

CARACTERIZAÇÃO DA MICROFAUNA EM ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS DO TIPO LODOS ATIVADOS: UM INSTRUMENTO DE AVALIAÇÃO E CONTROLE DO PROCESSO

MICROFAUNA CHARACTERIZATION IN ACTIVATED SLUDGE WASTEWATER TREATMENT PLANT: AN INSTRUMENT OF ASSESSMENT AND CONTROL OF PROCESS

ALESSANDRA PELLIZZARO BENTO

Bióloga e Doutora em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) com Doutorado Sanduíche na Universidade Técnica de Munique (TUM – Alemanha)

PABLO HELENO SEZERINO

Engenheiro Sanitarista e Doutorando em Engenharia Ambiental na UFSC

LUIZ SERGIO PHILIPPI

Doutor em Saneamento Ambiental pela Université de Montpellier I (França) e Professor Titular do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFSC

VALERIA REGINATTO

Bioquímica pela UFSC. Doutora em Ciências pela UNICAMP com Doutorado Sanduíche na Universidade de Hanover (Alemanha)

FLAVIO RUBENS LAPOLLI

Engenheiro Civil pela UFSC. Doutor em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela USP (São Carlos) e Professor Titular do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFSC

Recebido: 07/01/05 Aceito: 29/09/05

RESUMO

A microfauna presente em uma ETE por lodos ativados foi caracterizada, correlacionada com parâmetros físico-químicos e utilizada em modelos existentes de avaliação de sistemas. Durante 351 dias o lodo ativado manteve-se estável com flocos compactos, pequenos e com poucos filamentos. Os protozoários predominantes no lodo foram as tecamebas e os ciliados predadores de flocos, indicando estabilidade do sistema. Os métodos propostos em literatura, baseados no IBL, na densidade total da microfauna e na relação entre ciliados predadores de flocos e ciliados fixos, mostraram-se eficientes para o diagnóstico das condições depurativas do sistema. A análise qualitativa do lodo, englobando o tamanho, quantidade de filamentos, compactação e a identificação das espécies dominantes, foi suficiente para uma caracterização imediata das condições depurativas do sistema de tratamento.

PALAVRAS-CHAVE: Microfauna, lodo ativado, esgoto doméstico, microscopia, diagnóstico do tratamento.

ABSTRACT

Microfauna found in an activated sludge WTP was characterized, correlated to the physical-chemical parameters and used in existing assessment models. During 351 days, the activated sludge remained stable with compacted and small poorly filamentous flocs. It was composed mainly by testate amoebas and crawling ciliates that indicated the stability of the system. The application of the existent system evaluation models to microfauna (SBI, crawling ciliate/attached ciliate relation and total density) was found to be efficient for the assessment of the system depurative conditions. The sludge qualitative analysis, which included the flocs size, amount of filaments, compacting and the identification of the dominant microfauna species, was enough to an immediate diagnosis of the treatment system depurative conditions.

KEYWORDS: *Microfauna, activated sludge, domestic wastewater, microscopy, treatment diagnosis*

INTRODUÇÃO

Os sistemas de tratamento de esgotos por lodos ativados são os mais amplamente empregados no mundo todo, principalmente pela alta eficiência alcançada associada à pequena área de implantação requerida, quando comparado a outros sistemas de tratamento. O princípio do processo baseia-se na oxidação bioquímica dos compostos orgânicos e inorgânicos presentes nos esgotos, mediada por uma população microbiana diversificada e mantida em suspensão num meio aeróbio. A eficiência do processo depende, dentre outros fatores, da capacidade de floculação da biomassa ativa e da composição dos flocos formados.

Os flocos biológicos constituem um micro-sistema complexo formado por bactérias, fungos, protozoários e micrometazoários. As bactérias são as principais responsáveis pela depuração da matéria carbonácea e pela estruturação dos flocos. Entretanto, os componentes da microfauna (protozoários e micrometazoários) também têm importante papel na manutenção de uma comunidade bacteriana equilibrada, na remoção de *E. coli*, na redução da DBO₅ e na floculação. Por serem extremamente sensíveis às alterações no processo, os componentes da microfauna alternam-se no

sistema em resposta às mudanças nas condições físico-químicas e ambientais. Desse modo, a composição da microfauna do lodo ativado revela tendências do processo, quanto a eficiência da remoção da demanda bioquímica de oxigênio – DBO₅; a eficiência da remoção de sólidos suspensos - SS; as condições de sedimentação do lodo; o nível de aeração empregado no sistema; a presença de compostos tóxicos, tais como metais pesados e amônia; além de poder indicar a ocorrência de sobrecargas orgânicas e de nitrificação (Gerardi, 1986; Hoffmann e Platzer, 2000).

A grande maioria dos autores, dentre eles Jenkins et al (1993), Madoni (1994), Figueiredo et al (1997) e Bento et al (2000) agrupam a microfauna presente no lodo ativado conforme especificado na Tabela 1.

Ao longo dos anos alguns 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, destacam-se o modelo criado por Madoni (1994), por De Marco et al (1991) e Bedgoni et al (1991).

