjunto de ações produzidas pelas atividades humanas ao explorar os recursos hídricos para a expansão e crescimento da população e das áreas urbanas promoveu o aumento considerável nas demandas hídricas, associados à degradação dos mananciais e à contaminação e à poluição (TUNDISI, 2005).

Segundo a Política Nacional do Meio Ambiente, poluição é a degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que direta ou indiretamente: a) prejudiquem a saúde, a segurança e o bem-estar da população; b) criem condições adversas às atividades sociais e econômicas; c) afetem desfavoravelmente a biota; d) afetem as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente; e e) lancem matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos (BRASIL, 1981).

As definições de saúde, saneamento e meio ambiente estão intimamente vinculadas, sendo o esgoto um dos resíduos geradores de poluição que deve ser controlado pelo saneamento para evitar, ou minimizar, os efeitos deletérios sobre a saúde, o ambiente e o desenvolvimento econômico e social de uma localidade, região ou país. Portanto, a importância dos cuidados no afastamento seguro, no tratamento e na disposição final dos esgotos abrange aspectos sanitários, econômicos e ambientais (BRASIL, 2015).

No Brasil, o lançamento indiscriminado de esgotos domésticos não tratados é ainda a principal fonte de poluição dos corpos d'água (JORDÃO; PESSÔA, 2014). Segundo o lançamento diagnóstico dos serviços de água e esgoto do ano de 2016 cujos dados são do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), nas cidades brasileiras, o percentual de coleta de esgotos é de apenas 59,7%, destacando-se a região Sudeste, com média de 83,2%. Quanto ao tratamento dos esgotos, observa-se que o índice médio do país chega a 44,9% dos esgotos coletados (BRASIL, 2018).

As Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs) são um conjunto de instalações destinadas à depuração dos esgotos antes do seu lançamento nos cursos d'água (BRASIL, 2015). As ETEs tradicionais possuem tratamento preliminar, primário e secundário. Enquanto que no tratamento preliminar e primário predominam mecanismos de ordem física, no tratamento secundário a remoção da matéria orgânica é efetuada por reações bioquímicas, realizadas por micro-organismos (VON SPERLING, 2005). As ETEs também podem atuar como uma alternativa para o tratamento de lixiviados de aterro sanitários. Diversos autores citam o tratamento combinado com esgoto doméstico como uma alternativa eficaz e amplamente utilizada mundialmente para o tratamento de

lixiviado de aterro sanitário (FRANCO, 2009; NASCENTES *et al.*, 2015; SANTOS JR, 2017).

A maioria das ETEs de grande porte da Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ) utiliza o sistema de lodos ativados no tratamento dos esgotos, que é um sistema amplamente utilizado, a nível mundial, para despejos domésticos (VON SPERLING, 2002).

O sistema de lodos ativados baseia-se na capacidade decompositora de vários micro-organismos, que quando em ambiente aerado, degradam a matéria orgânica em compostos mais simples como gás carbônico e água, esta degradação é feita através dos flocos biológicos estáveis presentes no tanque de aeração (SANTOS, 2012). Uma relação equilibrada entre bactérias filamentosas e os demais micro-organismos dos lodos ativados é importante para a geração de um floco biológico bem formado (SAAR, 2015).

A qualidade do efluente obtido numa ETE operada pelo sistema de lodos ativados depende da qualidade biótica presente no lodo. Diversos grupos microbiológicos participam desse processo, como: bactérias em suspensão, bactérias formadoras de flocos, bactérias filamentosas, protozoários e micrometazoários (rotíferos, nematódeos, tardígrados e anelídeos) (SANT'ANNA JR, 2013). Na literatura, encontra-se um grande acervo acerca das comunidades presentes nas mais diversas ETEs de lodos ativados em todo o mundo (VAZOLLÉR, 1989; MADONI, 1994; SALVADÓ *et al.*, 2001; FOISSNER, 2016).

A microfauna desempenha um papel importante no sistema de lodos ativados, limitando a densidade das populações bacterianas por predação e contribuindo para o processo de floculação, sendo assim responsável por uma melhoria na qualidade do efluente (ZHOU *et al.*, 2006).

Os organismos da microfauna são sensíveis às condições ambientais, portanto variações no afluente, nas condições operacionais do tanque de aeração e do restante da ETE e na comunidade presente, podem afetar toda a cadeia alimentar desse ecossistema, afetando assim o desempenho biológico da ETE e conseqüentemente a qualidade do efluente final. A comunidade da microfauna é, portanto, um indicador das condições operacionais das ETEs e das características do efluente (CURDS, 1975; MADONI 1994, 2003; LEE *et al.*, 2004; CHEN *et al.*, 2004; BENTO *et al.*, 2002, 2005; FERREIRA *et al.*, 2008; DOS SANTOS *et al.*, 2014).

Outros autores em seus estudos estabeleceram correlações entre a presença ou dominância dos organismos e a eficiência do processo, as condições operacionais e

qualidade do efluente final e com resultados apresentados em tabelas como Madoni (1981 *apud* FIGUEIREDO, 2012), Vazollér (1989), Madoni (1994) e Foissner (2016).

Neste contexto, os protozoários e micrometazoários são alvo de um especial interesse dentro dos centros de pesquisa por serem excelentes bioindicadores do processo de lodos ativados (SANTOS, 2012).

Para um bom desempenho de um sistema de lodos ativados é fundamental uma adequada separação entre o lodo e a fase líquida, que ocorre no decantador secundário e que esta seja rápida e eficiente (FIGUEIREDO, 2012). Sendo assim, a medição do diâmetro dos flocos biológicos do lodo ativado se apresenta como mais um importante parâmetro a ser monitorado, pois permite avaliar se o floco biológico apresenta características adequadas para uma adequada sedimentação.

Outro parâmetro que merece atenção é a densidade de bactérias filamentosas. A quantidade de microrganismos filamentosos em sistemas de lodos ativados é de grande importância para determinar as características de sedimentação e compactação dos flocos (FIGUEIREDO, 2013), pois auxilia na previsão de possíveis tendências de sedimentação e de ocorrência de *bulking* filamentoso.

O *bulking* filamentoso é um fenômeno que ocorre quando há um crescimento em abundância das bactérias filamentosas, estas criam uma macroestrutura com área superficial aumentada, dificultando a sedimentação e compactação do floco bacteriano (JORDÃO; PESSÔA, 2014).

O monitoramento da eficiência do tratamento das ETEs é comumente realizado através de análises de parâmetros físico-químicos e microbiológicos no afluente e efluente à ETE. Entretanto, segundo SAAR (2015), a avaliação da microbiologia de lodos ativados quando implementada de maneira sistemática na ETE, torna-se um precioso aliado na prevenção de problemas operacionais, pois permite a observação de mudanças no microecossistema dos lodos antes que eventuais impactos causem danos ao efluente final. A análise microscópica da microfauna de lodo pode fornecer um método conveniente de indicar mudanças no desempenho das ETEs (DOS SANTOS *et al.*, 2014).

1.1 OBJETIVOS

Com base no que foi apresentado, o presente estudo teve como objetivo monitorar e avaliar a microbiologia dos lodos ativados de cinco Estações de Tratamento de Esgotos operadas pelo sistema de lodos ativados na Região Metropolitana do Rio de Janeiro, visando uma possível correlação da dinâmica populacional com as condições operacionais.

Os objetivos específicos do trabalho foram:

- Classificar os organismos presentes na microfauna em grupos morfofuncionais, quantificá-los e correlacioná-los com as condições operacionais dos sistemas de tratamento;
- Avaliar a aplicabilidade do Índice Biótico de Lodo proposto por Madoni (1994) como indicador da eficiência dos processos de lodos ativados;
- Monitorar os diâmetros dos flocos biológicos presentes nos lodos ativados e correlacioná-los com a sedimentabilidade do lodo e com a eficiência do tratamento; e
- Medir o comprimento total das bactérias filamentosas presentes no lodo ativado e correlacioná-los com parâmetros operacionais e com a sedimentabilidade do lodo.

Neste contexto, no início dos anos 1990, foi desenvolvido o Programa de Despoluição da Baía de Guanabara (PDBG), com o apoio financeiro do Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID) e do *Japan Bank for International Cooperation* (JBIC). O programa tinha como principal objetivo elevar as condições sanitárias e ambientais da Região Metropolitana do Rio de Janeiro, com impacto positivo na qualidade de vida da população local, e como consequência a despoluição da Baía de Guanabara e áreas adjacentes.

Dentre as ações contempladas na proposta inicial do PDBG, as ações na área de esgotamento sanitário contemplavam a construção de redes coletoras, troncos coletores e ETEs com níveis secundários de tratamento nos sistemas Alegria, Pavuna, Sarapuí, e São Gonçalo e melhorias nas ETEs Penha, Icaraí, Ilha de Paquetá e Ilha do Governador.

Entre as principais ETEs da região da bacia da Baía de Guanabara, são operadas pela Companhia Estadual de Águas e Esgotos (CEDAE), as ETEs Alegria, Pavuna, Penha, São Gonçalo, Sarapuí e Ilha do Governador (figura 2.2).

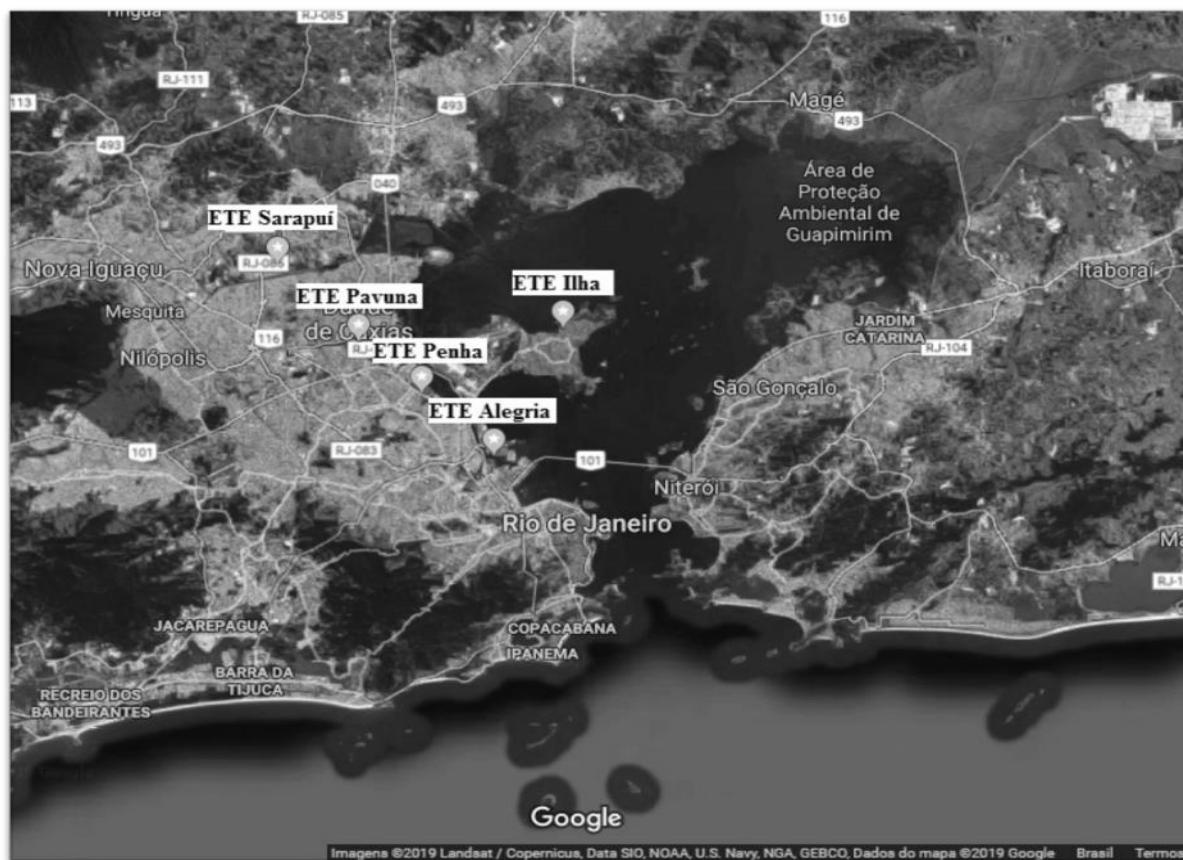


Figura 2.2: Localização das Estações de Tratamento de Esgotos de Alegria, Pavuna, Sarapuí, Penha e Ilha do Governador no mapa da região no entorno da Baía de Guanabara. Fonte: Adaptado de Google Earth-mapas.

2.2 TRATAMENTO DE ESGOTOS

A preocupação com a poluição causada pelos esgotos e a sua consequência sobre o meio ambiente e sobre a saúde pública são hoje uma realidade não somente de ambientalistas, líderes comunitários e especialistas em saneamento, mas de toda sociedade, principalmente das pessoas que vivem nos grandes centros urbanos e já estão vivendo as consequências da ausência de ações de saneamento no passado.

Os esgotos domésticos contêm aproximadamente 99,9% de água, sendo que a fração restante é composta por sólidos orgânicos e inorgânicos, suspensos e dissolvidos, bem como micro-organismos. Portanto, é devido a essa fração de 0,1% que há a necessidade de tratar os esgotos (VON SPERLING, 2005).

A escolha do tratamento a ser adotado em uma ETE, entre outras coisas, deve ser feita em função do corpo d'água no qual o efluente será lançado, das características de uso da água a jusante do ponto de lançamento, da capacidade de autodepuração do corpo d'água, das características e condições do efluente e das exigências ambientais e legais a serem atendidas (VON SPERLING, 2005; ABNT, 2011; JORDÃO; PESSÔA, 2014;).

Os requisitos a serem atingidos pelo tratamento de esgotos, os níveis de tratamento que serão empregados e a eficiência requerida pelo tratamento também são definidos em função das legislações específicas. Nelas são previstos tanto os padrões de lançamento de efluente quanto os padrões de qualidade dos corpos d'água nos quais os efluentes serão lançados.

No âmbito federal há duas resoluções que norteiam o lançamento de esgotos em corpos d'água, ambas do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), são elas: Resolução CONAMA n° 357, de 17 de março de 2005 que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes (BRASIL, 2005) e a Resolução CONAMA n° 430, de 13 de maio de 2011 que dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução CONAMA n° 357:2005 (BRASIL, 2011).

No âmbito estadual, o Instituto Estadual do Ambiente (INEA) é o órgão vinculado à Secretaria de Estado do Ambiente (SEA) com a função de executar as políticas estaduais do meio ambiente, de recursos hídricos e de recursos florestais adotadas pelos Poderes Executivo e Legislativo do Estado. Existem duas resoluções que estabelecem os limites de lançamento de esgotos domésticos, são elas: NT-202.R-10, de 12 de dezembro de 1986

que estabelece os critérios para lançamento de efluentes líquidos no Estado do Rio de Janeiro (RIO DE JANEIRO, 1986) e DZ-215.R-4, de 05 de outubro de 2007 – Diretriz de Controle de Carga Orgânica Biodegradável em Efluentes Líquidos de Origem Sanitária – que estabelece as exigências de controle de poluição das águas que resultem na redução de carga orgânica biodegradável de origem sanitária (RIO DE JANEIRO, 2007).

De acordo com os autores Von Sperling (2005) e Jordão e Pessôa (2014), o tratamento de esgotos é dividido nos seguintes níveis: tratamento preliminar, primário, secundário e terciário. Um resumo das operações unitárias envolvidas e tecnologias empregadas em cada nível de tratamento descritas pelos autores serão apresentados a seguir e um fluxograma das etapas do tratamento da fase líquida dos esgotos apresentado na figura 2.3.

O tratamento preliminar destina-se principalmente à remoção de sólidos grosseiros e areia, nele os mecanismos básicos de remoção são de ordem física e inclui também uma unidade para a medição de vazão. Esse tipo de tratamento visa proteger os dispositivos de transporte de esgotos, as unidades de tratamento dos esgotos subsequentes, dispositivos de entrada e saída e ainda os corpos d'água no qual os esgotos serão lançados. A remoção dos sólidos grosseiros pode ser feita por meio de grades (grossas, médias e finas), peneiras rotativas, estáticas ou trituradores. A desarenação ocorre em caixas de areia que podem ser por gravidade (natural ou aerada) ou por centrifugação (vórtex e centrífuga).

O tratamento primário destina-se à remoção de sólidos em suspensão sedimentáveis e sólidos flutuantes. Uma parte significativa destes sólidos em suspensão é compreendida pela matéria orgânica em suspensão, assim sua remoção por processos simples, como a sedimentação, implica na redução da carga orgânica de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) dirigida ao tratamento secundário. Em termos de qualidade, identifica-se uma remoção de sólidos em suspensão da ordem de 40 a 60% e da DBO de 25 a 35% (JORDÃO; PESSÔA, 2014). Esse tipo de tratamento é realizado em decantadores primários que podem ser retangulares ou circulares.

O tratamento secundário, realizado através de processos biológicos cuja definição será apresentada a seguir, tem como principal objetivo a remoção da matéria orgânica dissolvida, que não é removida por processos físicos, e matéria orgânica em suspensão que em grande parte é removida no tratamento primário, mas cujos sólidos de sedimentabilidade mais lenta persistam na massa líquida.

O tratamento terciário ou polimento final consiste na remoção de substâncias de difícil degradação biológica do efluente por meio de processos físico-químicos, tais como: coagulação/floculação, sedimentação, filtração, adsorção (carvão ativado ou resina de troca iônica), sistemas de micro ou nano filtração, ozonização, oxidação via fotofenton, entre outros. Esse tipo de tratamento é adotado quando há o interesse em reaproveitamento do efluente como no caso da produção de água de reuso.

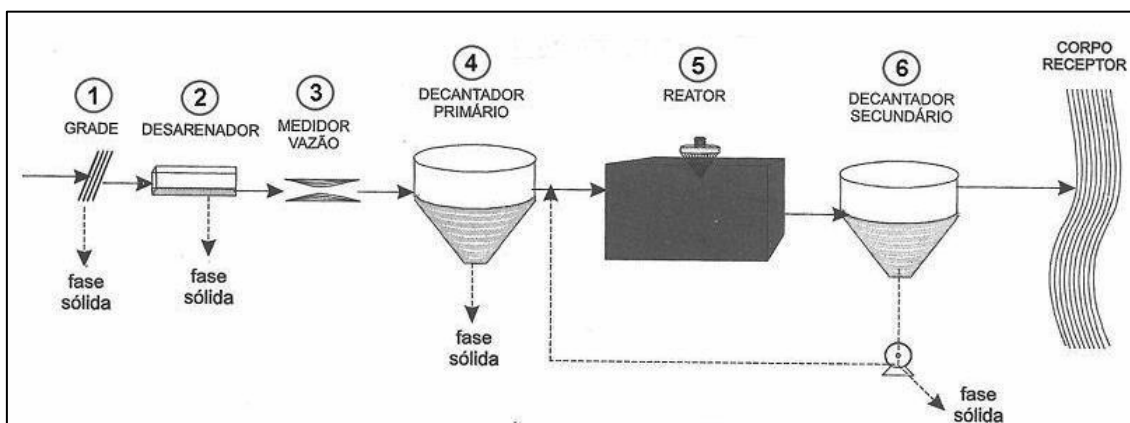


Figura 2.3: Fluxograma das etapas do tratamento da fase líquida dos esgotos.

Fonte: Adaptado de Von Sperling (2002).

Dentro do tratamento secundário, os processos biológicos de tratamento são concebidos de forma a acelerar os mecanismos de degradação que ocorrem naturalmente nos corpos d'água. Assim a decomposição dos poluentes orgânicos degradáveis é alcançada, em condições controladas e em intervalos de tempo menores do que nos sistemas naturais (JORDÃO; PESSÔA, 2014). Eles dependem da capacidade natural de autodepuração realizada por comunidades microbianas (MADONI, 2011).

Os micro-organismos envolvidos na depuração convertem a matéria orgânica em outros compostos, gases, água e material celular (crescimento e reprodução). A decomposição biológica do material orgânico requer manutenção de condições ambientais favoráveis, como temperatura, pH, tempo de contato e em condições aeróbias, oxigênio dissolvido. Os principais tipos de micro-organismos que participam na estabilização aeróbia de efluentes são: bactérias, algas, protozoários e micrometazoários (SAAR, 2015).

Os principais processos biológicos de tratamento são: oxidação biológica (aeróbia), como lodos ativados, filtros biológicos aeróbios, valos de oxidação e lagoas de estabilização; e anaeróbia como reatores anaeróbios de fluxo ascendente, ou manta de lodo, lagoas anaeróbias e tanques sépticos; e digestão de lodo (aeróbia e anaeróbia, fossas

sépticas). Além de processo de disposição sobre o solo e *wetlands* (VON SPERLING, 2005; JORDÃO; PESSÔA, 2014).

Segundo Dezzoti *et al.* (2011), muitos têm sido os avanços no tema dos processos biológicos de tratamento de efluentes, diversos processos e técnicas estão encontrando difusão e poderá mudar, em futuro próximo, o cenário do tratamento de efluentes. São eles: biorreatores com membranas (MBR), reatores de leito móvel com biofilme (MBBR), novos processos de remoção biológica de nitrogênio, tecnologia de granulação aeróbia e tecnologias de biologia molecular, aplicadas ao estudo da diversidade microbiana.

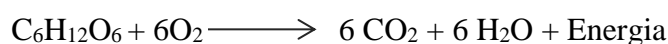
Um dos principais atributos do tratamento aeróbio é a sua robustez, que por sua vez é assegurada pela rica diversidade microbiana presente e pela alta velocidade de crescimento das bactérias aeróbias, cujos suceder de gerações permite notável adaptação a novas e por vezes adversas condições ambientais (SANT'ANNA JR, 2013).

2.3 O SISTEMA DE LODOS ATIVADOS

O sistema de lodos ativados é amplamente utilizado, a nível mundial, para o tratamento de esgotos (VAZOLLÉR, 1989; VON SPERLING, 2002; JORDÃO; PESSÔA, 2014; BENTO *et al.*, 2005).

Trata-se de um processo biológico aeróbio de tratamento com biomassa suspensa (ABNT, 2011) cujo objetivo é a formação de um sistema de flocos biológicos concentrados em micro-organismos. A eficiência do processo depende, dentre outros fatores, da capacidade de floculação da biomassa ativa e da composição dos flocos formados (BENTO *et al.*, 2005).

O princípio geral deste processo consiste no fornecimento constante de matéria orgânica e oxigênio a uma comunidade de micro-organismos que, através do seu metabolismo, transformam essa matéria orgânica em gás carbônico (CO₂), água (H₂O) e minerais, sendo a energia liberada nas reações de oxidação/redução utilizada para a síntese de material celular (GINORIS, 2006). A reação global da degradação da matéria orgânica carbonácea em condições aeróbias tomando a glicose como representante da matéria orgânica é a seguinte: (NUNES, 2012).



A estrutura física da maioria dos processos de lodo ativados consiste em um reator, chamado também de biorreator ou tanque de aeração e um segundo tanque de decantação/sedimentação, além do sistema hidráulico que permite o transporte do lodo do fundo do decantador para o reator aerado (SAAR, 2015). A maior parte do lodo ativado retorna ao processo enquanto uma parcela menor é retirada para tratamento específico ou destinação final, o chamado lodo em excesso. O esgoto tratado verte pela canaleta vertedora do decantador no qual ocorreu a separação, caracterizando o efluente final (JORDÃO; PESSÔA, 2014). O esquema das unidades da etapa biológica do sistema de lodos ativados está representado na figura 2.4.

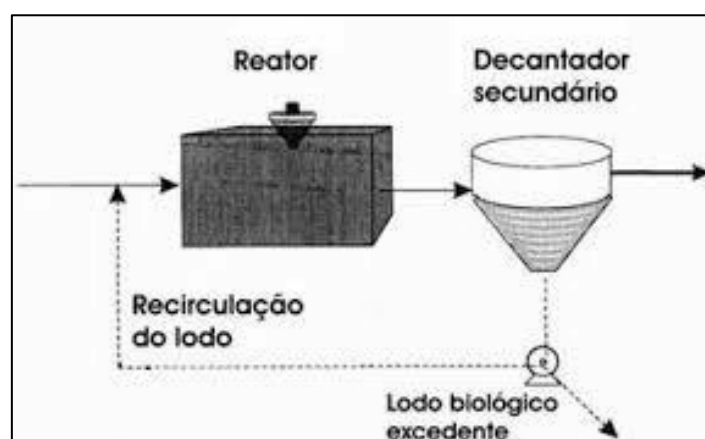


Figura 2.4: Esquema das unidades da etapa biológica do sistema de lodos ativados. Fonte: Von Sperling (2002).

O processo apresenta como principais vantagens, maior eficiência de tratamento, maior flexibilidade de operação e menor área ocupada em relação a outros tratamentos aeróbios. Entre as desvantagens estão: operação mais delicada, necessidade de completo controle de laboratório e custo maior de operação incluindo energia elétrica para fornecimento de oxigênio dissolvido e custos com transporte e disposição final do lodo gerado (VON SPERLING, 2002; JORDÃO; PESSÔA, 2014).

Além da degradação da matéria orgânica carbonácea, o sistema de lodos ativados é capaz de produzir, sem alterações de processo, conversão satisfatória de amônia para nitrato, processo chamado de nitrificação. Em regiões de clima quente, a nitrificação ocorre quase que sistematicamente, a menos que haja algum problema ambiental no tanque de aeração, como falta de oxigênio dissolvido, baixo pH, pouca biomassa ou a presença de substâncias tóxicas ou inibitórias (VON SPERLING, 2002; GINORIS, 2006; SAAR, 2015).

A remoção biológica de nitrogênio é realizada através de desnitrificação, processo que ocorre em condições anóxicas e na presença de nitratos, sendo que nestas condições, um grupo de bactérias utiliza nitratos no seu processo respiratório, convertendo-o a nitrogênio gasoso. (VON SPERLING, 2002; GINORIS, 2006; JORDÃO; PESSÔA, 2014).

Na literatura são descritas diversas variantes dos sistemas de lodos ativados existentes, cuja classificação pode ser feita através de diversos critérios. Segundo Figueiredo *et al.* (2012), do ponto de vista microbiológico, a classificação mais adequada é baseada na abundância de fornecimento de matéria orgânica para os micro-organismos:

a) sistemas de alta carga orgânica (alta taxa) – operam com baixas idades do lodo ($\Theta_c < 5$ dias) e altos fatores de carga aplicada ao lodo volátil, que pode atingir até 5,0 KgDBO/KgSSVTA.d. A qualidade do efluente é inferior à das outras duas faixas de carga aplicada e seu lodo necessita estabilização antes de ser desidratado.

b) sistemas de carga orgânica moderada (convencional) – tem como características idade de lodo variando de 4 a 15 dias e fator de carga aplicada ao lodo volátil variando de 0,2 a 0,5 KgDBO/KgSSVTA.d. O excesso de lodo necessita ser estabilizado antes de sua disposição final.

c) sistemas de baixa carga orgânica (aeração prolongada) - operam com idades do lodo superiores a 20 dias ($\Theta_c > 20$ dias) e baixo fator de carga aplicada ao lodo volátil, de 0,05 a 0,10 KgDBO/KgSSVTA.d. O excesso de lodo produzido usualmente pode ser desidratado e disposto sem nenhuma estabilização adicional.

Nos sistema de lodos ativados, o oxigênio deve ser fornecido para satisfazer às demandas de oxidação da matéria orgânica carbonácea, para fornecer energia para a síntese bacteriana, respiração endógena das células bacterianas e, ocasionalmente, a nitrificação. Há duas formas principais de se produzir aeração artificial: através de sistemas de aeração mecânica e por ar difuso (VON SPERLING, 2002 JORDÃO; PESSÔA, 2014).

Nos sistemas de aeração mecânica superficial o oxigênio é introduzido no tanque de aeração graças à ação de agitadores mecânicos que promovem a exposição à atmosfera de pequenas partículas e filmes delgados de líquido, formando uma zona bifásica, na qual há intenso contato entre ar e água, permitindo assim a transferência do oxigênio e a dispersão e incorporação do ar no meio líquido (SANT'ANNA JR, 2013; JORDÃO; PESSÔA, 2014). Os aeradores mecânicos superficiais podem ser aeradores fixos ou flutuantes e de eixo vertical ou horizontal.

O sistema de aeração por ar difuso é composto por difusores submersos no líquido nos quais o ar é introduzido próximo ao fundo do tanque, e o oxigênio é transferido ao meio líquido a medida que a bolha se eleva à superfície (VON SPERLING 2002).

2.4 CONTROLE DE PROCESSO

No processo de lodos ativados, para garantir a adequada eficiência do sistema, é fundamental que as unidades sejam dimensionadas e operadas corretamente. Para que isso ocorra é de extrema importância que parâmetros para controle do processo sejam monitorados.

2.4.1 Concentração de Sólidos em Suspensão no Tanque de Aeração (SSTTA)

O monitoramento da concentração de sólidos em suspensão no tanque de aeração (SSTTA) é de grande importância para o controle operacional de ETEs que operam pelo sistema de lodos ativados, pois a parte volátil desses sólidos (sólidos em suspensão volátil no tanque de aeração-SSVTA) representa a massa de organismos disponíveis para a degradação da matéria orgânica. A ABNT (2011) define que a concentração de sólidos em suspensão no interior do tanque de aeração deve estar compreendida no intervalo de 1.500 a 4.500 mg/L. Von Sperling (2002) cita que para lodos ativados convencionais a faixa de SSTTA é de 1.500 a 3.500mg/L. Já Jordão e Pessoa (2014) estabelecem a faixa de concentração de 1.500 a 4.000mg/L.

2.4.2 Idade do lodo (Θ_c)

A idade do lodo (Θ_c) representa o tempo médio que uma partícula em suspensão, representando a biomassa, permanece no tanque de aeração. É numericamente igual à relação entre a massa de sólidos em suspensão voláteis no tanque de aeração e a massa de sólidos em suspensão voláteis descartadas por dia (JORDÃO; PESSÔA, 2014).

A ABNT (2011) define que para sistemas de lodos ativados convencionais seja empregada idade de lodo na faixa de 4 a 15 dias.

Considerando-se a concentração de sólidos em suspensão voláteis (SSV) no efluente desprezível em comparação com a concentração de SSV no lodo em excesso, admite-se a seguinte fórmula para cálculo da idade do lodo: (JORDÃO; PESSÔA, 2014).

$$\theta_c = \frac{X_{av} \cdot V}{Q'' \cdot X_{uv}}$$

Onde:

Θ_c = Idade do Lodo (d^{-1})

X_{av} = Concentração de SSV no afluente ($mg.L^{-1}$)

V = Volume do tanque de aeração (m^3)

Q'' = Vazão de descarte do lodo ($m^3.d^{-1}$)

X_{uv} = Concentração de SSV no lodo em excesso

A idade do lodo assume importância fundamental, uma vez que governa a própria sedimentação final do lodo ativado e a qualidade do efluente tratado (JORDÃO; PESSÔA, 2014).

2.4.3 Relação Alimento/Micro-organismo (Relação A/M)

Relação entre a quantidade de alimento ou substrato disponível (DBO afluente) por unidade de massa dos micro-organismos (SSVTA). Baseia-se no conceito de que a quantidade de alimento ou substrato disponível por unidade de massa dos micro-organismos é relacionada com a eficiência do sistema.

A ABNT (2011) recomenda que para sistemas de lodos ativados convencionais seja empregada uma relação A/M na faixa de 0,20 a 0,70 KgDBO₅/Kg SSVTA.d.

Para o cálculo da relação A/M utiliza-se a seguinte fórmula: (JORDÃO; PESSÔA, 2014).

$$\frac{A}{M} = \frac{Q \cdot S_0}{X_{av} \cdot V}$$

Onde:

A/M = Relação alimento-micro-organismo (KgDBO₅/Kg SSVTA.d)

Q = Vazão afluente ($m^3.d^{-1}$)

S_0 = Concentração de DBO₅ no afluente ($mg.L^{-1}$)

X_{av} = Concentração de SSV no afluente ($mg.L^{-1}$)

V = Volume do tanque de aeração (m^3)

A relação A/M é estreitamente relacionada à idade do lodo, quanto mais jovem a comunidade de micro-organismos do sistema de lodos ativados, menor será a quantidade de biomassa formada pelos organismos e, conseqüentemente, maior a disponibilidade de alimento (na forma de carga orgânica, DBO) para cada organismo. À medida que o lodo envelhece, isto é, realiza subseqüentes ciclos de passagem pelo tanque de aeração e pelo

decantador secundário, maior a competição do maior número de organismos pelo alimento (efluente bruto) (SAAR, 2015).

2.4.4 Índice Volumétrico de Lodo – IVL

O IVL é definido como o volume ocupado por 1 grama (g) de lodo após uma decantação de 30 minutos. É um dado operacional utilizado para, de uma forma simples, avaliar o comportamento da fase biológica através da sedimentabilidade do lodo no decantador secundário (JORDÃO; PESSÔA, 2014).

Ele é calculado pela seguinte fórmula: (SAAR, 2015).

$$IVL = \frac{SSed\ 30' \cdot 1000}{X_{ta}}$$

Onde:

IVL = Índice Volumétrico de Lodo (mg.g⁻¹)

SSed 30' = Sólidos Sedimentáveis de 30 minutos do tanque de aeração (mL.L⁻¹)

X_{ta} = Concentração de SSV no tanque de aeração (mg.L⁻¹)

A interpretação do IVL se faz no sentido de que, quanto maior o seu valor, pior é a sedimentabilidade do lodo, ou seja, o lodo ocupa um maior volume no decantador secundário (VON SPERLING, 2002). Diferentes autores apontam as faixas de IVL recomendáveis, estas estão apresentadas na tabela 2.1.

Tabela 2.1: Faixa de Índice Volumétrico de Lodo recomendada pelos diferentes autores.

Sedimentabilidade	VON SPERLING (2002)	SANT'ANNA JR (2013)	JORDÃO; PESSÔA (2014)	SAAR (2015)
Ótima	0-50			
Boa	50 – 100	80 - 120	40 - 150	< 100
Média	100 – 200			
Ruim	200 – 300		> 200	
Péssima	> 300			

2.5 O COTRATAMENTO DE LIXIVIADOS DE ATERROS SANITÁRIOS EM ETEs

Os lixiviados de aterros de resíduos sólidos urbanos (chorume) são resultado da interação entre um processo de biodegradação da fração orgânica dos resíduos e da infiltração de águas pluviais que solubilizam componentes orgânicos e inorgânicos (GOMES, 2009). Eles são atualmente, um dos maiores problemas associados à operação e controle dos aterros sanitários. Com isso, os estudos sobre o tratamento de lixiviado de aterro sanitário se intensificaram e diversos trabalhos estudaram o tratamento biológico tanto aeróbio quanto anaeróbio dos lixiviados de aterro de resíduos sólidos (CINTRA *et al.*, 2001; LIBÂNO, 2002; GIORDANO *et al.*, 2002; EDUARDO, 2007; TELLES, 2010; KAWAHIGASHI *et al.*, 2014).

Gomes (2009) coordenou trabalho para o Programa de Pesquisa de Saneamento Básico (PROSAB) – tema 5, que fala sobre o estudo de caracterização e tratabilidade de lixiviados de aterros sanitários para as condições brasileiras. Nele há uma coletânea de artigos sobre o tratamento, disposição e reciclagem de resíduos sólidos, com ênfase no tratamento do lixiviado, tendo em vista a proteção dos corpos d'água.

De acordo com Giordano (2015), o lodo ativado é o processo biológico mais utilizado para tratamento de efluentes industriais e é aplicado para tratamento de lixiviado de aterro sanitário. Nesse tipo de tratamento, segundo o autor, é realizada a remoção de matéria orgânica biodegradável e de matéria orgânica recalcitrante por adsorção nos flocos biológicos.

O cotratamento do lixiviado com o esgoto afluente de estações de tratamento de esgotos domésticos se apresenta, eventualmente, como uma alternativa para o tratamento dos lixiviados. Diversos grupos de pesquisa têm estudado sobre esse tema para entender melhor a influência do lixiviado nos processos de tratamento biológicos, avaliar a possibilidade de tratamento junto com os esgotos domésticos e tentar definir o volume ideal de lixiviado utilizado no cotratamento (VIANA *et al.*, 2007, RIGHETTO *et al.*, 2007; FRANCO, 2009; NASCENTES *et al.*, 2015). O efeito do cotratamento de lixiviado de aterro sanitário na ETE Alegria já foi avaliado por SANTOS JR *et al.* (2017).

TOURINHO *et al.* em seus trabalhos de 2013 e 2014 avaliaram a influência do lixiviado de aterros sanitários sobre a microfauna, o diâmetro do floco e as bactérias filamentosas de duas ETEs operadas pela CEDAE pertencentes a esse trabalho.

2.6 MICROBIOLOGIA DE LODOS ATIVADOS

Se, por um lado, há sensores e equipamentos para medir, *on line* ou de modo expedito (*off-line*), diversas variáveis de interesse (pH, temperatura, oxigênio dissolvido (OD), potencial redox, vazão, produção de metano, amônia, nitrito, nitrato, fósforo e outras) ainda há desafios no que se refere às características do principal agente dos processos biológicos: a comunidade microbiana (DEZZOTI *et al.*, 2011).

Em sistemas de lodos ativados, pelas características específicas como a turbidez devido à concentração de material em suspensão, os organismos presentes não são necessariamente os mesmos de ambientes naturais de águas doces. A turbidez do meio provoca a ausência de luz, evitando o desenvolvimento de algas. Além disso, devido à turbulência, apenas a microfauna é encontrada nesses processos, pois a mesma não permite o desenvolvimento de organismos maiores. Entre a microbiota normalmente são encontrados vários tipos de bactérias, entre elas as dispersas, as formadoras de floco e as filamentosas, e às vezes, fungos filamentosos e leveduras (VAZOLLÉR, 1989). Há ainda a presença da microfauna composta de protozoários e micrometazoários (MADONI, 1994) que será abordada mais detalhadamente na seção 2.6.2. Segundo Ganzarczyk, (1983), o lodo ativado é constituído por aproximadamente 95% de bactérias e 5% de protozoários e micrometazoários e ainda de acordo com Canler *et al.* (1999 *apud* GINORIS 2016), as concentrações típicas destes organismos em uma ETE operando em condições estáveis são: bactérias, 10^9 organismos.mL⁻¹; protozoários, 10^4 organismos.mL⁻¹; micrometazoários, $1-5 \times 10^2$ organismos.mL⁻¹.

As bactérias presentes nos sistemas de lodos ativados são os principais organismos responsáveis pela degradação da matéria orgânica carbonácea e participam da estruturação dos flocos (BENTO *et al.*, 2005). Elas realizam a biodegradação através da adsorção dos sólidos suspensos e dissolvidos do efluente, produzem enzimas para a degradação das substâncias em partículas menores que possam ser absorvidas pelas células e geram nutrientes para o crescimento bacteriano (SAAR, 2015). Elas podem ser encontradas em grupos como constituintes principais dos flocos biológicos, formando partículas coaguladas (bactérias formadoras de floco), em forma de filamentos dentro ou fora do floco (bactérias filamentosas) ou ainda dispersas no espaço aquoso evitando contato com o sistema flocular (bactérias livres). Todas essas formas de bactérias cumprem papéis importantes no processo. A identificação de bactérias é um processo em

geral mais lento e oneroso em relação aos protozoários, o que dificulta sua utilização como bioindicadores (VAZOLLÉR, 1989).

As bactérias filamentosas estão presentes no processo de lodo ativados no interior dos flocos formando a macroestrutura. Os filamentos juntam-se à comunidade dos formadores de flocos aumentando a resistência desses quanto às forças de cisalhamento pela passagem do lodo em bombas, tubulações hidráulicas e sistemas mecânicos de aeração. Sua presença é essencial para a formação de um floco estruturalmente firme e estável e contribui para a boa eficiência do processo, pois participam ativamente da degradação da matéria orgânica solúvel e conseqüentemente auxiliam na produção de um efluente final de boa qualidade. As bactérias filamentosas participam ainda da degradação de compostos orgânicos de difícil degradação como os compostos aromáticos recalcitrantes (GIORDANO, 2015).

Os micro-organismos filamentosos mais frequentes em lodos ativados são: *Sphaerotillus natans*, *Thiothrix* sp., *Beggiatoa* sp., *Microthrix parvicella*, *Nocardia* sp., Tipo 1701, tipo 0041, tipo 0675 e tipo 021N (FIGUEIREDO, 2012). Em um trabalho pioneiro, Eikelboom *et al.* (1983) identificaram e classificaram cerca de 30 bactérias filamentosas do lodo ativado.

O aspecto do lodo ativado ao microscópio pode ser descrito da seguinte forma: as bactérias se agregam formando flocos biológicos, que também congregam bactérias filamentosas. Na superfície desses flocos fixam-se os protozoários sésseis. Há protozoários que vivem em estreita ligação com os flocos, alimentando-se destes e mantendo-se sempre em torno deles, sem estar, porém fisicamente a eles ligados. Por último existem ciliados livre-natantes, que se movem em espaços entre os flocos, os flagelados e amebas, podendo estes dois últimos estarem preferencialmente tanto na superfície do floco quanto no espaço entre eles, dependendo da espécie. Os micrometazoários (rotíferos, nematódeos, gastrótricos, tardígrados e anelídeos) também se locomovem, em geral, no espaço entre os flocos. A natureza da microfauna presente é característica da idade do lodo (VAZOLLÉR, 1989).

2.6.1 O Floco biológico

Nos sistemas que empregam biomassa em suspensão, ocorre a formação de flocos, que apresentam em geral densidade levemente superior à densidade da água, ocorrendo assim a sedimentação no decantador secundário (SANT'ANNA JR, 2013). Eikeboom *et al.* (1983) destacaram que uma má sedimentabilidade do floco biológico afeta negativamente a operação de uma ETE.

O floco do lodo ativado é constituído por fragmentos orgânicos não digeridos, por uma fração inorgânica (matriz de polissacarídeos e partículas coloidais aderidas), por células mortas e principalmente por uma grande variedade de bactérias dos gêneros: *Pseudomonas*, *Achromobacter*, *Flavobacterium*, *Citromonas*, *Zooglea*, além de bactérias filamentosas, tais como: *Nocardia* sp, *Sphaerotillus natans*, *Beggiatoa*, *Microthrix parvicella*, *Thiothrix*, etc. (figura 2.5) (FIGUEIREDO, 2012).

Os flocos biológicos constituem um microecossistema complexo, formado por bactérias, fungos, protozoários e micrometazoários (BENTO *et al.*, 2002). Eles podem ser entendidos como microecossistemas que apresentam dinâmica populacional dependente das condições ambientais e nutricionais vigente na fase aquosa.

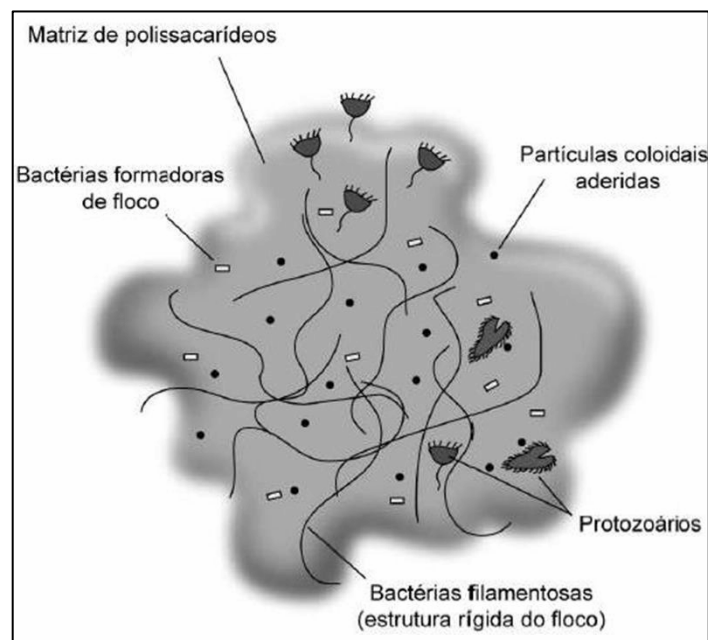


Figura 2.5: Representação esquemática de um floco biológico do sistema de lodos ativados. Fonte: Adaptado de Von Sperling (2005).