De Marco et al (1991) classificaram as estações de tratamento por lodos ativados, baseado na densidade total dos

protozoários presentes no tanque de aeração, em 3 categorias:

(a) Sistemas ineficientes: aqueles com aproximadamente 10 organismos/mL;

(b) Sistemas pouco eficientes: aqueles com densidades de 10-10³ organismos/mL;

(c) Sistemas eficientes: aqueles com mais ou 10³ organismos/mL.

Segundo Bedgoni (1991), a razão entre a densidade de ciliados predadores de flocos e ciliados fixos está associada à eficiência do tratamento. Quando a razão é maior ou igual a 0,5, um efluente de melhor qualidade é obtido.

Madoni (1994) correlacionou condições operacionais e os protozoários encontrados nos tanques de aeração de 44 ETEs por lodos ativados, após 20 anos de estudos, definindo grupos positivos e negativos relacionados à eficiência depurativa dos sistemas. O autor agrupou os CPFs, CFs e TAMBs como positivos e os pequenos flagelados, os CLNs, *Vorticella microstoma* e *Opercularia* spp como negativos. A partir deste estudo, o mesmo autor desenvolveu uma matriz de correlação para obtenção do Índice Biótico do Lodo – IBL relacionado às características do sistema. A determinação do IBL baseia-se em relações entre os grupos positivos e os negativos, considerando-se a

Tabela 1 – Classificação utilizada para agrupar os organismos da microfauna

Grupos	Classificação	Breve descrição
Ciliados	Ciliados predadores de flocos - CPF	Possuem a célula achatada dorsoventralmente e cílios modificados e agrupados na parte do corpo que fica em contato com o substrato. São vorazes predadores de bactérias.
	Ciliados Livre Natantes - CLN	Possuem cílios distribuídos regularmente por toda a célula e nadam livremente entre os flocos. São predadores e carnívoros.
	Ciliados Fixos - CF	Ficam unidos ao substrato por um pedúnculo, sendo algumas espécies, coloniais. Os cílios encontram-se na região anterior do corpo, próximo à cavidade oral.
Amebas	Tecamebas - TAMB	Possuem revestimento externo constituído por proteínas, sílica, calcário, ferro, etc.
	Amebas nuas - AMN	Não possuem forma definida, têm corpo mole.
Flagelados	Zooflagelados - ZFL ou FLG	São flagelados não pigmentados podendo ter de um a vários flagelos. Ingerem matéria sólida ou substâncias orgânicas e inorgânicas dissolvidas.
Micrometazoários	Rotíferos, Nematóides, Anelídeos, Tardígrados - MTZ	São organismos pluricelulares de vários filos. Possuem lenta taxa de crescimento, sendo a maioria composta por predadores de bactérias e protozoários.

Fonte: Adaptado de Figueiredo et al, 1997.

densidade e o número de unidades taxonômicas presentes no reator. A concentração de pequenos flagelados constitui um parâmetro de grande interferência no cálculo do índice. Os valores do IBL correspondem a uma das 4 classes definidas para classificação das características do lodo e da qualidade do efluente (Tabela 2).

De acordo com Jenkins et al (1993), Madoni (1994) e Figueiredo et al (1997), um bom desempenho do sistema está diretamente relacionado às espécies dominantes no processo, conforme relações descritas na Tabela 3.

Em alguns países, como por exemplo, na Alemanha, a análise microscópica do lodo é prescrita legalmente para sistemas de lodos ativados que atendem mais de 10.000 habitantes. O diagnóstico obtido pela microscopia do lodo ativado é utilizado para alterar as características operacionais do sistema, tais como a idade do lodo e a concentração de oxigênio dissolvido no reator (Hoffmann e Platzer, 2000). No Brasil, a maioria dos sistemas de tratamento de esgotos é monitorada e controlada pelas análises físico-químicas. A observação microscópica ainda é um instrumento raro, geralmente realizada em curtos períodos de tempo e seus resultados são, na grande maioria, subutilizados.

O presente trabalho tem como objetivo a caracterização e quantificação da microfauna presente nos tanques de aeração de uma ETE do tipo lodos ativados (sistema Insular de Florianópolis/SC) e sua correlação com os parâmetros físico-químicos e a eficiência do processo. Além disso, os resultados biológicos obtidos são aplicados nos modelos de avaliação pré-existentes.

MATERIAIS E MÉTODOS

Durante o estudo foram realizadas análises microscópicas, bacteriológicas, físico-químicas e das condições operacionais na ETE Insular de Florianópolis/SC, sob responsabilidade da CASAN (Companhia Catarinense de Águas e Saneamento), a qual possui capacidade instalada para atender 150.000 habitantes da Ilha de Santa Catarina, correspondente a uma vazão média afluyente de 278 L/s. A ETE é do tipo Lodos Ativados de Aeração Prolongada sendo constituída por unidades anóxicas (seletores biológicos e câmaras de desnitrificação) antecedendo tanques de aeração de mistura completa.

As amostragens tiveram periodicidade de 15 dias, tendo início em setem-

Tabela 2 – Conversão do IBL em 4 classes de qualidade e respectivas características do sistema

Valor do IBL	Classe	Características
8 - 10	I	Sistema muito bem colonizado com excelente atividade biológica e ótima performance.
6 - 7	II	Lodo estável e bem colonizado, atividade biológica em declínio e boa performance.
4 - 5	III	Insuficiente depuração biológica no tanque de aeração e média performance.
0 - 3	IV	Fraca depuração biológica no tanque de aeração e baixa performance.

Fonte: Madoni, 1994.

Tabela 3 – Microrganismos indicadores das condições de depuração

Microrganismos	Características do processo
Predominância de flagelados e amebas	Lodo jovem, característica de início de operação ou baixa idade do lodo
Predominância de flagelados	Deficiência de aeração, má depuração e sobrecarga orgânica
Predominância de cílios pedunculados e livres	Boas condições de depuração
Predominância de <i>Arcella</i> (ameba com teca)	Boa depuração
Predominância de <i>Aspidisca costata</i>	Nitrificação
Predominância de <i>Trachelophyllum</i>	Alta idade do lodo
Predominância de <i>Vorticella microstoma</i> (cílios pedunculado) e baixa concentração de cílios livres	Efluente de má qualidade
Predominância de anelídeos do gênero <i>Aeolosoma</i>	Excesso de oxigênio dissolvido
Predominância de filamentos	Intumescimento do lodo

Fonte: Figueiredo et al (1997).

bro de 1999 e término em agosto de 2000. Foram avaliadas amostras pontuais do esgoto afluyente e efluente da ETE para verificação da eficiência do processo e amostras pontuais da massa líquida dos tanques de aeração para a avaliação microscópica.

A análise microscópica quantitativa foi realizada com amostras do tanque de aeração, diluídas 10 vezes e dispostas em câmara de *Sedwick-Rafter* reticulada, com formato retangular (50 x 20 mm), profundidade de 1 mm, área de 1.000 mm², volume útil de 1 mL e 1.000 retículos de 0,001 mL de volume. Para cada amostra, identificaram-se e quantificaram-se as espécies da microfauna presentes em 10 retículos, sendo o resultado final, a média de 3 procedimentos. Para cada leitura, preparou-se a câmara de *Sedwick* e foram contados aleatoriamente 10 retículos,

totalizando o volume de 0,01 mL. O resultado de cada leitura foi multiplicado por 100, para caracterizar o número de organismos presentes em 1 mL de amostra. O procedimento foi realizado em microscópio óptico triocular invertido (Coleman, modelo XDP-I) aumento de 100 ou 400 vezes.

Na identificação da microfauna, utilizaram-se chaves descritas por Bick (1972), WPC (1990) e Patterson (1996). A classificação foi efetuada ao nível de gênero. O lodo foi observado qualitativamente pela avaliação da estrutura dos flocos.

Os parâmetros físico-químicos, tais como, potencial hidrogeniônico – pH, alcalinidade, demanda química de oxigênio – DQO, demanda bioquímica de oxigênio – DBO₅, sólidos suspensos – SS, sedimentabilidade do lodo – Ssd, nitrogênio amoniacal – N-NH₄⁺, nitrogênio

nitrito – $N-NO_2^-$, nitrogênio nitrato – $N-NO_3^-$, turbidez e índice volumétrico do lodo – IVL, assim como os bacteriológicos de coliformes totais e *Escherichia coli*, seguiram critérios descritos no *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (AWWA/WEF, 1995). O nitrogênio amoniacal foi determinado pelo método Nessler (Vogel, 1981), o OD_{TA} foi mensurado pelo método iodométrico de Winkley modificado com azida sódica (NBR 10559/88) e o IVL, calculado conforme descrito por Jenkins et al (1993). A relação A/M (alimento/microrganismo) foi obtida pela relação entre a carga de DBO_5 ($g/m^3/d$) e a massa de microrganismos no reator ($g/m^3 \times$ volume do reator em m^3) (von Sperling, 1997).

As correlações entre as variáveis biológicas e as variáveis físico-químicas foram verificadas pelo método de correlação de *Pearson*, sendo consideradas positivas aquelas que apresentaram o coeficiente de correlação (r) $> 0,200$ e negativas ou inversamente correlacionadas aquelas com $r < -0,200$.

Os resultados microscópicos obtidos foram expressos pela frequência relativa, abundância, densidade média e também foram avaliados de acordo com os métodos propostos por Madoni (1994), De Marco et al (1991) e Bedgoni (1991).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao longo do período estudado (351 dias), as características estruturais dos flocos biológicos não apresentaram variações significativas, sendo que estes se mantiveram dispersos, fracos com diâmetro variando de pequeno a médio (menores que $100\mu m$), com presença de poucos e curtos filamentos de *Nocardia* spp, raros representantes de Zooglea e fungos (Figura 1). A microfauna foi composta predominantemente por TAMBs e CPFs em frequência de 100% e 91%, respectivamente (Tabela 4). Esses mesmos grupos de organismos apresentaram maior número de indivíduos na comunidade, compondo 40% e 23%, respectivamente, da densidade média da microfauna (Figura 2).