Jenkins *et al.* (1993) sugeriram que os flocos biológicos apresentam dois níveis estruturais: microestrutura e macroestrutura. A microestrutura considerada a base de formação do floco, é o resultado dos processos de adesão, agregação e biofloculação microbiana, enquanto a macroestrutura é fornecida pelas bactérias filamentosas, que formam uma rede ou “esqueleto” sobre o qual se desenvolvem as bactérias floculantes.

Segundo Figueiredo (2012), os lodos mais frequentemente encontrados em sistemas de lodos ativados podem ser classificados como:

a) Lodos onde predominam flocos com características adequadas (figura 2.6A): são caracterizados pela presença de bactérias formadoras de floco (microestrutura) e bactérias filamentosas (macroestrutura) em equilíbrio, proporcionando a formação de flocos grandes e com boa resistência mecânica.

b) Lodos onde predominam flocos com características inadequadas. São caracterizados pela presença excessiva ou pela quase ausência de macroestrutura, respectivamente. No primeiro caso, há excesso de bactérias filamentosas que ultrapassam os limites dos flocos, prejudicando as características de sedimentabilidade e compactação levando ao intumescimento do lodo (*bulking* filamentoso) (figura 2.6B); no segundo caso, não há quantidade suficiente de bactérias filamentosas formando a macroestrutura dos flocos, resultando em blocos de dimensões muito pequenas que ficam dispersos na fase líquida (“*pin-point*”) (figura 2.6C).

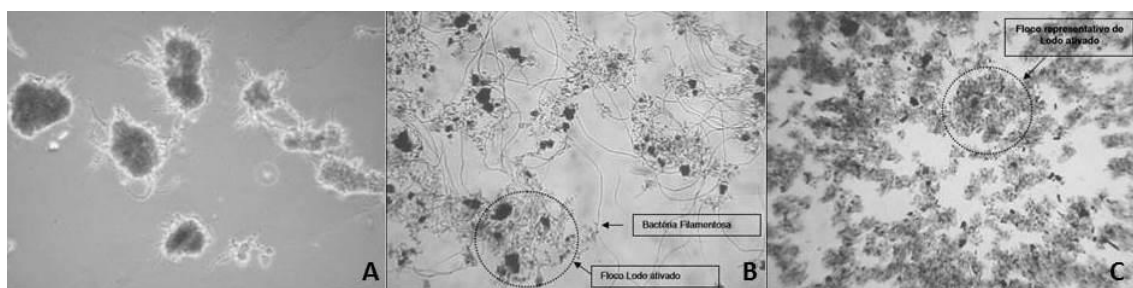


Figura 2.6: Flocos biológicos de lodos ativados; A. Floco biológico adequado. B. Floco biológico com *bulking* filamentoso; C. Floco biológico disperso tipo “*pin point*”.

Fonte: A. Lombardi (2010) *apud* Lopes (2014); B e C: Mittereger Jr (2011).

Uma série de condições operacionais pode causar a interrupção do processo de formação do floco ou até a desfloculação, isto é, a ruptura do sistema flocular, cujo resultado é a formação de flocos fragmentados do tipo “*pin-point*”. A tabela 2.2 lista as causas mais comuns deste problema.

Tabela 2.2: Causas de perturbações na formação do floco biológico e de ruptura do sistema flocular.

Condição Operacional	Descrição ou exemplo
Baixa concentração de OD	OD < 1mg/L em período prolongado
Cisalhamento/quebra dos flocos	Agitação / Aeradores superficiais, bombas centrífuga
Condições sépticas	Potencial redox < -100mV
Deficiência de nutrientes	Nitrogênio ou fósforo
Excesso de filamentos	> 5 filamentos por floco
Falta de ciliados predadores de floco	Responsáveis por auxiliar na obtenção do formato dos flocos
Floco viscoso – crescimento excessivo de bactéria <i>Zoogloea</i>	Excesso de carboidratos ou DBO de fácil degradação no efluente
Formação de espuma	Excesso de detergentes no efluente (emulsiona o floco e impede a passagem de nutrientes para o interior do floco) ou presença de bactérias produtoras de surfactantes biológicos
Lodo jovem	Idade do lodo < 3 dias
pH baixo	< 6,5
pH elevado	> 9,5
Salinidade	Excesso de sódio, potássio e manganês, com condutividade acima de 40mS/cm
Sobrecarga orgânica	> 3 vezes a quantidade de carga orgânica (DBO)
Sulfatos	> 500mg/L
Temperatura elevada	> 38°C
Toxicidade	Metais / Desinfecção por cloro ou hipoclorito

Fonte: Adaptado de Saar (2015) e Figueiredo (2012).

2.6.2 A Microfauna de Lodos Ativados

Os componentes da microfauna (protozoários e micrometazoários) têm fundamental importância nos processos de lodos ativados, pois desempenham importante papel na manutenção de uma comunidade bacteriana equilibrada, na remoção de bactérias por predação, entre elas a *Escherichia coli*, na redução da DBO₅ e contribuem no processo de formação e predação dos flocos sendo assim responsável por uma melhoria na qualidade do efluente (CURDS *et al.*, 1969; BENTO *et al.*, 2005 ZHOU *et al.*, 2006; MADONI, 2011). Além disso, foi observado que a presença de protozoários aumenta a taxa de nitrificação por célula, provavelmente devido à capacidade dos protozoários influenciarem o crescimento bacteriano (MADONI, 2011).

Em seu trabalho de 1982, Curds verificou que em condições livres de protozoários, todas as seis plantas estudadas produziram efluentes altamente turvos e de qualidade inferior. A turvação foi relacionada à presença de um grande número de bactérias dispersas nos efluentes, aumentando assim a DBO, a concentração de carbono orgânico

e de sólidos suspensos no efluente. Posteriormente, protozoários foram introduzidos em três plantas que apresentaram uma redução drástica nos parâmetros como a DBO e os sólidos em suspensão. Através desse experimento, Curds (1982) concluiu que os protozoários desempenham papel fundamental no tratamento dos efluentes do processo de lodos ativados, eles atuam da seguinte forma: no consumo de matéria orgânica, dada sua natureza heterotrófica, na participação da formação de flocos e na estimulação da adsorção do substrato pelas bactérias causada pela predação das mesmas.

A microfauna de um sistema de lodos ativados com funcionamento normal é quase sempre altamente diversificada, ou seja, composta por diferentes grupos de organismos, e cada grupo composto de várias espécies. Nenhum grupo ou espécie é dominante sobre os outros componentes, embora as proporções entre vários grupos ou espécies possam diferir. Dessa forma, uma microfauna dominada por uma espécie ou grupo é quase sempre um indício de desequilíbrios tróficos devido à existência de fatores limitantes que impedem o desenvolvimento da maioria das outras espécies e favorecem o crescimento de formas mais tolerantes a esses fatores (MADONI, 1994).

A microfauna é muito sensível às condições ambientais, portanto variações no afluente ao tanque de aeração, nas condições operacionais da ETE e na comunidade da microfauna podem afetar toda a cadeia alimentar desses ecossistemas, afetando assim o desempenho biológico da ETE e a qualidade do efluente final. A estrutura da comunidade de microfauna é, portanto, um indicador das condições operacionais das ETEs e das características do efluente (CURDS 1975; MADONI 1994, 2003; LEE *et al.*, 2004; CHEN *et al.*, 2004; BENTO *et al.*, 2005; FERREIRA *et al.*, 2008; DOS SANTOS *et al.*, 2014).

Os protozoários são abundantes nos processos de lodos ativados, eles correspondem a cerca de 5% (CURDS, 1982) a 9% (MADONI, 1994) da biomassa dos lodos ativados. Madoni e Ghetti (1981) fizeram uma lista revisada com 228 espécies de protozoários do processo de lodos ativados. Do total de espécies identificadas, 160 pertenciam ao grupo dos ciliados (filo Ciliophora). Informações publicadas sobre protozoários em plantas de lodos ativados, em geral, indicam que os ciliados são os protozoários dominantes nesse processo (MADONI 2011).

Os protozoários comumente observados em lodos ativados pertencem aos grupos das amebas, flagelados e ciliados (MADONI, 2003; SAAR, 2015).

As amebas, que podem ser nuas ou com tecas, competem com os demais organismos somente em condições de disponibilidade de grandes concentrações de

nutrientes (Relação A/M elevada), como é o caso no início do processo de formação dos lodos ativados numa ETE recém-inoculada. Após o aparecimento de flagelados e ciliados, as amebas são eliminadas rapidamente do sistema. A exceção a essa regra é o lodo de idade levada (estabilizado) (SAAR, 2015).

Os flagelados são encontrados em efluentes de elevado teor de nutrientes (Relação A/M elevada), frequentemente no início do processo de lodo ativado onde competem com as bactérias livres pelos substratos orgânicos contidos na água. Ocasionalmente, flagelados podem ser encontrados em grande concentração nos lodos em fase de estabilização (lodo velho), no qual se alimentam dos metazoários em fase de decomposição, como *Aeolosoma* e rotíferos. Madoni (1994) sugere que a presença destes pode representar perda na eficiência do processo de Lodo Ativado.

Entre os protozoários do lodo ativado os ciliados são os mais abundantes (CURDS, 1982). Alguns ciliados foram considerados bioindicadores da eficiência do tratamento de efluentes e realizaram correlações entre determinadas espécies de ciliados, sua abundância e a qualidade do efluente (MADONI, 1994; LEE *et al.*, 2004; ZHOU *et al.*, 2006; DOS SANTOS *et al.*, 2014; FOISSNER, 2016). Os protozoários ciliados bacterívoros melhoram a qualidade do efluente, reduzindo as bactérias dispersas e melhorando a floculação (CURDS *et al.*, 1969; PAJDAK-STÓS *et al.*, 2017).

Foissner e Berger (1991) publicaram um guia com 300 espécies de ciliados usados como bioindicadores em rios, lagos e esgoto para auxiliar os ecologistas na identificação das espécies de ciliados. Madoni, em trabalho de 1994 apresentou uma lista com os ciliados mais importantes encontrados no lodo ativado.

Os ciliados presentes nos lodos ativados apresentam-se em quatro formas distintas: os livre-natantes que se movimentam livremente entre os flocos, os predadores de floco que arrastam ao redor do floco biológico raspando a superfície das aglomerações de bactérias com materiais orgânicos, os ciliados sésseis que possuem uma cauda muscular, a qual fixa estes organismos ao floco biológico e os ciliados carnívoros que se alimentam de outros ciliados (SAAR, 2015).

Os micrometazoários são um grupo que engloba os organismos pluricelulares de vários filos com característica de crescimento lento, sendo a maioria composta por predadores de bactérias e protozoários (BENTO *et al.*, 2002). Eles são encontrados em sistemas de lodos ativados de idade elevada (VAZOLLÉR, 1989). Representam o grupo os rotíferos, nematódeos, tardígrados, gastrótricos e anelídeos e até algumas espécies de microcrustáceos. A complexidade de sua estrutura celular os deixam mais suscetíveis a

impactos ambientais, sendo eles os indicadores de efluentes estabilizados e com baixa toxicidade. As presenças em especial de rotíferos e anelídeos estão associadas à baixa relação $A/M < 0,15$, pois apresenta lenta taxa de crescimento (GIORDANO, 2015). Os rotíferos são os micrometazoários mais frequentemente encontrados em sistemas de lodos ativados e por causa de sua extrema sensibilidade a substâncias tóxicas (amônia, sulfetos, metais, fenóis, etc.), ele está sendo usado em alguns países como bioindicador para ensaios ecotoxicológicos (SAAR, 2015).

2.6.3 Dinâmica de Populações do Lodo Ativado

A dinâmica das populações da microfauna de lodo ativado foi descrita por diversos autores e será apresentada a seguir. Nela está apresentada a sucessão dos grupos com o tempo em sistemas descontínuos (figura 2.7) (CURDS 1982; MADONI 2003, 2011; FIGUEIREDO, 2012).

No início do processo, quando predomina a forma solúvel dos compostos orgânicos, desenvolve-se uma rica comunidade de bactérias. À medida que essas bactérias vão atingindo grandes concentrações, inicia-se o processo da floculação. Bactérias dispersas são alimento para flagelados heterotróficos e ciliados bacterívoros, que por sua vez, se tornam presas de organismos carnívoros. Sendo assim, os protozoários flagelados são tipicamente o primeiro grupo dominante de protozoários, logo após inicia-se o aparecimento de ciliados livre-natantes, estes últimos são substituídos pelos ciliados predadores de floco como *Aspidisca* spp, que se caracterizam por requererem grandes quantidades de energia. Esses ciliados alimentam-se de bactérias, portanto ocorrerá uma redução na população bacteriana. Ao mesmo tempo, a própria população bacteriana começa a encontrar escassez do alimento solúvel, contribuindo ainda mais para a redução de seu número. Não contando mais com grande quantidade de alimento, as bactérias e os ciliados livres passam a diminuir em número, cedendo lugar a um novo tipo de ciliados, os pedunculados que sendo fixos, não requerem tanta energia. Se a idade do lodo for elevada, pode haver falta de bactérias e partículas orgânicas livres, desenvolvendo-se uma fauna de rotíferos, vermes e grandes ciliados, que se alimentam de fragmentos dos próprios flocos.

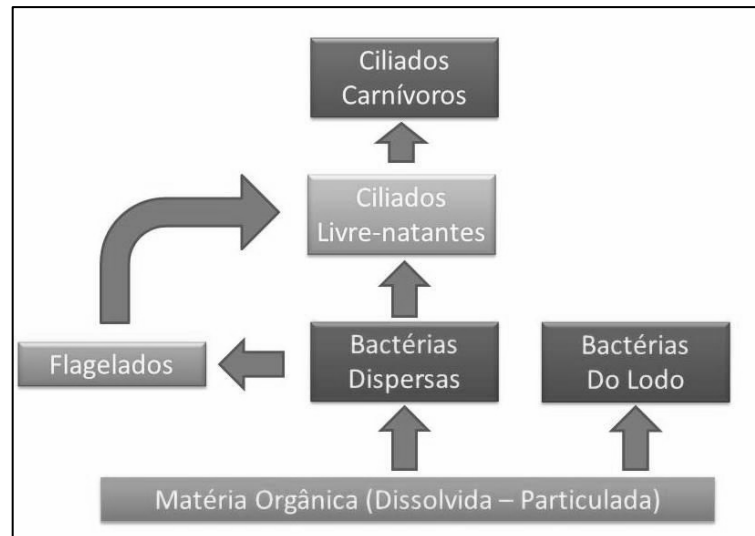


Figura 2.7: Esquema da sucessão dos grupos com o tempo em sistemas descontínuos.
Fonte: Adaptado de Madoni (1994)

Geralmente em um sistema aeróbio de tratamento de esgotos ou quaisquer despejos orgânicos, há uma entrada contínua de novas cargas orgânicas no sistema, não sendo observada a passagem por todas as etapas mencionadas.

Madoni (2011) relata a importante identificação de três fases desde o início até a estabilização do sistema de lodos ativados (figura 2.8). Segundo ele, a fase inicial da planta é caracterizada pela presença de espécies típicas de esgoto bruto. Estas espécies pioneiras são representadas principalmente por ciliados livre-natantes e pequenos flagelados. Com a formação de lodo ativado, eles competem com espécies melhor adaptadas a um ambiente de tanque de aeração e diminuem rapidamente em números. A segunda fase é de transição e caracteriza-se pelo forte crescimento dos ciliados típicos do habitat do tanque de aeração. Nesta fase, a comunidade tem uma riqueza de espécies, mas a rápida substituição das espécies ocorre com a formação progressiva de lodo ativado. As formas livre-natantes estão envolvidas apenas nos primeiros dias de colonização e são gradualmente substituídos pelas formas sésseis e predadoras de floco. A fase de estado estacionário é caracterizada por uma comunidade ciliada cuja estrutura reflete a condição estável do ambiente do tanque de aeração com um equilíbrio entre a carga orgânica e o lodo que é produzido, removido e reciclado. Cada uma das três fases é caracterizada por uma estrutura típica de espécies, uma planta em pleno funcionamento não precisa abrigar espécies características de uma das fases de colonização, a menos que as disfunções causem regressão nas condições ambientais, como a quantidade de lodo, o grau de aeração, o tempo de retenção de esgoto e a carga orgânica na entrada.

De acordo com o autor do estudo, a estrutura de espécies da microfauna é, portanto, um instrumento de diagnóstico que serve para integrar os parâmetros nos quais se baseia a avaliação do desempenho da planta. Seguindo o critério geral dos indicadores biológicos, a presença de determinadas espécies, bem como a composição geral da microfauna, podem ser tomadas como indicadores do desempenho de uma planta de lodos ativados.

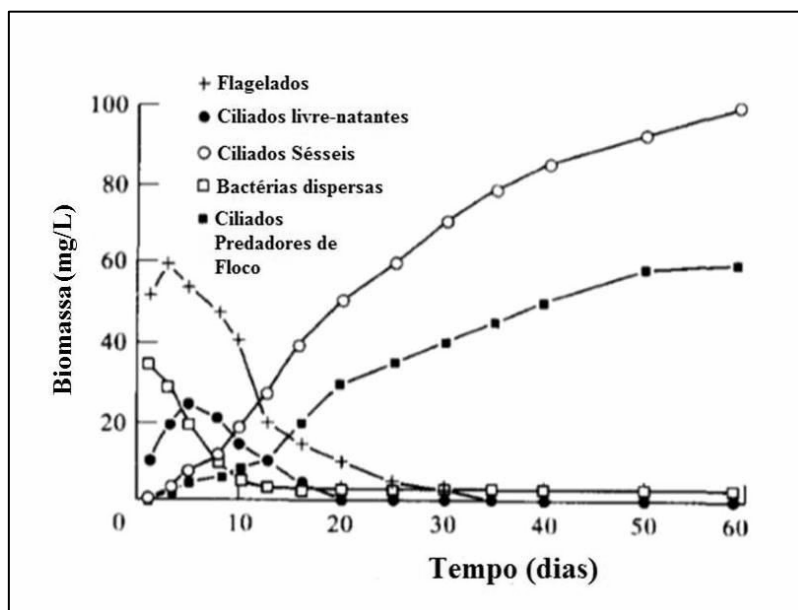


Figura 2.8: Gráfico da sucessão de micro-organismos durante a estabilização da microfauna de lodos ativados. Fonte: Adaptado de Madoni (1994).

2.6.4 Fatores Ambientais que Afetam a Microbiologia dos Lodos Ativados

Serão abordados a seguir os principais fatores que influenciam na microfauna de lodos ativados.

2.6.4.1 Oxigênio dissolvido (OD)

O fator ambiental mais importante em sistemas aeróbios de tratamento é a concentração de oxigênio dissolvido na massa d'água para a realização da oxidação da matéria orgânica pelos micro-organismos e demais organismos aeróbios. Tocchi *et al.* (2012), indicam claramente que variações do regime de aeração influenciam fortemente a estrutura da comunidade de protozoários e, acima de tudo, que uma alta biodiversidade

entre populações de protozoários no lodo ativado o que é pré-requisito para altos desempenhos no tratamento realizado.

Além da preocupação com a concentração de oxigênio dissolvido no tanque de aeração, é necessária preocupação com o tempo de permanência do lodo no decantador secundário, que se torna rapidamente anóxico. Caso o lodo permaneça muito tempo nessa condição, os protozoários agregados ao sistema flocular poderão ser inativados por asfixia.

Diversos autores estabelecem concentrações ótimas de oxigênio dissolvido nos tanques de aeração que variam entre 0,5 a 2,0mg/L (SAAR, 2015; SANT'ANNA JR, 2013; JORDÃO; PESSÔA, 2014). De acordo com ABNT (2011), a massa de OD a ser fornecida deve ser igual ou superior a: 1,5 vezes a carga média de DBO aplicada ao tanque de aeração quando não se tem nitrificação; 2,5 vezes a carga média de DBO aplicada ao tanque de aeração quando se tem nitrificação; 4 vezes a carga média de DBO aplicada ao tanque de aeração quando se tem nitrificação, para alimentação do sistema com efluente de reatores anaeróbios UASB.

Dessa forma, Jordão e Pessôa (2014) mencionam que a experiência demonstra que a concentração de OD deve ser superior a 0,5mg/L e é prática, no entanto, manter-se uma concentração entre 1,5 e 2,0mg/L de OD no tanque de aeração. Figueiredo (2012) menciona que teores acima de 3mg/L apenas aumentam os custos de operação.

2.6.4.2 Temperatura

A temperatura tem uma grande influência no metabolismo microbiano, afetando, por conseguinte, as taxas de oxidação das matérias carbonáceas e nitrogenada. Em termos gerais, as taxas da maioria das reações químicas e biológicas aumentam com a temperatura. A faixa de temperatura torna-se importante por ser um fator seletivo da biomassa, podendo ocasionar mudanças na mesma e na tendência de variação com a temperatura.

Sant'Anna Jr (2013) mencionou que o tratamento biológico aeróbio pode ser conduzido numa ampla faixa de temperatura (10 a 40°C). A velocidade do processo cresce de 10 até 35°C, que seria a temperatura de máxima atividade microbiana. Abaixo de 5°C há sensível queda nas velocidades de crescimento e de metabolização dos substratos. O mesmo pode ocorrer quando a temperatura supera os 40°C. Figueiredo (2013) acrescenta que uma faixa ideal está entre 15 e 25°C, sendo que no clima tropical

e subtropical, os organismos estão adaptados a temperaturas mais elevadas, podendo chegar a valores acima de 30°C. A temperatura elevada do efluente entrando na ETE provoca um impacto considerável, sobretudo nos organismos mais desenvolvidos (protozoários), levando frequentemente à turbidez.

Parada-Albarracín *et al.* (2017) utilizaram como indicadores protozoários flagelados no tratamento de efluentes urbanos utilizando biorreatores por membrana (MBR). Em testes com variação de temperatura nos biorreatores, os autores verificaram que a temperatura do lodo ativo afetou significativamente a abundância de *Peranema* sp.

2.6.4.3 Valores de pH

A manutenção de um pH neutro a levemente alcalino é adequado para a maioria dos protozoários presentes em lodos ativados. Cuidados especiais devem ser tomados em sistemas com fortes atividades de nitrificação, pois este processo gera acidez que pode influenciar negativamente os protozoários. O decaimento gradual do pH no tanque biológico pode indicar falta de oxigenação em alguns pontos do tanque gerada pela presença de ácidos por processos fermentativos (FIGUEIREDO, 2012).

Sant'Anna Jr (2013) indica que as bactérias heterotróficas de modo geral, atuam numa faixa de pH de 5,5 a 8,5 com crescimento ótimo próximo a 7,0. Figueiredo (2012) relata ainda que apesar da complexidade de protozoários num sistema de lodos ativados depender de valores equilibrados de pH na faixa neutra, por outro lado, muitas ETEs de indústrias operam bem com valores de pH até 9,5 e abaixo de 6,0. Tratando-se apenas de uma questão de adaptação. O autor mencionou ainda que em pH extremamente elevado pode ocorrer a morte de toda população bacteriana do tanque de aeração.

Ferreira *et al.* (2008), realizaram estudo no lodo ativado da ETE Penha e ETE Ilha e relataram que os valores de pH e temperatura no *mixed liquor* não registraram variações importantes durante os meses do estudo permanecendo o mesmo na faixa neutra.

2.6.4.4 Salinidade

Não são raros os casos de uma planta de tratamento de efluentes receberem elevadas cargas de sais nos efluentes as quais impactam significativamente a estabilidade do sistema de lodos ativados. Os efeitos da salinidade de efluentes na comunidade de protozoários e metazoários dos lodos ativados foram estudados por Salvadó *et al.* (2011)

e Santos (2012). Salvadó *et al.* (2011) estabeleceram como limite superior de salinidade a concentração de 10g/L de NaCl e mencionaram que cargas repentinas de sal em sistemas não adaptados levam ao desequilíbrio imediatamente em concentrações bem abaixo de 5/L.

2.6.4.5 Toxicidade

Efeitos tóxicos sobre organismos aquáticos, dependendo da força de seu impacto, podem ser evidenciados quase imediatamente após a liberação das toxinas no afluente da ETE. As primeiras espécies que desaparecem dos lodos ativados no caso do impacto tóxico, são os rotíferos e outros micrometazoários. Logo em seguida, os ciliados e os flagelados perdem a sua viabilidade e são eliminados. Esta sequência de eventos pode acontecer em um período de 6 a 12 horas, um pouco antes de o lodo começar a flotar no decantador secundário e em seguida, na superfície do tanque de aeração. Efeitos tóxicos de compostos químicos sobre a microfauna de lodos ativados foram estudados por diversos autores, como é o caso do nitrogênio amoniacal (PUIGAGUT, 2005) e dos fenóis (PAPADIMITRIOU *et al.*, 2013; GINORIS, 2016).

2.6.4.6 Competição e predação

São os princípios biológicos presentes em todos os microambientes ecológicos. A limitação espacial e a alimentação constante deste ambiente fechado estabelecem a partir do início de operação da planta uma dinâmica dos organismos no tanque de aeração a qual depende de uma série de fatores tais como relação A/M, disponibilidade de oxigênio, presença de bactérias, etc. Nesse microambiente, protozoários e metazoários competem entre si pelas bactérias heterotróficas como fonte de alimento (DBO particulada) e elas competem com alguns grupos e protozoários pelos alimentos dissolvidos no efluente (DBO solúvel) (SAAR, 2015).

Em estudo sobre predação, Pajdak-Stós *et al.* (2017) avaliaram o efeito de diferentes espécies de ciliados na microfauna de lodos ativados e concluíram que os predadores ciliados podem modificar significativamente a comunidade de ciliados bacterívoros e que a diversidade de ciliados determina a resiliência do sistema de lodo ativado.

2.6.5 Microscopia como Importante Ferramenta de Monitoramento dos Lodos

Ativados

A análise microscópica da microfauna de lodo pode fornecer um método conveniente de indicar mudanças no desempenho das ETEs (DOS SANTOS *et al.* 2014).

Em sua publicação de 2016, Foissner enfatiza que o controle contínuo das comunidades de protozoários e de bactérias pode prevenir problemas operacionais e, além disso, pode economizar dinheiro gasto com a oxigenação do lodo porque várias espécies de protistas são excelentes indicadores da quantidade de oxigênio presente.

A maioria das análises necessárias para o monitoramento do processo de lodos ativados pode ser realizada na própria ETE com investimento relativamente baixo na estrutura laboratorial. A microscopia de lodos ativados, por meio do uso de um microscópio óptico, quando implementada de maneira sistemática na ETE, torna-se um precioso aliado na prevenção de problemas operacionais, pois permite a observação de mudanças no microecossistema dos lodos antes que eventuais impactos causem o colapso do sistema ou mudem o equilíbrio do mesmo para um patamar não desejado (SAAR, 2015). O autor mencionou ainda que a realização regular de análises microscópicas de um lodo ativado serve para indicar ao operador as diversas situações: demonstra a eficiência da remoção de matéria orgânica e da sedimentação do lodo, indica a adequação da aeração empregada e uma eventual presença de compostos tóxicos, bem como pode se revelar a ocorrência de sobrecargas orgânicas.

Ferreira *et al.* (2008) observaram, também, que análises qualitativas do lodo, englobando os aspectos gerais dos flocos, tamanho e compactação, quantidade de filamentos, a identificação das espécies dominantes na microfauna, foram suficientes para uma caracterização imediata das condições depurativas do sistema de tratamento. Especificamente, a partir das observações realizadas neste trabalho, concluiu-se que é possível diagnosticar as condições de tratamento baseado na observação microscópicas da microfauna, com um tempo de resposta menor que o das análises químicas. Tais procedimentos permitem um controle ímpar do sistema de tratamento de esgoto do tipo lodos ativados, o que será refletido na qualidade do efluente a ser disponibilizado para o corpo receptor.

2.6.6 Protozoários como Indicadores do Processo de Lodos Ativados

Os problemas operacionais encontrados em ETEs operadas por sistema de lodos ativados, como deficiência na sedimentabilidade do lodo, deficiência na depuração e má qualidade do efluente final estimulou a pesquisa protistológica sobre lodos ativados. Entre as principais pesquisas destacam-se as de Curds na Inglaterra, Madoni na Itália, Jenkins nos Estados Unidos e Foissner na Áustria. No Brasil se destaca o trabalho desenvolvido na Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental de São Paulo (CETESB) por Vazollér.

Embora cerca de 230 espécies de protozoários tenham sido observadas nos vários tipos de sistemas de tratamento aeróbio, poucas foram observadas com frequência (CURDS; COCKBURN, 1970; MADONI; GHETTI, 1981). Por isso, ao longo dos anos, os protozoários têm sido usados como indicadores biológicos no tratamento de efluentes de diferentes maneiras.

Em primeiro lugar, os autores procuraram identificar os protozoários de ambientes aquáticos e verificaram que também eram encontrados em abundância nos processos de lodos ativados, nesse âmbito procuraram entender melhor a dinâmica e sucessão entre as espécies (CURDS, 1969; CURDS; COCKBURN, 1970; MADONI; GHETT, 1981; JIANG; SHEN, 2005; JIANG, 2006; ZHOU *et al.*, 2006; FERREIRA *et al.*, 2008; SIQUEIRA-CASTRO, 2008).

As composições das microfaunas de lodo ativado das ETEs Penha e Ilha do Governador também já foram avaliadas em estudo realizado por Ferreira *et al.* (2008). Outros estudos realizados com o lodo ativado da ETE Penha foram realizados por Silva (2000), Silva e Silva-Neto (2001), Siqueira-Castro (2008), Siqueira-Castro *et al.* (2009), Santos (2012), Paiva *et al.* (2016) e Paiva e Silva-Neto (2004).

Outros autores verificaram a influência das condições físicas, químicas e até biológicas que prevaleciam no tratamento biológico aeróbio, incluindo a entrada de substâncias tóxicas (VAZOLLÉR, 1989; MADONI, 2011; PAPADIMITRIOU *et al.*, 2013, TOURINHO *et al.*, 2013; TOURINHO *et al.*, 2014; PARADA-ALBARRACÍN, 2017, PAJDAK-STÓK *et al.*, 2017).

Tourinho *et al.* em seus trabalhos de 2013 e 2014, utilizaram os micro-organismos da microfauna como indicadores de qualidade do tratamento realizado por ETEs da CEDAE que realizavam cotratamento de lixiviado de aterros sanitários verificando a

influência desse sobre a microfauna, o diâmetro do floco e as bactérias filamentosas e sobre o efluente gerado.

O conhecimento acumulado das espécies presentes nos lodos ativados ajudou a estabelecer relações entre a dominância de vários grupos da microfauna e o desempenho das ETEs, incluindo a qualidade do efluente final por pesquisadores em diversas partes do mundo e permitiram afirmar que a estrutura de espécies da microfauna é um instrumento de diagnóstico que serve para integrar os parâmetros nos quais se baseia a avaliação do desempenho de ETEs. Seguindo o critério geral dos indicadores biológicos, a presença de determinadas espécies, bem como a composição geral da microfauna, podem ser usadas como indicadores tanto de eficiência do tratamento quanto da qualidade do efluente (CURDS; COCKBURN, 1970; ESTEBAN *et al.*, 1991; MADONI, 1993; SALVADÓ, 1994; LEE *et al.*, 2002; CHEN *et al.*, 2004; BENTO *et al.*, 2002 e 2005; ZHOU *et al.*, 2006; HU *et al.*, 2013a; HU *et al.*, 2013b; DRZEWICKI; KULIKOWSKA, 2011; DOS SANTOS *et al.*, 2014; CRUZ, 2014).

Dos diversos trabalhos pesquisados foi possível estabelecer as seguintes correlações entre espécies de protozoários e parâmetros operacionais de ETEs operadas pelo sistema de lodos ativados: *Vorticella campanula* mostrou como bioindicador para alta qualidade de efluente, apresentando uma forte associação negativa com efluente DBO e IVL (LEE *et al.*, 2002); *V. microstoma* e *Carchesium* sp. podem ser considerados bioindicadores úteis de deficiência de aeração (MADONI, 1994; LEE *et al.*, 2002); os ciliados predadores de floco, *Chilodonella* sp. e *Aspidisca cicada* mostraram-se bioindicadores para baixa relação A/M (LEE *et al.*, 2002); os protozoários carnívoros como *Amphileptus* spp., indicam má qualidade de sedimentabilidade do lodo ativado (LEE *et al.*, 2002); *Aspidisca cicada*, *Chilodonella* spp. e *V. striata* podem ser espécies indicadoras de idade de lodo (LEE *et al.*, 2002); *Litonotus obtusus* foi associado com alto índice de volume de lodo e indica má sedimentabilidade (ZHOU *et al.*, 2006); *Opercularia* sp. aumentou em número quando o desempenho do lodo ativado foi ruim devido à sua associação com altas concentrações de DBO no efluente final (CURDS; COCKBURN, 1970; ESTEBAN *et al.*, 1991 e SALVADÓ, 1994). Além da DBO, Zhou *et al.* (2006) acrescentaram a esse protozoário, correlação com altas concentrações de SST no efluente final; *Arcella* está associada à baixa DBO₅, nitrogênio total e sólidos em suspensão (ZHOU *et al.*, 2006).

As tecamebas, principalmente *Arcella* e *Euglypha*, são normalmente encontradas nos tanques de aeração das plantas de lodo ativado que operam a remoção biológica do

nitrogênio e rotíferos possuem associação negativa entre redução de DBO₅, demanda química de oxigênio (DQO) e a remoção de sólidos suspensos (ZHOU *et al.*, 2006); Bento *et al.* (2002 e 2005) também associaram as espécies *Arcela*, *Euglypha* e *Aspidisca* à remoção de amônia e ainda à remoção de DBO e DQO, indicaram ainda que as ocorrências dessas espécies indicaram alto grau de estabilidade biológica do sistema, alta idade do lodo e condições de oxigenação favoráveis à nitrificação; *Epistylis plicatilis* e *Vorticella striata* poderiam ser consideradas potenciais bioindicadores para o entumescimento de lodo (HU *et al.*, 2013a). Os ciliados sésseis *Carchesium polypinum* e *Epistylis plicatilis* poderiam ser um indicador de bom desempenho no tratamento de DBO₅ e DQO (HU *et al.*, 2013a). Ciliados sésseis podem ser indicadores de boa remoção de SST (HU *et al.*, 2013b). Os grupos de ciliados carnívoros, tecamebas e metazoários foram encontrados inversamente relacionados às remoções de DBO₅, DQO e SST (HU *et al.*, 2013b). Tecameba e *Aspidisca sulcata* foram relacionados positivamente à nitrificação, a abundância de *Aspidisca costata* foi correlacionada com a remoção de nitrogênio total (N_{total}) (HU *et al.*, 2013b). As presenças de micrometazoários e de tecamebas indicaram alto tempo de detenção celular no processo, idade do lodo maior que 20 dias (BENTO *et al.*, 2002 e 2005). A presença de zooflagelados em densidades superiores a 1,0 x 10⁴ indivíduos/mL indicaram lodo com densidade elevada (IVL > 100 mL/g) e baixa condição de sedimentabilidade (sólidos sedimentáveis - SSed >800 mL/L) (BENTO *et al.*, 2005).

É importante destacar que com a variação observada no diagnóstico do tratamento através das espécies indicadoras utilizadas, é possível perceber a necessidade de estudos mais aprofundados sobre o comportamento e a ecologia dos microrganismos atuantes nos sistemas de tratamento, pois, aparentemente, cada sistema de tratamento constitui um sistema biológico único apresentando muitas peculiaridades.

2.6.7 Modelos de Correlação entre a Microfauna e Desempenho do Sistema de Lodos Ativado

Ao longo dos anos alguns autores, na tentativa estabelecer metodologia prática que correlacionassem as espécies presentes de protozoários com as condições de poluição do ambiente, desenvolveram índices utilizando os protozoários como indicadores de poluição (JIANG; SHEN, 2005; JIANG, 2006). Modelos baseados nas características biológicas do lodo foram propostos para a verificação das condições operacionais e a

avaliação da eficiência dos sistemas de lodos ativados. Dentre estes, destaca-se o modelo criado por Madoni (1994), o Índice Biótico de Lodo (IBL, ou a sigla em inglês SBI). Outros autores em seus estudos estabeleceram correlações entre os grupos ou espécies de organismos e montaram tabelas correlacionando a presença do organismo e as características do processo ou condição operacional, os utilizados nesse trabalho foram: Madoni (1981 e 1994), Vazollér (1989) e Foissner (2016).

Segundo Foissner (2016) o mais amplamente aplicado é o Índice Biótico de Lodo (IBL). O autor menciona ainda que a utilização do IBL se tornou crítica, porque parece impossível “reduzir” as comunidades do organismo a um único valor numérico. No entanto, alguns autores recomendam esses índices quando são interpretados com cautela ou utilizados de forma limitada (ARÉVALO *et al.*, 2009; DRZEWICKI; KULIKOWSKA, 2011) e outros o classificam pontualmente como ineficiente como instrumento de diagnóstico das condições depurativas do sistema, pois não foram concordantes com os parâmetros físico-químicos (BENTO *et al.*, 2002).

Dessa forma, os modelos existentes deverão ser utilizados como uma ferramenta no diagnóstico do tratamento e a previsão da qualidade do efluente. Estes deverão ser estudados e avaliados levando-se em conta a peculiaridade de cada sistema de tratamento e caberá ao técnico capacitado o reconhecimento e entendimento das relações específicas e intraespecíficas existentes e a relação destas, com as características físico-químicas, ambientais e operacionais do processo. Além disso, quando se realiza uma análise qualitativa do lodo é importante uma avaliação global e sistêmica, pois a presença de uma única espécie da microfauna muitas vezes não deve ser utilizada como indicativo do desempenho do processo.

O quadro de correlação entre os grupos de microbiota de lodos ativados indicadores da eficiência das estações de tratamento apresentado abaixo, (tabela 2.3) foi desenvolvido por Madoni (1981) em seu trabalho intitulado: manuais sobre o uso de indicadores biológicos da qualidade da água - os protozoários ciliados de plantas de purificação biológica (*apud* FIGUEIREDO, 2012). Nele estão apresentados os principais grupos encontrados em sistemas de tratamento por lodos ativados e o diagnóstico do tratamento.

Tabela 2.3: Microfauna indicadora da eficiência das estações de tratamento por lodos ativados.

Grupo	Diagnóstico
Pequenos flagelados (< 10µm)	Predominam no início (partida) de operação do sistema de lodos ativados quando o lodo é jovem e em via de formação. Uma grande concentração de flagelados em um lodo não tão jovem é indicativa de uma baixa depuração. As causas podem ser: 1. Lodo pouco oxigenado; 2. Carga muito forte; 3. Presença de subprodutos da fermentação.
Flagelados grandes (> 50 µm)	Pertencem ao grupo das Euglenaceae. São observados ocasionalmente em lodos ativados onde dificilmente predominam. Sua presença é atribuída a condições de cargas baixas e pouco concentradas do afluente.
Ciliados livre-natantes pequenos (< 50 µm)	A presença destes organismos é sempre acompanhada pelos pequenos flagelados (codominância). Este caso indica um lodo jovem em via de formação, ou uma idade de lodo muito baixa ou um lodo pouco oxigenado.
Ciliados livre-natantes grandes (> 50 µm)	Sua predominância no lodo ativado indica um floco jovem associada a uma carga muito forte. Inversamente, a grande presença destes organismos (principalmente o <i>Paramecium</i>) no disco biológico e no filtro de percolação é compatível com seu correto funcionamento.
Ciliado predador de floco	Está presente quando o floco se encontra bem formado. Sua presença está sempre associada a dos ciliados fixos. Quando um lodo é dominado por ciliados predadores de floco e ciliados fixos e, o número de flagelados e ciliados livre-natantes é pequeno (mínimo), pode-se afirmar que está ocorrendo uma boa depuração. Em consequência, encontramos flocos bem formados, bactérias dispersas escassas e baixas DBO no efluente final.
Ciliados fixos	A presença destes ciliados em codominância com ciliados predadores de flocos indica uma boa depuração. A predominância dos pedunculados devido a seu crescimento rápido e maciço indica um fenômeno transitório (retirada de lodo, carga descontínua, reciclo insuficiente). Uma baixa concentração de lodo (devido à perda ou retirada) é assinalada pelo crescimento rápido de ciliados fixos de colônias numerosas. Uma grande concentração de lodo (reciclo insuficiente) é acompanhada de uma dominância de ciliados fixos isolados ou em colônias pouco numerosas.
Suctória	Este ciliado sésil, predador de outros ciliados, é observado frequentemente em estações com alta idade de lodo recebendo baixa carga.
Amebas com teca	Estes protozoários, representados pelos gêneros <i>Arcella</i> , <i>Diffugia</i> e <i>Euglypha</i> , são característicos de estações com cargas muito baixas.
Amebas pequenas	Sua presença em abundância, associada aos flagelados, é indicativo de uma fraca depuração com DBO elevado no efluente e carga muito forte de difícil degradação.
Micrometazoários	Estes são representados principalmente pelos nematóides e rotíferos. Indicam uma alta idade do lodo. A presença marcante de nematóides está geralmente associada a uma depuração mediana. No entanto, a presença de muitos rotíferos está associada a uma boa depuração. Algumas vezes se observa a presença de gastrótrica em estações com idade do lodo alta.

Fonte: Adaptado de Madoni (1981 *apud* FIGUEIREDO 2012).

Em estudo realizado pela CETESB em sistemas de lodos ativados com reatores de mistura completa operados com esgoto doméstico, dentre os micro-organismos encontrados alguns grupos ou espécies foram consideradas indicadoras das condições de depuração do sistema de tratamento, as correlações com as características do processo e/ou qualidade do efluente, estão apresentados na tabela 2.4. Entretanto, o autor do estudo

(VAZOLLÉR, 1989) salienta que cada sistema de lodos ativados se comporta como um ecossistema único, dependendo das características do esgoto doméstico afluyente, da configuração hidráulica do sistema, da idade do lodo, da temperatura e da concentração de oxigênio dissolvido.

Tabela 2.4 – Micro-organismos indicadores das condições de depuração

Micro-organismos	Características do processo
Predominância de flagelados e rizópodes	Lodo jovem, característico de início de operação ou idade do lodo baixa.
Predominância de flagelados	Deficiência de aeração, má depuração e sobrecarga orgânica.
Predominância de ciliados pedunculados e livres	Boas condições de depuração.
Predominância de <i>Arcella</i> (rizópodes com teca)	Boa depuração.
Predominância de <i>Aspidisca costata</i>	Nitrificação.
Predominância de <i>Trachelophyllum</i> (ciliado livre)	Alta idade do lodo.
Predominância de <i>Vorticella microstoma</i> (ciliado pedunculado) e baixa concentração de ciliados livres	Efluente de má qualidade.
Predominância de anelídeos do gênero <i>Aeolosoma</i>	Excesso de oxigênio dissolvido.
Predominância de filamentos	Intumescimento do lodo ou <i>bulking</i> filamentoso (necessário avaliar os flocos).

Fonte: Vazollér (1989).

Madoni (1994) correlacionou, obtendo informações durante 20 anos de pesquisa, condições operacionais e os protozoários encontrados nos tanques de aeração de 44 ETEs por lodos ativados, definindo grupos chave positivos e negativos relacionados à eficiência depurativa dos sistemas. O autor agrupou os ciliados predadores de floco, ciliados sésseis e tecamebas como grupo chave positivos e os pequenos flagelados, os ciliados livre-natantes, *Vorticella microstoma* e *Opercularia* spp como grupos chave negativos. Além disso, ele correlacionou a densidade e diversidade da microfauna com o desempenho da planta. A partir deste estudo, o mesmo autor desenvolveu um Índice Biótico do Lodo – IBL relacionado às características do sistema (parâmetros físico-químicos e operacionais).

A determinação do IBL baseia-se em relações entre os grupos positivos e os negativos, considerando-se a densidade e o número de unidades taxonômicas presentes no reator. Para se chegar ao IBL é necessário definir a qualidade biológica do lodo por meio de valores numéricos convencionais (de 0 a 10) que são agrupados em quatro classes de qualidade. A identificação das várias espécies de protista é importante, a fim de obter um valor IVL preciso. O índice a ser atribuído ao lodo ativado sob teste é obtido por meio de uma tabela bidirecional, depois se aplica o número encontrado numa segunda tabela para encontrar a classe de qualidade do lodo ativado e o seu respectivo diagnóstico.

O índice foi projetado para ser usado em todas as plantas de lodos ativados, incluindo valos de oxidação, plantas de aeração convencionais e unidades de aeração prolongadas. A microfauna usada no índice geralmente tem uma distribuição cosmopolita e, portanto, segundo Madoni (1994), o índice é aplicável às plantas de lodos ativados em todos os continentes. As tabelas para o cálculo do IBL serão apresentadas no capítulo 3.

Em 2004, Madoni publicou tabela modificada na qual correlaciona alguns grupos dominantes da microfauna a o desempenho da planta (tabela 2.5), tornando-se mais uma ferramenta para o diagnóstico do sistema de lodos ativados a partir do monitoramento da microfauna.

Tabela 2.5: Grupos dominantes da microfauna e sua correlação com a eficiência da ETE e as possíveis causas de desequilíbrios.

Grupo dominante	Eficiência	Possível causa
Pequenos flagelados	Baixa	Lodo pouco oxigenado, carga muito forte, presença de subprodutos da fermentação.
Ciliados livre-natantes	Mediana	Tempo de contato do esgoto muito breve, lodo pouco oxigenado, carga muito forte.
Ciliados Predadores de Floco	Boa	
Ciliados Predadores de Floco + Ciliado sésseis	Boa	
Ciliado sésstil	Em declínio	Fenômenos transientes (carga descontínua, extração recente de lodo, tempo de recirculação lento).
Pequenas amebas nuas e flagelados	Baixa	Carga elevada não facilmente degradada
Tecamebas	Boa	Baixa carga, esgoto diluído, boa nitrificação.

Fonte: Adaptado de Madoni (2004).

Foissner em seu trabalho publicado em 2016 mencionou que a literatura sobre protistas bioindicadores em sistemas de lodos ativados é amplamente distribuída. Dessa forma, o autor compilou dados em um quadro simples (tabelas 2.6 e 2.7), mostrando quais comunidades e espécies são indicadoras do desempenho do sistema de lodos ativados. Detalhes sobre os indicadores também foram fornecidos, tais como condições de carga de lodo e nitrificação. Neste trabalho, Foissner destacou a importância do aperfeiçoamento dos profissionais taxonomistas e do aprimoramento na identificação dos organismos não somente em grupo como também em gêneros e espécies.

Tabela 2.6: Espécies da microfauna como indicadores do desempenho de sistemas de lodos ativados convencional.

Organismos (espécies)	Desempenho	Observações
<i>Acineria uncinata</i>	Mediano	Instabilidade do lodo (devido à alta abundância de bactérias livres e clareamento insuficiente; tolera baixo OD. Presente com alta densidades e ocorrência na remoção de nutrientes sistemas.
<i>Aspidisca cicada</i>	Bom	Condições estáveis. Boa remoção de DBO e COT, baixa oxigenação e nitrato.
<i>Chilodonella uncinata</i>	Bom	Boa qualidade do efluente, baixo OD.
<i>Coleps hirtus</i>	Bom	Nitrificação com boa remoção de amônia no efluente
<i>Enchelyomorpha vermicularis</i>	Ruim	Sobrecarga e problemas hidráulicos
<i>Euplotes aediculatus</i>	Mediano	Esta espécie pode ser usada para avaliar a toxicidade das águas poluídas por níquel
<i>Euplotes mutabilis</i>	-	Alta tolerância a metais pesados
<i>Euplotes patella</i>	Mediano	Quando em abundância e em conexão com alguns rotíferos é indicativo de aumento no IVL; caso contrário carga baixa.
<i>Holophrya discolor</i>	Mediano	Oxigenação intermitente ou muito baixa; alta redução de nitrogênio.
<i>Litonotus lamella</i>	Ruim	Lodo deficiente
<i>Litonotus obtusus</i>	Ruim	Lodo ruim
<i>Metopus spp.</i>	Ruim	Condições anaeróbias; sobre carga; problemas hidráulicos.
<i>Opercularia articulata</i>	-	Alta tolerância a NaCl
<i>Opercularia coarctata</i>	Pobre	Baixa qualidade do efluente e toxicidade (associada com alta DBO no efluente)
<i>Plagiocampa rouxi</i>	Mediano	Oxigenação intermitente ou muito baixa; alta redução de nitrogênio.
<i>Spirostomum teres</i>	Mediano	Oxigenação intermitente ou muito baixa; alta redução de nitrogênio. Toxicidade por metais pesados, pesticidas ou fenol.
<i>Stylonychia mytilus</i>	-	Remoção de chumbo no lodo
<i>Tetrahymena pyriformis</i> –complexo	Ruim	Relato em lodo com pequeno tempo de retenção e em processo de colonização. Bom indicador de condições polisapróbica ou isosapróbica
<i>Trimyema compressum</i>	Ruim	Sobrecarga e problemas hidráulicos
<i>Trithigmostoma cucullulus</i>	Bom	Sensibilidade à amônia e fosfato
<i>Trochilia minuta</i>	Bom	Indicativo de boas condições de nitrificação; carga baixa.
<i>Uronema nigricans</i>	Ruim	Baixa qualidade do efluente
<i>Vorticella campanula</i>	Bom	Efluente com alta qualidade; carga baixa.
<i>Vorticella convallaria</i>	Mediano	Falta de nitrificação
<i>Vorticella convallaria</i> e <i>Arcella hemisphaerica</i>	Bom	Alto tempo de retenção de lodo; baixa carga.
<i>Vorticella microstoma</i> e <i>Opercularia SP</i>	Ruim	Baixa clarificação do efluente especialmente quando associada à alta abundancia de flagelados; alta carga de lodo; baixa concentração de OD.
<i>Vorticella striata</i> – complexo	Ruim	Efluente de qualidade ruim e clareamento insuficiente (relação positiva com alta carga de lodo e DBO alta no efluente).
<i>Zoothamnium procerius</i>	Bom	Boa eficiência de depuração

Fonte: Adaptado de Foissner (2016).

Tabela 2.7: Grupos/Espécies da microfauna como indicadoras do desempenho de sistemas de lodos ativados convencional.

Grupos	Desempenho	Observação
Pequenos flagelados	Ruim	Baixa qualidade do efluente; depleção de oxigênio; sobrecarga; período de maturação do lodo; início da nitrificação.
Pequenas amebas nuas	Ruim	Carga muito alta; material não facilmente degradável; maturação do lodo. Associado a condições anaeróbias e processos de alta carga de baixa produtividade. Pequenas e grandes amebas nuas são compatíveis com boa nitrificação quando a ETE é projetada para remoção biológica de nutrientes. > 50 µm estão presentes baixas taxas de carga orgânica, comum em ETE de remoção de nutrientes.
Pequenos flagelados, amebas nuas, ciliados parasitas; muitas bactérias dispersas.	Ruim	Lodo instável; maturação do lodo; influências tóxicas.
Tecamebas, <i>Arcella</i> , <i>Euglypha</i> .	Bom	Sobrecarga, alto tempo de retenção de lodo; usualmente encontrado em plantas de remoção de nitrogênio. Bom desempenho relacionado à baixa carga de lodo, oxigenação e boa nitrificação.
Tecamebas; ciliados predadores de floco; ciliados sésseis com peristomas largos; nematódeos e rotíferos.	Bom	Saudável, carga baixa, suficientemente aerado e lodo bem floculado com alta qualidade do efluente.
<i>Glaucoma</i> , <i>Dexiostoma campylum</i> , <i>Vorticella microstoma</i> e peritriquios parasitas, flagelados e amebas nuas.	Ruim	Oxigenação insuficiente; muitas bactérias dispersas; má qualidade do efluente.
<i>Vorticella infusionum</i> , <i>Opercularia coarctata</i> ; <i>Acineria uncinata</i> ; pequenos flagelados.	Ruim	Alta carga, com oxigênio insuficiente; carga de choque; alta amônia; muitas bactérias dispersas.
<i>Spirostomum minus</i> , <i>Euplotes affinis</i> , <i>Opercularia coarctata</i> .	-	Indicativo de remoção de nitrogênio de 80-85% e de compostos de carbono de 90-95%; não tolera amônia com concentrações acima de 14 mg/L
<i>Epistylis</i> , grandes amebas nuas, rotíferos.	Bom	Quando está no estágio final do sistema
Algas verdes ou parede de plantas	Bom	Carga baixa há muito tempo
Pequenos ciliados livre-natantes	Mediano	Tempo de retenção de esgoto muito curto; oxigenação insuficiente. Relação positiva com a DBO do efluente e correlação negativa com a idade do lodo.
Grandes ciliados livre-natantes	Mediano	Sobrecarga; oxigenação insuficiente.
Ciliados predadores de floco (> 2.000/mL)	Bom	IVL < 200
Ciliados sésseis e predadores de floco	Bom	Relação alta indica bom efluente.
Ciliados sésseis	Bom	Fenômenos transitórios, como lodo recente extração, carga descontínua. Boa gestão e desempenho da planta. Positivamente relacionado à carga volumétrica e negativamente ao efluente DBO ₅ .
Ciliados	Bom	Quando a abundância é 10 ⁶ /L ou mais – Abundância <10 ⁴ /L (ruim), 10 ⁴ –10 ⁶ /L (mediano).
<i>Metopus</i>	Ruim	Condições anaeróbicas; sobrecarga; hidráulico problemas; putrefação.
Ciliados livre-natantes e fixos	Mediano	Quando um indicador altamente diversificado para lodo estável, mas qualidade insuficiente de efluentes.

Ciliados livre natantes	Mediano	Muitas vezes dominam em plantas com baixo tempo de retenção; efluente mediano; desaparecem após o choque de pH.
<i>Vorticella microstoma</i> e <i>V. campanula</i>	Bom	Lodo bem definido
<i>Cyrtophorids</i> , <i>hypotrichs</i> , <i>scuticociliates</i> , <i>pleurostomatids</i> .	Bom	Bom funcionamento do sistema RBC (Reator Biológico de Contato)
<i>Opercularia</i> , <i>Uronema</i> , nematódeos.	Ruim	Indica sobrecarga quando no último estágio do sistema
Ciliados carnívoros, <i>Litonotus lamella</i> , <i>Amphileptus</i> .	Ruim	Lodos ruins
<i>Aspidisca cicada</i> , <i>Vorticella striata</i> <i>Chilodonella</i> spp.	-	Alto tempo de retenção de lodo
<i>Epistylis plicatilis</i> e <i>Vorticella striata</i>	Diminuindo	Indique o início do aumento de lodo quando abundâncias distintamente aumentam; alto IVL.

Fonte: Adaptado de Foissner (2016).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado no período de maio a dezembro de 2017 em cinco Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs) localizadas na Região Metropolitana do Rio de Janeiro e operadas pela Companhia Estadual de Águas e Esgotos do Rio de Janeiro (CEDAE), as ETEs Alegria, Pavuna, Sarapuí, Penha e Ilha do Governador (ETE Ilha) (figura 3.1). O período do estudo foi determinado a partir do mês em que se iniciou o monitoramento da microfauna de todas as cinco ETEs no ano de 2017.

As cinco ETEs fizeram parte das ações executadas na área de esgotamento sanitário da proposta inicial do Programa de Despoluição da Baía de Guanabara (PDBG). As ETEs Alegria, Pavuna e Sarapuí foram construídas para o programa no início dos anos 2000 e as ETEs Penha, construída em 1947 e Ilha, construída em 1969, foram reformadas e ampliadas.

A ETE Alegria é considerada a obra mais importante do PDBG, é uma unidade de grande porte, sendo a maior ETE operada pela CEDAE e uma das maiores do Brasil. O seu projeto prevê o tratamento de uma vazão média de $5.000\text{L}\cdot\text{s}^{-1}$ e máxima de $8.000\text{L}\cdot\text{s}^{-1}$.

Atualmente a ETE Alegria possui vazão afluyente de cerca de $2.000\text{L}\cdot\text{s}^{-1}$, carga orgânica média de $27.578\text{kg de DBO}\cdot\text{d}^{-1}$ e realiza cotratamento de lixiviado de aterro sanitário (vazão máxima de 1% v/v), com aumento do volume recebido ao longo do estudo. As ETEs Pavuna e Sarapuí operaram com carga orgânica média de cerca de $2.000\text{kg de DBO}\cdot\text{d}^{-1}$ e a ETE Ilha com cerca de $4.000\text{kg de DBO}\cdot\text{d}^{-1}$. A ETE Penha possui uma vazão afluyente de cerca de $600\text{L}\cdot\text{s}^{-1}$ e carga orgânica média de $11.370\text{kg de DBO}\cdot\text{d}^{-1}$ e o efluente final passa por desinfecção para produção de água de reuso. Informações da vazão de projeto, localização, população atendida e locais atendidos estão descritos na tabela 3.1.

Tabela 3.1: Informações da vazão de projeto, localização, lançamento de efluente, população atendida e local atendido pelas ETEs Alegria, Pavuna, Sarapuí, Penha e Ilha.

ETE	Vazão de Projeto (L/s)	Localização	Onde o efluente é lançado	População atendida (aproximada)	Bairros/Cidades
Alegria	2.500	Caju – Rio de Janeiro	Canal do Cunha	1.500.000	Rio de Janeiro. Bairros: Centro, Caju, Tijuca, São Cristóvão, Sampaio, Eng. Novo, Lins de Vasconcelos, Méier, Todos os Santos, Eng. Dentro, Água Santa, Encantado, Piedade, Abolição, Pilares, Del Castilho, Cachambi, Maria da Graça, Jacaré, Manguinhos, Bonsucesso, Riachuelo, Rocha, São Francisco Xavier, Benfica, Mangueira, Complexo da Maré, Quintino, Piedade, Abolição, Encantado, Pilares, Inhaúma, Del Castilho, Eng. Rainha, Ramos, Tomás Coelho, Cavalcanti, Eng. Leal Vicente de Carvalho, Vila Cosmos, Cascadura, Bonsucesso, Higienópolis e Ilha do Fundão.
Pavuna	1.500	Vigário Geral – Rio de Janeiro	Rio Pavuna-Meriti	500.000	Rio de Janeiro. Bairros: Acari, Colégio, Irajá, Vista Alegre, Jardim América, Vigário Geral e Pavuna, no Rio de Janeiro e de parte dos municípios de São João de Meriti, Nilópolis e Duque de Caxias.
Sarapuí	1.500	Jardim Gláucia – Belford Roxo	Rio Sarapuí	304.000	Parte dos Municípios de Belford Roxo, São João de Meriti, Mesquita e Nova Iguaçu.
Penha	1.600	Penha – Rio de Janeiro	Baía de Guanabara	576.000	Rio de Janeiro. Bairros: Vaz Lobo, Vicente de Carvalho, Vila Cosmos, Vila da Penha, Brás de Pina, Penha Circular, Olaria, Ramos, Penha, Cordovil, Parada de Lucas e Vigário Geral.
Ilha	525	Tauá/Ilha do Governador – Rio de Janeiro	Praia da Rosa – Baía de Guanabara	266.000	Rio de Janeiro. Bairros: Portuguesa, Cacuia, Bancários, Freguesia, Galeão, Moneró, Tauá e Jardim Guanabara, Dendê, Bananal, Cocotá, Guarabú, Ribeira e Zumbi.

Fonte: Adaptado Site CEDAE



Figuras 3.1 Estações de Tratamentos de Esgotos nas quais o estudo foi realizado. A. Alegria; B. Pavuna; C. Sarapuí; D. Penha; E. Ilha. Fontes: A, B e C – *site* CEDAE; D e E – arquivo pessoal.

Todas as cinco ETEs possuem tratamento preliminar, primário e secundário. O tratamento preliminar é composto por gradeamento e caixas de areia, o tratamento primário por decantadores primários e o tratamento secundário pelo sistema de lodos ativados convencionais. Os sistemas de lodos ativados são compostos por tanques de aeração (biorreatores), decantadores secundários e elevatórias de recirculação de lodo. As

ETEs realizam também o tratamento da fase sólida removida em cada etapa do tratamento com posterior disposição em aterro sanitário. Nas ETEs Alegria e Penha há ainda o tratamento terciário de forma que os efluentes passam por desinfecção por cloração para produção de água de reuso.

A ETE Alegria conta com quatro tanques de aeração, contendo seis zonas cada e volume de 11.500m³. As ETE Pavuna e Sarapuí também possuem quatro tanques de aeração cada um com volume total de 6.340m³, entretanto apenas um em cada ETE esteve em funcionamento no período do estudo. A ETE Penha possui dois tanques de aeração cada um com volume de 10.800m³ e a ETE Ilha conta com quatro tanques de aeração de 1.000m³. As figuras 3.2 a 3.5 mostram os tanques de aeração de cada ETE.

A aeração dos tanques nas ETEs Alegria, Pavuna e Sarapuí é realizada por difusores porosos de ar dispostos no fundo de cada tanque de aeração alimentados por compressores. A aeração dos tanques nas ETEs Penha e Ilha é realizada por aeradores mecânicos de superfície. Informações sobre os tanques de aeração das ETEs Alegria, Pavuna, Sarapuí, Penha e Ilha podem ser observadas na tabela 3.2.

Tabela 3.2: Informações sobre o número de tanques de aeração, o volume total de cada tanque de aeração e o tipo de aeração das ETEs Alegria, Pavuna, Sarapuí, Penha e Ilha.

ETE	Nº de tanques de aeração	Volume do Tanque de aeração (m³)	Tipo de aeração
Alegria	4 tanques compostos por 6 zonas cada	11.500	Difusores de ar
Pavuna	4	6.340	Difusores de ar
Sarapuí	4	6.340	Difusores de ar
Penha	2	10.800	Aeradores mecânicos de superfície
Ilha	4	1.000	Aeradores mecânicos de superfície



Figura 3.2 A, B e C: Tanques de aeração da ETE Alegria.

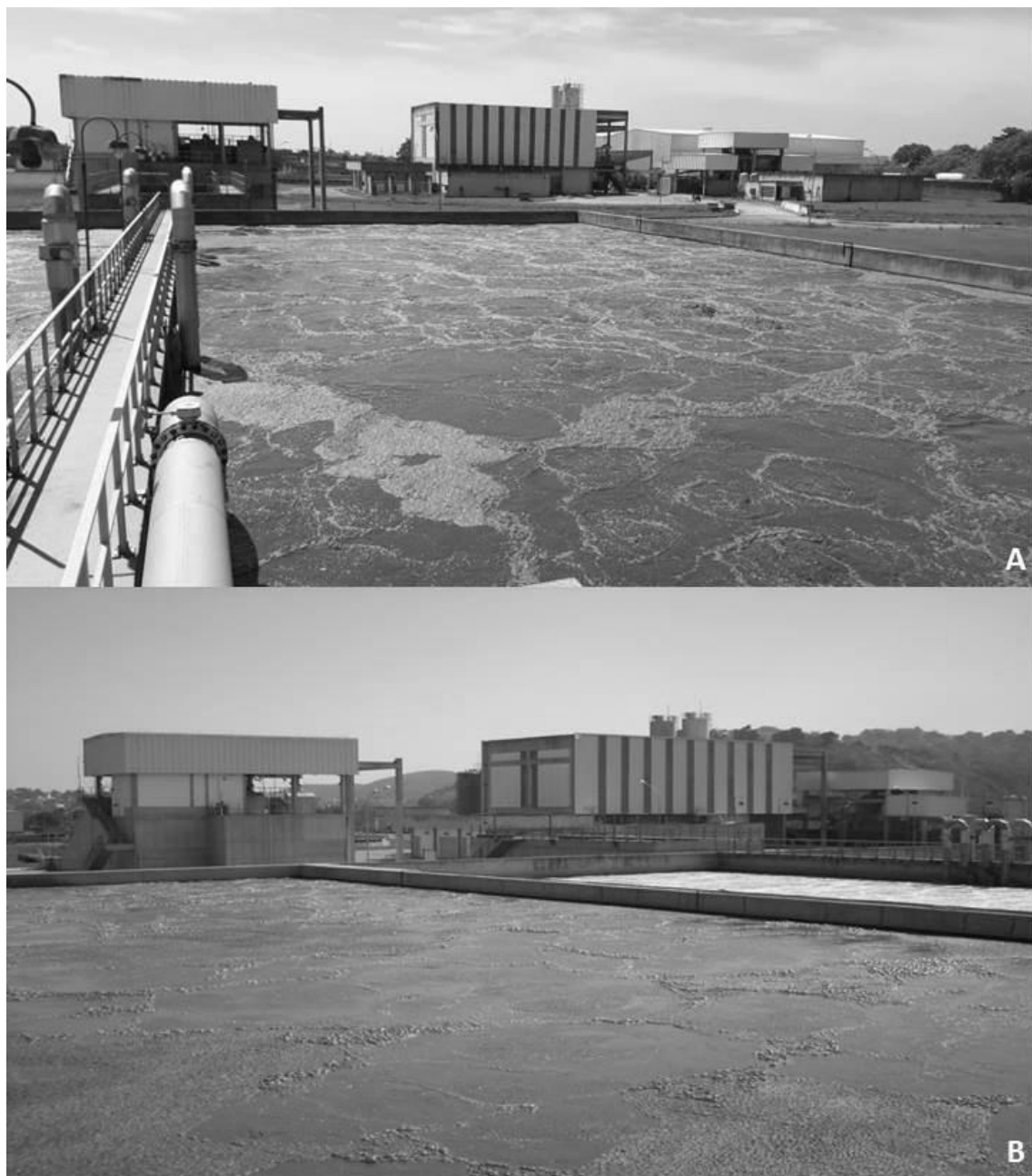


Figura 3.3: Tanques de aeração. A. ETE Pavuna; B. ETE Sarapuí.



Figuras 3.4 A e B: Tanques de aeração da ETE Penha, destaque para o aerador mecânico de superfície.



Figuras 3.5 A e B: Tanques de aeração da ETE Ilha; C. Destaque para o aerador mecânico de superfície.

3.2 COLETAS DE AMOSTRAS E MEDIÇÕES DE CAMPO

As coletas do líquido dos tanques de aeração (*mixed liquor*) e efluentes finais para análises físico-químicas foram realizadas diariamente, de acordo com a ABNT (1986). As coletas do líquido dos tanques de aeração foram realizadas na superfície, à jusante de cada tanque de aeração e armazenadas em frascos de polipropileno com capacidade para 2L. As amostras dos efluentes finais das ETEs foram obtidas através de amostragem composta, armazenadas em frascos de polipropileno de 7L e preservadas sob refrigeração a 4°C. As amostras foram coletadas nas calhas de saída das ETEs, após os decantadores secundários.

O monitoramento das condições operacionais das Estações de Tratamento foi realizado diariamente durante o período estudado incluindo-se medições de oxigênio dissolvido utilizando oxímetro de campo Marca YSY, modelo 55 e 550A (figura 3.6).

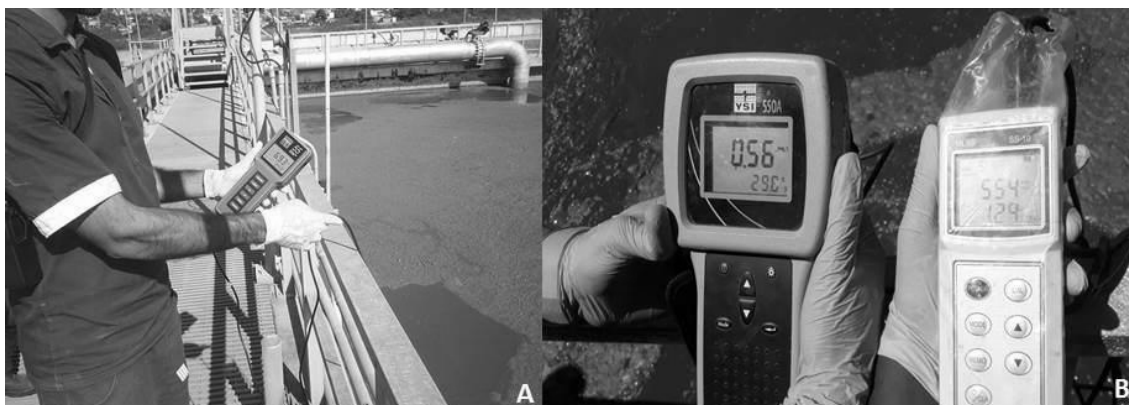


Figura 3.6 A e B: Medições de oxigênio dissolvido nos tanques de aeração.

As coletas de lodo ativado para as análises microscópicas foram realizadas no mínimo uma vez por semana na saída de um dos tanques de aeração de cada ETE (ESTEBAN *et al*, 1991; ZHOU *et al.*, 2008), na superfície. As amostras foram armazenadas em frascos de polipropileno com capacidade para 300mL sem adição de preservativos ou conservantes químicos. Desprezou-se sempre parte da amostra para que apenas metade do frasco estivesse preenchido, de modo a manter o oxigênio na parte superior do frasco.

As análises da microfauna foram realizadas, sempre que possível, imediatamente após a coleta do material, para evitar alterações como morte por estresse ambiental (presença de luz UV, falta de oxigênio dissolvido na água, aumento súbito de temperatura, etc.) ou por predação.

3.3 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS E PARÂMETROS OPERACIONAIS

As análises físico-químicas foram realizadas nos Laboratórios de Controle de Qualidade de Esgotos da CEDAE segundo metodologias normatizadas APHA (2012). Os parâmetros analisados, as metodologias analíticas aplicadas, os métodos utilizados, as fontes utilizadas e as unidades de medidas referenciadas estão descritas na tabela 3.3.

Tabela 3.3: Parâmetros analisados, métodos analíticos empregados, fonte das metodologias e unidades de medidas para a realização de análises físico-químicas.

Parâmetro Analítico	Método analítico	Unidades
Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO ₅	SMWW 22 ^a Ed. 5210-B / 4500-O G	mg DBO.L ⁻¹
Sólidos em Suspensão Total, Fixo e Volátil - SST/F/V	SMWW 22 ^a Ed. 2540 D/E	mgSST.L ⁻¹
Sólidos Sedimentáveis - SSed 30 minutos	SMWW 22 ^a Ed. 2710-C	mL.L ⁻¹
pH	SMWW 22 ^a Ed. 4500 H ⁺ B	UpH

Os cálculos dos parâmetros de controle operacionais (relação A/M, IVL, eficiência de DBO e eficiência de SST) foram realizados de acordo com o descrito por Jordão e Pessoa (2014) e Saar (2015). Não foi possível realizar os cálculos da idade do lodo das ETEs devido à ausência de dados precisos para o cálculo.

3.4 ANÁLISES MICROSCÓPICAS

As análises microscópicas foram realizadas nos Laboratórios de Controle de Qualidade de Esgotos da CEDAE em microscópio óptico com contraste de fase, marca ZEISS, modelo Axiolab. Foram realizadas análises qualitativas e quantitativas da microfauna, medições dos diâmetros dos flocos biológicos e medições dos comprimentos das bactérias filamentosas presentes nos lodos ativados de cada ETE. As fotomicrografias foram realizadas no Laboratório de Protistologia do Departamento de Zoologia do Instituto de Biologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).

3.4.1 Análises Qualitativas da Microfauna de Lodo Ativado

As análises qualitativas da microfauna de lodo ativado foram realizadas através da utilização lâmina e lamínula segundo instruções descritas por Vazollér (1989) e Figueiredo (2012). As amostras coletadas foram homogeneizadas por aproximadamente 1 minuto, com o auxílio de uma pipeta Pasteur pingou-se uma gota da amostra de lodo ativado em uma lâmina e depois cobriu-a com uma lamínula (figura 3.7). Os organismos foram observados em microscópio óptico com aumento de 100 a 200 vezes. A identificação dos organismos foi efetuada de acordo com o guia de Foissner e Berger (1996), o atlas de Berk e Gunderson (1993) e Vazollér (1989). Os organismos foram identificados até o grau de espécie, sempre que possível, e classificados de acordo com os seguintes grupos morfológico-funcionais: gimnamebas ou amebas nuas (AMN), tecamebas (TAM), ciliados predadores de floco (CPF), ciliados sésseis ou fixos (CF), ciliados livre-natantes $< 50\mu\text{m}$ (CLN $< 50\mu\text{m}$), ciliados livre-natantes $\geq 50\mu\text{m}$ (CLN $\geq 50\mu\text{m}$), pequenos e grandes flagelados (PFLA e GFLA) e micrometazoários (MTZ). Os principais gêneros normalmente encontrados no lodo ativado de ETEs estão descritos na tabela 3.4.

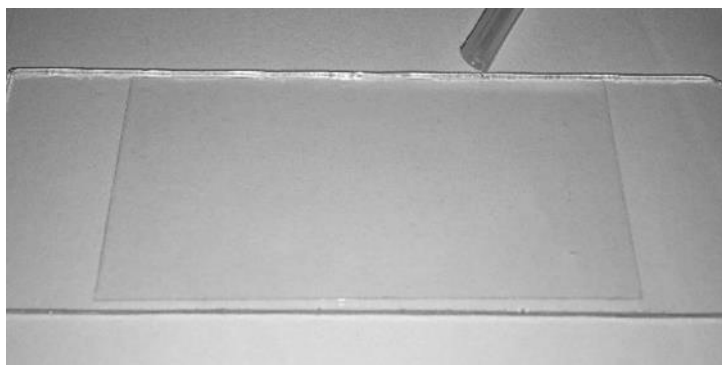


Figura 3.7: Lâmina e lamínula utilizadas para análise qualitativa da microfauna.

Tabela 3.4: Agrupamento de organismos de diversos gêneros

Grandes grupos	Principais gêneros
Gimnamebas ou Amebas nuas	<i>Amoeba, Acanthamoeba</i>
Tecamebas ou Amebas tecadas	<i>Arcella, Euglypha, Centropyxis, Diffugia, Actinophrys, Cochliopodium</i>
Ciliados predadores de floco	<i>Aspidisca, Euplotes, Stylonychia, Trithigmostoma, Chilodonella, Trochilia</i>
Ciliados livre-natantes (< 50 µm)	<i>Cinetochilum, Uronema, Trachelophyllum</i>
Ciliados livre-natantes (> 50 µm)	<i>Paramecium, Spirostomum, Colpidium, Trachelophyllum</i>
Ciliados Sésseis, fixos (ou edunculados)	<i>Vorticella, Opercularia, Epistylis, Carchesium, Vaginicola, Zoothamnium, Stentor</i>
Ciliados carnívoros	Suctórias (<i>Acineta, Podophrya</i>), <i>Coleps, Litonotus, Spathidium, Amphileptus</i>
Pequenos flagelados	<i>Bodo, Cercobodo, Monas sp., Oicomonas sp., Cercomonas.</i>
Grandes flagelados (> 50 µm)	<i>Euglena sp., Peranema</i>
Micrometazoários Rotíferos	<i>Philodina, Rotaria, Epiphanes, Philodinavus</i>
Anelídeos	<i>Aeolosoma</i>
Nematódeos	<i>Rhabditis</i>
Tardígrados	Filo: Tardigrada
Gastrotríquios	Filo: Gastrotricha

Fonte: Adaptado de Vazollér (1989), Madoni (1994) e Figueiredo (2012).

3.4.2 Análises Quantitativas da Microfauna de Lodo Ativado

As análises quantitativas da microfauna, com exceção da estimativa da densidade de pequenos flagelados, foram realizadas em câmara de Sedgewick-Rafter (Figura 3.8) segundo metodologia descrita por Figueiredo (2012) e Madoni (1994). As amostras coletadas foram homogeneizadas por aproximadamente 1 minuto; foram diluídas em uma proveta, em geral em 20 vezes; com o auxílio de uma pipeta Pasteur as amostras diluídas foram transferidas para a câmara de Sedgewick-Rafter, deixando a amostra preencher a câmara lentamente de forma a permitir que o ar pudesse sair pelo outro lado evitando a formação de bolhas; realizou-se a contagem em microscópio óptico com aumento de 100 vezes; as contagens foram realizadas por faixas verticais, sendo 4 faixas escolhidas aleatoriamente compondo 80 campos. Para a obtenção do número de organismos por mililitro, aplicou-se então a seguinte fórmula, de acordo com os campos contados: (FIGUEIREDO, 2012).

$$\text{N}^\circ \text{ de organismos/mL} = \frac{\text{C} \times 1\text{mm}^3 \times \text{Dil.}}{\text{A} \times \text{D} \times \text{F} \times \text{mL}}$$

Onde:

C = número de microrganismos contados;

A = área de um campo (a área do campo da câmara) mm²;

D = profundidade da câmara de Sedgwick-Rafter = 1mm;

F = número de campos contados;

Dil. = Fator de diluição da amostra original.

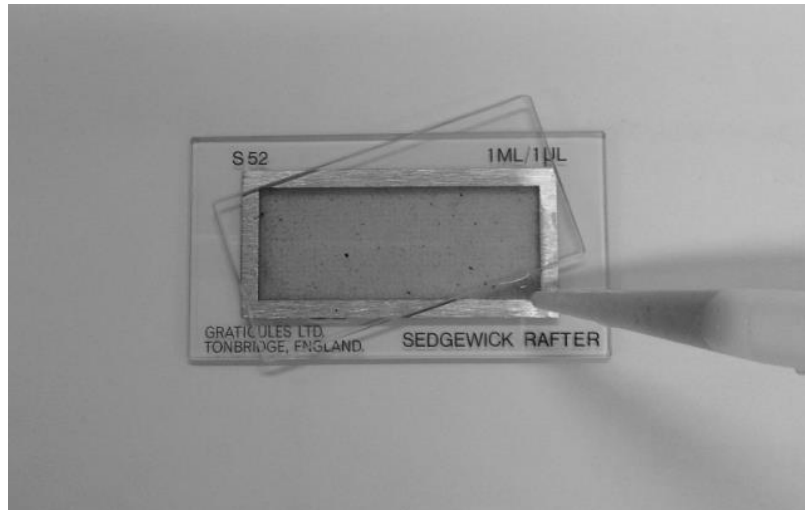


Figura 3.8: Câmara de Sedgwick-Rafter sendo preenchida de amostra de lodo ativado para realização de análise quantitativa da microfauna.

Segundo Madoni (1994) as análises quantitativas de pequenos flagelados necessitam de técnica de contagem apropriada devido ao tamanho muito reduzido e a alta densidade normalmente encontrada de 10^7 a 10^8 indivíduos.L⁻¹. Dessa forma, análises quantitativas de pequenos flagelados foram realizadas utilizando câmara Fuchs-Rosenthal de 3,2 μ L segundo metodologia descrita por Madoni (1994, 2004).

De acordo com Curds e Cockburn (1970), os pequenos flagelados entram continuamente em no afluente de ETEs e são muito numerosos (10^7 a 10^8 indivíduos.L⁻¹). Sendo assim a dominância dos flagelados se torna aparente quando atingem uma densidade de mais de 100 indivíduos ao longo da diagonal em uma câmara de Fuchs-Rosenthal ($F > 100$), nesse caso a densidade será maior que 5×10^8 organismos.L⁻¹. Nesse estudo, a dominância de pequenos flagelados foi considerada quando $F > 100$.

3.4.3 Determinação do Índice Biótico de Lodo (IBL)

O Índice Biótico de Lodo foi determinado utilizando as informações obtidas na identificação dos organismos e nas análises quantitativas da microfauna de lodos

ativados, de acordo com metodologia desenvolvida por Madoni (1994). O cálculo do IBL foi realizado utilizando a tabela 3.5 da seguinte forma: determinou-se o grupo-chave dominante do lodo ativado, estabelecendo a primeira linha horizontal de análise, depois se utilizou a densidade de organismos eucariontes encontrados para selecionar a segunda linha horizontal, para selecionar uma das quatro colunas de riqueza de espécies, utilizou-se o número de unidades taxonômicas encontradas e por último utilizou-se o número de pequenos flagelados encontrados na diagonal da câmara de Fuchs-Rosenthal para selecionar a última coluna (A ou B) e encontrar o valor do índice. O índice encontrado foi então aplicado na tabela 3.6 e a classe de qualidade do lodo ativado e seu respectivo diagnóstico estabelecidos.

Tabela 3.5: Tabela de duas entradas para o cálculo do Índice Biótico de Lodo – IBL (SBI - sigla em inglês) baseado nos grupos-chave dominante, densidade e número de unidades taxonômicas da microfauna.

Grupos-chave dominantes e densidade da microfauna que define a linha horizontal de entrada na tabela		Número total de unidades taxonômicas que constitui a microfauna do lodo ativado e número de pequenos flagelados (<i>F</i>) contados ao longo da diagonal da câmara de Fuchs-Rosenthal (A = $F < 10$; B = $10 < F < 100$).							
Grupos-chave dominantes	Densidade (ind./L)	> 10		8 – 10		5 – 7		< 5	
		A	B	A	B	A	B	A	B
Predadores de floco + ciliados sésseis* e/ou Tecamebas	$\geq 10^6$	10	8	9	7	8	6	7	5
	$< 10^6$	9	7	8	6	7	5	6	4
Ciliados sésseis* > 80%	$\geq 10^6$	9	7	8	6	7	5	6	4
	$< 10^6$	8	6	7	5	6	4	5	3
<i>Opercularia</i> spp	$\geq 10^6$	7	5	6	4	5	3	4	2
	$< 10^6$	6	4	5	3	4	2	3	1
<i>Vorticella microstoma</i> e/ou <i>V. infusionum</i>	$\geq 10^6$	6	4	5	3	4	2	3	1
	$< 10^6$	5	3	4	2	3	1	2	0
Ciliados livre-natantes bacterívoros	$\geq 10^6$	5	3	4	2	3	1	2	0
	$< 10^6$	4	2	3	1	2	0	1	0
Pequenos flagelados (> 100) ¥	$\geq 10^6$	4		3		2		1	
	$< 10^6$	3		2		1		0	

**Opercularia* spp e *Vorticella microstoma* não abundantes; ¥ ao longo da diagonal da câmara de Fuchs-Rosenthal. Fonte: Adaptado de Madoni (1994).

Tabela 3.6: Conversão dos valores de IBL em quatro classes de qualidade e seus respectivos diagnósticos.

Valores de IBL	Classe	Diagnóstico
8 – 10	I	Um lodo muito bem colonizado e estável, ótima atividade biológica; alta eficiência depurativa.
6 – 7	II	Um lodo bem colonizado e estável, atividade biológica boa; desempenho bom.
4 – 5	III	Depuração biológica insuficiente no tanque de aeração; desempenho mediano.
0 – 3	IV	Depuração biológica pobre no tanque de aeração; baixo desempenho.

Fonte: Adaptado de Madoni (1994).

3.4.4 Análise do Floco Biológico

As medições dos diâmetros do floco biológico foram realizadas em câmara de Sedgwick-Rafter, segundo metodologia descrita em Figueiredo (2012). Em cada análise foram medidos 40 flocos e calculadas suas médias, os flocos medidos foram agrupados em três dimensões conforme descrito na tabela 3.7.

Tabela 3.7: Agrupamento dimensional dos flocos biológicos

Dimensão	Diâmetro
Grandes	> 500 μ m
Médios	Entre 150 e 500 μ m
Pequenos	< 150 μ m

Fonte: Adaptado de Figueiredo (2012).

Segundo Jordão e Pessôa (2014) e Figueiredo (2012) os flocos adequados a uma boa sedimentação são os flocos grandes (> 500 μ m). Os autores mencionam ainda que em lodos ativados cujos flocos possuam diâmetro do floco menor do que 50 μ m podem ocorrer perda de sólidos pelo efluente final, pela presença de flocos tipo “*pin-point*”.

3.4.5 Medida do Comprimento dos Filamentos

As análises de medições de bactérias filamentosas foram realizadas em câmara de Sedgwick-Rafter, segundo metodologia descrita em Figueiredo (2012). As observações foram feitas em microscópio ótico com aumento de 100 vezes ou 200 vezes percorrendo toda a lâmina e anotando-se o comprimento (em μm) de todos os filamentos presentes, tanto os que se projetavam dos flocos, como aqueles que estavam livres no líquido. O resultado final foi expresso em $\mu\text{m.mL}^{-1}$ e calculado da seguinte forma:

$$\text{Comprimento do filamento } (\mu\text{m.mL}^{-1}) = \text{Comprimento total do filamento} \times 500 \text{ (fator de diluição)}$$

Segundo Figueiredo (2012), quando o comprimento do filamento está entre 10^6 a $10^7 \mu\text{m/mL}$, a sedimentabilidade do lodo está dentro dos padrões de operação do tanque de aeração. O IVL (índice volumétrico de lodo) tende a aumentar rapidamente acima de 100 mL/g caso o somatório do comprimento dos filamentos medidos fique acima de $10^7 \mu\text{m/mL}$ e isto pode ser uma tendência a *bulking* filamentoso. Já abaixo de $10^6 \mu\text{m/mL}$, somado ao diâmetro do floco menor do que $50 \mu\text{m}$, o problema de perda de sólidos pelo efluente final estará ocorrendo, pela presença de flocos tipo “pin-point”.

3.5 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os resultados obtidos nas análises físico-químicas, medições de campo, cálculos dos parâmetros operacionais, análises quantitativas da microfauna, medições dos diâmetros dos flocos biológicos e medições de bactérias filamentosas foram submetidos à análise estatística através da estimativa dos coeficientes de correlação de Pearson (r), conforme os testes estatísticos de correlação utilizados no estudo de Bento *et al.* (2005).

A interpretação do coeficiente de correlação r encontrado foi realizada de acordo com Santos (2007) mostrada na tabela 3.8. Para comprovar se o coeficiente de variação r era significativo, a significância de r foi verificada por meio do teste t de Student, a 5% de probabilidade ($p < 0,05$) (CARGNELUTTI FILHO *et al.* 2010).

As correlações entre as variáveis biológicas e as variáveis físico-químicas foram consideradas positivas ou negativas quando o coeficiente de correlação de Pearson (r) foi

maior que (\pm) 0,200 (Bento *et al*, 2005) e o conjunto de dados apresentaram-se significativos no teste t de Student.

Tabela 3.8: Interpretação do coeficiente de correlação de Pearson (r).

Coeficiente de Correlação de Pearson (r)	Interpretação
$r = 1$ ou -1	Perfeita positiva ou negativa
$0,80 \leq r < 1$, ou $-0,80 \leq r < -1$	Correlação forte positiva ou negativa
$0,50 \leq r < 0,80$, ou $-0,50 \leq r < -0,80$	Correlação moderada positiva ou negativa
$0,10 \leq r < 0,50$, ou $-0,10 \leq r < -0,50$	Correlação fraca positiva ou negativa
$0,00 < r < 0,10$, ou $-0,00 < r < -0,10$	Correlação ínfima positiva ou negativa
0,00	Correlação nula

Fonte: Adaptado de Santos (2007).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS E MEDIÇÕES DE CAMPO

Os resultados das análises físico-químicas e medições realizadas, assim como os resultados dos parâmetros de controle de operacionais calculados estão apresentados nas tabelas 4.1 para as ETES Alegria, Pavuna e Sarapuí e 4.2 para as ETES Penha e Ilha. Somente os resultados das medições de oxigênio dissolvido das ETES Alegria e Sarapuí foram disponibilizados para este estudo.