A frequência relativa (Tabela 5) mostra que os gêneros *Arcella* e *Euglypha* (Figura 3a e 3b) estiveram presentes em todas as amostras em densidades médias de 1.800 indivíduos/mL, para ambos os gêneros. O ciliado *Aspidisca* (Figura 3c) foi o terceiro gênero mais frequente, apresentando 95% de frequência e densidade média de 4.600 indivíduos/mL.

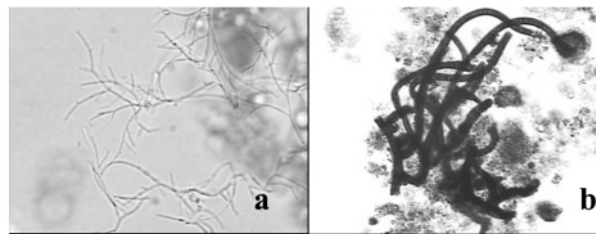


Figura 1 - Formas filamentosas encontradas nos flocos. (a) Filamentos de *Nocardia* sp (aumento 1.000 vezes) e (b) fungos (aumento 100 vezes)

Tabela 4 - Frequência relativa dos grupos componentes da microfauna junto ao tanque de aeração

Grupo	Freqüência (%)
Tecamebas - TAMBs	100
Ciliados predadores de flocos - CPFs	91
Ciliados livre-natantes - CLNs	70
Ciliados fixos - CFs	66
Zooflagelados - ZFLGs	69
Micrometazoários - MTZs	86

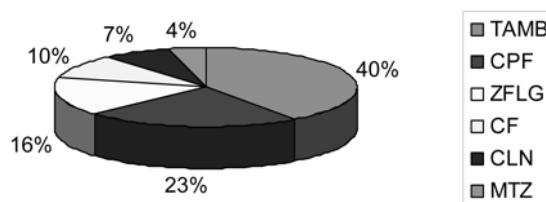


Figura 2 - Abundância relativa dos grupos da microfauna

Os pequenos ZFLGs, juntamente com *Aspidisca*, apresentaram densidades notadamente maiores no período de 25/04/00 a 08/08/00, quando também se observou o surgimento dos CFs *Thuricola* sp (Figura 4a) e *Vaginicolla* sp. Neste mesmo período ocorreram as menores temperaturas atmosféricas, atingindo $14^{\circ}C$. Os MTZs foram visualizados em baixa densidade, mas em elevada frequência, principalmente os rotíferos (Figura 4b), indicando uma elevada idade do lodo. Dentre os ciliados fixos, *Vorticella* sp (Figura 4c) apresentou maior frequência, mas também menor densidade em relação aos demais.

O número de indivíduos da microfauna variou de 4.750 indivíduos/mL a 53.010 indivíduos/mL, sendo que as maiores densidades ocorreram nos períodos de novembro a dezembro de 1999, com média de 32.427 indivíduos/mL maio a agosto de 2000, média

de 28.645 indivíduos/mL. As reduções de DQO, DBO_5 e *E. coli* apresentaram correlações positivas com a densidade total de organismos no reator, indicando que quanto maior a densidade de organismos, maior a remoção destes parâmetros no sistema (Tabela 6). Vários autores (Curds, 1975; De Marco et al, 1991; Madoni, 1994) obtiveram as mesmas correlações. A redução de bactérias *E. coli* deve-se à predação exercida pelos protozoários. Nos sistemas de lodos ativados o reduzido tempo de detenção hidráulica não favorece o declínio bacteriano de *E. coli*, portanto, os fatores preponderantes na remoção destas bactérias são a predação exercida pela microfauna além de sua aderência aos flocos biológicos. Curds (1975), após inúmeros experimentos, concluiu que a presença de protozoários em sistemas reduz mais que 99% das bactérias do grupo coliformes fecais.

Tabela 5 - Frequência relativa e densidade média dos gêneros da microfauna encontrados no sistema, durante o estudo

Grupo	Gênero	Frequência (%)	Média (indivíduos/mL)
CPF	<i>Aspidisca</i>	95	460
	<i>Euplotes</i>	50	490
	<i>Chilodonella</i>	30	590
CLN	<i>Blepharisma</i>	15	190
	<i>Paramecium</i>	10	140
	NI	15	730
	<i>Trachelophylum</i>	75	1110
	<i>Chaetospira</i>	30	360
	<i>Colpoda</i>	5	840
	<i>Tetrahymena</i>	5	490
CF	<i>Vorticella</i>	50	460
	<i>Epistylis</i>	20	1820
	<i>Opercularia</i>	10	2280
	<i>Vaginicola e Thuricola</i>	35	3780
CF - carnívoros	<i>Acineta</i>	15	260
	<i>Tokophrya</i>	10	170
	<i>Podophrya</i>	10	60
ZFLG	<i>Bodo</i>	20	7410
	<i>Peranema</i>	40	490
	NI	50	8050
TAMB	<i>Arcella</i>	100	1810
	<i>Centropyxis</i>	70	1420
	<i>Euglypha</i>	100	1790
	<i>Diffugia</i>	20	5010
	<i>Diolophrys</i>	5	330
AMB	<i>Quadrueella</i>	15	1650
	Amebas nuas	20	4620
	Rotíferos	80	410
MTZ	Tardígrados	55	120
	Nematóide	5	80
	<i>Aelossoma</i>	30	410
	NI	10	140

Convenções: CPF – Ciliados Predadores de Flocos; CLN – Ciliados Livre-Natantes; CF – Ciliados Fixos; ZFLG – Zooflagelados; TAMB = Tecamebas; AMB – Amebas; MTZ – Micrometazoários; NI = Não identificado

As concentrações de SS e a turbidez no efluente apresentaram relação diretamente proporcional com a densidade total da microfauna. Quanto maior a densidade de organismos nos reatores, maior também a concentração de sólidos no efluente. Provavelmente, os ZFLGs são os responsáveis por essa condição, pois estes organismos não se agregam aos flocos e por isso, saem do sistema junto com o efluente final. Em estudo realizado por Madoni (1994), relações similares foram verificadas, mas, geralmente, associadas à queda da eficiência depurativa do sistema, fato este não verificado na ETE durante o período estudado.

As correlações entre a densidade dos grupos da microfauna presentes nos reatores do sistema e os demais parâmetros encontram-se descritas na Tabela 7. As correlações negativas para as concentrações de DQO e DBO_5 no efluente coincidem para os CPFs, CFs e ZFLGs, significando que as maiores remoções de DQO e DBO_5 ocorreram quando os organismos pertencentes a esses 3 grupos foram mais abundantes. Esse fato era esperado para os CPFs e ps CFs, os quais contribuem para a redução do material particulado, não integrante dos flocos. Entretanto, para os ZFLGs esta relação deveria ser inversa e não proporcional, pois estes organismos não se aderem ao floco, são eliminados no efluente final e desenvolvem-se no sistema em presença de material orgânico dissolvido. A possível explicação para esta constatação pode residir na presença do grande ZFLG *Peranema* sp no sistema, além dos pequenos flagelados, sendo que os estudos realizados apontam apenas os segundos como indicadores de baixa eficiência depurativa.

A DBO_5 efluente apresentou relação inversa à densidade de CPFs, CFs, ZFLGs e CLNs, e diretamente proporcional às densidades de TAMBs e MTZs. Jardim et al (1997) observaram correlações semelhantes para os CLNs e ZFLGs e TAMBs. Porém, para os MTZs os autores verificaram o oposto, menores concentrações de DBO_5 efluente quando a densidade de MTZs no tanque de aeração era maior.

As concentrações de SS e a turbidez do efluente foram diretamente proporcionais às densidades de TAMBs e ZFLGs e, inversamente proporcionais à densidade de CLNs, o que coincide com as observações feitas por Madoni (1994). Os ZFLGs são os protozoários mais citados como indicadores de efluente com eleva-

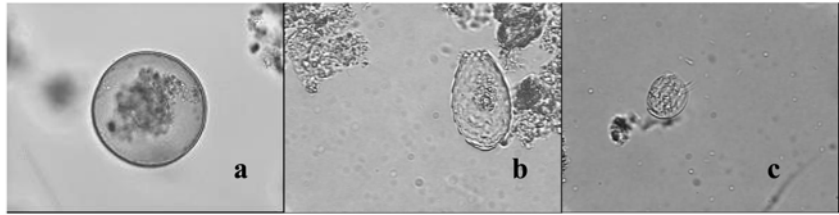


Figura 3 - Protozoários presentes em maior frequência na ETE em estudo. (a) *Arcella* sp (aumento de 400 vezes), imagem capturada pela bióloga Vanessa Cataneo, (b) *Euglypha* sp (aumento de 400 vezes) e (c) *Aspidisca* sp (aumento de 400 vezes)

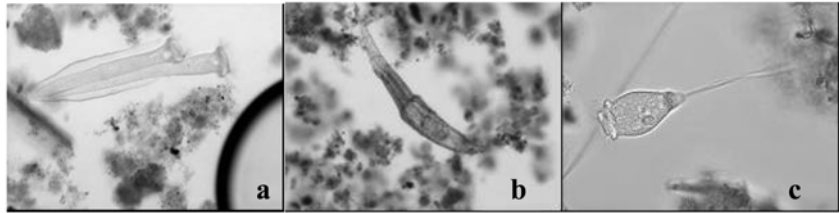


Figura 4 - Ciliados fixos e rotíferos presentes no lodo. (a) *Thuricola* sp (aumento de 200 vezes), (b) rotífero (aumento de 200 vezes), (c) *Vorticella* sp (aumento de 200 vezes). Imagens capturadas pela bióloga Vanessa Cataneo

Tabela 6 - Correlação entre densidade total da microfauna nos reatores e parâmetros físico-químicos, operacionais e bacteriológicos

Parâmetro	Correlação
DQO (% remoção)	+
DBO_5 (% remoção)	+
$N-NH_4^+$ (% remoção)	0
SS (concentração no efluente)	+
Turbidez (efluente)	+
<i>E. coli</i> (remoção - log)	+
IVL (tanque de aeração)	0
pH (tanque de aeração)	-
SSd (tanque de aeração)	-
Temperatura (tanque de aeração)	-

Convenções: +: correlação positiva (diretamente proporcional); -: correlação negativa (inversamente proporcional) e 0: correlação nula (sem correlação).

da concentração de SS e DBO_5 . Da mesma forma, esses protozoários apresentaram correlações significativas com o IVL, podendo-se sugerir sua indicação para sistemas com problemas na sedimentação do lodo.