Tabela 4.1: Resultados médios, mínimos e máximos de análises físico-químicas, medições de campo e parâmetros operacionais de maio a dezembro de 2017 das ETES Alegria, Pavuna e Sarapuí.

Parâmetro	ETE Alegria			ETE Pavuna			ETE Sarapuí		
	Mín.	Méd.	Máx.	Mín.	Méd.	Máx.	Mín.	Méd.	Máx.
Volume de chorume (m ³)	35,2	312	458	-	-	-	-	-	-
Relação Alimeto//Micro-organismo*	0,38	0,56	1,63	0,004	0,04	0,11	0,007	0,02	0,06
Sólidos Sedimentáveis (mL/L)	205	587	882	130	870	982	410	950	1000
Índice Volumétrico de Lodo	60	88	116	37	109	215	34	65	139
Sólidos em suspensão totais no Tanque de Aeração (mg/L)	3107	6570	10010	2820	8251	17220	6970	14339	18770
Sólidos em suspensão voláteis no Tanque de Aeração (mg/L)	2395	4819	7235	1660	5050	9140	3320	6628	11070
pH	6,08	6,69	7,23	5,00	6,50	7,19	6,00	6,79	7,25
Oxigênio Dissolvido (mg/L)	0,12	0,89	5,05	-	-	-	0,12	1,68	7,00
Eficiência de remoção de Demanda Bioquímica de Oxigênio (%)	57,4	89,2	97,2	81,6	93,6	98,6	74,9	91,3	98,5
Eficiência de remoção de Sólidos Suspensos Totais (%)	61,3	94,7	99,6	63,0	86,8	98,8	67,9	94,9	99,9

* KgDBO/KgSSVTA.d

Tabela 4.2: Resultados médios, mínimos e máximos de análises físico-químicas, medições de campo e parâmetros operacionais de maio a dezembro de 2017 das ETEs Penha e Ilha.

Parâmetro	ETE Penha			ETE Ilha		
	Mín.	Méd.	Máx.	Mín.	Méd.	Máx.
Volume de chorume (m ³)	-	-	-	-	-	-
Relação alimento/Micro-organismo*	0,10	0,16	0,46	0,70	1,46	3,30
Sólidos Sedimentáveis (mL/L)	30	582	1000	50	742	1000
Índice Volumétrico de Lodo	37	130	210	68	232	371
Sólidos em suspensão totais no Tanque de Aeração (mg/L)	820	4449	7420	70	3002	4980
Sólidos em suspensão voláteis no Tanque de Aeração (mg/L)	660	3607	5940	70	2462	4260
pH	4,08	6,01	7,25	6,20	6,98	7,67
Oxigênio Dissolvido (mg/L)	-	-	-	-	-	-
Eficiência de remoção de Demanda Bioquímica de Oxigênio (%)	84,2	93,1	98,5	63,4	86,6	96,4
Eficiência de remoção de Sólidos Suspensos Totais (%)	60,9	91,5	99,0	66,0	87,9	96,7

* KgDBO/KgSSVTA.d

4.2 ANÁLISES QUALITATIVAS DA MICROFAUNA

Através das análises qualitativas da microfauna das ETEs Alegria, Pavuna, Sarapuí, Penha e Ilha foi possível identificar os organismos presentes no líquido sob aeração e classificá-los de acordo com os seguintes grupos morfológico-funcionais: gimnamebas ou amebas nuas, tecamebas ou amebas tecadas, ciliados predadores de flocos, ciliados sésseis, ciliados livre-natantes (<50µm e 50µm), grandes e pequenos flagelados e micrometazoários (rotíferos, anelídeos, nematódeos, tardígrados e gastrótricos). Ao todo, foram realizadas 192 análises qualitativas e quantitativas da microfauna, sendo 54 da ETE Alegria, 35 da ETE Pavuna, 35 da ETE Sarapuí, 34 da ETE Penha e 34 da ETE Ilha.

Nos tanques de aeração de todas as ETEs foram observados presença de representantes de todos os grupos morfofuncionais. Entre os ciliados predadores de flocos, o mais frequente em todas as ETEs foi *Aspidisca cicada*. Entre os ciliados livre-natantes, o mais observado em todas as ETEs foi *Trachelophyllum* sp, já a espécie *Spirostomon teres* somente foi observada com frequência no lodo da ETE Penha e com

menor frequência na ETE Alegria. As espécies mais comuns entre os ciliados sésseis foram *Thuricola kellicottiana* e *Epistylis plicatilis*. Entre as tecamebas, *Arcella vulgaris*, *Euglypha rotunda*, *Centropyxis aculeata* e *Diffugia* sp. foram os organismos mais frequentes. Entre os micrometazoários foram observados rotíferos, anelídeos oligoquetos do gênero *Aeolosoma* sp., nematódeos do gênero *Rhabditis* sp., tardígrados e gastrótricos. Dentre os micrometazoários, os rotíferos foram os mais comuns.

Os táxons/espécies encontradas nos líquidos sob aeração dos lodos ativados da ETEs Alegria, Pavuna, Sarapuí, Penha e Ilha estão apresentados na tabela 4.3 e nas figuras 4.1 a 4.8.

Tabela 4.3 – Listagem de táxons/espécies identificadas nos líquidos sob aeração dos lodos ativados da ETEs Alegria, Pavuna, Sarapuí, Penha e Ilha no período de maio a dezembro de 2017.

Grandes Grupos	ETE Alegria	ETE Pavuna	ETE Sarapuí	ETE Penha	ETE Ilha
Tecamebas	<i>Arcella vulgaris</i> <i>Euglypha rotunda</i> <i>Centropyxis aculeata</i> <i>Diffugia</i> sp.	<i>Arcella vulgaris</i> , <i>Euglypha</i> <i>rotunda</i> <i>Centropyxis</i> <i>aculeata</i> <i>Diffugia</i> sp.	<i>Arcella vulgaris</i> , <i>Euglypha rotunda</i> <i>Centropyxis</i> <i>aculeata</i> <i>Diffugia</i> sp.	<i>Arcella vulgaris</i> <i>Euglypha rotunda</i> <i>Centropyxis</i> <i>aculeata</i> , <i>Diffugia</i> sp.	<i>Arcella vulgaris</i> <i>Euglypha rotunda</i> , <i>Centropyxis</i> <i>aculeata</i> , <i>Diffugia</i> sp.
Ciliados Predadores de Floco	<i>Aspidisca cicada</i> <i>Euplotes aediculatus</i> <i>Chilodonella</i> sp.	<i>Aspidisca cicada</i> <i>Euplotes</i> <i>aediculatus</i>	<i>Aspidisca cicada</i> <i>Euplotes</i> <i>aediculatus</i>	<i>Aspidisca cicada</i> <i>Euplotes</i> <i>aediculatus</i> <i>Chilodonella</i> sp.	<i>Aspidisca cicada</i> <i>Euplotes</i> <i>aediculatus</i> <i>Chilodonella</i> sp.
Ciliados Livre- nataantes	<i>Uronema</i> sp. <i>Blepharisma</i> sp. <i>Spirostomum teres</i> , <i>Paramecium aurelia</i> <i>Trachelophyllum</i> sp.	<i>Trachelophyllum</i> sp.	<i>Trachelophyllum</i> sp.	<i>Spirostomum teres</i> , <i>Trachelophyllum</i> sp.	<i>Colpidium</i> sp. <i>Trachelophyllum</i> sp.
Ciliados Sésseis	<i>Thuricola</i> <i>kellicottiana</i> <i>Vaginicola</i> sp. <i>Epistylis plicatilis</i> <i>Vorticella microstoma</i> <i>Carchesium</i> sp. <i>Opercularia</i> sp. <i>Chaetospira</i> sp. <i>Vasicola</i> sp.	<i>Thuricola</i> <i>kellicottiana</i> <i>Vaginicola</i> sp. <i>Epistylis</i> <i>plicatilis</i> <i>Vorticella</i> <i>microstoma</i> <i>Opercularia</i> sp. <i>Caetospira</i> sp. <i>Vasicola</i> sp.	<i>Thuricola</i> <i>kellicottiana</i> <i>Vaginicola</i> sp. <i>Epistylis plicatilis</i> <i>Vorticella</i> <i>microstoma</i> <i>Opercularia</i> sp. <i>Caetospira</i> sp.	<i>Thuricola</i> <i>kellicottiana</i> <i>Vaginicola</i> sp. <i>Epistylis plicatilis</i> , <i>Vorticella</i> <i>microstoma</i> <i>Carchesium</i> sp. <i>Opercularia</i> sp. <i>Caetospira</i> sp. <i>Vasicola</i> sp. <i>Zoothamnium</i> sp.	<i>Thuricola</i> <i>kellicottiana</i> <i>Vaginicola</i> sp. <i>Vorticella</i> <i>microstoma</i> <i>Epistylis plicatilis</i> , <i>Epistylis</i> <i>chrysemydis</i> <i>Carchesium</i> sp. <i>Opercularia</i> sp. <i>Chaetospira</i> sp. <i>Zoothamnium</i> sp.
Ciliados Carnívoros	SUCTÓRIAS	<i>Litonotus</i> sp. SUCTÓRIAS	<i>Amphileptus</i> sp. <i>Coleps</i> sp. SUCTÓRIAS	<i>Litonotus</i> sp. <i>Amphileptus</i> sp. SUCTÓRIAS	<i>Litonotus</i> sp. SUCTÓRIAS
Grandes Flagelados	<i>Peranema</i> sp.	<i>Peranema</i> sp.	<i>Peranema</i> sp.	<i>Peranema</i> sp.	<i>Peranema</i> sp.
Micrometazoários	ROTÍFEROS OLIGOQUETAS, NEMATÓDEOS TARDÍGRADOS	ROTÍFEROS OLIGOQUETAS	ROTÍFEROS NEMATÓDEOS TARDÍGRADOS	ROTÍFEROS OLIGOQUETAS, NEMATÓDEOS TARDÍGRADOS GASTROTRICHA	ROTÍFEROS OLIGOQUETAS, NEMATÓDEOS TARDÍGRADOS GASTROTRICHA

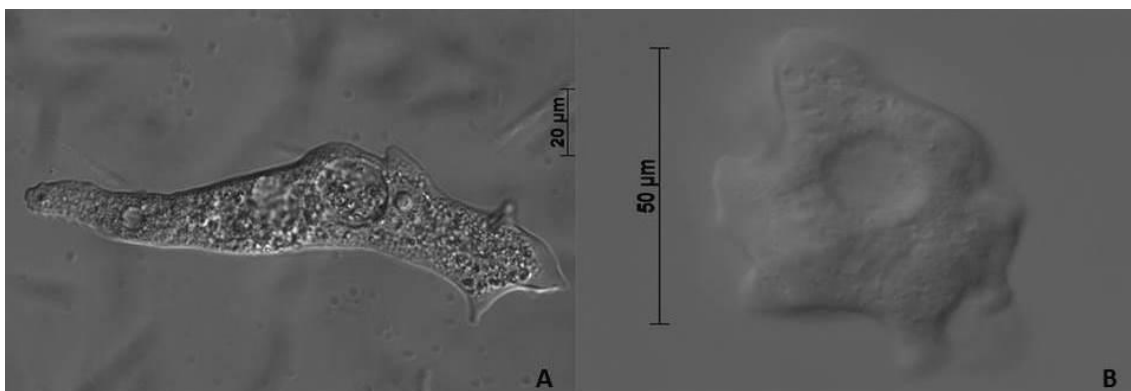


Figura 4.1: Fotomicrografias de amebas nuas encontradas nos lodos ativados das ETEs; A. Pavuna; B. Alegria.

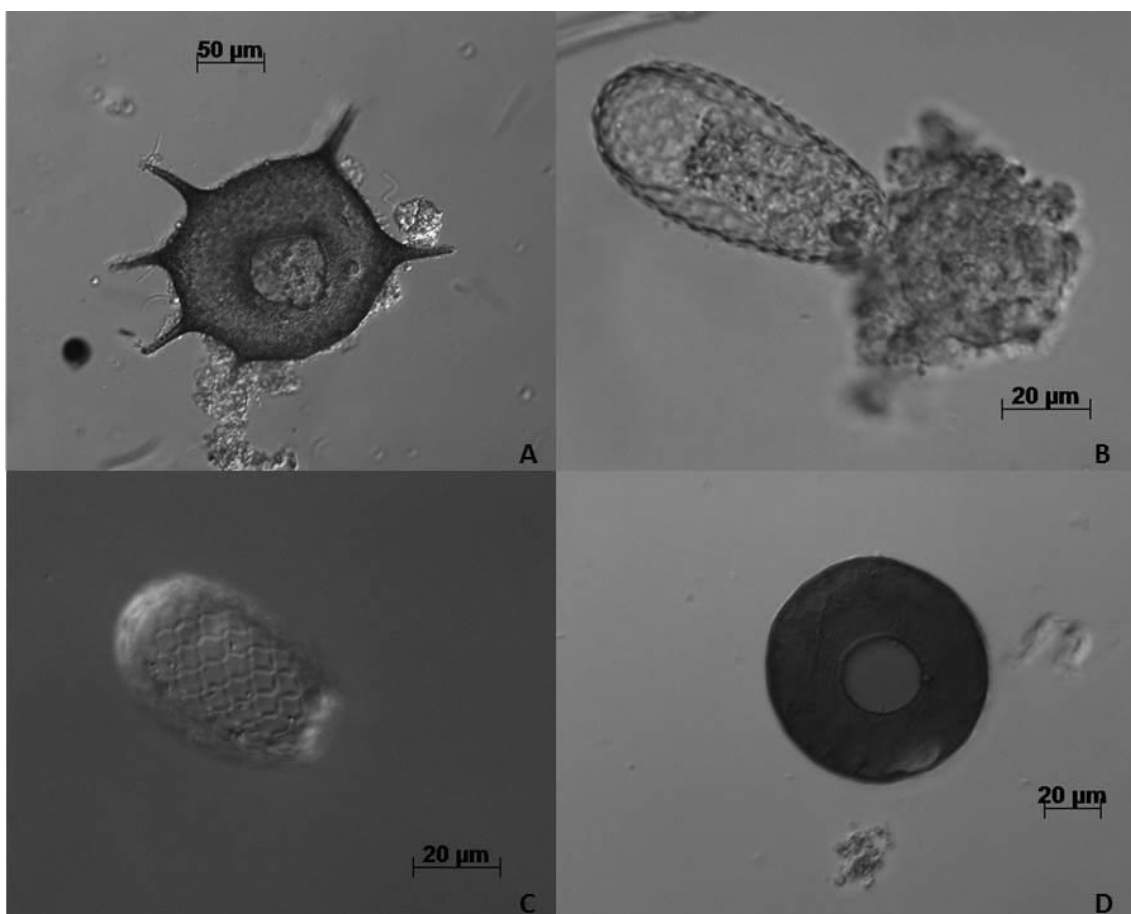


Figura 4.2: Fotomicrografias de tecamebas; A. *Centropyxis aculeata* encontrada no lodo ativado da ETE Pavuna; B. *Euglypha rotunda* encontrada no lodo ativado da ETE Ilha; C. *Euglypha* sp. encontrada no lodo ativado da ETE Pavuna; D. *Arcella vulgaris* encontrada no lodo ativado da ETE Ilha.

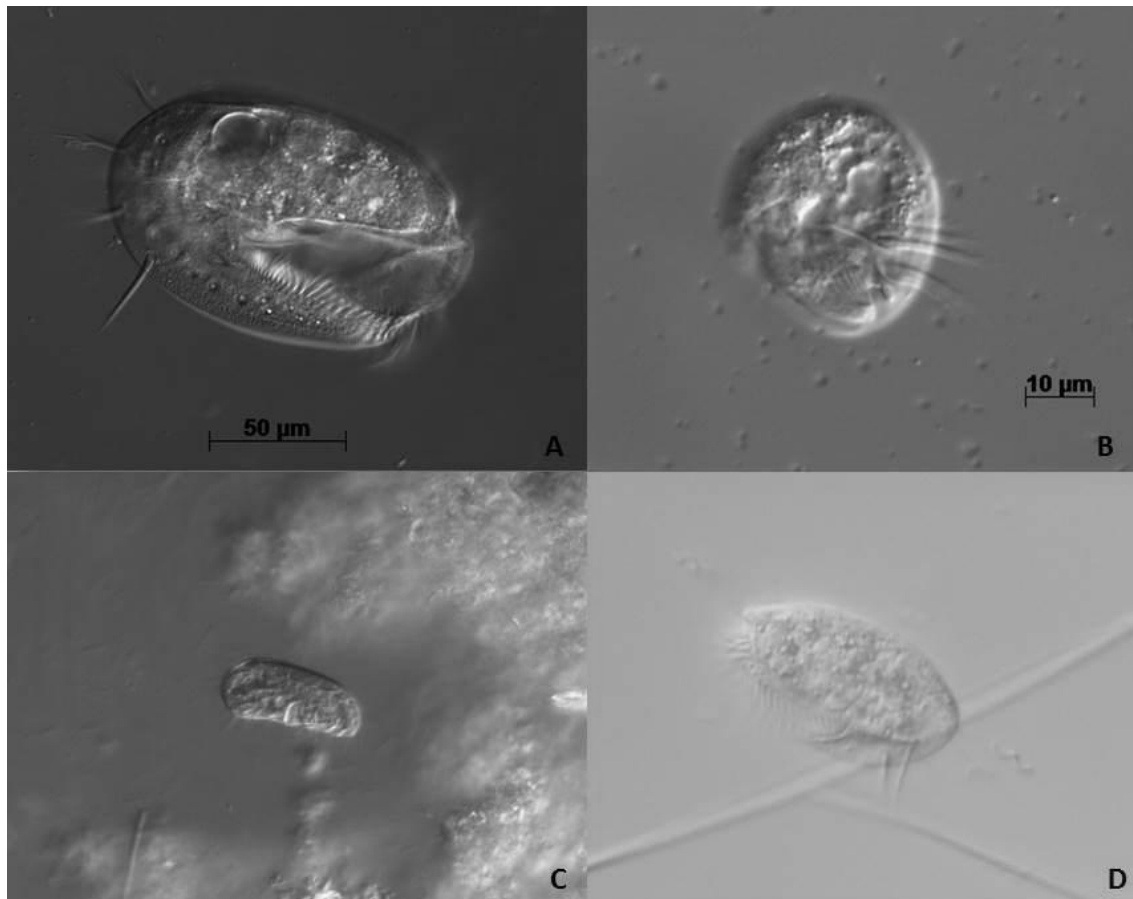


Figura 4.3: Fotomicrografias de ciliados predadores de floco; A. *Euplotes aediculatus* encontrado no lodo ativado da ETE Alegria; B. *Aspidisca cicada* encontrado no lodo ativado da ETE Penha; C. *Chilodonella* sp. encontrado no lodo ativado da ETE Penha; D. *Euplotes aediculatus* encontrado no lodo ativado da ETE Sarapuí.

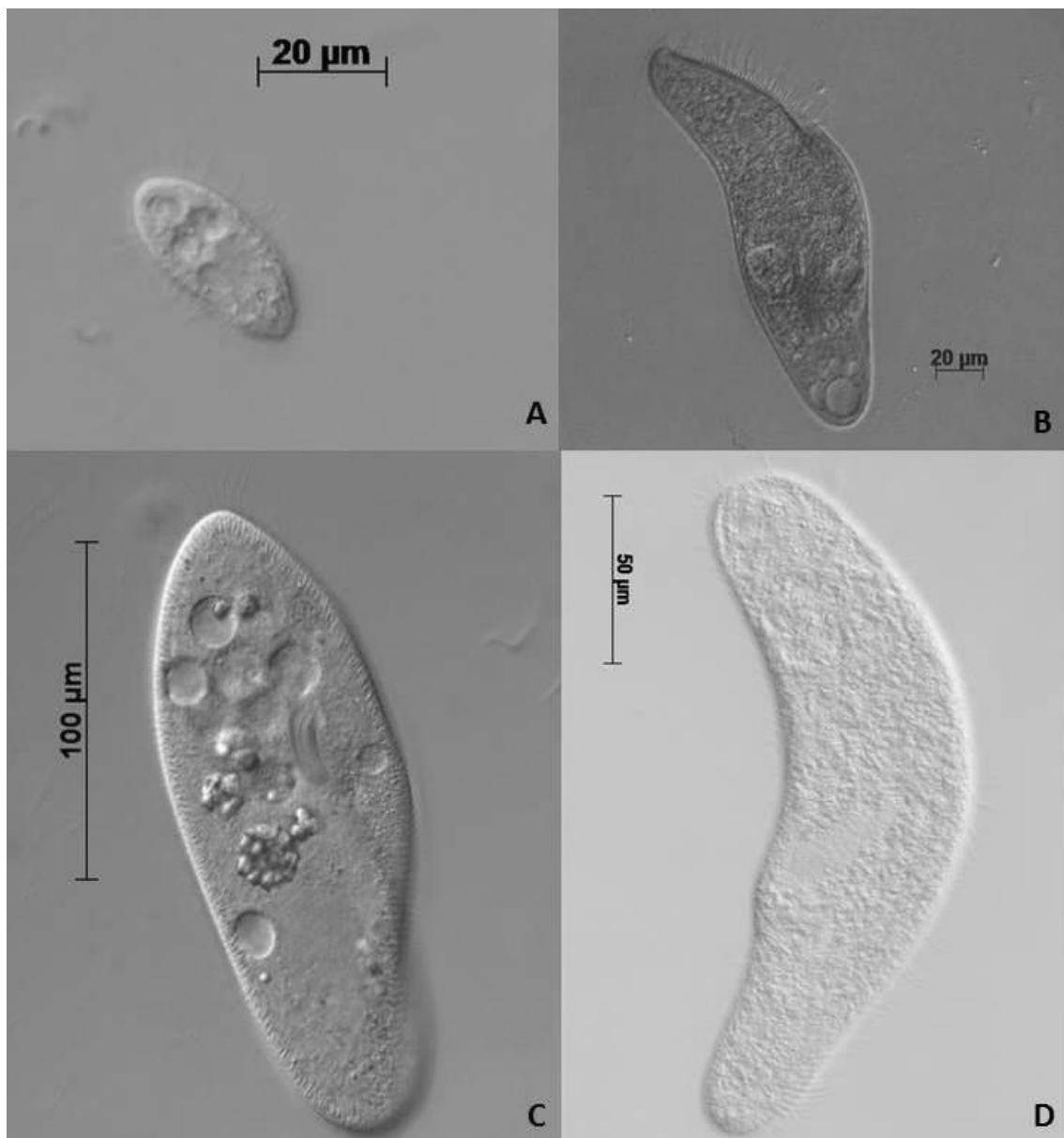


Figura 4.4: Fotomicrografias de ciliados livre-natantes; A. *Uronema* sp. encontrado no lodo ativado da ETE Alegria; B. *Blefarisma undulans* encontrado no lodo ativado da ETE Alegria; C. *Paramecium aurelia* encontrado no lodo ativado da ETE Alegria; D. *Spirostomum teres* encontrado no lodo ativado da ETE Penha.



Figura 4.5: Fotomicrografias de ciliados sésseis; A. *Epistylis chrysemydis* encontrada no lodo ativado da ETE Ilha; B. *Vorticella microstoma* encontrada no lodo ativado da ETE Penha.

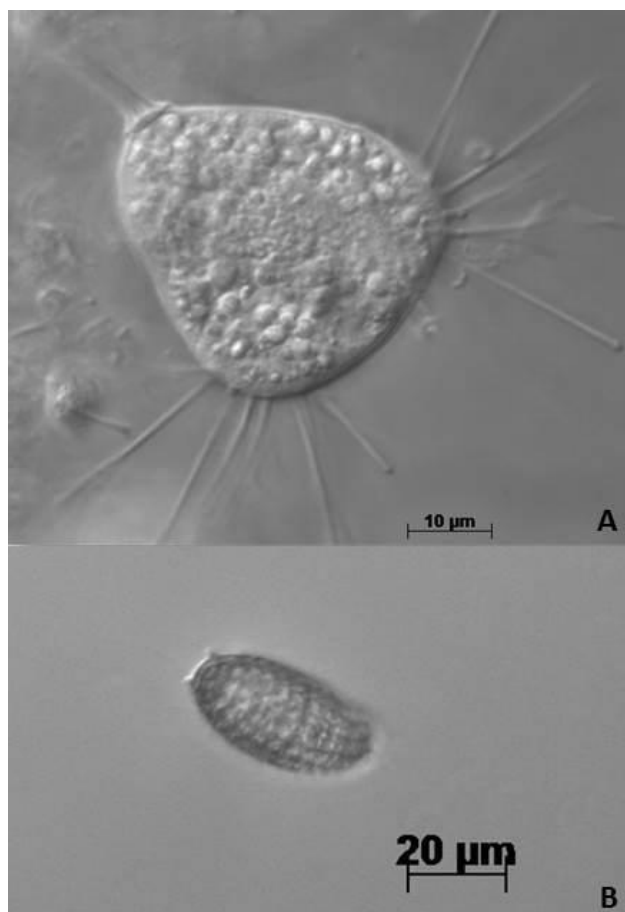


Figura 4.6: Fotomicrografias de ciliados carnívoros A. Suctória (*Tokophrya infusionum*) encontrada no lodo ativado da ETE Penha; B. *Coleps* sp. encontrado no lodo ativado da ETE Sarapuí.

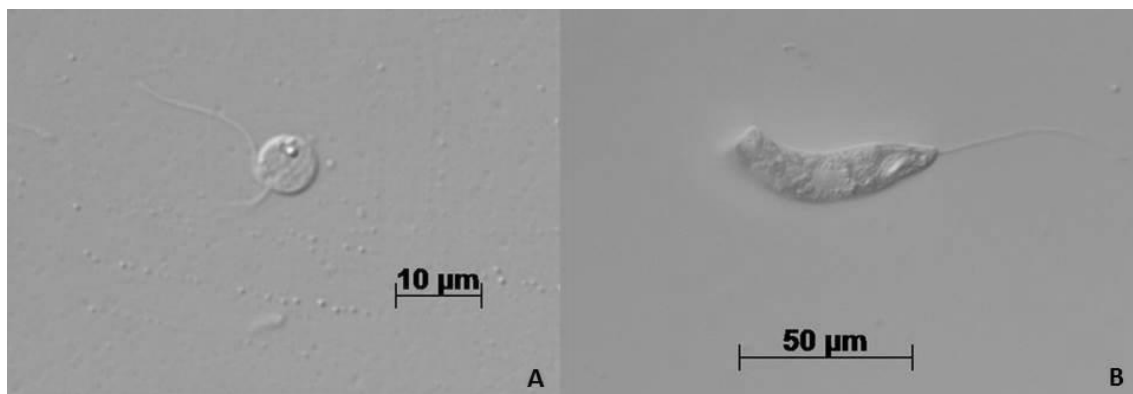


Figura 4.7: Fotomicrografias de flagelados; A. Pequeno flagelado encontrado no lodo ativado da ETE Alegria; B. Grande flagelado *Peranema* sp. encontrado no lodo ativado da ETE Alegria.

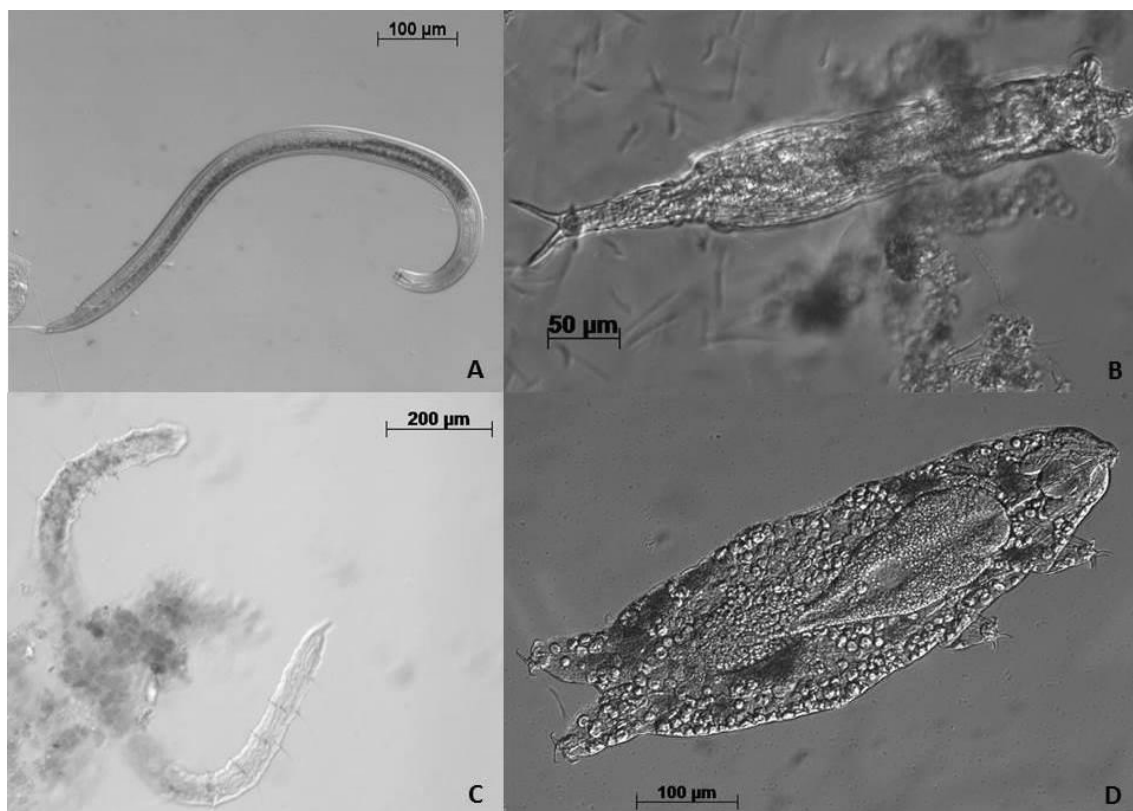


Figura 4.8: Fotomicrografias de micrometazoários; A. Nematódeo encontrado no lodo ativado da ETE Pavuna; B. Rotífero (*Philodina*) encontrado no lodo ativado da ETE Pavuna; C. Oligoqueto *Aeolosoma* sp. encontrado no lodo ativado da ETE Pavuna; D. Tardígrado encontrado no lodo ativado da ETE Penha.

A composição da microfauna de lodo ativado da ETE Penha já foi avaliada em estudo realizado por Ferreira *et al.* (2008), e assim como nesse estudo, foram observados grupo dos ciliados predadores de floco como dominantes os gêneros *Chilodonella* sp., *Aspidisca* sp. e *Euplotes* sp. No grupo de ciliados sésseis foram observados *Epistylis* sp. e *Vorticella convalaria* como dominantes, com a presença também esporadicamente de *Carchesium* sp. e *Tokophrya* sp. No grupo dos ciliados livres, foram observadas mais freqüentemente as espécies *Paramecium* e *Trachelophyllum*.

Em outro estudo de taxonomia e morfologia de protistas ciliados realizado na ETE Penha por Siqueira-Castro (2008), foram identificadas 42 espécies de protistas ciliados distribuídas nas seguintes classes: KARYORELICTEA, 1 espécie; HETEROTRICHEA, 5 espécies; SPIROTRICHEA, 13 espécies; LITOSTOMATEA, 5 espécies; PHYLLOPHARYNGEA, 3 espécies; COLPODEA, 1 espécie; PROSTOMATEA, 2 espécies; PLAGIOPYTEA, 1 espécies; e OLIGOHYMENOPHOREA, 11 espécies. Conforme o observado no presente trabalho, no estudo de Siqueira-Castro (2008), também foram observadas a presença das espécies *Spirostomon teres*, *Aspidisca cicada*, *Euplotes aediculatus*, *Epistylis plicatilis*, *Opercularia* sp., *Thuricola* sp. e *Vorticella* sp. em amostras do tanque de aeração da ETE Penha.

Tourinho *et al.* (2013) avaliaram a composição da microfauna de lodo ativado da ETE Alegria após o início do recebimento de lixiviado de aterro sanitário e observaram que entre os ciliados predadores de floco, o mais frequente foi *Aspidisca* sp, entre os ciliados livre-natantes, o mais abundante foi *Trachelophyllum* sp, as espécies mais comuns entre os ciliados sésseis foram *Thuricola* sp. e *Epistylis* sp., sendo esta última exclusivamente encontrada após o recebimento do chorume. Entre as tecamebas, *Euglypha* sp. e *Centropyxis* sp. foram os organismos mais frequentes. Entre os micrometazoários foram observados rotíferos, anelídeos oligoquetos do gênero *Aeolosoma*, nematódeos do gênero *Rhabditis*, tardígrados e gastrótricos. Dentre os micrometazoários, os rotíferos foram os mais comuns antes e depois do recebimento do chorume.

4.3 ANÁLISES QUANTITATIVAS DA MICROFAUNA

Para a verificação dos requisitos de eficiência definidos por Madoni (1994) e De Marco *et al.* (1991 *apud* MADONI, 1994), foram realizadas as análises quantitativas da microfauna do lodo ativado e através delas foi possível verificar: a densidade de organismos; a riqueza de espécies do líquido sob aeração e a dominância dos grupos encontrados nos lodos ativados das ETEs Alegria, Pavuna, Sarapuí, Penha e Ilha. Para a verificação da sedimentabilidade do lodo, foram avaliados ainda o diâmetro do floco biológico e o comprimento total das bactérias filamentosas.

Os resultados das análises quantitativas de microfauna e dos parâmetros operacionais foram analisados estatisticamente e as estimativas dos coeficientes de correlação de Pearson (r) e as respectivas significâncias verificadas no teste t de Student ($p < 0,05$) para as ETEs Alegria, Pavuna, Sarapuí, Penha e Ilha, estão apresentadas nas tabelas de 4.4 a 4.8, respectivamente.

Tabela 4.4: Estimativa dos coeficientes de correlação de Pearson (r) entre os parâmetros operacionais e os grupos morfofuncionais na ETE Alegria.

	V. chorume	Rel. A/M	IVL	OD	SSed	SSTa	SSVTa	D. Floco	pH	DBO	Efic. DBO	SST	Efic. SST	PFLA	IBL
DENS.	-0,494*	-0,207	-0,104	-0,020	0,153	0,291	0,196	-0,332	-0,266	-0,007	-0,102	0,184	-0,122	0,269	0,169
AMN	-0,627*	-0,186	-0,344*	0,017	-0,111	0,077	0,039	-0,452*	-0,196	-0,047	0,057	0,165	-0,036	0,001	0,142
TAM	-0,888*	-0,332*	0,170	0,071	0,041	0,252	0,179	-0,749*	-0,447*	-0,156	0,131	0,121	-0,025	0,091	0,155
PFLA	-0,096	0,002	0,121	-0,097	0,037	-0,018	-0,035	-0,311	0,070	-0,015	-0,050	0,167	-0,300	1,000	-0,193
CT	0,066	0,014	0,163	-0,081	0,157	0,148	0,088	0,203	0,013	0,109	-0,243	0,138	-0,141	0,239	0,111
CPF	0,140	0,111	0,170	-0,050	0,089	0,032	0,003	0,262	0,123	0,103	-0,253	0,095	-0,127	0,123	0,221
CF	-0,027	-0,164	0,121	-0,018	0,131	0,245	0,134	-0,044	-0,080	0,250	-0,212	0,352*	-0,233	0,193	0,138
CLN	-0,072	-0,067	0,107	-0,117	0,176	0,193	0,153	0,060	-0,167	-0,088	-0,036	-0,073	0,037	0,281*	-0,268
MTZ	-0,241	-0,205	-0,146	0,072	0,311*	0,522*	0,492*	-0,213	-0,183	0,080	-0,043	-0,106	0,132	-0,051	0,113
Nº TÁX.	-0,582*	-0,408*	-0,172	0,256	0,041	0,200	0,135	-0,515*	-0,434*	-0,157	0,151	-0,146	0,151	0,062	0,280*
IBL	-0,121	0,010	-0,088	0,142	-0,139	-0,109	-0,148	-0,216	-0,176	-0,054	0,043	-0,040	0,122	-0,193	1,000
DFloco	0,728*	0,189	0,259	-0,133	0,192	-0,046	0,065	1,000	0,400	0,073	0,005	-0,355	0,363	-0,346	-0,216
FILAM	0,002	0,041	0,652*	-0,432*	0,479*	0,189	0,075	0,120	0,527*	-0,067	-0,131	0,007	-0,033	-0,420	-0,108

V. chorume – volume de chorume; Rel. A/M – relação alimento/micro-organismo; IVL – Índice Volumétrico de Lodo; OD – oxigênio dissolvido; SSed – sólidos sedimentáveis; SSTa – sólidos em suspensão totais no tanque de aeração; SSVTa – sólidos em suspensão voláteis no tanque de aeração; D. floco – diâmetro do floco; DBO – demanda bioquímica de oxigênio; Efic. DBO – Eficiência de remoção de DBO; SST – sólidos em suspensão total no efluente; Efic. SST – eficiência de remoção de SST no efluente; PFLA – pequenos flagelados; IBL – Índice Biótico de lodo; DENS. – densidade de organismos; AMN – amebas nuas; TAM – tecamebas; CT – ciliados totais; CPF – ciliados predadores de floco; CF – ciliados sésseis; CLN – ciliados livre-natantes; MTZ – micrometazoários; Nº táxons – número de táxons; FILAM – comprimento dos filamentos.

* É significativo a 5% de probabilidade pelo teste t.

Tabela 4.5: Estimativa dos coeficientes de correlação de Pearson (r) entre os parâmetros operacionais e os grupos morfofuncionais na ETE Pavuna.

	Relação A/M	IVL	SSed	SSTTa	SSVTa	D Floco	pH	DBO	Efic. DBO	SST	Efic. SST	PFLA	IBL
DENS.	-0,181	0,137	0,189	0,064	0,095	0,307	-0,219	-0,124	0,015	-0,028	-0,069	0,037	-0,109
AMN	0,321*	0,031	-0,308	-0,289	-0,282	-0,302	-0,167	-0,042	-0,134	0,128	-0,039	0,012	-0,218
TAM	-0,189	0,270	0,300	-0,042	-0,044	-0,066	-0,372*	-0,009	-0,231	0,114	-0,281	-0,122	0,358
PFLA	-0,002	0,070	-0,005	-0,151	-0,163	-0,082	-0,016	0,042	0,017	-0,049	0,015	1,000	-0,251
CT	-0,081	0,011	0,067	0,133	0,167	0,418*	0,011	-0,126	0,235	-0,102	0,104	0,116	-0,347
CPF	0,033	0,052	-0,083	-0,138	-0,136	0,192	-0,011	-0,135	0,043	-0,143	0,184	0,149	-0,084
CF	-0,111	0,125	0,336*	0,339*	0,386*	0,379*	0,002	-0,093	0,223	-0,053	0,131	-0,415*	0,207
CLN	-0,016	-0,154	-0,200	-0,067	-0,068	0,041	0,015	0,019	0,067	0,037	-0,132	0,447*	-0,621
MTZ	-0,299	-0,153	0,036	0,039	0,084	0,136	-0,097	-0,043	-0,426*	-0,108	-0,047	-0,033	0,184
Nº TÁX.	0,044	0,288	-0,100	-0,334	-0,362*	-0,021	-0,156	-0,158	0,036	-0,156	0,198	0,285	-0,021
IBL	-0,179	0,320	0,359*	0,013	-0,023	-0,053	-0,064	0,309	-0,496*	0,197	-0,271	-0,251	1,000
D Floco	0,426*	-0,370	0,077	0,662*	0,695*	1,000	0,267	-0,096	-0,074	-0,034	-0,069	-0,082	-0,053
FILAM.	-0,280	0,348*	0,438*	0,068	0,195	0,169	-0,120	0,164	-0,059	0,297	-0,135	0,007	0,268

Rel. A/M – relação alimento/micro-organismo; IVL – Índice Volumétrico de Lodo; SSed – sólidos sedimentáveis; SSTTa – sólidos em suspensão totais no tanque de aeração; SSVTa – sólidos em suspensão voláteis no tanque de aeração; D. floco – diâmetro do floco; DBO – demanda bioquímica de oxigênio; Efic. DBO – Eficiência de remoção de DBO; SST – sólidos em suspensão total no efluente; Efic. SST – eficiência de remoção de SST no efluente; PFLA – pequenos flagelados; IBL – Índice Biótico de lodo; DENS. – densidade de organismos; AMN – amebas nuas; TAM – tecamebas; CT – ciliados totais; CPF – ciliados predadores de floco; CF – ciliados sésseis; CLN – ciliados livre-natantes; MTZ – micrometazoários; Nº táxons – número de táxons; FILAM – comprimento dos filamentos.

* É significativo a 5% de probabilidade pelo teste t.

Tabela 4.6: Estimativa dos coeficientes de correlação de Pearson (r) entre os parâmetros operacionais e os grupos morfofuncionais na ETE Sarapuú.

	Relação A/M	IVL	OD	Ssed	SSTTa	SSVTa	D. Floco	pH	DBO	Efic. DBO	SST	Efic. SST	PFLA	IBL
DENS.	0,235	-0,019	0,445*	-0,048	-0,026	0,030	0,171	-0,464	0,507*	-0,236	0,036	-0,085	0,205	-0,224
AMN	0,537*	0,277	0,248	-0,068	-0,274	-0,299	-0,058	-0,045	0,540*	-0,254	0,075	-0,044	0,139	0,249
TAM	0,273	0,098	-0,201	-0,100	-0,089	-0,110	0,550*	0,024	0,210	-0,331	0,494*	-0,428*	-0,259	0,299
PFLA	-0,148	-0,134	0,506*	0,105	0,159	0,160	-0,207	-0,121	-0,073	0,285	-0,100	0,194	1,000	-0,069
CT	0,130	-0,092	0,441*	0,019	0,056	0,272	-0,075	-0,423*	0,419*	-0,156	-0,118	0,032	0,252	-0,320
CPF	0,323	0,159	0,505*	0,120	-0,140	-0,087	0,038	-0,442*	0,431*	-0,236	0,091	-0,019	0,154	-0,085
CF	0,441*	0,083	0,451*	-0,126	-0,275	-0,184	0,149	-0,227	0,156	0,132	-0,200	0,064	0,101	0,255
CLN	-0,147	-0,224	0,188	0,032	0,251	0,294	-0,001	-0,298	0,320	-0,181	-0,091	0,013	0,239	-0,605*
MTZ	0,074	0,003	0,039	-0,475*	-0,170	-0,208	0,120	-0,112	0,129	0,111	-0,170	0,160	-0,104	0,300
Nº TÁX.	-0,037	-0,183	0,602*	-0,216	0,094	0,099	-0,116	-0,379	0,262	-0,066	-0,061	0,131	0,413*	0,112
IBL	0,209	0,187	0,187	-0,203	-0,347*	-0,393*	0,014	0,050	-0,181	0,149	0,055	0,094	-0,069	1,000
DFloco	0,369*	0,088	-0,192	-0,081	-0,177	-0,157	1,000	-0,200	0,202	-0,205	-0,227	0,359*	-0,217	0,014
FILAM	-0,295	0,103	-0,495*	-0,067	0,123	0,062	-0,002	0,354	0,049	-0,132	0,061	-0,263	-0,192	0,117

Rel. A/M – relação alimento/micro-organismo; IVL – Índice Volumétrico de Lodo; OD – oxigênio dissolvido; SSed – sólidos sedimentáveis; SSTTa – sólidos em suspensão totais no tanque de aeração; SSVTa – sólidos em suspensão voláteis no tanque de aeração; D. floco – diâmetro do floco; DBO – demanda bioquímica de oxigênio; Efic. DBO – Eficiência de remoção de DBO; SST – sólidos em suspensão total no efluente; Efic. SST – eficiência de remoção de SST no efluente; PFLA – pequenos flagelados; IBL – Índice Biótico de lodo; DENS. – densidade de organismos; AMN – amebas nuas; TAM – tecamebas; CT – ciliados totais; CPF – ciliados predadores de floco; CF – ciliados sésseis; CLN – ciliados livre-natantes; MTZ – micrometazoários; Nº táxons – número de táxons; FILAM – comprimento dos filamentos.