A ocorrência e densidade de MTZs estiveram diretamente relacionadas com o IVL, indicando que os maiores índices ocorreram quando maiores densidades de MTZs foram observadas. Os MTZs apresentam lenta taxa de crescimento e reprodução e por isso indicam alto tempo de

detenção celular. Dessa forma, para a ETE Insular, pode-se relacionar as maiores idades do lodo com maiores valores de IVL.

Pela correlação de Pearson os únicos organismos que apresentaram relação com a concentração de $N-NH_4^+$ no efluente foram os CPFs. Para o $N-NO_3^-$ observaram-se correlações negativas com os CLNs e os CPFs. Através desta análise, pode-se sugerir que a nitrificação apresentou relação com a densidade de CPF no reator, ou seja, quanto maior a densidade desses organismos, menor a taxa de nitrificação

Tabela 7 - Correlação entre a densidade dos grupos da microfauna e os parâmetros físico-químicos e bacteriológicos

Parâmetros	CPF	CLN	CF	TAMB	ZFLG	MTZ
DQO efluente (mg/L)	-	0	-	0	-	-
pH no tanque de aeração	-	+	0	0	-	0
Temperatura da amostra	-	0	0	0	-	0
N-NH ₄ ⁺ no efluente	+	0	0	0	0	0
DBO ₅ efluente (mg/L)	-	-	-	+	-	+
SS no efluente	+	-	0	+	+	0
Turbidez no efluente	0	-	0	-	0	0
IVL	0	0	0	0	+	-
<i>E. colino</i> efluente	-	-	-	0	-	0
SSd	+	+	+	-	+	-
N-NO ₃ ⁻ no efluente	-	-	0	0	0	0

Convenções - CPF: Ciliados Predadores de Flocos; CLN: Ciliados Livre-Natantes; CF: Ciliados Fixos; ZFLG: Zooflagelados; TAMB: Tecamebas; AMB: Amebas; MTZ: Micrometazoários; +: correlação positiva (diretamente proporcional); -: correlação negativa (inversamente proporcional) e 0: correlação nula (sem correlação).

(maiores concentrações de N-NH₄⁺ e menores concentrações de N-NO₃⁻ no efluente).

Apesar de não se ter conhecimentos mais específicos sobre as relações entre a microfauna e o processo de nitrificação, autores como Jardim et al (1997) e Cybis et al (1997) observaram correlações entre a ocorrência de nitrificação e a presença de CFs no reator. Jenkins et al (1993) relacionaram a presença de nematóides e tardígrados com a ocorrência de nitrificação no sistema, pois esses organismos apresentam extrema sensibilidade à presença de amônia. Entretanto, pelo método de correlação de Pearson, essas relações não foram verificadas neste estudo.

Na Tabela 8 pode-se observar a aplicação dos métodos de Madoni (1994), De Marco et al (1991) e Bedgoni (1991), os quais baseiam-se no IBL, na densidade total da microfauna e na relação CPF/CF, respectivamente, na caracterização da ETE Insular.

De acordo com o IBL o sistema apresentou média, boa e excelente performance em 20%, 35% e 45% do período avaliado, respectivamente. Algumas das amostragens com menores índices coincidem com maiores concentrações de DBO₅ no efluente. A avaliação da ETE, segundo De Marco (1991), indicou que o sistema apresentou excelente eficiência durante todo o período, pois a densidade da microfauna foi superior a 1.000 indivíduos/mL em todas as amostragens. Pela relação proposta por Bedgoni (1991), o

sistema foi muito eficiente durante todo o estudo, exceto em uma amostragem (06/06/00). Neste mesmo dia, verificou-se a maior DBO₅ no efluente da ETE (20 mg/L).

As relações entre os microrganismos dominantes no lodo e o seu significado no sistema, conforme literatura especializada, encontram-se descritas na Tabela 9, juntamente com as concentrações de DBO₅ e N-NH₄⁺ no esgoto tratado. Observa-se que na maior parte do período, a microfauna dominante nos reatores indicou boas condições de depuração e a ocorrência da nitrificação. Os períodos de média e baixa eficiência estiveram associados, principalmente, à dominância de ZFLGs e CFs (*Epistylis* e *Vaginicola*) e os períodos de alta eficiência, associados à presença de TAMBs e CPFs.