* É significativo a 5% de probabilidade pelo teste t.

Tabela 4.7: Estimativa dos coeficientes de correlação de Pearson (r) entre os parâmetros operacionais e os grupos morfofuncionais na ETE Penha.

	Relação A/M	IVL	SSed	SSTTa	SSVTa	DFloco	pH	DBO	Efic. DBO	SST	Efic. SST	PFLA	IBL
DENS.	-0,083	-0,199	-0,227	-0,102	-0,060	0,208	-0,307	-0,165	0,121	0,062	-0,029	0,195	0,216
AMN	0,288	-0,313	-0,259	-0,197	-0,222	0,095	-0,148	0,361*	-0,269	0,427*	-0,304	-0,031	0,183
TAM	-0,100	0,262	0,307	0,416*	0,172	0,318	0,124	-0,284	0,202	-0,227	0,223	-0,335	0,296
PFLA	0,168	-0,376*	-0,472*	-0,339	-0,219	-0,180	-0,373*	0,152	-0,342*	0,226	-0,391*	1,000	-0,024
CT	-0,086	-0,243	-0,279	-0,174	-0,092	0,160	-0,331	-0,123	0,098	0,082	-0,042	0,231	-0,288
CPF	-0,016	-0,322	-0,352*	-0,227	-0,183	-0,081	-0,401*	-0,089	0,055	0,261	-0,181	0,041	0,210
CF	-0,078	-0,192	-0,220	-0,142	-0,046	0,285	-0,232	-0,076	0,083	-0,034	0,030	0,886*	0,224
CLN	-0,212	0,288	0,297	0,266	0,298	0,016	0,234	-0,192	0,109	-0,204	0,228	0,013	-0,571*
MTZ	-0,111	0,234	0,431*	0,548*	0,376*	0,283	0,150	-0,406*	0,260	-0,261	0,149	0,026	-0,239
Nº TÁX	0,139	-0,053	-0,125	0,026	-0,169	-0,046	-0,077	0,029	-0,013	0,060	-0,029	-0,008	0,435*
IBL	0,244	-0,161	-0,340*	-0,215	-0,392*	-0,256	-0,103	0,190	-0,109	0,152	-0,167	-0,024	1,000
DFloco	-0,258	0,368*	0,457*	0,312	0,363	1,000	0,004	-0,219	0,159	-0,081	0,039	-0,180	-0,256
FILAM	-0,356*	0,415*	0,577*	0,621*	0,490*	0,231	0,407*	-0,439*	0,417*	-0,380*	0,350*	-0,258	-0,095

Rel. A/M – relação alimento/micro-organismo; IVL – Índice Volumétrico de Lodo; SSed – sólidos sedimentáveis; SSTTa – sólidos em suspensão totais no tanque de aeração; SSVTa – sólidos em suspensão voláteis no tanque de aeração; D. floco – diâmetro do floco; DBO – demanda bioquímica de oxigênio; Efic. DBO – Eficiência de remoção de DBO; SST – sólidos em suspensão total no efluente; Efic. SST – eficiência de remoção de SST no efluente; PFLA – pequenos flagelados; IBL – Índice Biótico de lodo; DENS. – densidade de organismos; AMN – amebas nuas; TAM – tecamebas; CT – ciliados totais; CPF – ciliados predadores de floco; CF – ciliados sésseis; CLN – ciliados livre-natantes; MTZ – micrometazoários; Nº táxons – número de táxons; FILAM – comprimento dos filamentos.

*É significativo a 5% de probabilidade pelo teste t.

Tabela 4.8: Estimativa dos coeficientes de correlação de Pearson (r) entre os parâmetros operacionais e os grupos morfofuncionais na ETE Ilha.

	Relação A/M	IVL	SSed	SSTTa	SSVTa	D. Floco	pH	DBO	Efic. DBO	SST	Efic. SST	PFLA	IBL
DENS.	-0,204	0,343	0,213	0,140	0,126	0,392*	0,201	-0,105	0,281	-0,319	0,338	-0,040	0,416*
AMN	-0,033	0,399*	0,293	0,088	0,030	0,313	0,358*	-0,209	0,231	-0,322	0,265	-0,125	0,258
TAM	-0,044	0,050	0,179	0,136	0,059	-0,124	-0,221	-0,160	0,345*	-0,170	0,269	-0,210	0,218
PFLA	-0,312	0,042	0,220	0,402*	0,445*	0,184	-0,048	0,138	0,435*	-0,096	0,032	1,000	0,007
CT	-0,202	0,341	0,206	0,134	0,121	0,390*	0,203	-0,102	0,283	-0,314	0,334	-0,046	0,405*
CPF	-0,261	0,411*	0,400*	0,229	0,176	0,081	0,350*	-0,132	0,272	-0,361*	0,349*	-0,063	0,482*
CF	0,042	-0,038	-0,248	-0,111	-0,073	0,526*	-0,103	0,009	0,069	-0,005	0,044	0,019	-0,053
CLN	-0,121	0,249	0,332	0,158	0,233	-0,073	-0,237	-0,003	0,166	-0,121	0,179	-0,053	0,432*
MTZ	0,145	-0,302	-0,131	-0,039	0,004	-0,211	0,057	-0,086	0,092	0,196	-0,182	-0,106	0,299
Nº TÁX	-0,315	0,188	0,402*	0,399*	0,340*	0,041	-0,041	-0,220	0,298	-0,424*	0,489*	0,010	0,851*
IBL	-0,355	0,352	0,438*	0,361*	0,318	0,087	0,094	-0,105	0,291	-0,373*	0,520*	0,007	1,000
DFloco	-0,117	0,083	0,012	0,126	0,148	1,000	-0,054	0,039	-0,168	-0,074	0,106	0,184	0,087
FILAM	-0,639*	0,434*	0,596*	0,620*	0,572*	0,029	0,149	0,065	0,118	-0,346*	0,401*	0,220	0,498*

Rel. A/M – relação alimento/micro-organismo; IVL – Índice Volumétrico de Lodo; SSed – sólidos sedimentáveis; SSTTa – sólidos em suspensão totais no tanque de aeração; SSVTa – sólidos em suspensão voláteis no tanque de aeração; D. floco – diâmetro do floco; DBO – demanda bioquímica de oxigênio; Efic. DBO – Eficiência de remoção de DBO; SST – sólidos em suspensão total no efluente; Efic. SST – eficiência de remoção de SST no efluente; PFLA – pequenos flagelados; IBL – Índice Biótico de lodo; DENS. – densidade de organismos; AMN – amebas nuas; TAM – tecamebas; CT – ciliados totais; CPF – ciliados predadores de floco; CF – ciliados sésseis; CLN – ciliados livre-natantes; MTZ – micrometazoários; Nº táxons – número de táxons; FILAM – comprimento dos filamentos.

*É significativo a 5% de probabilidade pelo teste t.

4.3.1 Avaliação da densidade de organismos

As análises quantitativas da microfauna, densidade total de organismos e densidade de organismos pertencentes aos grupos morfofuncionais de cada ETE estão apresentados nas figuras 4.9 a 4.13. As médias dos números total de organismos foram: $1,35 \times 10^7$ organismos.L⁻¹ na ETE Alegria; $5,21 \times 10^6$ organismos.L⁻¹ na ETE Pavuna; $3,46 \times 10^6$ organismos.L⁻¹ na ETE Sarapuú; $1,10 \times 10^7$ organismos.L⁻¹ na ETE Penha; e ; $1,18 \times 10^7$ organismos.L⁻¹ na ETE Ilha.

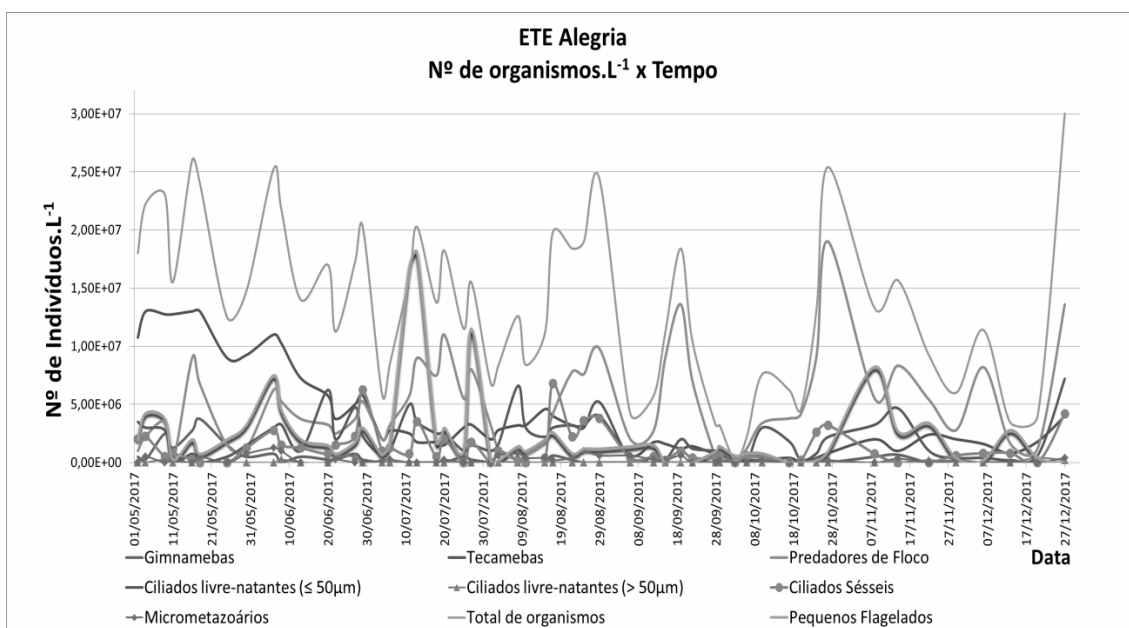


Figura 4.9: Gráfico da distribuição do número de organismos.L⁻¹ do lodo ativado da ETE Alegria.

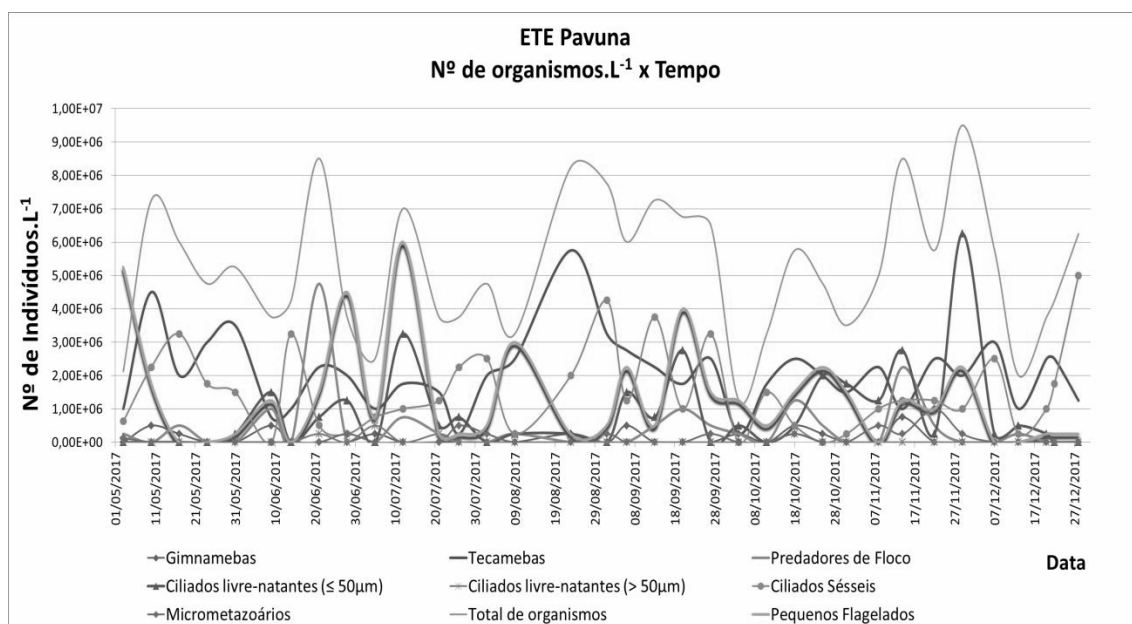


Figura 4.10: Gráfico da distribuição do número de organismos.L⁻¹ do lodo ativado da ETE Pavuna.

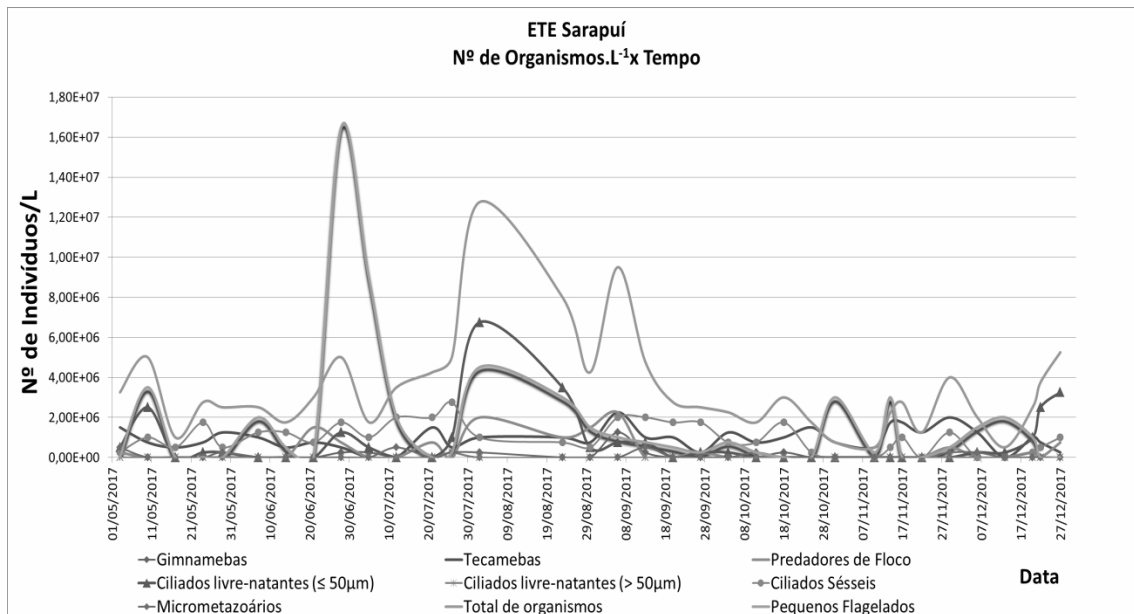


Figura 4.11: Gráfico da distribuição do número de organismos.L⁻¹ do lodo ativado da ETE Sarapuí.

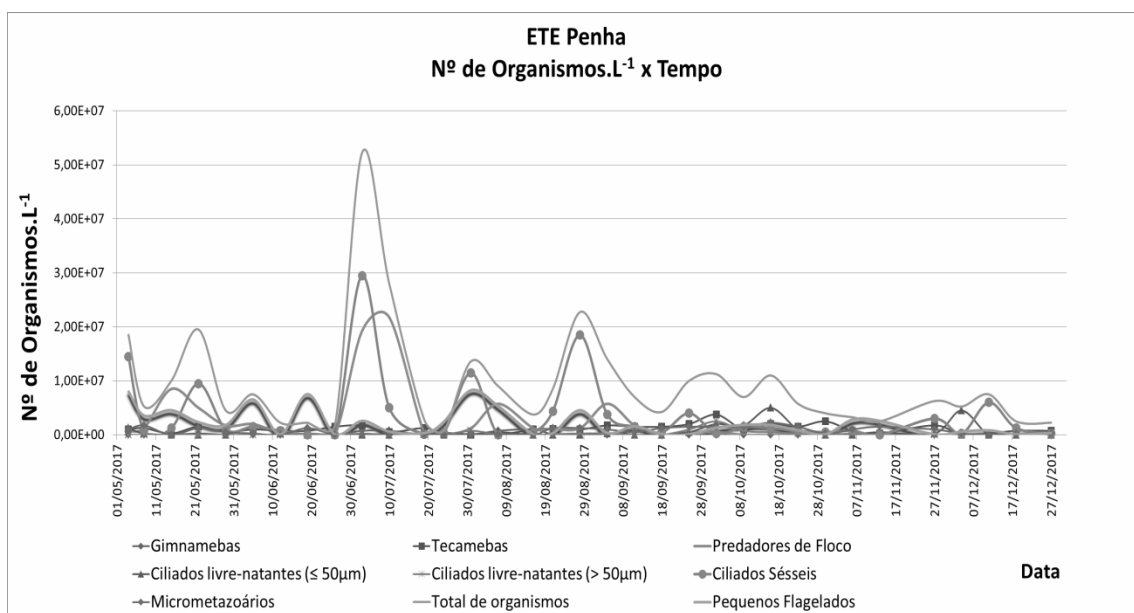


Figura 4.12: Gráfico da distribuição do número de organismos.L⁻¹ do lodo ativado da ETE Penha.

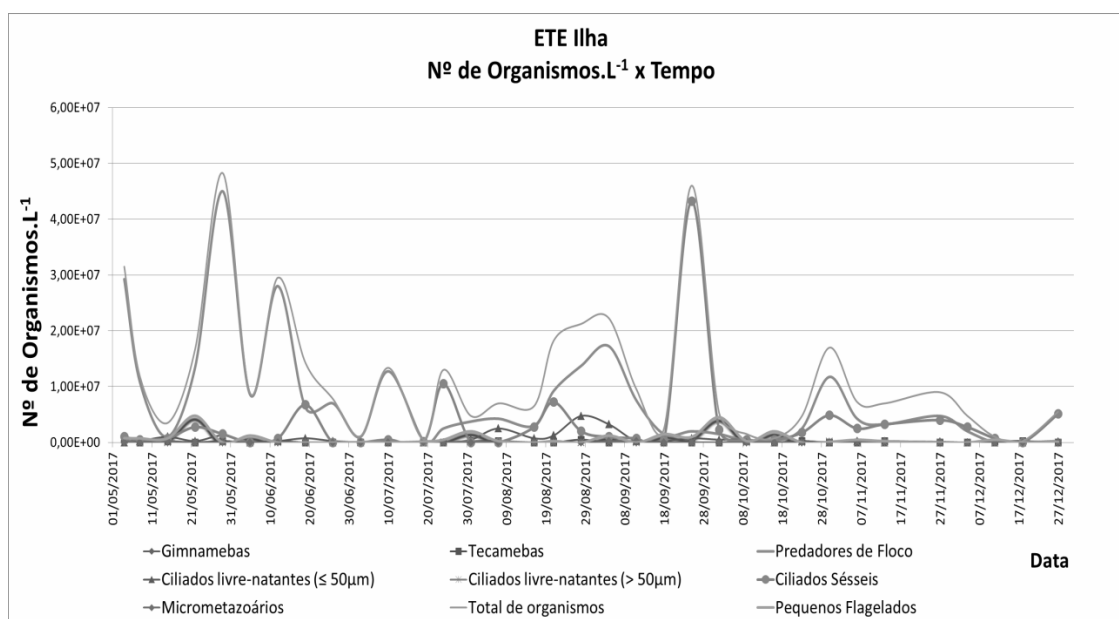


Figura 4.13: Gráfico da distribuição do número de organismos/L⁻¹ do lodo ativado das ETES Ilha.

Os dados de número total de organismos por litro das ETES Alegria, Pavuna e Penha se mantiveram acima de 10^6 durante todo o período estudado e indicam um tratamento adequado, segundo Madoni (1994) e De Marco (1991), apesar da eficiência de remoção de DBO e SST de cada ETE ter variado ao longo do período. Já nas ETES Sarapuí e Ilha, o número total de organismos por litro se manteve acima de 10^6 na maior parte do período estudado, entretanto em 8,6% (dias 31/10, 10/11 e 13/12/17) e 8,8% (19/7/17, 16/10/17 e 18/12/17) das amostras, respectivamente, foram encontrados 10^5 organismos.L⁻¹. As análises estatísticas não mostraram correlações significativas entre o número total de organismos presentes no lodo ativado das ETES Sarapuí e Ilha e a eficiência de remoção de DBO (tabelas 4.6 e 4.8). Os dados apresentados indicam não ser este parâmetro o melhor a ser utilizado como indicador da eficiência do tratamento realizado pelas ETE estudadas.

Tourinho *et al.* (2014) durante avaliação do lodo ativado da ETE Alegria também encontraram número de organismos total maior 10^6 organismos.L⁻¹ durante todo o período monitorado e correlacionaram esse resultado com a ocorrência de um tratamento adequado.

De acordo com as análises estatísticas, foi possível observar para a ETE Alegria, correlação negativa significativa (-0,494) entre o número total de organismos por litro no lodo e o volume de chorume recebido (tabela 4.4), indicando que o aumento do volume de chorume contribuiu para a queda do número de organismos no lodo. O mesmo pôde ser observado no estudo realizado por Nascentes *et al.* (2015), ao longo do experimento

foi possível observar que após a introdução ou aumento da concentração de chorume, houve queda significativa de biodiversidade e redução na atividade dos microrganismos do lodo ativado. Albuquerque (2012), em seus experimentos, também observou decréscimo de protozoários à medida que foi aumentada a proporção de chorume, os resultados indicaram efeitos de toxicidade do chorume sobre o desempenho do sistema de lodos ativados.

Para a ETE Sarapuí foi possível observar correlação positiva significativa (0,445) entre o número total de organismos por litro no lodo e a concentração de OD (tabela 4.6). Esses dados indicaram a influência da concentração de OD na microfauna do lodo ativado da ETE e a importância da manutenção de concentrações apropriadas de OD para a manutenção da microfauna.

Para as ETES Pavuna, Penha e Ilha, durante todo o período estudado não se observaram correlações significativas entre o número total de organismos no lodo e os demais parâmetros avaliados (tabela 4.5, 4.7 e 4.8).

4.3.2 Riqueza de espécies

Uma forma de se avaliar essa diversidade é através da riqueza de espécies medida através do número de unidade taxonômica/táxons identificados. Na figura 4.14 está representada a variação dos números de unidades taxonômicas identificadas no lodo ativado das ETES Alegria, Pavuna, Sarapuí, Penha e Ilha.

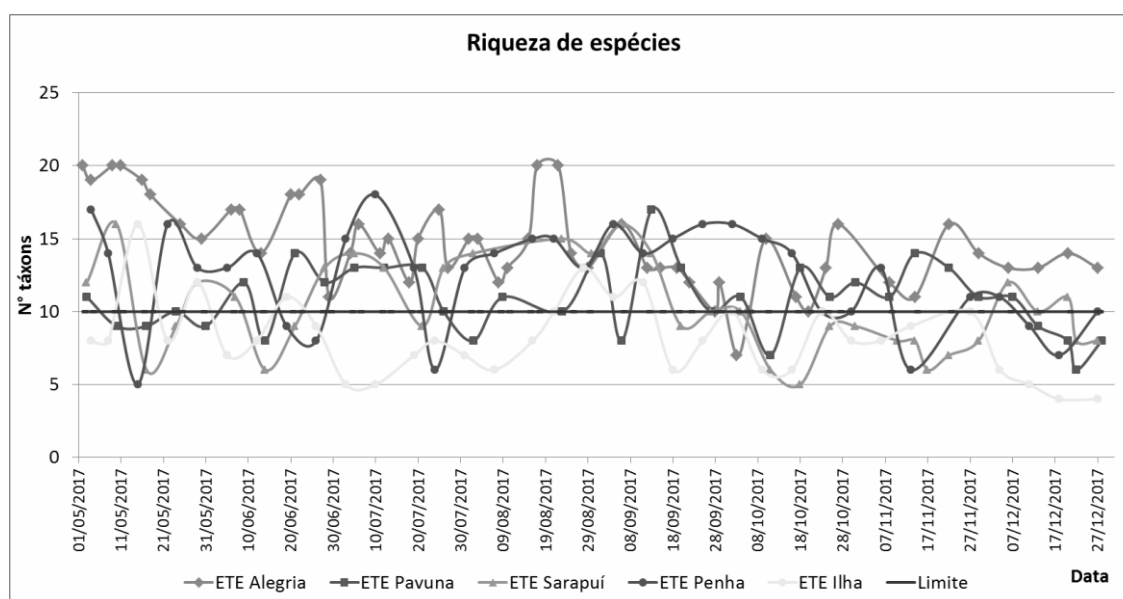


Figura 4.14: Gráfico da riqueza de organismos da microfauna dos lodos ativados das ETES Alegria, Pavuna, Sarapuí, Penha e Ilha expressa pelo número de táxons identificados por litro. A linha vermelha indica o valor a partir do qual a riqueza de espécies é adequada e indicativa de bom desempenho de depuração.

Na ETE Alegria o número de unidades taxonômicas observadas ficou acima de 10 na maior parte do período monitorado chegando a apresentar a ocorrência de 20 táxons (figura 4.14). Tourinho *et al.* (2013) observaram que a riqueza de espécies do lodo ativado da ETE Alegria apresentou variações entre 11 e 19 unidades taxonômicas no período estudado. Segundo Madoni (1994), uma microfauna diversificada é essencial para a qualidade biótica do lodo e conseqüentemente para a obtenção de um efluente de qualidade. Os resultados apresentados indicando uma boa diversidade de espécies dentro do biorreator (Madoni, 2004). Ocorreu uma exceção no dia 03/10, dia que apresentou número de táxons igual a 7. Essa data condiz com a ocorrência de problemas nos sopradores de ar que fornecem oxigênio dissolvido ao tanque de aeração (30/09), problema que causou perda de biomassa de organismos e aumento da relação A/M.

Os estudos estatísticos mostraram correlação negativa significativa entre o número de táxons observados e o volume de chorume recebido, a relação A/M, o tamanho do floco e o pH (tabela 4.4) indicando que o aumento desses parâmetros contribuiu para a diminuição da riqueza de espécies do lodo ativado da ETE Alegria. As análises estatísticas dos dados corroboraram com o observado na planta, já que o aumento da relação A/M provocada pela perda de sólidos apresentou correlação estatística significativa com a riqueza de espécies do lodo ativado da ETE Alegria.

Na ETE Pavuna os resultados de número de táxons observados variaram entre 6 e 17 durante o período monitorado (figura 4.14). A riqueza de espécies se manteve adequada em 69% do período estudado. A análise estatística mostrou correlação negativa significativa entre o número de táxons observados e o SSTTA (-0,361) indicando que a operação do tanque de aeração com alta concentração de sólidos suspensos totais afetou negativamente a diversidade de espécies do lodo ativado da ETE Pavuna.

Na ETE Sarapuí os resultados de número de táxons observados variaram entre 5 e 16 durante o período monitorado (figura 4.14). A riqueza de espécies se manteve adequada em 51% do período estudado. A análise estatística mostrou correlação positiva significativa entre o número de táxons observados e a concentração de OD no tanque de aeração (0,602) indicando que o aumento da concentração de OD no tanque de aeração favoreceu ao aumento de riqueza de espécies encontradas na ETE Sarapuí.

Na ETE Penha os resultados de número de táxons observados variaram entre 5 a 18 durante o período monitorado (figura 4.14). A riqueza de espécies se manteve adequada em 79% do período estudado. As análises estatísticas não mostraram correlações significativas entre esse parâmetro e os demais parâmetros avaliados (tabela 4.7).

Na ETE Ilha os resultados de número de táxons observados variaram entre 6 e 17 durante o período monitorado (figura 4.14). A riqueza de espécies se manteve acima de 10 em 29% do período estudado. As análises estatísticas mostraram correlações positivas significativas entre esse os parâmetros SSTTA, SSVTA, SSed e eficiência de remoção de SST e correlação negativa significativa com o SST do efluente. Os dados indicam que no tanque de aeração, que estava sendo operado com concentração SSTTA na faixa adequada ao tipo de tratamento, a perda de sólidos ocorrida afetou negativamente a diversidade de espécies do lodo ativado da ETE Ilha. Os dados indicaram ainda que a diminuição da riqueza de espécies no lodo ativado da ETE Ilha contribuiu para o aumento do SST no efluente e diminuição de eficiência de remoção de SST, afetando assim ao tratamento realizado pela ETE.

As médias dos números de táxons identificados nos lodos ativados das cinco ETEs estão apresentadas na tabela 4.9. É possível observar que a única ETE que não apresentou média com riqueza adequada de espécies no período estudado foi a ETE Ilha.

Tabela 4.9: Média do número de táxons encontrados por ETE estudada no período de maio a dezembro/2017.

ETE	Média do n° de táxons
Alegria	14,6
Pavuna	10,9
Sarapuí	10,4
Penha	12,5
Ilha	8,2

O número de unidades taxonômicas nas ETEs Alegria, Pavuna, Sarapuí e Penha se mantiveram acima de 10 na maior parte do período monitorado. Segundo Madoni (1994), a microfauna de uma planta normalmente funcional é quase sempre altamente diversificada, composta por um grande número de espécies (> 10), neste caso, nenhuma espécie é dominante numericamente sobre os outros organismos, mesmo que as proporções entre várias espécies sejam diferentes e dessa forma tem-se um bom desempenho no tratamento realizado pela ETE. Na ETE Ilha em que o número de unidades taxonômicas foi menor que 10 na maior parte do período monitorado, foi observada correlação com a eficiência de remoção de SST no efluente.

Segundo Curds e Cockburn (1970) o número de espécies diminui com o aumento da carga orgânica. Os dados apresentados para o lodo da ETE Alegria corroboram esta afirmação, pois foi verificado que o aumento da relação A/M contribuiu para a diminuição

do número de táxons observados nessa ETE. Além disso, foi possível observar ainda que a ETE que apresentou maior relação A/M no período monitorado, a ETE Ilha, também foi a que apresentou o menor número de espécies.

De acordo com Madoni (1994) as condições limitantes da diversidade de espécies no lodo ativado mais comuns são geralmente a presença de uma carga de choque de material tóxico e o excesso de resíduos de lodo o que corrobora as correlações encontradas nos lodos ativados das ETEs Alegria, Sarapuí e Pavuna.

4.3.3 Dominância das espécies

Para a observação do comportamento e dominância dos grupos morfofuncionais presentes nos lodos ativados das ETEs estudadas os resultados da densidade da microfauna serão apresentados através da porcentagem dos grupos. Os resultados das porcentagens de cada grupo ao longo do período estudado nos lodo ativado das ETE Alegria, Pavuna, Sarapuí, Penha e Ilha estão apresentados nas figuras 4.15 a 4.19.

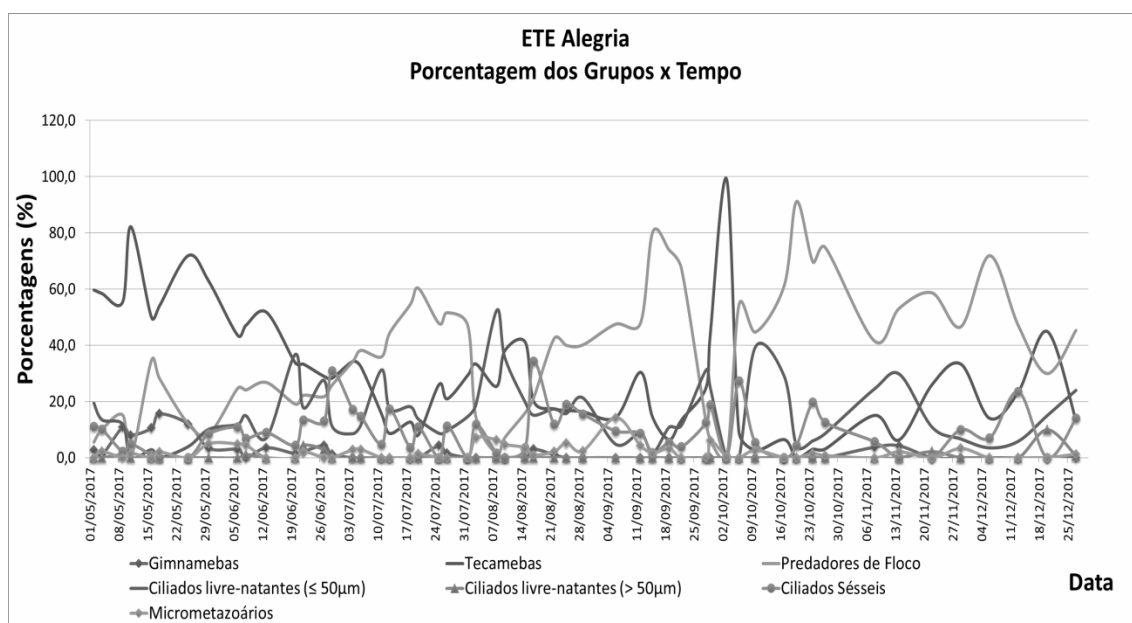


Figura 4.15: Gráfico da porcentagem dos grupos morfofuncionais da microfauna no lodo ativado da ETE Alegria.

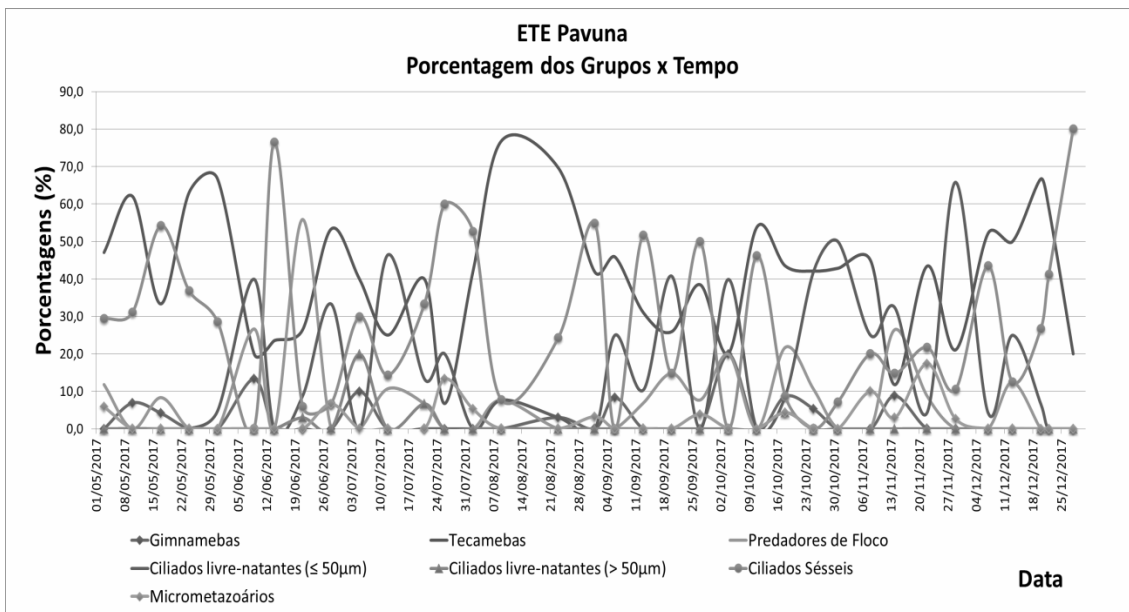


Figura 4.16: Gráfico da porcentagem dos grupos morfofuncionais da microfauna no lodo ativado da ETE Pavuna.

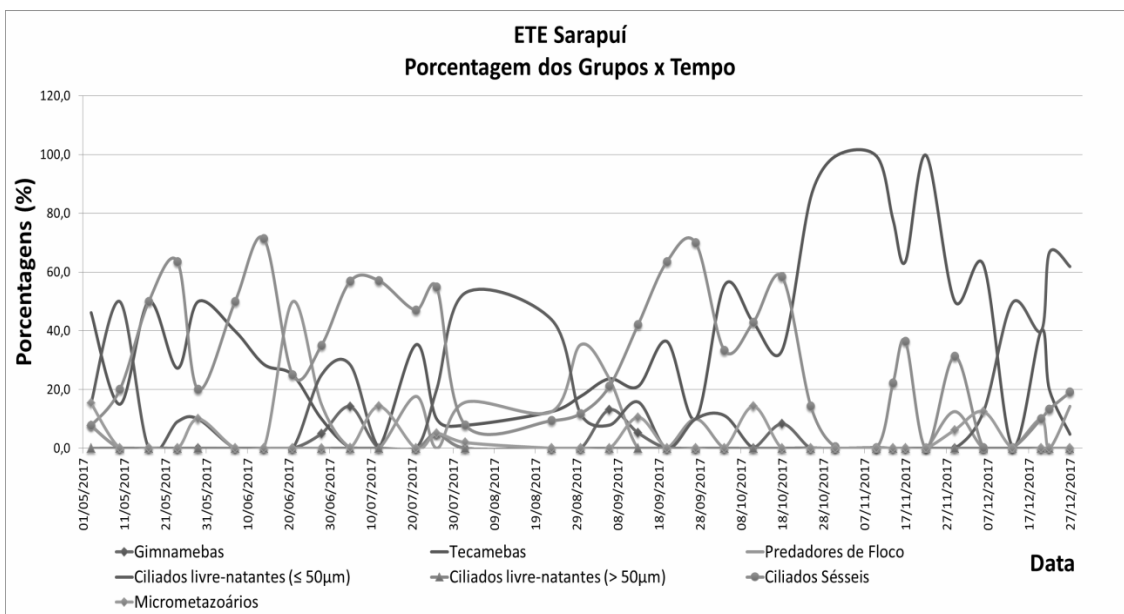


Figura 4.17: Gráfico da porcentagem dos grupos morfofuncionais da microfauna no lodo ativado da ETE Sarapuí.

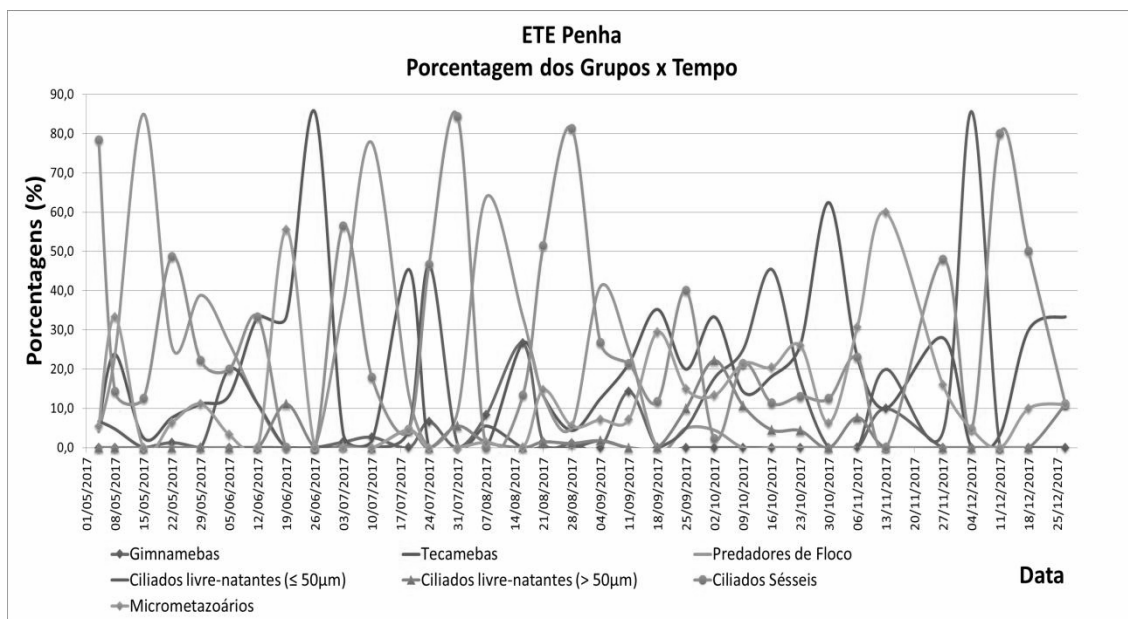


Figura 4.18: Gráfico da porcentagem dos grupos morfofuncionais da microfauna no lodo ativado da ETE Penha.

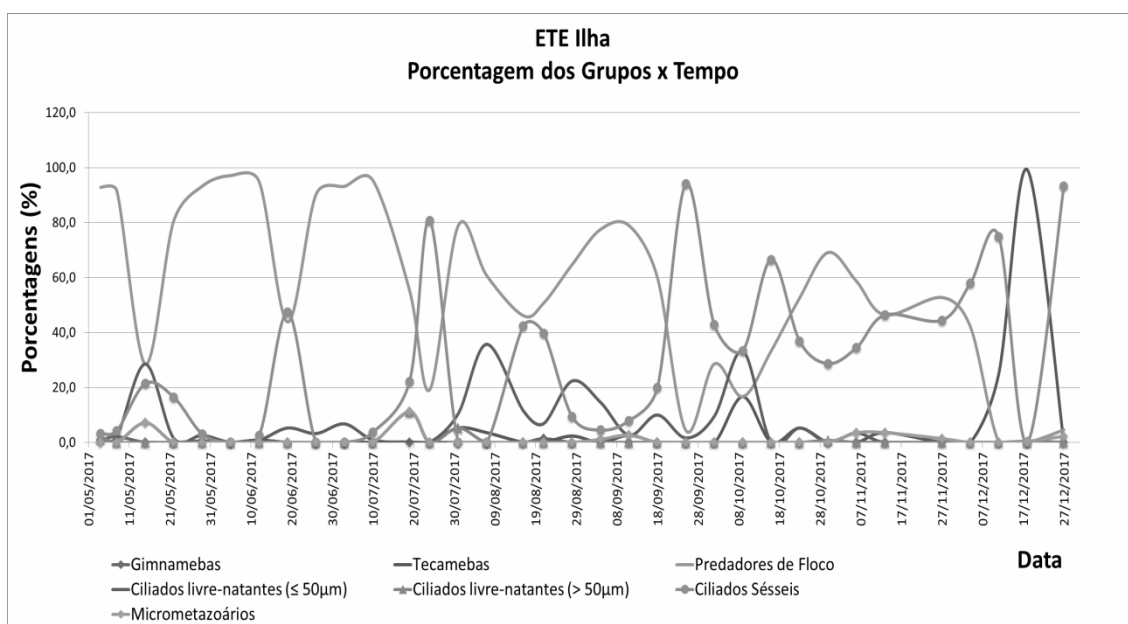


Figura 4.19: Gráfico da porcentagem dos grupos morfofuncionais da microfauna no lodo ativado da ETE Ilha.

Ao longo do período monitorado o lodo ativado na ETE Alegria apresentou a dominância relativa dos seguintes grupos: ciliados predadores de floco (57%), tecamebas (33%), ciliados livre-natante bacterívoros (6%) e ciliados sésseis (4%). Na ETE Pavuna a dominância relativa foi dos seguintes grupos: tecamebas (54%), ciliados sésseis (23%), ciliados livre-natante bacterívoros (20%) e ciliados predadores de floco (3%). Na ETE Sarapuí de tecamebas (43%), ciliados sésseis (34%), ciliados livre-natante bacterívoros (17%) e ciliados predadores de floco (6%). Na ETE Penha de ciliados sésseis (35%),

ciliados predadores de floco (24%), tecamebas (21%), micrometazoários (12%), ciliados livre-natante bacterívoros (9%) e Na ETE Ilha de ciliados predadores de floco (68%), ciliados sésseis (29%) e tecamebas (3%). Na figura 4.20 estão apresentados gráficos das dominâncias relativas dos grupos da microfauna em cada ETE estudada.

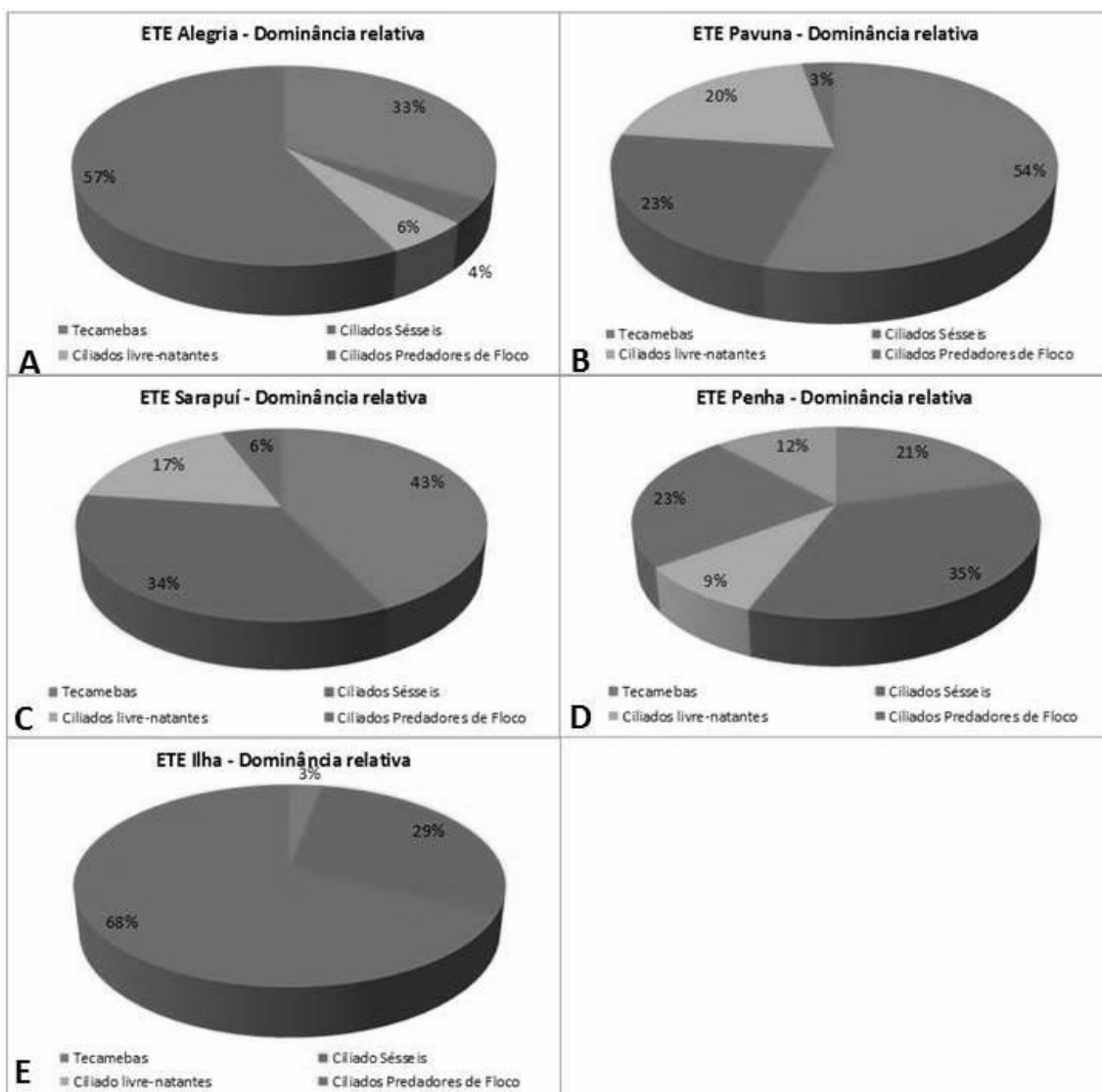


Figura 4.20: Gráfico das dominâncias relativas da microfauna de lodos ativados. A. ETE Alegria; B. ETE Pavuna; C. ETE Sarapuí; D. ETE Penha; E. ETE Ilha.

Segundo Bento *et al.* (2005), Jenkins *et al.* (1993), Madoni (1994) e Figueiredo *et al.* (2012), um bom desempenho do sistema está diretamente relacionado às espécies dominantes no processo. No presente estudo, a densidade e a dominância dos grupos foram alternadas ao longo do tempo, segundo o esperado, conforme mostrado nas figuras 4.15 a 4.19.

De acordo com Madoni (1994), um sistema que apresente a dominância de ciliados predadores de floco, ciliados sésseis (exceto *Vorticella microstoma* e *Opercularia* spp) ou de tecamebas é indicativo de um bom tratamento do efluente. Zhou *et al.* (2008) também associaram os ciliados predadores de floco e tecamebas à qualidade do tratamento. Portanto, os resultados obtidos indicam que o tratamento realizado nas ETES Alegria, Pavuna, Sarapuí, Penha e Ilha apresentaram boa depuração na maior parte do período estudado.

Segundo Madoni (1994), ciliados melhoram a qualidade do efluente, especialmente por serem predadores de bactérias em suspensão, as quais tendem a ser perdidas no efluente, aumentando sua turbidez.

Madoni (1981 *apud* FIGUEIREDO, 2012) e Foissner (2016) correlacionaram a dominância de ciliados livre-natantes a sistemas de lodos ativados que apresentam desempenho mediano. Segundo Madoni (1994) a dominância dos ciliados livre-natantes costuma ser sempre acompanhada pelos pequenos flagelados (codominância), neste caso indica um lodo jovem em via de formação, ou uma idade de lodo muito baixa ou um lodo pouco oxigenado. Nos casos de uma ETE em fluxo contínuo a presença dos ciliados livre-natantes pode indicar a perda de biomassa no tanque de aeração e conseqüentemente nova formação do lodo. Foissner (2016) mencionou que ciliados livre-natantes dominam em plantas com baixo tempo de retenção, oxigenação insuficiente e apresentam relação positiva com a DBO do efluente.

A dominância de tecamebas, conforme observado no lodo da ETE Pavuna, Sarapuí e na ETE Alegria no início do monitoramento, segundo Vazollér (1989) e Madoni (1994, 2004) indica uma boa depuração. Entretanto, uma microfauna dominada por uma espécie é um índice de desequilíbrio trófico devido à existência de fatores limitantes que impedem o desenvolvimento da maioria das outras espécies e favorecem o crescimento de formas mais tolerantes a esses fatores (MADONI, 1993). Segundo esse mesmo autor condições limitantes mais comuns são geralmente a presença de uma carga de choque de material tóxico, a deficiência na aeração e o excesso de sólidos suspensos no lodo. Os resultados observados são corroborados pelo descrito pelo autor já que é possível haver efeito tóxico do recebimento de chorume na microfauna da ETE Alegria e nas ETES Pavuna e Sarapuí ocorreu excesso de sólidos em suspensão nos tanques de aeração.

A dominância de ciliados sésseis em codominância com ciliados predadores de flocos, como é o caso da maior parte dos ciliados sésseis encontrados nas ETES estudadas indica uma boa depuração. Entretanto, quando estes estão acima de 80% da microfauna,

devido a seu crescimento rápido e maciço, indica um fenômeno transitório de retirada de lodo, carga descontínua ou reciclo insuficiente (MADONI, 1994). Os ciliados sésseis foram encontrados como dominâncias relativas altas nos lodos ativados das ETEs Pavuna (23%), Sarapuí (34%), Penha (35%) e Ilha (29%). Segundo Curds e Cockburn (1970), os ciliados sésseis são capazes de crescer ao longo de uma grande variedade de cargas no lodo.

A dominância de micrometazoários indica idade do lodo elevada (SAAR, 2015; BENTO *et al.*, 2002, 2005); esses organismos só foram encontrados como grupo dominante no lodo da ETE Penha, que apesar de não ser possível o cálculo da idade do lodo é possível afirmar através das observações operacionais que a ETE Penha apresentou alta idade de lodo durante a realização do estudo.

Tourinho *et al.* (2014) encontraram microfauna com dominância por ciliados predadores de floco e, posteriormente, por tecamebas no lodo ativado da ETE Alegria, sugerindo uma boa colonização e boa depuração da matéria orgânica ao longo dos meses de estudo.

4.3.4 Índice biótico de lodo

A variação do Índice Biótico de Lodo nas ETEs Alegria Pavuna, Sarapuí, Penha e Ilha podem ser observadas na figura 4.21.

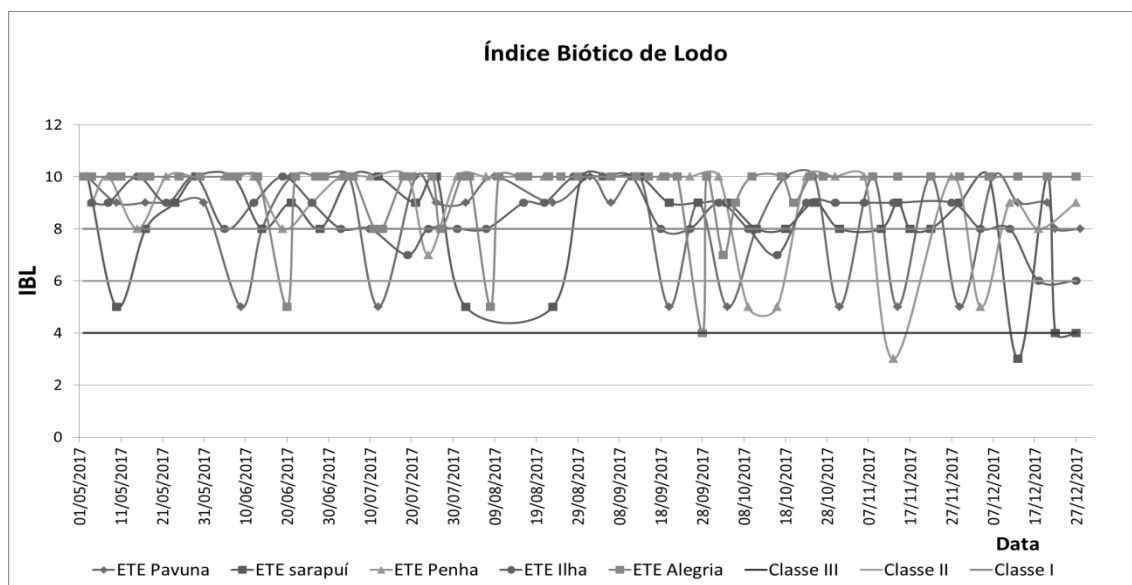


Figura 4.21: Gráfico da variação do Índice Biótico de Lodo das ETEs Alegria, Pavuna, Sarapuí, Penha e Ilha no período de maio a dezembro de 2017.

No lodo ativado da ETE Alegria foram encontrados IBL variando entre 4 e 10, o lodo apresentou classe I na maior parte do período estudado (93%). Lodos de classe II foram encontrados em 2% do período estudado e ocorreram devido à influência da diminuição da densidade da microfauna no dia. Já os lodos de classe III foram encontrados em 6% do período estudado e ocorreram quando o grupo dos ciliados livre-natantes foi o grupo chave dominante.

No lodo ativado da ETE Pavuna foram encontrados IBL variando entre 5 e 10, o lodo apresentou classe I na maior parte do período estudado (80%). Lodos de classe III foram encontrados em 20% do período estudado e ocorreram quando o grupo dos ciliados livre-natantes foi o grupo chave dominante.

No lodo ativado da ETE Sarapuí foram encontrados IBL variando entre 3 e 10, o lodo apresentou classe I na maior parte do período estudado (83%). Lodos de classe III foram encontrados em 14% do período estudado e ocorreram quando o grupo dos ciliados livre-natantes foi o grupo chave dominante. Já os lodos de classe IV foram encontrados em 6% do período estudado e ocorreram quando o grupo dos ciliados livre-natantes foi o grupo chave dominante associados à diminuição da densidade da microfauna. .

No lodo ativado da ETE Penha foram encontrados IBL variando entre 3 e 10, o lodo apresentou classe I na maior parte do período estudado (85%). Lodos de classe II foram encontrados em 3% do período estudado e ocorreram devido à diminuição da densidade da microfauna. Lodos de classe III foram encontrados em 9% do período estudado e ocorreram quando o grupo dos ciliados livre-natantes foi o grupo chave dominante. Já os lodos de classe IV foram encontrados em 3% do período estudado e ocorreram quando o grupo dos ciliados livre-natantes foi o grupo chave dominante associados à diminuição do número de táxons observados.

No lodo ativado da ETE Ilha foram encontrados IBL variando entre 6 e 10, o lodo apresentou classe I na maior parte do período estudado (88%). Lodos de classe II foram encontrados em 12% do período estudado e ocorreram devido à diminuição da densidade da microfauna.

Tourinho *et al.* (2014) em monitoramento da ETE Alegria observaram lodo enquadrado na classe I segundo Madoni (1994) durante todo o período estudado. O enquadramento foi corroborado pelos resultados mensais de DBO₅ e sólidos suspensos totais (SST) dos efluentes, que se mantiveram dentro dos limites estabelecidos pela legislação estadual do Rio de Janeiro.

As análises estatísticas apresentaram as correlações positivas significativas entre o IBL e os seguintes grupos: tecamebas no lodo da ETE Pavuna (0,358), ciliados totais, ciliados predadores de floco e número total de organismos no lodo da ETE Ilha (0,405; 0,421; 0,416, respectivamente) e número de táxons observados nos lodos das ETES Alegria, Penha e Ilha (0,280; 0,435; 0,850, respectivamente).

Correlações negativas significantes foram encontradas entre os seguintes grupos: grandes flagelados nos lodos ativados das ETES Alegria e Pavuna (-0,296 e -0,386) e ciliados livre-natantes nos lodos das ETES Pavuna, Sarapuí e Penha (-0,621; -0,605; -0,571, respectivamente).

Os resultados encontrados condizem com os estudos realizados por Madoni (1994) que estabeleceu como grupos chave positivos os ciliados predadores de flocos, os ciliados sésseis e as tecamebas e negativos os pequenos flagelados e os ciliados livre-natantes.

As análises estatísticas apresentaram correlação positiva significativa entre o IBL e a eficiência de remoção de SST no efluente da ETE Ilha (0,489) e correlação negativa significativa entre o IBL e o SST do efluente da ETE Ilha (-0,346). Os resultados apresentados mostram a relação entre o IBL e a eficiência do tratamento e qualidade do efluente na ETE Ilha e indicaram que o IBL pode ser um índice utilizado para a avaliação do desempenho da ETE.

Os resultados apresentados mostram que as ETES Alegria, Pavuna, Sarapuí, Penha e Ilha apresentaram lodos enquadrados na Classe I, segundo Madoni (1994) na maior parte do período monitorado. Essa classe indica um lodo muito bem colonizado e estável, ótima atividade biológica e alta eficiência depurativa.

De uma forma geral, o IBL refletiu a eficiência dos tratamentos realizados pelas ETES estudadas e pôde ser considerado um parâmetro prático para avaliação da qualidade do lodo e eficiência no tratamento.

Diversos autores avaliaram a aplicabilidade do IBL e observaram correlações satisfatórias entre o índice e a qualidade do lodo e a eficiência do tratamento (BENTO *et al.*, 2005; ARÉVALO *et al.*, 2009; SANTOS, 2012; TOURINHO *et al.*, 2014; DOS SANTOS *et al.*, 2014). Outros autores encontraram limitações no uso do IBL como controle operacional ou verificaram que o índice era ineficiente (BENTO *et al.*, 2002; DRZEWICKI & KULIKOWSKA, 2011). Dessa forma, a utilização do IBL deve ser avaliada de acordo com cada caso estudado.

4.4 AVALIAÇÃO DOS FLOCOS BIOLÓGICOS

Os flocos biológicos do lodo da ETE Alegria apresentaram predomínio de flocos médios em 61% do período avaliado (entre 150 e 500 μ m), em 35% foram observados flocos grandes (> 500 μ m) e 4% pequenos (<150 μ m). No início do monitoramento predominavam os flocos médios e no final foi encontrado o maior diâmetro de floco de todo o período estudado (706,2 μ m). O diâmetro dos flocos variou entre 157 e 706,2 μ m e a média do diâmetro dos flocos foi de 407,6 μ m.

Os flocos biológicos do lodo da ETE Pavuna apresentaram-se com predomínio de flocos pequenos (<150 μ m) em 97% do período avaliado e médios (entre 150 e 500 μ m) em 3%. O diâmetro dos flocos variou entre 56,2 e 170,8 μ m e a média do diâmetro dos flocos foi de 87,6 μ m.

Os flocos biológicos do lodo da ETE SarapuÍ apresentaram-se com predomínio de flocos pequenos (<150 μ m) em 94% do período avaliado e médios (entre 150 e 500 μ m) em 6%. O diâmetro dos flocos variou entre 66,8 e 202 μ m e a média do diâmetro dos flocos foi de 101,7 μ m.

Os flocos biológicos do lodo da ETE Penha apresentaram-se com predomínio de flocos pequenos (<150 μ m) em todo o período avaliado. O diâmetro dos flocos variou entre 52,4 e 109 μ m e a média do diâmetro dos flocos foi de 83,2 μ m.

Os flocos biológicos do lodo da ETE Ilha apresentaram-se com predomínio de flocos pequenos (<150 μ m) em 94% do período avaliado e médios (entre 150 e 500 μ m) em 6%. O diâmetro dos flocos variou entre 52,2 e 164 μ m e a média do diâmetro dos flocos foi de 86,4 μ m.

As distribuições dos flocos biológicos nas três faixas de diâmetros e as médias dos diâmetros observados nos lodos ativados das ETEs Alegria, Pavuna, SarapuÍ, Penha e Ilha estão apresentadas nas figuras 4.22 a 4.26.

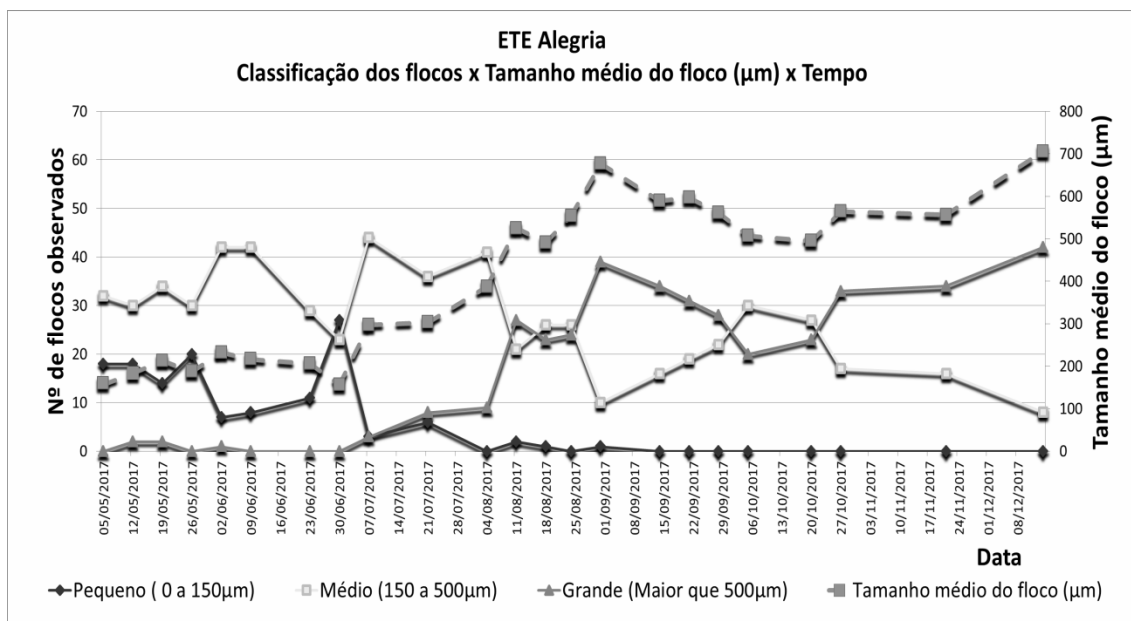


Figura 4.22: Gráfico da distribuição dos flocos observados e média dos diâmetros dos flocos biológicos observados no lodo ativado da ETE Alegria.

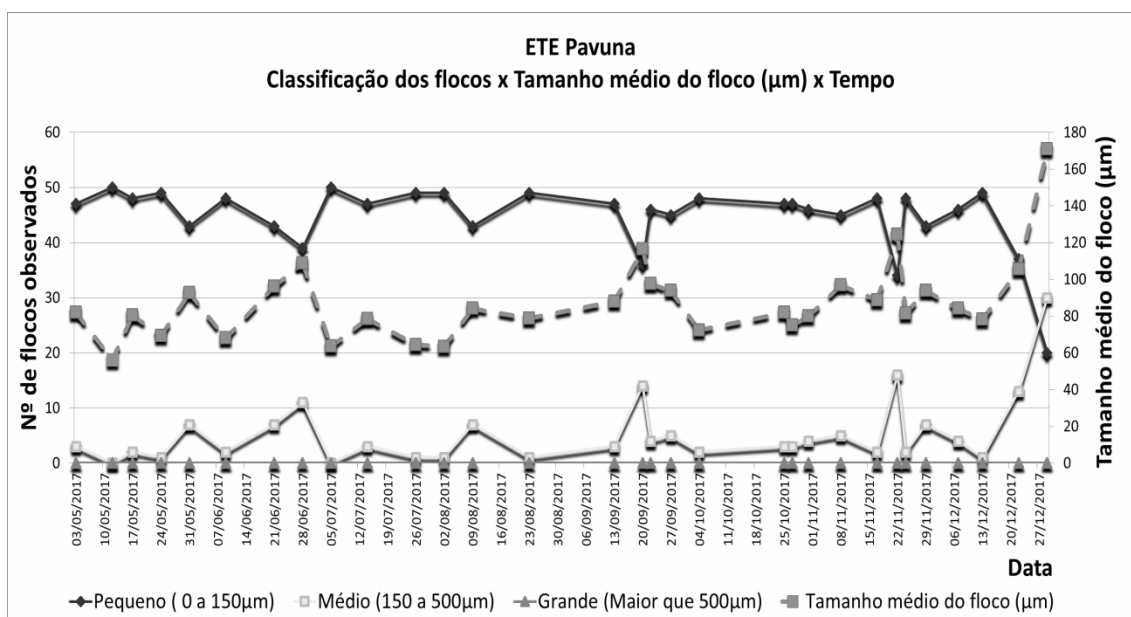


Figura 4.23: Gráfico da distribuição dos flocos observados e média dos diâmetros dos flocos biológicos observados no lodo ativado da ETE Pavuna.

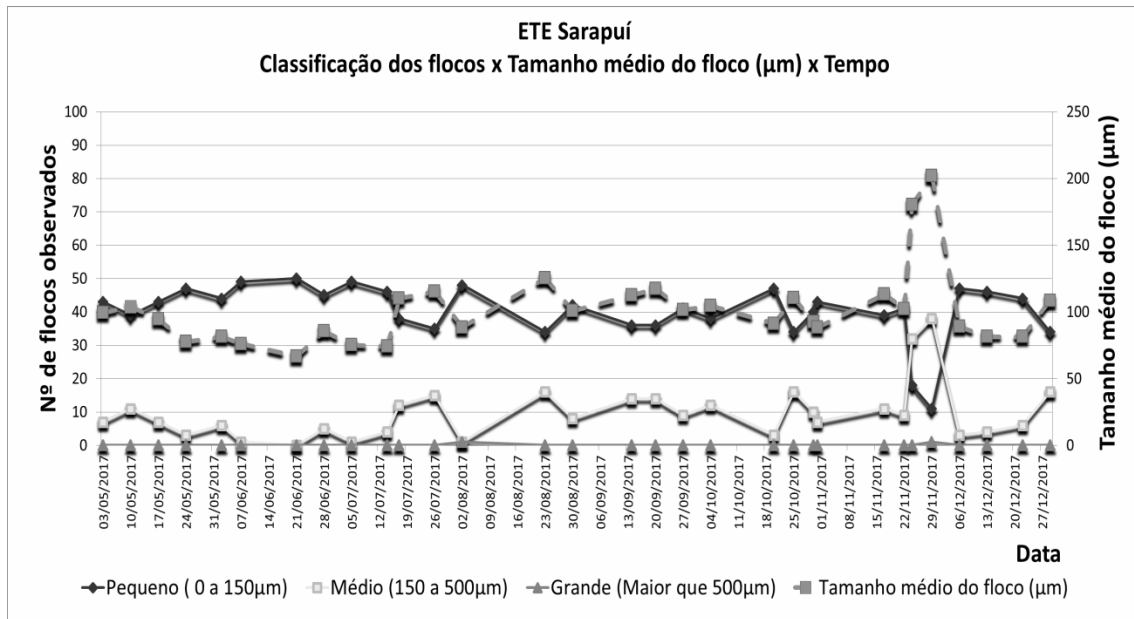


Figura 4.24: Gráfico da distribuição dos flocos observados e média dos diâmetros dos flocos biológicos observados no lodo ativado da ETE Sarapuí.

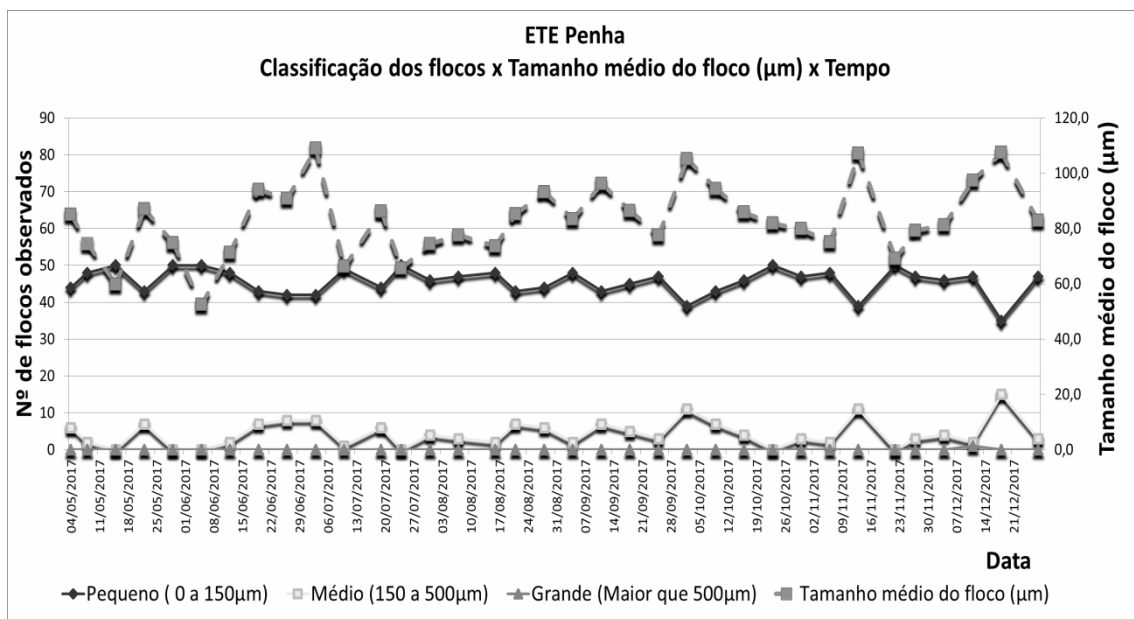


Figura 4.25: Gráfico da distribuição dos flocos observados e média dos diâmetros dos flocos biológicos observados no lodo ativado da ETE Penha.

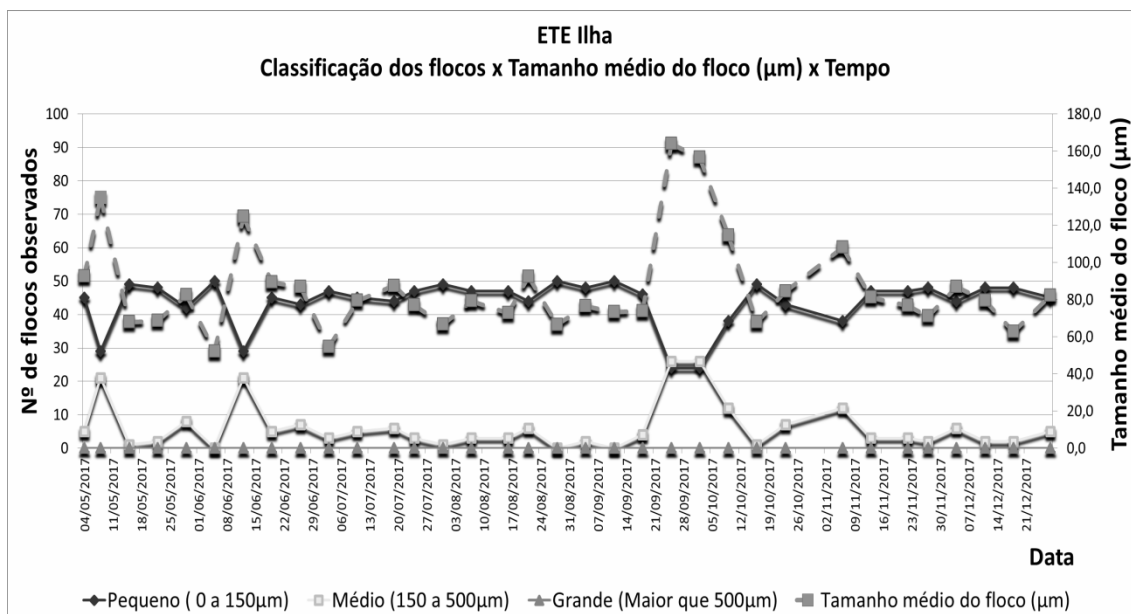


Figura 4.26: Gráfico da distribuição dos flocos observados e média dos diâmetros dos flocos biológicos observados no lodo ativado da ETE Ilha.

De acordo com Vazollér (1989), o diâmetro dos flocos pode variar entre 10 e 800 μm . Os diâmetros dos flocos das ETEs monitoradas variaram de acordo com o descrito na literatura.

Jordão e Pessôa (2014) mencionam que em lodo ativado com diâmetro do floco menor do que 50 μm pode ocorrer perda de sólidos pelo efluente final, pela presença de flocos tipo “*pin-point*”. Não foram observados flocos biológicos menores que 50 μm no lodo ativado das ETEs Alegria, Pavuna, Sarapuí, Penha e Ilha no período estudado.

As análises estatísticas mostraram correlação positiva significativa entre o diâmetro dos flocos do lodo da ETE Alegria e o volume de chorume recebido (0,728), indicando que o aumento do volume de chorume lançado para tratamento na ETE contribuiu para o aumento do diâmetro dos flocos (figura 4.27).

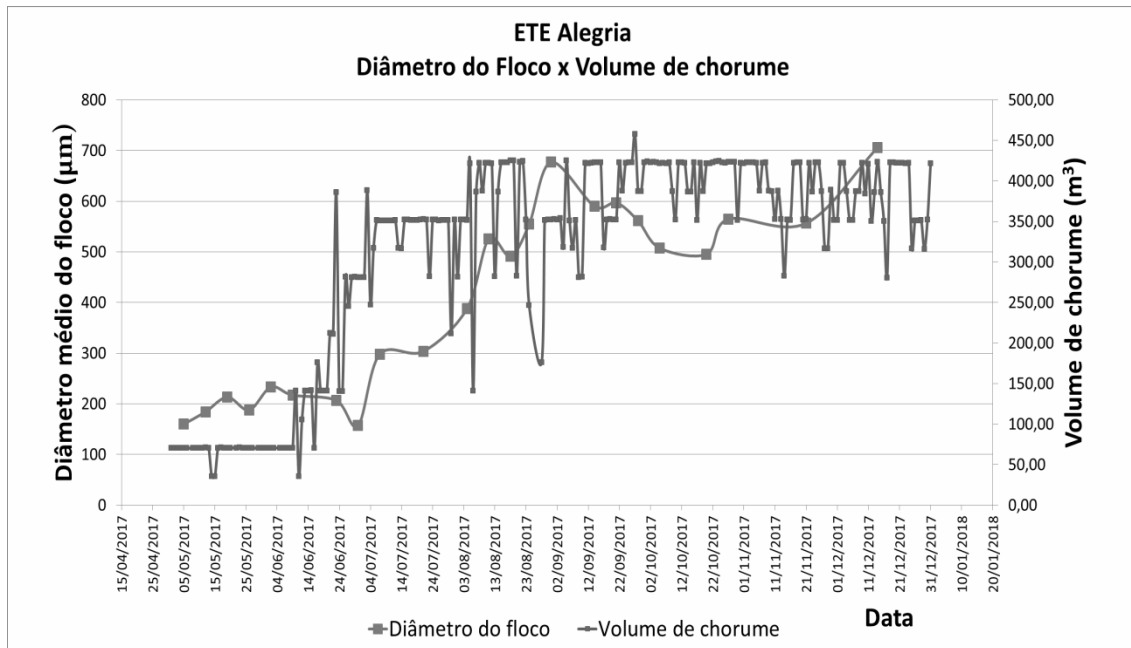


Figura 4.27: Gráfico da distribuição do diâmetro do floco do lodo ativado da ETE Alegria e o volume de chorume recebido.

Uma hipótese que pode explicar a contribuição do chorume no aumento do diâmetro do floco no lodo ativado da ETE Alegria e que precisa ser melhor investigada, é a maior concentração de cátions divalentes como cálcio (Ca^{+2}) e magnésio (Mg^{+2}) no chorume. Esses íons são preponderantes na formação da estrutura dos flocos, pois eles agem como pontes entre exopolímeros carregados negativamente (EPS) e bactérias, sendo o cálcio o cátion mais importante envolvido no processo de floculação dos lodos ativados (ZITA; HERMANSSON, 1994; JIN *et al.*, 2004; SANTOS, 2012).

Tourinho *et al.* (2013) avaliaram o comportamento dos diâmetros do floco na ETE Alegria após o início do recebimento de lixiviado e verificaram a predominância de flocos pequenos (entre 85 e 95%) e médios (5 a 15%). Em 2014, Tourinho *et al.* observaram flocos variando entre 50 e 70 μm no lodo ativado da ETE Alegria. Os resultados apresentados pelos autores e os verificados neste estudo demonstram o aumento do diâmetro do floco do lodo ativado da ETE Alegria ao longo de cerca de quatro anos nos quais houve aumento gradual do volume de chorume recebido para tratamento na ETE Alegria.

Ginoris (2006) realizou análise digital de imagens para caracterizar o lodo ativado da ETE Ilha do Governador, avaliou o diâmetro médio e a morfologia dos flocos encontrando flocos com uma média de 328,6 μm .

O diâmetro do floco do lodo ativado da ETE Penha apresentou correlação significativa positiva com o IVL e os sólidos sedimentáveis (0,368 e 0,457), ou seja, com a sedimentabilidade do lodo.

Na ETE Sarapuí as análises estatísticas mostraram correlação positiva significativa entre o diâmetro do floco e a eficiência de remoção de SST no efluente. Segundo Figueiredo (2012), um floco grande e bem formado costuma ser um requisito para uma boa sedimentação e conseqüentemente um bom desempenho, pois flocos muito pequenos geralmente causam turbidez no efluente, devido à baixa capacidade de sedimentação. O predomínio de flocos pequenos no lodo ativado da ETE Sarapuí pode ter contribuído para a perda de eficiência de remoção de SST no efluente da ETE Sarapuí.

Nos lodos ativados das ETEs Pavuna e Sarapuí as análises estatísticas mostraram correlação positiva significativa entre o diâmetro do floco e a relação A/M (0,426 e 0,387). Segundo Figueiredo (2012), o tamanho dos flocos é dependente da carga orgânica afluente à ETE, da qualidade do esgoto e da turbulência no tanque de aeração. Flocos muito pequenos podem estar relacionados com cargas muito baixas, muita turbulência no tanque de aeração, substâncias tóxicas e grandes concentrações de compostos complexos de difícil degradação.

Figueiredo (2012) correlacionou o tamanho dos flocos e a carga orgânica no tanque de aeração. Quando uma carga muito baixa é aplicada (Relação A/M $<0,025\text{KgDBO/KgSSVTA.d}$) o floco apresenta a tendência de se desintegrar em pequenas partículas, pois não existem nutrientes disponíveis para manter as bactérias formadoras de floco vivas. Os testes estatísticos demonstraram correlação entre a carga orgânica e o diâmetro do floco e a relação A/M nas ETEs Pavuna e Sarapuí, os resultados indicaram que o predomínio de flocos biológicos pequenos nessas ETEs pode ser devido à baixa carga orgânica afluente ao tanque de aeração (representada pela relação A/M).

Em cargas altas (Relação A/M $>0,4$ a $0,6\text{KgDBO/KgSSVTA.d}$) frequentemente são encontrados flocos fracos, pois as bactérias estão menos inclinadas a formar flocos. Essa também pode ser a explicação para o predomínio de flocos biológicos pequenos na ETE Ilha, já que a relação A/M média é de $1,46\text{KgDBO/KgSSVTA.d}$.

Na faixa intermediária formam-se, principalmente, flocos firmes. Caso não sejam encontrados, provavelmente ocorreu alguma perturbação no processo de tratamento. No lodo da ETE Penha, cuja relação A/M média é de $0,16\text{KgDBO/KgSSVTA.d}$, ou seja, na faixa intermediária na qual deveriam predominar os flocos maiores e bem formados, não foi observada correlação entre o diâmetro do floco e a relação A/M. A predominância de

flocos pequenos pode estar relacionada ao cisalhamento provocado pela turbulência nos biorreatores causada pelo tipo de aeração (aeradores mecânicos de superfície). O cisalhamento pode ser um dos fatores que contribuíram para o predomínio de flocos biológicos pequenos no lodo ativado da ETE Ilha já que a ETE também utiliza aeração mecânica nos tanques de aeração. Através dos estudos realizados por Wilén *et al.* (2003) foi possível observar que quando os flocos biológicos são expostos a uma força de cisalhamento (como a aeração mecânica) a fragmentação ocorre e o diâmetro dos flocos é reduzido.

Jordão e Pessoa (2014) mencionaram ainda que em sistemas com elevado gradiente de velocidade, como é o caso de sistemas com aeração mecânica superficial ou ar difuso por bolhas grossas, é realmente comum ocorrer o cisalhamento do floco ao longo do tanque de aeração, não tendo os decantadores secundários condições de refloculação.

Através das análises estatísticas foi possível observar correlação positiva significativa também entre os diâmetros do floco e a população de ciliados totais (0,418) e ciliados sésseis (0,379) nos lodos ativados das ETEs Pavuna (0,418 e 0,379) e Ilha (0,390 e 0,526) indicando que esses organismos contribuíram para a formação dos flocos biológicos nessas ETEs. Os resultados encontrados estão de acordo com os estudos de Madoni (1994) e Pajdak-Stók *et al.* (2017) que mencionaram que os ciliados bacterívoros desempenham papéis importantes no funcionamento do lodo ativado, reduzindo as bactérias dispersas e melhorando a floculação.

4.5 AVALIAÇÃO DE BACTÉRIAS FILAMENTOSAS

De acordo com as medições do comprimento total de filamentos nos lodos ativados das ETE Alegria, Pavuna, Sarapuí, Penha e Ilha, foram encontradas as médias de comprimento dos filamentos apresentadas na tabela 4.10.

Tabela 4.10: Média do comprimento dos filamentos do lodo ativado das ETE Alegria, Pavuna, Sarapuí, Penha e Ilha no período de maio a dezembro de 2017.

ETE	Média do comprimento total dos filamentos ($\mu\text{m.mL}^{-1}$)
Alegria	$4,31 \times 10^8$
Pavuna	$1,32 \times 10^8$
Sarapuí	$2,33 \times 10^8$
Penha	$1,31 \times 10^8$
Ilha	$3,50 \times 10^8$

A variação das medições do comprimento dos filamentos das ETEs Alegria, Pavuna, Sarapuí, Penha e Ilha estão apresentadas na figura 4.28.

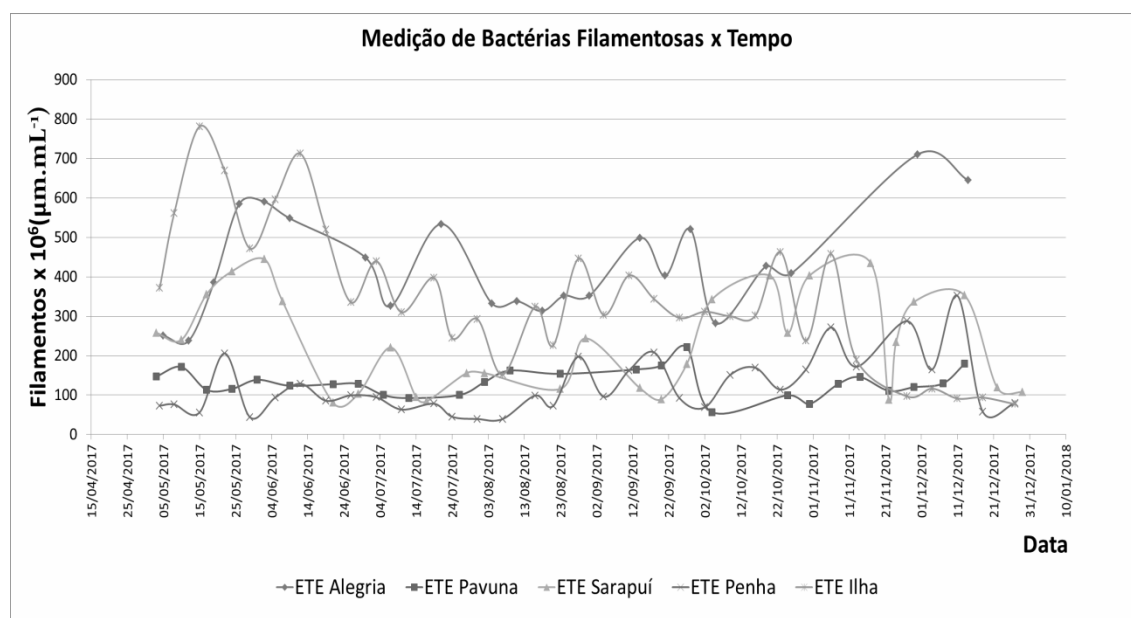


Figura 4.28: Gráfico da variação das medições de bactérias filamentosos nos lodos ativados das ETEs Alegria, Pavuna, Sarapuí, Penha e Ilha no período de maio a dezembro de 2017.

De acordo com os resultados encontrados, foi possível observar que os valores dos comprimentos dos filamentos do lodo ativado de todas as ETEs estudadas se mantiveram acima do valor sugerido por Jenkins *et al.* (2004), de $10^7 \mu\text{m.mL}^{-1}$, ao longo de todo o estudo. Entretanto não foi evidenciada a ocorrência de *bulking* filamentoso através das análises microscópicas. Nas ETEs Alegria, Pavuna e Sarapuí o valor do comprimento das bactérias filamentosas pode estar relacionado à concentração de SSTTA adotada nos tanques de aeração dessas ETEs. Além disso, Vazollér (1989) menciona como sendo

típica de lodos ativados a concentração de bactérias filamentosas entre 10^1 e 10^8 $\mu\text{m.mL}^{-1}$.

Tourinho *et al.* (2014) também evidenciaram que o comprimento total dos filamentos estendidos do lodo ativado da ETE Alegria durante o estudo realizado, mantiveram-se acima do sugerido pela literatura, contudo não foi evidenciado intumescimento de lodo.