As características do processo, presumidas pelos organismos dominantes nos reatores, revelaram que na maioria do período estudado o sistema apresentou alta idade do lodo, indicada principalmente pela presença de TAMBs, *Trachellophyllum* (Figura 5a) e MTZs; baixa relação A/M, evidenciada por *Nocardia* spp, ocorrência de nitrificação verificada pela presença de *Aspidisca* e Tardígrados (Figura 5b). Os menores desempenhos foram associados à presença dominante de pequenos ZFLGs e CFs. Em algumas amostragens a dominância ou co-dominância de ZFLG não alterou a qualidade do efluente. Associa-se a esse fato a detecção do grande flagelado *Peranema* sp e não

somente das espécies de tamanho pequeno, citadas em literatura como bioindicadoras de baixo desempenho em sistemas de lodos ativados.

As análises físico-químicas evidenciaram que a ETE Insular apresentou excelente performance durante todo o período de estudo, com elevada remoção de matéria orgânica carbonácea e ocorrência de nitrificação e provável desnitrificação (Tabela 10).

Os resultados apresentados na Tabela 10 revelam a boa eficiência do sistema estudado, indicando que as informações obtidas pelas análises microscópicas, de uma maneira geral, forneceram uma indicação correta acerca da performance do tratamento.

CONCLUSÕES

Com base no estudo microscópico realizado junto à ETE Insular de Florianópolis/SC (do tipo lodos ativados de aeração prolongada) e aplicando-o como método de avaliação do sistema, conclui-se:

- A presença de filamentos de *Nocardia* sp, flocos pequenos, *Arcella* sp e *Euglypha* sp indicou que a ETE estudada trabalha com baixa relação A/M, o que pode ser comprovado pelas análises físico-químicas da ETE (aproximadamente 0,032 kg DBO/kgSSV/d);
- As remoções médias de 97% de DBO₅, 80% de DQO e 96% de N-NH₄ foram associadas à presença constante de *Arcella*, *Euglypha* sp e *Aspidisca* sp;
- A ocorrência de *Arcella* sp, *Euglypha* sp e *Aspidisca* sp em frequências de 100% para as duas primeiras e 95% para a última indicaram alto grau de estabilidade biológica do sistema, alta idade do lodo, boas remoções de DBO₅ e condições de oxigenação favoráveis à nitrificação;
- Os micrometazoários e as tecamebas indicaram alto tempo de detenção celular no processo (idade do lodo maior que 20 dias);
- 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 (SSd > 800 mL/L);
- As maiores densidades da microfauna nos reatores implicaram em melhores reduções de DBO₅, DQO e *E. coli*, porém, maiores concentrações de SS e turbidez no efluente;

Tabela 8 – Aplicação do IBL, da densidade total da microfauna e da relação CPF/CF para classificação da ETE Insular

Amostragem	IBL	Densidade da microfauna (organimos/mL)	CPF/CF
01 (28/09/99)	7	10,750	-
02 (25/10/99)	9	16.620	0,8
03 (11/11/99)	8	45.340	2,8
04 (22/11/99)	7	53.010	2,3
05 (08/12/99)	8	15.710	2,3
06 (20/12/99)	10	15.650	45,1
07 (03/01/00)	7	8.800	0,9
08 (26/01/00)	7	10.560	0,5
09 (08/02/00)	9	11.940	1,3
10 (29/02/00)	7	10.610	3,2
11 (14/03/00)	8	9.100	11,0
12 (21/03/00)	8	8.390	0,7
13 (04/04/00)	9	4.750	4,9
14 (25/04/00)	8	29.880	0,9
15 (09/05/00)	4	25.350	0,6
16 (06/06/00)	4	16.440	0,4
17 (20/06/00)	4	30.710	3,3
18 (04/07/00)	7	32.100	7,5
19 (18/07/00)	7	25.800	4,6
20 (08/08/00)	4	41.470	3,8
Média	7,3	21.150	4,8

Convenções: IBL: Índice Biótico do Lodo; CPF/CF: Relação entre Ciliados Predadores de Flocos e Ciliados Fixos.

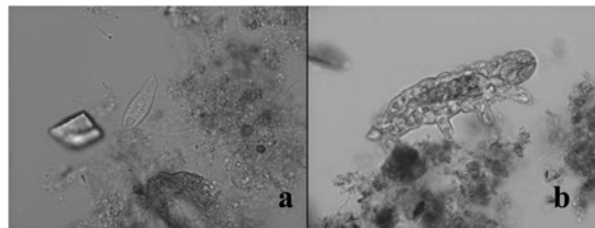


Figura 5 - Organismos indicadores de alta idade do lodo. (a) *Trachellophylum* sp (aumento de 400 vezes) e (b) tardígrado (aumento de 200 vezes). Imagens capturadas pela bióloga Vanessa Cataneo

Tabela 9 - Relação entre os microrganismos encontrados no sistema e as características do processo, segundo Vazollér et al (1989), Jenkins et al (1993), Madoni (1994), Di Marzio et al (1999) e concentrações de DBO_5 e N-NH_4^+ no efluente da ETE insular