O comprimento das bactérias filamentosas do lodo ativado das ETES Alegria, Pavuna, Penha e Ilha apresentaram correlação positiva significativa nos testes estatísticos com o IVL (0,652; 0,348; 0,415; 0,433, respectivamente) e com os sólidos sedimentáveis (0,479; 0,437; 0,577; 0,596, respectivamente) indicando que a proliferação das bactérias filamentosas nos lodos ativados dessas ETES influenciou a sedimentabilidade do lodo. Diversos autores correlacionaram o comprimento total dos filamentos e o IVL, parâmetros típico de avaliação de sedimentabilidade do lodo, verificando que o IVL aumentava com o aumento dos valores de comprimento de filamento (JORDÃO *et al.*, 1997; JENKINS *et al.*, 2004; SAAR, 2015);

Os lodos ativados das ETES Penha e Ilha apresentaram ainda correlações positivas significativas entre os filamentos e o SSTTA (0,489 e 0,571) e o SSVTA (0,621 e 0,620) dos tanques de aeração.

Os testes estatísticos mostraram correlações significativas entre alguns parâmetros e o comprimento das bactérias filamentosas dos lodos ativados das ETES estudadas, foram eles: a concentração de OD que apresentou correlação negativa significativa nos lodos das ETES Alegria e Sarapuí (-0,432 e 0,495) e o pH que apresentou correlação positiva significativa nos lodos das ETES Alegria e Penha (0,527 e 0,407). Von Sperling (2005) relacionou, entre outros fatores, a baixa concentração de OD e pH como fatores que influenciam a proliferação de bactérias filamentosas. Jenkins *et al.* (2004) e Figueiredo (2012) mencionaram que uma das condições limitantes comuns que favorecem a proliferação de bactérias filamentosas nos lodos ativados é a baixa concentração de oxigênio dissolvido, pois, as condições anaeróbias no interior dos flocos prejudicam as bactérias formadoras de floco, enquanto que as bactérias filamentosas, devido á sua relação área/volume, alongam-se para fora dos flocos em busca de condições mais favoráveis ao seu crescimento.

As análises estatísticas também mostraram correlações negativas significativas entre os lodos ativados das ETES Penha e Ilha e a relação A/M nos tanques de aeração (-0,356 e -0,639) indicando que a quantidades de bactérias filamentosas no tanque de

aeração dessas ETEs contribuíram para a diminuição da relação A/M nos tanques de aeração. Von Sperling (2005) mencionou que a relação alimento/microrganismo (A/M) influencia na proliferação de bactérias filamentosas.

Através dos testes estatísticos foi possível verificar correlações positivas significativas entre o comprimento de filamentos e a eficiência de remoção de DBO na ETE Penha (0,416), a eficiência de remoção de SST nas ETEs Penha e Ilha (0,350 e 0,401) e ainda apresentou correlação negativa significativa com a DBO da ETE Penha (-0,440) e com o SST do efluente das ETEs Penha e Ilha (-0,380 e -0,346). Os dados estatísticos indicaram que a concentração de bactérias filamentosas estava relacionada com a eficiência do sistema de tratamento. De acordo com Saar (2015) além da essencial presença para a estruturação dos flocos biológicos, as bactérias filamentosas contribuem para a boa eficiência do processo, pois participam ativamente da degradação da matéria orgânica solúvel e conseqüentemente auxiliam na produção de um efluente final de boa qualidade.

4.6 CORRELAÇÕES ENTRE OS GRUPOS DA MICROFAUNA

4.6.1 Amebas nuas

No lodo ativado das ETEs Pavuna e Sarapuí as análises estatísticas mostraram correlação positiva significativa entre a comunidade de amebas nuas e a relação A/M (0,321 e 0,537, respectivamente). Segundo Saar (2015), as amebas nuas possuem condições de competir com os flagelados e ciliados somente em condições de disponibilidade de grandes quantidades de nutrientes. Os dados de correlação apresentados para as ETE Pavuna e Sarapuí corroboram essa afirmação, já que as amebas nuas aumentaram com o aumento da relação A/M no tanque de aeração.

Segundo Madoni (1981), a presença desses organismos em abundância, associada aos flagelados, é indicativo de uma fraca depuração com DBO elevada no efluente. Apesar de não ter sido observada correlação estatística significativa entre as amebas nuas e os flagelados nas ETEs Sarapuí e Penha, foi possível observar correlação positiva significativa entre a presença de amebas nuas e a concentração de DBO no efluente (0,539 e 0,361) confirmando que a presença das amebas nuas no lodo ativado das ETEs Sarapuí e Penha indicaram perda de eficiência de depuração e aumento de DBO no efluente final. Na ETE Penha a presença de amebas nuas indicou ainda aumento do SST do efluente, já

que a análise estatística mostrou correlação positiva significativa entre as amebas nuas e o SST efluente (0,427).

4.6.2 Tecamebas

Na ETE Alegria a avaliação estatística mostrou correlação negativa significativa (-0,888) entre a população de tecamebas e volume de chorume recebido (tabela 4.4). Através da figura 4.29 é possível observar que as tecamebas eram dominantes no início do monitoramento e apresentaram decréscimo acentuado com o aumento do volume de chorume recebido.

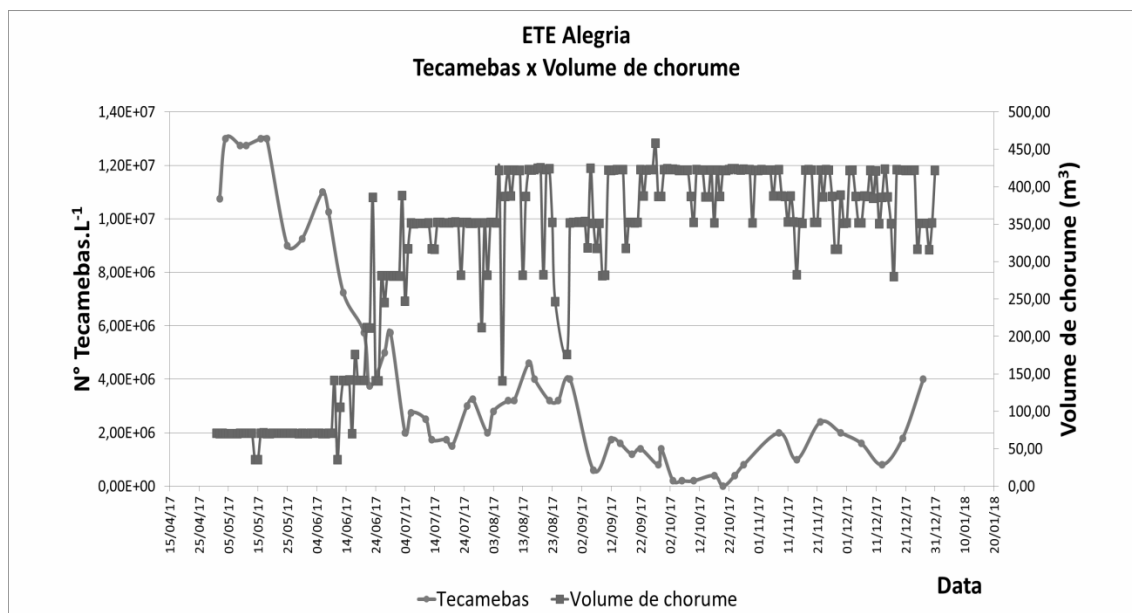


Figura 4.29: Gráfico da distribuição da população de tecamebas no lodo ativado da ETE Penha e do volume de chorume recebido para tratamento.

Segundo Madoni (2004) as tecamebas são organismos indicadores de nitrificação, ou seja, estão presentes quando o nitrogênio amoniacal está sendo convertido a nitrato. Um excesso de nitrogênio amoniacal, tóxico aos organismos, causado pelo aumento do volume de chorume recebido pode ser um dos fatores que contribuíram para o decréscimo da população de tecamebas no lodo ativado da ETE Alegria durante o período estudado.

A população de tecamebas do lodo da ETE Alegria também apresentou correlação negativa significativa com a relação A/M (-0,344), com o tamanho do floco (-0,749) e com o pH (-0,447). Os dados de correlação negativa significativa entre a população de tecamebas e o volume de chorume e a relação A/M que demonstraram a diminuição desses organismos com o aumento da carga orgânica afluente, são corroborados pelos

estudos de Madoni e Ghetti (1981), Zhou *et al.* (2006), Silva (2000) e Cruz (2014) que associaram as tecamebas a lodos ativados com baixa carga afluente.

Na ETE Penha apesar dos testes estatísticos mostrarem correlação não significativa entre as tecamebas e a relação A/M (tabela 4.7), é possível observar uma proliferação de tecamebas nos momentos de baixa relação A/M (figura 4.30). Também é possível observar um aumento da DBO efluente nos momentos de decréscimo da população de tecamebas (figura 4.31). Essas observações corroboram as afirmações de Madoni *et al.* (1993), na qual mencionam que as tecamebas são mais abundantes ou dominantes em lodos caracterizados por baixa carga, um longo tempo de retenção e alta concentração de OD em tanques de aeração que permitem a nitrificação completa. Nestas condições, a qualidade do efluente é excelente e um alto desempenho biológico da planta é atingido.

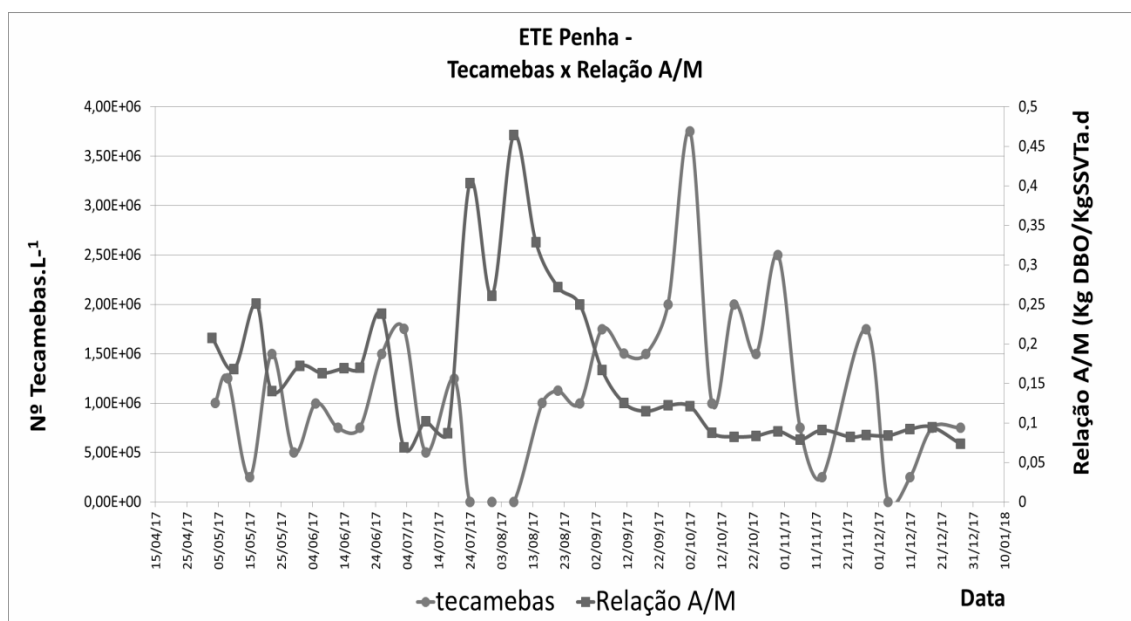


Figura 4.30: Gráfico da distribuição da população de tecamebas e da relação A/M no lodo ativado da ETE Penha.

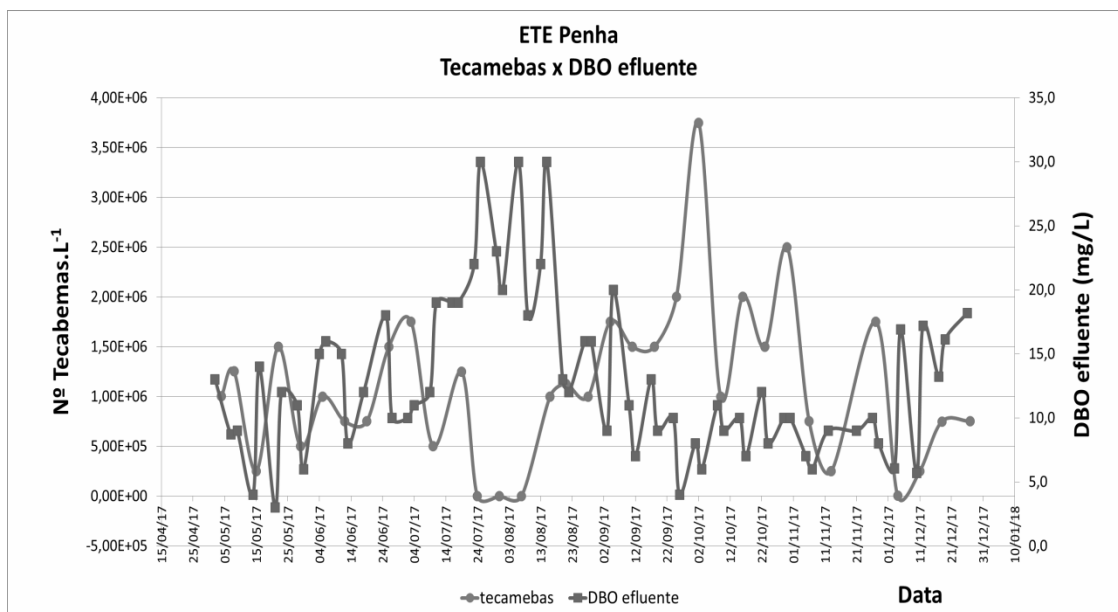


Figura 4.31: Gráfico da distribuição da população de tecamebas no lodo ativado da ETE Penha e da concentração de DBO efluente.

Nas ETE Pavuna e Sarapuí apesar dos testes estatísticos não mostrarem correlação significativa entre a população de tecamebas e a relação A/M, é possível observar a dominância desses organismos no lodo das ETES ao longo de todo o período monitorado. Segundo Esteban *et al.* (1991) as tecamebas apenas colonizam plantas com uma idade longa de lodo, uma vez que esses protistas têm baixas taxas de crescimento. Os estudos de Cruz (2014) e Zhou *et al.* (2006) associaram a tecameba *Arcella* spp à baixa entrada de DBO. Silva (2000) também associou valores altos de tecamebas a fator de carga baixo e Madoni e Ghetti (1981) relacionou a presença de tecamebas, representadas pelos gêneros *Arcella*, *Diffugia* e *Euglypha* às estações com cargas muito baixas como é o caso das ETES Pavuna e Sarapuí que receberam cargas muito baixas (relação A/M de 0,04 e 0,02KgDBO/Kg SSVTA/d, respectivamente) e apresentaram dominância de tecamebas em 54% e 43% respectivamente do período monitorado.

Na ETE Pavuna os resultados das análises estatísticas mostraram correlação negativa significativa entre a população de tecamebas e o pH (-0,371). Na figura 4.32 é possível observar a proliferação de tecamebas com a diminuição do pH do lodo ativado.

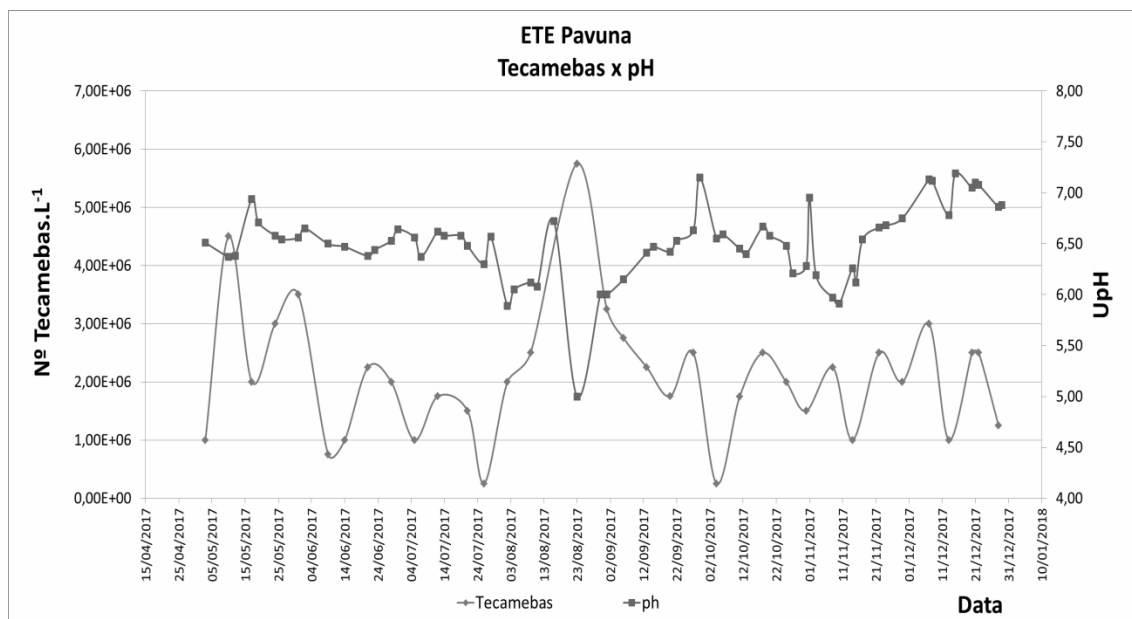


Figura 4.32: Gráfico da distribuição da população de tecamebas no lodo ativado da ETE Pavuna e o pH do tanque de aeração.

Na ETE Ilha as análises estatísticas mostraram correlação positiva significativa entre a população de tecamebas e a eficiência de remoção de DBO efluente (0,344), evidenciando esses organismos como indicadores de boa depuração no lodo ativado da ETE Ilha. Os resultados de associação entre a população de tecamebas e DBO efluente apresentados nesse trabalho são corroborados pelos estudos de diversos autores que correlacionam a presença de tecamebas à remoção de DBO e à boa depuração e ao alto desempenho da ETE (VAZOLLÉR, 1989; MADONI *et al.*, 1993; BENTO *et al.*, 2002, 2005). Zhou *et al.* (2008), caracterizaram as tecamebas como bioindicadores úteis, já que sua densidade diminui quando o processo de tratamento produz um efluente de baixa qualidade.

4.6.3 Flagelados

Na ETE Penha os maiores valores da população de pequenos flagelados foram observados durante a ocorrência de lodo jovem caracterizado pela perda de sólidos sedimentáveis no tanque de aeração ocorrida em julho de 2017 (figura 4.33). Os resultados estatísticos corroboraram e mostram correlação significativa negativa entre a população de pequenos flagelados e os sólidos sedimentáveis no tanque de aeração (-0,472). As análises estatísticas apresentaram ainda correlação significativa negativa entre os pequenos flagelados e o IVL e o pH.

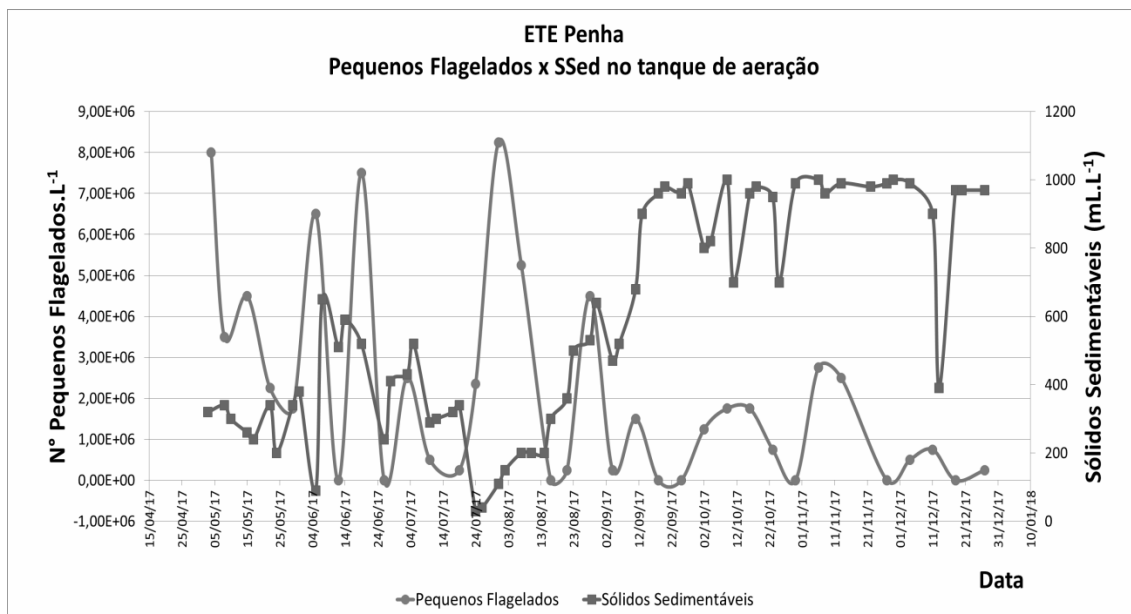


Figura 4.33: Gráfico da distribuição da população de pequenos flagelados e sólidos sedimentáveis no lodo ativado da ETE Penha.

Segundo Vazollér (1989), Madoni (1981 *apud* FIGUEIREDO, 2012) e Saar (2015) a predominância de flagelados representa um lodo jovem, característico de início de operação ou idade do lodo baixa onde competem com as bactérias livres pelos substratos orgânicos contidos na água, condizente com o lodo encontrado na ETE Penha após a perda significativa de sólidos (figura 4.33).

As análises estatísticas mostram ainda correlação negativa significativa entre os pequenos flagelados e eficiência de remoção de DBO nas ETEs Penha e Ilha e SST no efluente da ETE Penha confirmando a presença desses organismos como indicadores de baixa eficiência de depuração e diminuição da qualidade do efluente relacionados por Curds e Cockburn (1970), Vazollér (1989) e Madoni (1994).

4.6.4 Ciliados Predadores de Floco

No lodo ativado da ETE Ilha as análises estatísticas mostraram correlação positiva significativa entre a população de ciliados predadores de floco e a eficiência de remoção de SST (0,349) e ainda correlação negativa significativa com o SST do efluente (0,361), os dados mostram que o aumento da população de ciliados predadores de floco contribuiu para a remoção de SST no efluente. Os resultados encontrados no presente estudo estão de acordo diversos autores que correlacionam à presença de espécies de ciliados predadores de floco como indicadores de boa depuração e alta qualidade de efluente

(baixa DBO e SST no efluente) (CURDS *et al.*, 1969; MADONI; GHETTI 1981; SALVADÓ, 1994; BENTO *et al.*, 2002, 2005; ZHOU *et al.*, 2008).

Na ETE Penha as análises estatísticas mostraram correlação negativa significativa entre a população de ciliados predadores de floco e sólidos sedimentáveis (-0,352) e com o pH (-0,401), que pode ser explicada pela presença abundante do ciliado predador de floco *Aspidisca* spp.. Diversos autores correlacionam espécies de *Aspidisca* à remoção de nitrogênio e nitrificação (BENTO *et al.*, 2002 e 2005; HU *et al.*, 2013b; VAZZOLÉR, 1989). Segundo Figueiredo (2012), sistemas com fortes atividades de nitrificação geram acidez no meio que pode influenciar negativamente os protozoários. Os dados das análises físico-químicas mostram a ocorrência de pH mais ácido (abaixo de 5,00) justamente no período de maior número de ciliados predadores de floco (figura 4.34).

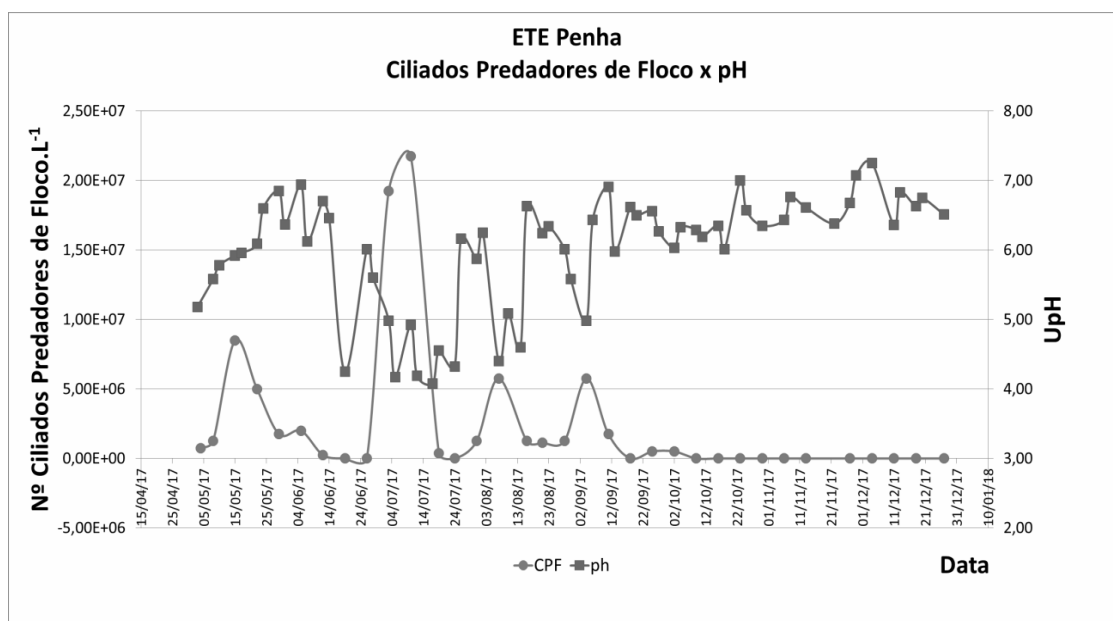


Figura 4.34: Gráfico da distribuição da população de ciliados predadores de floco e o pH no lodo ativado da ETE Penha.

Os resultados apresentados demonstram que a dominância de *Aspidisca* spp. ciliado predador de floco pode indicar a ocorrência de nitrificação e que esta pode gerar acidez no meio. O processo nitrificação deve ser muito bem controlado, através do aumento do fornecimento de oxigênio dissolvido, para que a acidez gerada não prejudique os demais organismos da microfauna de lodos ativados.

4.6.5 Micrometazoários

Os resultados de análise de densidade de organismos mostraram a presença de micrometazoários em 96% do tempo no lodo da ETE Alegria e 91% no lodo da ETE Penha e 80% no lodo da ETE Pavuna, chegando a ser grupo dominante no lodo da ETE Penha. Este grupo engloba todos os organismos multicelulares com característica de crescimento lento e segundo Saar (2015) e Bento *et al.* (2002, 2005) são encontrados em sistemas de lodos ativados de idade elevada que é o caso das ETES mencionadas já que as mesmas operam com alta idade do lodo (dados estimados).

As análises estatísticas apresentaram correções positivas significativas entre as populações de micrometazoários das ETES Alegria e Penha, os sólidos sedimentáveis e os sólidos em suspensão totais e voláteis dos tanques de aeração. Esses dados mostram correlação entre os organismos e a biomassa do lodo ativado. A figura 4.35 mostra a variação da população de micrometazoários acompanhando a concentração de sólidos em suspensão no tanque de aeração da ETE Penha, na figura é possível observar a ausência desses organismos logo após eventos de perda de sólidos.

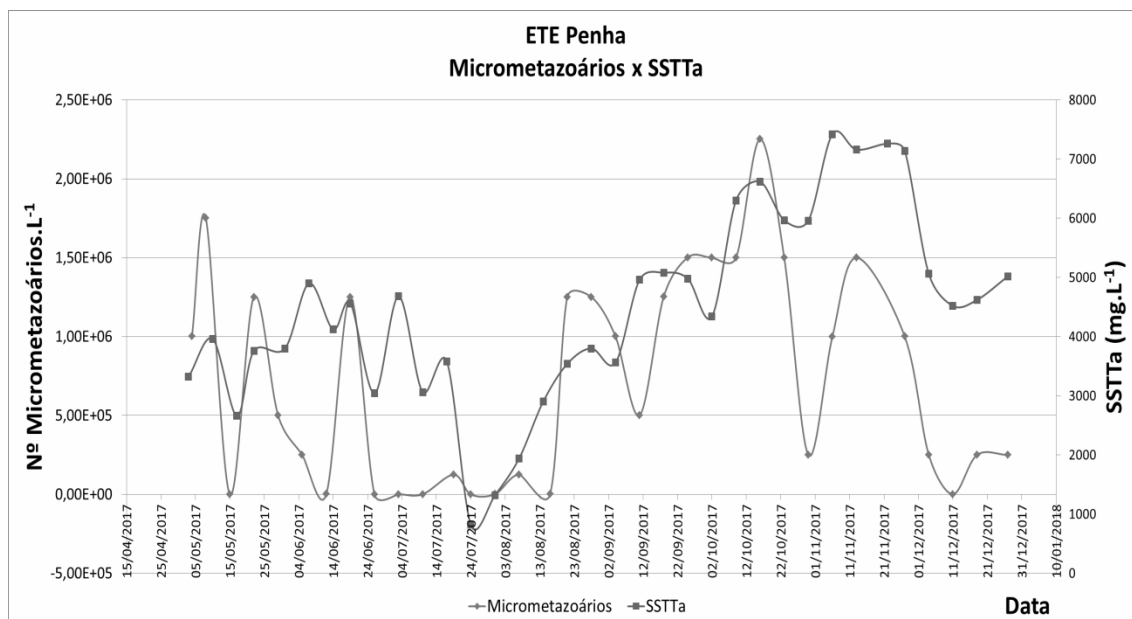


Figura 4.35: Gráfico da distribuição da população de micrometazoários e sólidos em suspensão totais no lodo ativado da ETE Penha.

Os rotíferos foram os micrometazoários mais frequentes nos lodos de todas ETES, o que corrobora com o mencionado por Saar (2015). Segundo este autor os rotíferos são os micrometazoários mais frequentemente encontrados em sistemas de lodos ativados,

eles ingerem grandes quantidades de bactérias dispersas e fragmentos de flocos, contribuindo com a limpeza do sistema flocular.

A avaliação estatística apresentou correlação negativa significativa entre a população de micrometazoários e a concentração de DBO no efluente da ETE Penha (-0,406). Zhou *et al.* 2006 em seus estudos, também verificaram associação negativa entre os rotíferos e a DBO, DQO e SST no efluente.

Saar (2015) menciona que os tardígrados são afetados por pequenas concentrações de amônia e indicam um efluente totalmente nitrificado. A presença desses organismos na ETE Penha foi observada nos meses de maio, junho, julho e setembro, meses em que o aumento da população de ciliados predadores de floco, especialmente *Aspidisca* spp, indicam a possível ocorrência de nitrificação.

4.7 CORRELAÇÕES ENTRE A MICROBIOLOGIA DE LODOS ATIVADOS E O DESEMPENHO DOS SISTEMAS

A partir dos resultados apresentados neste estudo, foi elaborada uma tabela (4.11) contendo um resumo das principais correlações encontradas entre a microbiologia de lodos ativados das cinco ETEs estudadas e os parâmetros operacionais e de desempenho dos sistemas de tratamento das ETEs durante o período estudado.

Na tabela há ainda a comparação entre os resultados encontrados nesse estudo, referentes aos grupos da microfauna, comprimento de bactérias filamentosas, diâmetro do floco biológico e parâmetros da microfauna (número de organismos por mL e riqueza de espécies) e os resultados dos estudos de diversos autores descritos na literatura.

Tabela 4.11: Resumo das principais correlações entre a microbiologia de lodos ativados das ETEs Alegria, Pavuna, Sarapuí, Penha e Ilha e os parâmetros operacionais e de desempenho dos sistemas de tratamento, observadas neste estudo e das correlações observadas na literatura por diversos autores.

Grupo/ Parâmetro	Observado no trabalho	Observado na literatura	Autores
Pequenos flagelados	Ocorrência indicou lodo jovem	Predominam no início (partida) de operação do sistema de lodos ativados quando o lodo é jovem e em via de formação.	Madoni (1981); Vazollér (1989); Madoni (2004)
	Ocorrência indicou perda de eficiência de depuração	Uma grande concentração de flagelados em um lodo não tão jovem é indicativa de uma baixa depuração.	Curds e Cockburn (1970); Madoni (1981); Vazollér (1989); Madoni (2004)
Ciliados livre-natantes (< 50 µm)	Dominância indicou desempenho mediano	Dominância indica desempenho mediano, um lodo jovem em via de formação, ou uma idade de lodo muito baixa ou um lodo pouco oxigenado.	Madoni (1981); Madoni (2004)
Ciliados predadores de floco	Dominância junto com ciliados sésseis indicou boa depuração e alta qualidade no efluente final	Lodo dominado por ciliados predadores de floco e ciliados fixos e, o número de flagelados e ciliados livre-natantes é pequeno (mínimo), pode-se afirmar que está ocorrendo uma boa depuração e alta qualidade de efluente final	Curds <i>et al.</i> (1969); Madoni e Guetti (1981); Salvadó (1994); Madoni (1994); Bento <i>et al.</i> (2002 e 2005); Madoni (2004); Zhou <i>et al.</i> (2008)
Ciliados Sésseis	Dominância junto com ciliados predadores de floco indicou boa depuração	A presença destes ciliados em codominância com ciliados predadores de flocos indica uma boa depuração e boa remoção de SST	Madoni (1981); Vazollér (1989); Madoni (1994); Hu <i>et al.</i> (2013a)
	Dominância em mais de 80% indicou eficiência em declínio pela observação de excesso de lodo	Dominância em mais de 80%, devido ao seu crescimento rápido e maciço indica eficiência está em declínio; há ocorrência de fenômeno transitório como carga descontínua, extração recente de lodo ou tempo de recirculação lento ou uma grande concentração de lodo (reciclo insuficiente)	Madoni (1994); Madoni (2004)
Tecamebas	Ocorreu a dominância em ETEs com cargas baixas e excesso de lodo.	Dominância/ocorrência de tecamebas indica baixa carga	Madoni (1981); Madoni (2004); Bento <i>et al.</i> (2002 e 2005); Hu <i>et al.</i> (2013b); Madoni e Ghetti (1981); Zhou <i>et al.</i> (2006); Silva (2000); Cruz (2014)
	O aumento da relação A/M (carga alta) e aumento do volume de chorume lançado para tratamento contribuiu para o decréscimo das tecamebas	Dominância de tecamebas indica Boa depuração	Vazollér (1989); Madoni <i>et al.</i> (1993); Bento <i>et al.</i> (2002 e 2005); Zhou <i>et al.</i> (2008); Madoni (2004); Hu <i>et al.</i> (2013b)
Amebas nuas	Ocorrência indicou aumento da concentração de DBO e SST no efluente	Presença em abundância, associada aos flagelados, é indicativo de uma fraca depuração com DBO elevada no efluente	Madoni (1981); Madoni (2004)
Micrometazoários	Ocorrência indicou alta idade do lodo	Indicam uma alta idade do lodo.	Madoni (1981); Madoni (2004); Bento <i>et al.</i> (2002 e 2005)
	Ocorrência indicou baixa concentração de DBO no efluente final	A presença de muitos rotíferos está associada a uma boa depuração. Há associação negativa entre os rotíferos e a DBO, DQO e SST no efluente.	Madoni (1981); Zhou <i>et al.</i> (2006)
Bactérias Filamentosas	Não foi observada a ocorrência de <i>bulking</i> filamentosos com comprimento total de bactérias filamentosas de $10^8 \mu\text{m.mL}^{-1}$	Predominância de filamentos indica <i>bulking</i> filamentosos. Valores de $10^7 \mu\text{m.mL}^{-1}$ indicam <i>bulking</i> filamentosos	Vazollér (1989) Jenkins <i>et al.</i> (2004)
	O aumento do comprimento das bactérias filamentosas influenciou na sedimentabilidade do lodo (IVL e sólidos sedimentáveis)	O IVL aumentava com o aumento dos valores de comprimento de filamento	Jordão <i>et al.</i> (1997); Jenkins <i>et al.</i> (2004); Saar (2015)

	Os parâmetros OD e pH influenciaram na proliferação de bactérias filamentosas	A baixa concentração de OD e pH influenciam na proliferação de bactérias filamentosas	Von Sperling (2005); Jenkins <i>et al.</i> (2004); Figueiredo (2012)
	O aumento da relação A/M contribuiu para a proliferação de bactérias filamentosas	A relação A/M influencia na proliferação de bactérias filamentosas	Von Sperling (2005)
	A proliferação de bactérias filamentosas contribuiu com a eficiência de remoção de DBO e SST	As bactérias filamentosas contribuem para a boa eficiência do processo, pois participam ativamente da degradação da matéria orgânica solúvel	Saar (2015)
Número total de organismos da microfauna	Não foi observado correlação entre nº total de organismos e desempenho do tratamento	Quando a abundância é > 10 ⁶ /L boa depuração; abundância <10 ⁴ /L depuração ruim, 10 ⁴ -10 ⁶ /L depuração mediana	Madoni (1994); De Marco (1991)
	O aumento do volume de chorume contribuiu para a diminuição do número total de organismos da microfauna	-	-
	Correlação com OD indica a necessidade da manutenção da concentração apropriada de OD para um número adequado de organismos na microfauna	-	-
Riqueza de espécies	Não houve correlação entre riqueza de espécies e eficiência de remoção de DBO. Riqueza de espécies < 10 – indicou diminuição da eficiência de remoção de SST no efluente	Riqueza de espécies > 10 – boa depuração	Madoni (1994)
	O aumento do volume de chorume e da relação A/M (que representa a carga orgânica) contribuiu para redução da riqueza de espécies	O número de espécies diminui com o aumento da carga orgânica	Curds e Cockburn (1970)
	Alta concentração de sólidos no tanque de aeração contribuiu para a diminuição da riqueza de espécies	-	-
	O aumento da concentração de OD no tanque de aeração favoreceu ao aumento de riqueza de espécies	-	-
Diâmetro do Floco biológico	Varição encontrada entre 52,2 a 706,2	Varição comum entre 10 e 800um Diâmetro de floco < 50um perda de sólidos no efluente final	Vazollér (1989) Jordão e Pessôa (2014)
	O aumento do volume de chorume contribui para o aumento do diâmetro do floco biológico	-	-
	O aumento do diâmetro do floco contribuiu com a eficiência de remoção de SST	Floco grande e bem formado é requisito para boa sedimentação	Figueiredo (2012)
	Predomínio de flocos pequenos em baixa carga orgânica O aumento da relação A/M contribuiu para ao aumento do diâmetro do floco	O tamanho do floco é dependente da carga orgânica aplicada – cargas muito baixas levam ao predomínio de flocos pequenos	Figueiredo (2012)
	Predomínio de flocos pequenos com carga orgânica média caudado possivelmente pelo cisalhamento dos flocos provocado pela turbulência (aeração mecânica)	Na faixa intermediária formam-se, principalmente, flocos firmes. Caso não sejam encontrados, provavelmente ocorreu alguma perturbação no processo de tratamento (turbulência no tanque de aeração)	Figueiredo (2012); Wilén <i>et al.</i> (2003); Jordão e Pessôa (2014)
	Ciliados totais e ciliados sésseis contribuíram para o aumento do diâmetro do floco biológico	Ciliados bacterívoros desempenham papéis importantes no funcionamento do lodo ativado, reduzindo as bactérias dispersas e melhorando a floculação.	Madoni (1994); Pajdak-Stók <i>et al.</i> (2017)

DBO- Demanda Bioquímica de Oxigênio; SST – Sólidos em Suspensão Totais; IVL – Índice Volumétrico de Lodo; OD – Oxigênio Dissolvido; Relação A/M – Relação Alimento-Micro-organismo.

5 CONCLUSÃO

A microfauna de lodos ativados das ETEs Alegria, Pavuna, Sarapuí, Penha e Ilha apresentou ocorrência de todos os grupos morfofuncionais durante o período estudado.

As análises de densidade e da riqueza de espécies mostraram ocorrência de microfauna em quantidade adequada e diversificada na maior parte do período estudado e foram parâmetros indicadores do desempenho do tratamento. A dominância de ciliados predadores de floco, ciliados sésseis e tecamebas na maior parte do período estudado, indicaram boa depuração e efluente de boa qualidade, já a eventual dominância de ciliados livre-natantes indicou perda da eficiência e desempenho mediano.

A avaliação do Índice Biótico de Lodo mostrou a ocorrência de lodo Classe I na maior parte do período estudado em todas as ETEs, indicando um lodo muito bem colonizado e estável, ótima atividade biológica e alta eficiência depurativa. De uma forma geral, o IBL refletiu a eficiência dos tratamentos realizados pelas ETEs estudadas e pôde ser considerado um parâmetro prático aplicável para avaliação da qualidade do lodo e eficiência no tratamento.

Na ETE Alegria o aumento do volume de lixiviado de aterro sanitário provocou a diminuição da riqueza de espécies e da população de tecamebas e contribuiu para o aumento do diâmetro dos flocos biológicos do lodo ativado

Nas ETEs Pavuna e Sarapuí a predominância de flocos pequenos pode estar relacionada à baixa carga orgânica afluyente e nas ETEs Penha e Ilha ao cisalhamento provocado pela turbulência nos biorreatores causada pelos aeradores mecânicos de superfície.

A proliferação de bactérias filamentosas no lodo ativado das ETEs estudadas afetou a sedimentabilidade do lodo. Os principais fatores que influenciaram a proliferação das bactérias filamentosas foram a diminuição do pH e da concentração de oxigênio dissolvido. Foi possível observar também que além das bactérias filamentosas estarem relacionadas à sedimentabilidade do lodo elas contribuíram com a eficiência de remoção de DBO e SST.

Os grupos morfofuncionais da microfauna indicaram as seguintes condições operacionais das Estações de Tratamento de Esgotos de Alegria, Pavuna, Sarapuí, Penha e Ilha: as amebas nuas indicaram aumento da relação alimento/micro-organismo, má depuração e elevada concentração de DBO e SST no efluente; os pequenos flagelados indicaram baixa eficiência de depuração e má qualidade do efluente final; as tecamebas

indicaram baixa carga orgânica afluyente e assim como os ciliados predadores de floco, boa depuração e alta qualidade do efluente; o ciliado predador de floco *Aspidisca cicada* indicou a ocorrência de nitrificação; e os micrometazoários indicaram elevada idade do lodo e remoção de DBO.

SUGESTÕES FUTURAS

- Realizar estudos complementares sobre os efeitos do cotratamento de lixiviado de aterro sanitário na microfauna de lodos ativados de Estações de Tratamento de Esgotos para que essas informações possam ser utilizadas para auxiliar nas tomadas de decisão;
- Realizar estudos sobre os efeitos do lixiviado de aterro sanitário no diâmetro dos flocos biológicos de ETEs que realizem o cotratamento com esgoto sanitário;
- Realizar estudos que contribuam para um melhor entendimento da influência do processo de nitrificação na microfauna de lodos ativados;
- Aperfeiçoar a identificação dos organismos da microfauna para que seja possível elaborar um guia de espécies de protozoários de ETEs da CEDAE para auxiliar em trabalhos futuros e no controle operacional das ETEs.
- Realizar estudos de comparação entre a microbiologia de lodos ativados das ETEs;
- Realizar estudos que relacionem o diâmetro dos flocos biológicos com o comprimento das bactérias filamentosas e com o tipo de aeração adotada na ETE.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, E. M. **Avaliação do tratamento combinado de lixiviado de aterro sanitário e esgoto sanitário em sistemas de lodos ativados**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2012.

AMADOR, E. S. **Baía de Guanabara: ocupação histórica e avaliação ambiental**. Rio de Janeiro. Interciência. 2013. 516p.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA), AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION, WATER ENVIRONMENT FEDERATION. **Standard Methods for the examination of water and wastewater**. 22 ed., Port City Press: Washington, DC, 2012, 1496pp.

ARÉVALO, J.; MORENO, B.; PÉREZ, J.; GÓMEZ, M.A. Applicability of the Sludge Biotic Index (SBI) for MBR activated sludge control. **Journal of Hazardous Material**, v. 167, 2009, p. 784-789.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12209: **Elaboração de projetos hidráulico-sanitários de estações de tratamento de esgotos sanitários**. Rio de Janeiro, 2011. 53 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9898: **Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores**. Rio de Janeiro, 1986. 22 p.

BENTO, A. P.; SEZERINI, P. H.; PHILIPPI, L. S.; REGINATTO, V.; LAPOLLI, F. Caracterização da Microfauna em Estação de Tratamento de Esgotos do Tipo Lodos Ativados: um instrumento de avaliação e controle do processo. **Engenharia sanitária ambiental**, v.10 n.4, 2005, p. 329-338.

BENTO, A. P.; SEZERINO, P. H.; BARBOSA, T.C; PHILIPPI, L. S. Comparação entre modelos aplicados ao diagnóstico do tratamento de esgotos por sistemas de lodos ativados, baseados em parâmetros biológicos. *In*: SIMPÓSIO ÍTALO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 06, 2002. Vitória. **Anais...**, Vitória, 2002.

BERK, S.G; GUNDERSON, J. H. **Wastewater Organisms: A Color Atlas**. United States, Taylor & Francis Inc. 48p. 1993.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – SNSA. Sistema nacional de Informações sobre Saneamento: **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto** – 2016. Brasília: SNSA/MCIDADES, 2018. 220 p.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde (FUNASA). **Manual de Saneamento**. 4ª ed. Brasília. 2015.642p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução n° 430**, de 13 de maio de 2011.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução n° 357**, de 17 de março de 2005.

BRASIL. **Lei n° 6.938** de 31 de agosto de 1981. Política Nacional do Meio Ambiente.

CANLER, J.P.; PERRET, J.M.; DUCHENE, F.; COTTEAUX, E. **Aide au Diagnostic des Stations d'Épuration par l'observation Microscopique des Boues Activeés**, Cemagref Editions, Lyon. 1999.

CARGNEUTTI FILHO, A.; TOEBE, M.; BURIN, C.; SILVEIRA, T. R.; CASAROTTO, G. Tamanho de amostra para estimação do coeficiente de correlação linear de Pearson entre caracteres de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 12, 2010, p.1363-1371.

CHEN, S. G.; XU, M. Q.; CAO, H.; ZHU, J.; ZHOU, K.X.; XU, J.; YANG, X. P.; GAN, Y.P.; LIU, W.; ZHAI, J. J.; SHAO, Y. Y. The relationship between dynamics of activated sludge fauna and effluent quality. **European Journal of Protistology**, v. 40, 2004, p. 147-152.

CINTRA, I.S.; COSTA, B.M.P.; LIBÂNO, P.A.C.; CHERNICHARO, C. A. L. estudo de aclimação de biomassa aeróbia na degradação de chorume de aterro sanitário. In: 21° CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2001, João Pessoa – Paraíba. **Anais...**2001.

CRUZ, F. V. A. S. **Avaliação da microfauna de importância sanitária presente em efluentes de diferentes processos de tratamento de esgotos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Escola Politécnica e Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2014.

CURDS, C. R. The ecology and role of protozoa in aerobic sewage treatment processes. **Annual Review of Microbiology**. v. 36, 1982. p. 27-46.

CURDS, C.R. **Protozoa**. In: Ecological aspects of used-water treatment, Vol.1 The organism and their ecology. London. Academic Press. 1975. P. 203-268.

CURDS, C. R; COCKBURN, A. Protozoa in biological sewage-treatment processes--ii. Protozoa as indicators in the activated-sludge process. **Water Research Pergamon Press**, v.4, 1970 p. 225 – 236.

CURDS, C. R; FEY, G. J. The effect of ciliated protozoa on the fate of *Escherichia coli* in the activated-sludge process. **Water Research Pergamon Press**, v. 3, 1969, p. 853-967.

DE MARCO, N.; GABELLI, A.; CATTARUZZA, C.; PETRONIO, L. Performance of biological sewage treatment plants: some experiences on municipal plants in the province of Pordenone (Italy). In: P. Madoni (ed.) **Biological Approach to Sewage Treatment Process: Current Status and Perspectives**. Centro Bazzucchi, Perugia, p. 247-251, 1991.

DEZZOTI, M.; SANT'ANNA JR, G.L.; BASSIN, J.P. **Processos biológicos avançados. Para tratamento de efluentes e técnicas de biologia molecular para o estudo da diversidade microbiana.** Rio de Janeiro. Interciência. 2011. 368p.

DOS SANTOS, L. A; FERREIRA, V; PEREIRA, M. O; NICOLAU, A. Relationship between protozoan and metazoan communities and operation and performance parameters in a textile sewage activated sludge system. **European Journal of Protistologia**, n. 50, 2014, p. 319-328.

DRZEWICKI, A; KULLIKOWSKA, A. Limitation of Sludge Biotic Index application for control of a wastewater treatment plant working with shock organic and ammonium loadings. **European Journal of Protistology**. n. 47, 2011, p. 287 – 294.

EDUARDO, J. **Avaliação das características microbiológicas e físico-químicas do lixiviado (chorume) no processo de tratamento do Aterro Metropolitano de Gramacho (RJ-Brasil).** Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2007.

EIKELBOOM, D.H.; VAN BUIJSEN, H.J.J. **Microscopic sludge investigation manual.**TNO Research Institute for Environmental Hygiene, Netherlands, 1983.

ESTEBAN, G.; TELLEZ, C.; BAUTISTA, L. M. Dynamics of ciliated protozoa communities in activated sludge process. **Water Research**, v. 25, 1991, p. 967–972.

FERREIRA, A. P; CUNHA, C. L. N; ROQUE, O.C. C. Avaliação da microfauna no efluente final para monitoramento da qualidade ambiental em estações de tratamento de esgotos do tipo lodos ativados. **Gaia Scientia**, v.1, n.2, 2008, p. 51-59.

FIGUEIREDO, M.G. **Microbiologia de Lodos Ativados com foco em bactérias filamentosas.** Caderno da Gestão do Conhecimento - Atualização Profissional. CETESB-ETGC, São Paulo, 2013. 54 pp.

FIGUEIREDO, M.G. **Microbiologia de Lodos Ativados.** Caderno da Gestão do Conhecimento - Atualização Profissional. CETESB- ETGC, São Paulo, 2012. 266 pp.

FOISSNER, W. Protists as bioindicators in activated sludge: Identification, ecology and future needs. **European Journal of Protistology**, v.55, 2016, p. 75-94.

FOISSNER, W.; BERGER, H. A user-friendly guide to the ciliates (Protozoa, Ciliophora) commonly used by hydrobiologists as bioindicators in rivers, lakes, and waste waters, with notes on their ecology. **Freshwater Biology**, v.35, 1996, p. 375–482.

FRANCO, R. S. O. **Avaliação da eficiência do tratamento combinado de lixiviado com esgoto doméstico em estação de tratamento de esgoto.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2009.

GANCZARCZYK, J.J. **Activated Sludge Process**, Marcel Dekker, Inc., New York. 1983. 270p.

GINORIS, Y. P. **Aplicação de técnicas de análise de imagens no monitoramento de sistemas de lodos ativados**. Tese (Doutorado em Tecnologias de Processos Químicos e Bioquímicos). Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2006. 194f.

GIORDANO, G. **Efluentes industriais, volume 1: estudo de tratabilidade**. Rio de Janeiro. Publit. 2015. 196p.

GIORDANO, G.; FERREIRA, J.A.; PIRES, J.C.A.; RITTER, E.; CAMPOS, J.C.; ROSSO, T.C.A. Tratamento de chorume de aterro metropolitano de Gramacho – Rio de Janeiro – Brasil. In: XXVII CONGRESSO INTERAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL, 2002, Cancun – México. **Anais...2002**.

GOMES, L.P. Resíduos sólidos – **Estudo de caracterização e tratabilidade de lixiviados de aterros sanitários para as condições brasileiras**. PROSAB 5. Rio de Janeiro, ABES, 2009.

HU, B. QI, R.; WEI, AN. XU, M. ZHANG, Y. BAI, X. BAO, H. WEN, Y. Dynamics of the microfauna community in a full-scale municipal wastewater treatment plant experiencing sludge bulking. **European Journal of Protistology**, 2013a.

HU, B.; QI, R. YANG, M. Systematic analysis of microfauna indicator values for treatment performance in a full-scale municipal wastewater treatment plant. **Journal Of Environmental Sciences**, v. 25, n. 7, 2013b, p. 1379- 1385.

JENKINS, D., RICHARD; M. G.; DAIGGER, G. T. **Manual on the causes and control of activated sludge bulking, foaming, and other solids separation problems**. 3rd. Edition. Florida – USA. CRC Press Company, 2004, 193 p.

JENKINS, D.; RICHARD, M.G.; DAIGGER, G.T. **Manual of the causes and control of activated sludge bulking and foaming**, 2nd edition, Lewis Publisher. 1993.

JIANG, J; SHEN, Y. Use of the aquatic protozoa to formulate a community biotic index for an urban water system. **Science of the Total Environment**, v. 346, 2005, p. 99-111.

JIANG, J. Development of a new biotic index to assess freshwater pollution. **Environmental Pollution**, v. 139, 2006, p. 306-317.

JIN, B.; WILÉN, B. M.; LANT, P. Impacts of morphological, physical and chemical properties of sludge flocs on dewaterability of activated sludge. **Chemical Engineering Journal**, v. 98, 2004, p. 115-126.

JORDÃO, E. P.; BOAS, D. V.; Controle biológico de Sistemas de lodos ativas. In: XX Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental., 1997. Rio de Janeiro. **Anais...1997**.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. 6ª ed. Rio de Janeiro: ABES. 2014. 1050p.

KAWAHIGASHI, MENDES, M. B.; ASSUNÇÃO JR, V. G.; GOMES, V.H.; FERNANDES, F.; HIROOKA, E. Y.; KURODA, E. K. Pós-tratamento de lixiviado de aterro sanitário com carvão ativado. **Eng. Sanit. Ambient.** V. 19, n. 3, 2014, p. 235-244.

LEE, S.; BASU, S.; TYLER, W.; WEI, I.W. Ciliate populations as bio-indicators at Deer Island Treatment Plant. **Advances in Environmental Research**, v. 8, 2004, p. 371-378.

LIBANO, P. A. C. **Avaliação da eficiência e aplicabilidade de um sistema integrado de tratamento de resíduos sólidos urbanos e de chorume.** Dissertação (Mestrado) Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2002. 156f.

LOPES, M. L. **Tratamento de efluentes – avaliação da eficácia de estações de tratamento compactas.** Monografia (Pós Graduação). Universidade Cândido Mendese Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2002. 156f. – AVM Faculdade Integrada, 2014. 39f.

MADONI, P. Protozoa in wastewater treatment processes: A minireview. **Italian Journal of Zoology**, v.78, n.1, 2011, p.3-11.

MADONI, P. Applicazione dell' Indice Biotico del Fango (S.B.I.) nel Processo di Depurazione a Fanghi Attivi. **Dipartimento di Scienze Ambientali.** Università degli Studi di Parma. 2004.

MADONI, P. Protozoa as indicators of wastewater treatment efficiency. *In: The Handbook of Water and Wastewater Microbiology*, 2003, p. 361-371.

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**, v. 28, 1994, p. 67–75.

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

MADONI, P. **I Protozoi ciliate degli impianti biologici di depurazione.** Rome. 1981. 1-134p.

MADONI, P.; GHETTI, P. The structure of Ciliated Protozoa communities in biological sewage-treatment plants. **Hydrobiologia**, v. 83, 1981, p. 207-215.

MITTEREGGER JR, H. **Identificação da microfauna presente em sistema de tratamento tipo lodo ativado em curtume.** SENAI-RS. 2011.

NASCENTES, A. L.; NASCIMENTO, M.; BRASIL, F.; CAMPOS, J. C.; FERREIRA, J.A. Tratamento combinado de lixiviado de aterro sanitário e esgoto doméstico – Aspectos operacionais e microbiológicos. **Teccen**, v. 08, n. 1, 2015, p. 5-12.

NUNES, J.A. **Tratamento biológico de águas residuárias.** 3ª ed. Aracajú. Gráfica Editora J Andrade. 2012. 277p.

PAIVA, T. S.; SILVA-NETO, I. D. Morphology and divisional morphogenesis of *Nudiamphisiella interrupta* Foissner, Agatha & Berger, 2002 (Ciliophora: Stichotrichia) based on a Brazilian strain. **European Journal of Protistology**, v.45, 2009, p. 271–280.

PAIVA, T. S.; SILVA-NETO, I. D. Description of *Parentocirrus brasiliensis* sp. n. (Ciliophora: Spirotrichea), a new ciliate protist present in activated sludge. **Zootaxa**, v. 504, 2004, p. 1-10.

PAIVA, T. S.; BORGES, B. N.; HARADA, M. L.; SILVA-NETO, I. D. Description and molecular phylogeny of *Paramecium 264grohmannae* sp. nov. (Ciliophora, Peniculida) from a wastewater treatment plant in Brazil. **Revista Brasileira de Zoociências**, v.17, n.1, 2016, p.7-19.

PAJDAK-STÓK, A.; SOBCZYK, M.; FIALKOWSKA, E.; KOCERBA-SOROKA, W. The effect of three different predatory ciliate species on activated sludge microfauna. **European Journal of Protistology**, v.58, 2017, p. 87-93.

PAPADIMITRIOU, C.A.; PETRIDIS, A.I.; SAMARAS, P.; YIANGOU, M.; SAKELLAROPOULOS, G.P. Protozoans as indicators of sequential batch processes for phenol treatment; an autoecological approach. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 98, 2013, p. 210-218.

PARADA-ALBARRACÍN, J.A.; PÉREZ, J.; GÓMEZ, M.A. Bioindicator value of flagellates in urban wastewater treatment using membrane bioreactors. **Water Research** (2017) doi: 10.1016/j.watres.2017.06.033.

PROGRAMA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DOS MUNICÍPIOS DO ENTORNO DA BAÍA DE GUANABARA. Diagnóstico do Estado da Baía de Guanabara- Relatório Parcial 1. **KCI Technologies**. 2016.

PUIGAGUT, J.; SALVADÓ, H.; GARCÍA, J. Short-term harmful effects of ammonia nitrogen on activated sludge microfauna. **Water Research**, v. 39, 2005, p. 4397-4404.

RIGUETTO, L.; FIGUEIREDO, M.; FERREIRA, J. A.; LUVISOTTO, D.L. Coleta e tratamento de chorume no sistema ETE-Icaraí – Niterói RJ. In: 24º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. Belo Horizonte – Minas Gerais, 2007. **Anais...**2007.

RIO DE JANEIRO. Secretaria de Estado e Ambiente (SEA). Instituto Estadual do Ambiente (INEA) Diretriz nº DZ-215.R-4. **Diretriz de controle de carga orgânica biodegradável em efluentes líquidos de origem sanitária**. Publicada no DOERJ de 25 de setembro de 2007.

RIO DE JANEIRO. Secretaria de Estado e Ambiente (SEA). Instituto Estadual do Ambiente (INEA). Norma Técnica nº NT-202.R-10. **Critérios e padrões para lançamento de efluentes líquidos**. Publicada no DOERJ de 12 de dezembro de 1986.

ROBERTO, D. M. Diagnóstico da Hidrografia – Plano de manejo da estação ecológica da Guanabara e região. **Ecomek**. 2009.

- SAAR, J. H. **Microbiologia de lodos ativados**. Porto Alegre: Gênese, 2015. 196p.
- SALVADÓ, H.; MAS, M.; MENÉDEZ, S.; GRACIA, M. P. Effects of Shock Load of Salt on Protozoan Communities of Activated Sludge. **Acta Protozoologica**, v.40, 2001, p. 177–185.
- SALVADÓ, H. Effect of mean cellular retention time on ciliated protozoan populations in urban wastewater plants based on a proposed model. **Water Research**, v.28, 1994, p. 1315–1321.
- SANT'ANNA JR., G. L. **Tratamento biológico de efluentes: fundamentos e aplicações**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Interciência. 2013. 424p.
- SANTOS JR, R.C.; MARTINS, S.B.; SILVA, A.P.R.; SILVA, T.C.R. Avaliação de remoção de nitrogênio amoniacal no tratamento combinado de esgoto doméstico e lixiviado de aterro sanitário na Estação de Tratamento de Esgotos Alegria. In CONGRESSO ABES FENASAN, 2017, São Paulo – Brasil. **Anais...**2017.
- SANTOS, L. S. **A influência da salinidade nos processos de tratamento de efluentes por lodos ativados**. Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia, Rio de Janeiro, 2012. 131f.
- SANTOS, C. **Estatística descritiva – manual de auto-aprendizagem**. 2ª ed. Lisboa. Edições Sílabo. 2007. 300p.
- SILVA, T.C.R. **Análises microbiológicas de uma estação experimental de tratamento de esgotos pelo processo de lodos ativados**. Dissertação (Mestrado). Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2000. 97f.
- SILVA, S. B. A. & SILVA-NETO, I. D. Morfologia dos protozoários ciliados presentes em um reator experimental de tratamento de esgoto por processo de lodos ativados. **Rev. bras. Zoociências**, v.3, 2001, p.203-229.
- SIQUEIRA-CASTRO, I. C. V.; PAIVA, T. S.; SILVA-NETO, I. D. Morphology of *Parastrongylidium estevesi* comb. nov. and *Deviata brasiliensis* sp. nov. (Ciliophora: Stichotrichia) from a sewage treatment plant in Rio de Janeiro, Brazil. **Zoologia**, v.26, n.4, 2009, p.774-786.
- SIQUEIRA-CASTRO, I. C.V. **Taxonomia e Morfologia de Protistas Ciliados Presentes em uma Estação de Tratamento de Esgoto pelo Processo de Lodos Ativados da Cidade do Rio de Janeiro**. Tese (Doutorado) – Museu Nacional-Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008, 169p.
- TELLES, C.A.S. **Processos combinados para tratamento de lixiviado de aterro sanitário**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Programa de Engenharia Química, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2010.
- TOCCHI, C.; FEDERICI, E.; FIDATI, L.; MANZI, R.; VINCIGURERRA, V.; PETRUCCIOLI, M. Aerobic treatment of dairy wastewater in an industrial three-reactor plant: Effect of aeration regime on performances and on protozoan and bacterial communities. **Water Research**, v. 46, 2012, p. 3334-3344.

TOURINHO, T. C. O.; VIANA, T.A.; SANTOS, L. A influência do lixiviado de um aterro sanitário jovem sobre a microfauna de uma ETE com tratamento por lodos ativados: um estudo de caso. *In: 27º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL*, 2013, Goiânia-GO, **Anais...**2013.

TOURINHO, T. C. O.; MATHIAS, C. J.; SILVA, A. P. R.; SOARES, M. V. F. O.; PASSOS, M.A. A influência do lixiviado de um aterro sanitário sobre a microfauna, o diâmetro de floco e as bactérias filamentosas do lodo ativado de uma ETE de grande porte do Estado do Rio de Janeiro (Brasil). *In: XXXIV CONGRESSO INTERAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL*, 2014, Monterrey - México. **Anais...** 2014.

TUNDISI, J. G. **Água no século XXI: Enfrentando a Escassez**. São Carlos. RiMa, IIE, 2 ed. 2005. 248p.

VAZOLLÉR, R. F. **Microbiologia de Lodos Ativados (Séries Manuais)**. CETESB, São Paulo. 1989. 23p.

VIANA, A.S.P.S; FIGUEIREDO, I. C.; CANTANHEDE, A. Avaliação do cotratamento biológico de lixiviados de aterros sanitários com esgoto doméstico no município do Rio de Janeiro. *In: 24º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL*. Belo Horizonte – Minas Gerais, 2007. **Anais...**2007.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3 ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais; 2005.452p.

VON SPERLING, M. **Lodos ativados**. 2ª ed – Belo Horizonte Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental: Universidade Federal de Minas Gerais. 2002. 428p.

WILÉN, B. M.; JIN, B.; LANT, P. Impacts of structural characteristics on activated sludge floc stability. **Water Research**, v. 37, 2003, p. 3632-3645.

ZITA, A.; HERMANSSON, M. Effects of ionic strength on bacterial adhesion and stability of flocs in a wastewater activated sludge systems. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 60, n. 9, 1994, p. 3041-3048.

ZHOU, K.; XU, M.; DAI, J.; CAO, H. The microfauna communities and operational monitoring of an activated sludge plant in China. **European Journal of Protistology**, v. 42, 2006, p. 291-295.

APÊNDICE A – DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE BIÓTICO DE LODO E CLASSE DO LODO ATIVADO DA ETE ALEGRIA

Data	Grupo chave dominante	Densidade (ind.L⁻¹)	F	n° táxons	IBL	Classe
02/05/2017	Tecamebas	$\geq 10^6$	$F < 10$	> 10	10	I
04/05/2017	Tecamebas	$\geq 10^6$	$F < 10$	> 10	10	I
09/05/2017	Tecamebas	$\geq 10^6$	$F < 10$	> 10	10	I
11/05/2017	Tecamebas	$\geq 10^6$	$F < 10$	> 10	10	I
16/05/2017	Tecamebas	$\geq 10^6$	$F < 10$	> 10	10	I
18/05/2017	Tecamebas	$\geq 10^6$	$F < 10$	> 10	10	I
25/05/2017	Tecamebas	$\geq 10^6$	$F < 10$	> 10	10	I
30/05/2017	Tecamebas	$\geq 10^6$	$F < 10$	> 10	10	I
06/06/2017	Tecamebas	$\geq 10^6$	$F < 10$	> 10	10	I
08/06/2017	Tecamebas	$\geq 10^6$	$F < 10$	> 10	10	I
13/06/2017	Tecamebas	$\geq 10^6$	$F < 10$	> 10	10	I
20/06/2017	Ciliados livre-natantes	$\geq 10^6$	$F < 10$	> 10	5	III
22/06/2017	Tecamebas	$\geq 10^6$	$F < 10$	> 10	10	I
27/06/2017	Tecamebas	$\geq 10^6$	$F < 10$	> 10	10	I
29/06/2017	Ciliado Predador de Floco + Ciliados sésseis	$\geq 10^6$	$F < 10$	> 10	10	I
04/07/2017	Tecamebas	$\geq 10^6$	$F < 10$	> 10	10	I
06/07/2017	Ciliado Predador de Floco + Ciliados sésseis	$\geq 10^6$	$F < 10$	> 10	10	I
11/07/2017	Ciliado Predador de Floco + Ciliados sésseis	$\geq 10^6$	$10 < F < 100$	> 10	8	I
13/07/2017	Ciliado Predador de Floco + Ciliados sésseis	$\geq 10^6$	$10 < F < 100$	> 10	8	I
18/07/2017	Ciliado Predador de Floco + Ciliados sésseis	$\geq 10^6$	$F < 10$	> 10	10	I
20/07/2017	Ciliado Predador de Floco + Ciliados sésseis	$\geq 10^6$	$F < 10$	> 10	10	I
25/07/2017	Ciliado Predador de Floco + Ciliados sésseis	$\geq 10^6$	$F < 10$	> 10	10	I
27/07/2017	Ciliado Predador de Floco + Ciliados sésseis	$\geq 10^6$	$10 < F < 10$	> 10	8	I
01/08/2017	Ciliado Predador de Floco + Ciliados sésseis	$\geq 10^6$	$F < 10$	> 10	10	I
03/08/2017	Tecamebas	$\geq 10^6$	$F < 10$	> 10	10	I
08/08/2017	Ciliados livre-natantes	$\geq 10^6$	$F < 10$	> 10	5	III
10/08/2017	Ciliado Predador de Floco + Ciliados sésseis	$\geq 10^6$	$F < 10$	> 10	10	I
15/08/2017	Ciliado Predador de Floco + Ciliados sésseis	$\geq 10^6$	$F < 10$	> 10	10	I
17/08/2017	Ciliado Predador de Floco + Ciliados sésseis	$\geq 10^6$	$F < 10$	> 10	10	I
22/08/2017	Ciliado Predador de Floco + Ciliados sésseis	$\geq 10^6$	$F < 10$	> 10	10	I
25/08/2017	Ciliado Predador de Floco + Ciliados sésseis	$\geq 10^6$	$F < 10$	> 10	10	I

29/08/2017	Ciliado Predador de Floco + Ciliados sésseis	$\geq 10^6$	$F < 10$	> 10	10	I
06/09/2017	Ciliado Predador de Floco + Ciliados sésseis	$\geq 10^6$	$F < 10$	> 10	10	I
12/09/2017	Ciliado Predador de Floco + Ciliados sésseis	$\geq 10^6$	$F < 10$	> 10	10	I
15/09/2017	Ciliado Predador de Floco + Ciliados sésseis	$\geq 10^6$	$F < 10$	> 10	10	I
19/09/2017	Ciliado Predador de Floco + Ciliados sésseis	$\geq 10^6$	$F < 10$	> 10	10	I
22/09/2017	Ciliado Predador de Floco + Ciliados sésseis	$\geq 10^6$	$F < 10$	> 10	10	I
28/09/2017	Ciliados livre-natantes	$\geq 10^6$	$F < 10$	8 - 10	4	III
29/09/2017	Tecamebas	$\geq 10^6$	$F < 10$	> 10	10	I
03/10/2017	Tecamebas	$< 10^6$	$F < 10$	5 - 7	7	II
06/10/2017	Ciliado Predador de Floco + Ciliados sésseis	$\geq 10^6$	$F < 10$	8 - 10	9	I
10/10/2017	Ciliado Predador de Floco + Ciliados sésseis	$\geq 10^6$	$F < 10$	> 10	10	I
17/10/2017	Ciliado Predador de Floco + Ciliados sésseis	$\geq 10^6$	$F < 10$	> 10	10	I
20/10/2017	Ciliado Predador de Floco + Ciliados sésseis	$\geq 10^6$	$F < 10$	8 - 10	9	I
24/10/2017	Ciliado Predador de Floco + Ciliados sésseis	$\geq 10^6$	$F < 10$	> 10	10	I
27/10/2017	Ciliado Predador de Floco + Ciliados sésseis	$\geq 10^6$	$F < 10$	> 10	10	I
08/11/2017	Ciliado Predador de Floco + Ciliados sésseis	$\geq 10^6$	$F < 10$	> 10	10	I
14/11/2017	Ciliado Predador de Floco + Ciliados sésseis	$\geq 10^6$	$F < 10$	> 10	10	I
22/11/2017	Ciliado Predador de Floco + Ciliados sésseis	$\geq 10^6$	$F < 10$	> 10	10	I
29/11/2017	Ciliado Predador de Floco + Ciliados sésseis	$\geq 10^6$	$F < 10$	> 10	10	I
06/12/2017	Ciliado Predador de Floco + Ciliados sésseis	$\geq 10^6$	$F < 10$	> 10	10	I
13/12/2017	Ciliado Predador de Floco + Ciliados sésseis	$\geq 10^6$	$F < 10$	> 10	10	I
20/12/2017	Tecamebas	$\geq 10^6$	$F < 10$	> 10	10	I
27/12/2017	Ciliado Predador de Floco + Ciliados sésseis	$\geq 10^6$	$F < 10$	> 10	10	I

APÊNDICE B – DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE BIÓTICO DE LODO E CLASSE DO LODO ATIVADO DA ETE PAVUNA

Data	Grupo chave dominante	Densidade (ind.L⁻¹)	F	n° táxons	IBL	Classe
03/05/2017	Tecamebas	$\geq 10^6$	F < 10	> 10	10	I
10/05/2017	Tecamebas	$\geq 10^6$	F < 10	8 - 10	9	I
17/05/2017	Ciliado Predador de Floco + Ciliado Sésil	$\geq 10^6$	F < 10	8 - 10	9	I
24/05/2017	Tecamebas	$\geq 10^6$	F < 10	8 - 10	9	I
31/05/2017	Tecamebas	$\geq 10^6$	F < 10	8 - 10	9	I
09/06/2017	Ciliados livre-natantes	$\geq 10^6$	F < 10	> 10	5	III
14/06/2017	Ciliado sésil > 80%	$\geq 10^6$	F < 10	8 - 10	8	I
21/06/2017	Ciliado Predador de Floco + Ciliado Sésil	$\geq 10^6$	F < 10	> 10	10	I
28/06/2017	Tecamebas	$\geq 10^6$	F < 10	> 10	10	I
05/07/2017	Tecamebas	$\geq 10^6$	F < 10	> 10	10	I
12/07/2017	Ciliados livre-natantes	$\geq 10^6$	F < 10	> 10	5	III
21/07/2017	Tecamebas	$\geq 10^6$	F < 10	> 10	10	I
26/07/2017	Ciliado Predador de Floco + Ciliado Sésil	$\geq 10^6$	F < 10	8 - 10	9	I
02/08/2017	Ciliado Predador de Floco + Ciliado Sésil	$\geq 10^6$	F < 10	8 - 10	9	I
09/08/2017	Tecamebas	$\geq 10^6$	F < 10	> 10	10	I
23/08/2017	Tecamebas	$\geq 10^6$	F < 10	8 - 10	9	I
01/09/2017	Ciliado Predador de Floco + Ciliado Sésil	$\geq 10^6$	F < 10	> 10	10	I
06/09/2017	Tecamebas	$\geq 10^6$	F < 10	8 - 10	9	I
13/09/2017	Ciliado Predador de Floco + Ciliado Sésil	$\geq 10^6$	F < 10	> 10	10	I
20/09/2017	Ciliados livre-natantes	$\geq 10^6$	F < 10	> 10	5	III
27/09/2017	Ciliado Predador de Floco + Ciliado Sésil	$\geq 10^6$	F < 10	8 - 10	9	I
04/10/2017	Ciliados livre-natantes	$\geq 10^6$	F < 10	> 10	5	III
11/10/2017	Tecamebas	$\geq 10^6$	F < 10	5 - 7	8	I
18/10/2017	Tecamebas	$\geq 10^6$	F < 10	> 10	10	I
25/10/2017	Tecamebas	$\geq 10^6$	F < 10	> 10	10	I
31/10/2017	Ciliados livre-natantes	$\geq 10^6$	F < 10	> 10	5	III
08/11/2017	Tecamebas	$\geq 10^6$	F < 10	> 10	10	I
14/11/2017	Ciliados livre-natantes	$\geq 10^6$	F < 10	> 10	5	III
22/11/2017	Tecamebas	$\geq 10^6$	F < 10	> 10	10	I
29/11/2017	Ciliados livre-natantes	$\geq 10^6$	F < 10	> 10	5	III
07/12/2017	Tecamebas	$\geq 10^6$	F < 10	> 10	10	I
13/12/2017	Tecamebas	$\geq 10^6$	F < 10	8 - 10	9	I
20/12/2017	Tecamebas	$\geq 10^6$	F < 10	8 - 10	9	I
22/12/2017	Tecamebas	$\geq 10^6$	F < 10	5 - 7	8	I
28/12/2017	Ciliado sésil > 80%	$\geq 10^6$	F < 10	8 - 10	8	I

APÊNDICE C – DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE BIÓTICO DE LODO E CLASSE DO LODO ATIVADO DA ETE SARAPUÍ

Data	Grupo chave Dominante	Densidade (ind.L⁻¹)	F	n° táxons	IBL	Classe
03/05/2017	Tecamebas	≥ 10 ⁶	F < 10	> 10	10	I
10/05/2017	Ciliados livre-natantes	≥ 10 ⁶	F < 10	> 10	5	III
17/05/2017	Tecamebas	≥ 10 ⁶	F < 10	5 - 7	8	I
24/05/2017	Ciliados Predadores de Floco + Ciliados Sésseis	≥ 10 ⁶	F < 10	8 - 10	9	I
29/05/2017	Tecamebas	≥ 10 ⁶	F < 10	> 10	10	I
07/06/2017	Ciliados Predadores de Floco + Ciliados Sésseis	≥ 10 ⁶	F < 10	> 10	10	I
14/06/2017	Ciliados Predadores de Floco + Ciliados Sésseis	≥ 10 ⁶	F < 10	5 - 7	8	I
21/06/2017	Ciliados Predadores de Floco + Ciliados Sésseis	≥ 10 ⁶	F < 10	8 - 10	9	I
28/06/2017	Ciliados Predadores de Floco + Ciliados Sésseis	≥ 10 ⁶	10 < F < 100	> 10	8	I
05/07/2017	Ciliados Predadores de Floco + Ciliados Sésseis	≥ 10 ⁶	F < 10	> 10	10	I
12/07/2017	Ciliados Predadores de Floco + Ciliados Sésseis	≥ 10 ⁶	F < 10	> 10	10	I
21/07/2017	Ciliados Predadores de Floco + Ciliados Sésseis	≥ 10 ⁶	F < 10	8 - 10	9	I
26/07/2017	Ciliados Predadores de Floco + Ciliados Sésseis	≥ 10 ⁶	F < 10	> 10	10	I
02/08/2017	Ciliados livre-natantes	≥ 10 ⁶	F < 10	> 10	5	III
23/08/2017	Ciliados livre-natantes	≥ 10 ⁶	F < 10	> 10	5	III
30/08/2017	Ciliados Predadores de Floco + Ciliados Sésseis	≥ 10 ⁶	F < 10	> 10	10	I
06/09/2017	Tecamebas	≥ 10 ⁶	F < 10	> 10	10	I
13/09/2017	Ciliados Predadores de Floco + Ciliados Sésseis	≥ 10 ⁶	F < 10	> 10	10	I
20/09/2017	Ciliados Predadores de Floco + Ciliados Sésseis	≥ 10 ⁶	F < 10	8 - 10	9	I
27/09/2017	Ciliados Predadores de Floco + Ciliados Sésseis	≥ 10 ⁶	F < 10	8 - 10	9	I
04/10/2017	Tecamebas	≥ 10 ⁶	F < 10	8 - 10	9	I
11/10/2017	Tecamebas	≥ 10 ⁶	F < 10	5 - 7	8	I
18/10/2017	Ciliados Predadores de Floco + Ciliados Sésseis	≥ 10 ⁶	F < 10	5 - 7	8	I
25/10/2017	Tecamebas	≥ 10 ⁶	F < 10	8 - 10	9	I
31/10/2017	Tecamebas	< 10 ⁶	F < 10	8 - 10	8	I
10/11/2017	Tecamebas	< 10 ⁶	F < 10	8 - 10	8	I
14/11/2017	Tecamebas	≥ 10 ⁶	F < 10	8 - 10	9	I
17/11/2017	Tecamebas	≥ 10 ⁶	F < 10	5 - 7	8	I
22/11/2017	Tecamebas	≥ 10 ⁶	F < 10	5 - 7	8	I
29/11/2017	Tecamebas	≥ 10 ⁶	F < 10	8 - 10	9	I
06/12/2017	Tecamebas	≥ 10 ⁶	F < 10	> 10	10	I
13/12/2017	Ciliados livre-natantes	< 10 ⁶	F < 10	8 - 10	3	IV
20/12/2017	Tecamebas	≥ 10 ⁶	F < 10	> 10	10	I
22/12/2017	Ciliados livre-natantes	≥ 10 ⁶	F < 10	8 - 10	4	III
27/12/2017	Ciliados livre-natantes	≥ 10 ⁶	F < 10	8 - 10	4	III

**APÊNDICE D – DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE BIÓTICO DE LODO E CLASSE
DO LODO ATIVADO DA ETE PENHA**

Data	Grupo chave-dominante	Densidade (ind.L-1)	F	Faixa	IBL	Classe
04/05/2017	Ciliado sésil > 80%	$\geq 10^6$	F < 10	> 10	9	I
08/05/2017	Ciliados Predadores de Floco + Ciliados Sésseis	$\geq 10^6$	F < 10	> 10	10	I
15/05/2017	Ciliados Predadores de Floco + Ciliados Sésseis	$\geq 10^6$	F < 10	5 - 7	8	I
22/05/2017	Ciliados Predadores de Floco + Ciliados Sésseis	$\geq 10^6$	F < 10	> 10	10	I
29/05/2017	Ciliados Predadores de Floco + Ciliados Sésseis	$\geq 10^6$	F < 10	> 10	10	I
05/06/2017	Ciliados Predadores de Floco + Ciliados Sésseis	$\geq 10^6$	F < 10	> 10	10	I
12/06/2017	Ciliados Predadores de Floco + Ciliados Sésseis	$\geq 10^6$	F < 10	> 10	10	I
19/06/2017	Tecamebas	$\geq 10^6$	F < 10	5 - 7	8	I
26/06/2017	Tecamebas	$\geq 10^6$	F < 10	8 - 10	9	I
03/07/2017	Ciliados Predadores de Floco + Ciliados Sésseis	$\geq 10^6$	F < 10	> 10	10	I
10/07/2017	Ciliados Predadores de Floco + Ciliados Sésseis	$\geq 10^6$	F < 10	> 10	10	I
19/07/2017	Tecamebas	$\geq 10^6$	F < 10	> 10	10	I
24/07/2017	Ciliados Predadores de Floco + Ciliados Sésseis	$< 10^6$	F < 10	5 - 7	7	II
31/07/2017	Ciliados Predadores de Floco + Ciliados Sésseis	$\geq 10^6$	F < 10	> 10	10	I
07/08/2017	Ciliados Predadores de Floco + Ciliados Sésseis	$\geq 10^6$	F < 10	> 10	10	I
16/08/2017	Ciliados Predadores de Floco + Ciliados Sésseis	$\geq 10^6$	F < 10	> 10	10	I
21/08/2017	Ciliados Predadores de Floco + Ciliados Sésseis	$\geq 10^6$	F < 10	> 10	10	I
28/08/2017	Ciliados Predadores de Floco + Ciliados Sésseis	$\geq 10^6$	F < 10	> 10	10	I
04/09/2017	Ciliados Predadores de Floco + Ciliados Sésseis	$\geq 10^6$	F < 10	> 10	10	I
11/09/2017	Ciliados Predadores de Floco + Ciliados Sésseis	$\geq 10^6$	F < 10	> 10	10	I
18/09/2017	Tecamebas	$\geq 10^6$	F < 10	> 10	10	I
25/09/2017	Ciliados Predadores de Floco + Ciliados Sésseis	$\geq 10^6$	F < 10	> 10	10	I
02/10/2017	Tecamebas	$\geq 10^6$	F < 10	> 10	10	I
09/10/2017	Ciliados livre-natantes	$\geq 10^6$	F < 10	> 10	5	III
16/10/2017	Ciliados livre-natantes	$\geq 10^6$	F < 10	> 10	5	III
23/10/2017	Tecamebas	$\geq 10^6$	F < 10	> 10	10	I
30/10/2017	Tecamebas	$\geq 10^6$	F < 10	> 10	10	I
06/11/2017	Tecamebas	$\geq 10^6$	F < 10	> 10	10	I
13/11/2017	Ciliados livre-natantes	$\geq 10^6$	F < 10	5 - 7	3	IV
27/11/2017	Ciliados Predadores de Floco + Ciliados Sésseis	$\geq 10^6$	F < 10	> 10	10	I
04/12/2017	Ciliados livre-natantes	$\geq 10^6$	F < 10	> 10	5	III
11/12/2017	Ciliados Predadores de Floco + Ciliados Sésseis	$\geq 10^6$	F < 10	8 - 10	9	I
18/12/2017	Ciliados Predadores de Floco + Ciliados Sésseis	$\geq 10^6$	F < 10	5 - 7	8	I
27/12/2017	Tecamebas	$\geq 10^6$	F < 10	8 - 10	9	I

**APÊNDICE E – DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE BIÓTICO DE LODO E CLASSE
DO LODO ATIVADO DA ETE ILHA**

Data	Grupo chave-dominante	Densidade (ind.L-1)	F	Faixa	IBL	Classe
04/05/2017	Ciliados Predadores de Floco + Ciliados Sésseis	$\geq 10^6$	F < 10	8 - 10	9	I
08/05/2017	Ciliados Predadores de Floco + Ciliados Sésseis	$\geq 10^6$	F < 10	8 - 10	9	I
15/05/2017	Ciliados Predadores de Floco + Ciliados Sésseis	$\geq 10^6$	F < 10	> 10	10	I
22/05/2017	Ciliados Predadores de Floco + Ciliados Sésseis	$\geq 10^6$	F < 10	8 - 10	9	I
29/05/2017	Ciliados Predadores de Floco + Ciliados Sésseis	$\geq 10^6$	F < 11	> 10	10	I
05/06/2017	Ciliados Predadores de Floco + Ciliados Sésseis	$\geq 10^6$	F < 10	5 - 7	8	I
12/06/2017	Ciliados Predadores de Floco + Ciliados Sésseis	$\geq 10^6$	F < 10	8 - 10	9	I
19/06/2017	Ciliados Predadores de Floco + Ciliados Sésseis	$\geq 10^6$	F < 10	> 10	10	I
26/06/2017	Ciliados Predadores de Floco + Ciliados Sésseis	$\geq 10^6$	F < 10	8 - 10	9	I
03/07/2017	Ciliados Predadores de Floco + Ciliados Sésseis	$\geq 10^6$	F < 10	5 - 7	8	I
10/07/2017	Ciliados Predadores de Floco + Ciliados Sésseis	$\geq 10^6$	F < 10	5 - 7	8	I
19/07/2017	Ciliados Predadores de Floco + Ciliados Sésseis	< 10^6	F < 10	5 - 7	7	II
24/07/2017	Ciliados sésseis > 80%	$\geq 10^6$	F < 10	8 - 10	8	I
31/07/2017	Ciliados Predadores de Floco + Ciliados Sésseis	$\geq 10^6$	F < 10	5 - 7	8	I
07/08/2017	Ciliados Predadores de Floco + Ciliados Sésseis	$\geq 10^6$	F < 10	5 - 7	8	I
16/08/2017	Ciliados Predadores de Floco + Ciliados Sésseis	$\geq 10^6$	F < 10	8 - 10	9	I
21/08/2017	Ciliados Predadores de Floco + Ciliados Sésseis	$\geq 10^6$	F < 10	8 - 10	9	I
28/08/2017	Ciliados Predadores de Floco + Ciliados Sésseis	$\geq 10^6$	F < 10	> 10	10	I
04/09/2017	Ciliados Predadores de Floco + Ciliados Sésseis	$\geq 10^6$	F < 10	> 10	10	I
11/09/2017	Ciliados Predadores de Floco + Ciliados Sésseis	$\geq 10^6$	F < 10	> 10	10	I
18/09/2017	Ciliados Predadores de Floco + Ciliados Sésseis	$\geq 10^6$	F < 10	5 - 7	8	I
25/09/2017	Ciliados sésseis > 80%	$\geq 10^6$	F < 10	8 - 10	8	I
02/10/2017	Ciliados Predadores de Floco + Ciliados Sésseis	$\geq 10^6$	F < 10	8 - 10	9	I
09/10/2017	Ciliados Predadores de Floco + Ciliados Sésseis	$\geq 10^6$	F < 10	5 - 7	8	I
16/10/2017	Ciliados Predadores de Floco + Ciliados Sésseis	< 10^6	F < 10	5 - 7	7	II
23/10/2017	Ciliados Predadores de Floco + Ciliados Sésseis	$\geq 10^6$	F < 10	8 - 10	9	I
30/10/2017	Ciliados Predadores de Floco + Ciliados Sésseis	$\geq 10^6$	F < 10	8 - 10	9	I
06/11/2017	Ciliados Predadores de Floco + Ciliados Sésseis	$\geq 10^6$	F < 10	8 - 10	9	I
13/11/2017	Ciliados Predadores de Floco + Ciliados Sésseis	$\geq 10^6$	F < 10	8 - 10	9	I
27/11/2017	Ciliados Predadores de Floco + Ciliados Sésseis	$\geq 10^6$	F < 10	8 - 10	9	I
04/12/2017	Ciliados Predadores de Floco + Ciliados Sésseis	$\geq 10^6$	F < 10	5 - 7	8	I
11/12/2017	Ciliados Predadores de Floco + Ciliados Sésseis	$\geq 10^6$	F < 10	5 - 7	8	I
18/12/2017	Tecamebas	< 10^6	F < 10	< 5	6	II
27/12/2017	Ciliados sésseis > 80%	$\geq 10^6$	F < 10	< 5	6	II