Amostragem	Microrganismos dominantes	Características do processo	DBO_5 (mg/L)	N-NH_4^+ (mg/L)
01 (28/09/99)	<i>Aspidisca, Arcella</i>	Ocorrência de nitrificação; boa remoção de DBO_5 . Alta idade do lodo e baixa carga aplicada	11	0,8
02 (25/10/99)	<i>Epistylis, Aspidisca</i> , rotíferos	Transição biológica, desempenho decrescendo	11	0,9
03 (11/11/99)	Amebas nuas, <i>Centropyxis, Aspidisca</i>	Médio desempenho. Elevada concentração de compostos de difícil degradação ou choques de carga	8	0,9
04 (22/11/99)	<i>Diffugia</i> , zooflagelados	Médio desempenho. Baixa carga, choque de carga ou presença de subprodutos da fermentação	15	0,9
05 (08/12/99)	<i>Aspidisca, Arcella</i>	Ocorrência de nitrificação; boa remoção de DBO_5 . Alta idade do lodo e baixa carga aplicada	5	0,6
06 (20/12/99)	<i>Aspidisca, Arcella</i>	Ocorrência de nitrificação; boa remoção de DBO_5 . Alta idade do lodo e baixa carga aplicada	5	0,2
07 (03/01/00)	<i>Arcella, Aspidisca</i>	Ocorrência de nitrificação boa remoção de DBO_5 . Alta idade do lodo e baixa carga aplicada	8	0,3
08 (26/01/00)	<i>Euglypha, Arcella</i>	Boas condições de depuração. Baixa relação A/M, alta idade do lodo	20	1,0
09 (08/02/00)	<i>Euglypha, Quadrulla</i>	Boas condições de depuração. Baixa relação A/M, alta idade do lodo	4	1,7
10 (29/02/00)	<i>Euglypha, Quadrulla</i>	Boas condições de depuração. Baixa relação A/M, alta idade do lodo	16	1,1
11 (14/03/00)	<i>Trachelophylum, Aspidisca, Arcella</i>	Boas condições de depuração. Ocorrência de nitrificação. Elevada idade do lodo, baixa relação A/M	5	0,9
12 (21/03/00)	<i>Trachelophylum, Arcella</i>	Boa depuração. Alta idade do lodo e baixa carga	6	0,2
13 (04/04/00)	<i>Euglypha, Chilodonela</i>	Boas condições de depuração	5	0,5
14 (25/04/00)	<i>Vaginicola, Aspidisca</i>	Média depuração, efluente de elevada turbidez. Transição biológica	4	0,4
15 (09/05/00)	Zooflagelados, <i>Vaginicola</i>	Fraco desempenho, alta carga de compostos de difícil degradação. Alto tempo de detenção celular	3	ND
16 (06/06/00)	Zooflagelados, <i>Vaginicola</i>	Fraco desempenho, alta carga de compostos de difícil degradação. Alto tempo de detenção celular	14	0,4
17 (20/06/00)	Zooflagelados, <i>Aspidisca</i>	Médio desempenho. Transição biológica	3	2,0
18 (04/07/00)	<i>Aspidisca</i> , zooflagelados	Médio desempenho. Transição biológica	6	0,8
19 (18/07/00)	<i>Aspidisca</i> , zooflagelados	Médio desempenho. Transição biológica	3	5,7
20 (08/08/00)	Zooflagelados, <i>Aspidisca</i>	Fraco desempenho. Muito material dissolvido no efluente	2	0,9

Convenção: ND = Não detectável pelo método.

Tabela 10 - Concentrações e remoções médias dos principais parâmetros avaliados na ETE Insular durante o período compreendido entre setembro de 1999 e agosto de 2000

Parâmetro	Esgoto afluente (concentração mg/L)	Esgoto efluente (concentração mg/L)	Remoção (%)
DQO	438 ± 109	78 ± 22	80 ± 13
DBO ₅	203,1 ± 53,7	7,1 ± 3,7	97 ± 2
N-NH ₄	28,7 ± 5,4	1,0 ± 0,7	96 ± 7
N-NO ₃ ⁻	-	8,1 ± 2,8	-
SS	284 ± 160	69 ± 37	74 ± 22

• O IBL, a razão entre CPF/CF e a densidade da microfauna apresentaram-se eficientes como instrumentos de diagnóstico das condições depurativas do sistema, sendo que os dois últimos métodos foram mais precisos;

• As análises microscópicas qualitativas apresentaram-se suficientes para uma caracterização imediata das condições depurativas do processo;

• A análise qualitativa do lodo, englobando os aspectos gerais dos flocos (tamanho, quantidade de filamentos, compactação, etc.) e a identificação das espécies dominantes, foi suficiente para uma caracterização imediata das condições depurativas do sistema de tratamento;

• Na análise qualitativa é importante a avaliação global e sistêmica do lodo. A presença de uma única espécie da microfauna muitas vezes não deve ser utilizada como indicativo da performance do processo. Para a ETE Insular a presença e abundância de zooflagelados em algumas amostragens não pôde ser relacionada com a redução da qualidade do efluente produzido no sistema.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer a Companhia Catarinense de Águas e Saneamento – CASAN e ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental – PPGEA, da Universidade Federal de Santa Catarina, pela viabilização das condições necessárias à execução desse estudo.

REFERÊNCIAS

AWWA – WEF. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 19th ed. Washington: APHA. 1134p. 1995.

BEDOGNI, G., FALANELLI, A., PEDRAZZI, R. *Evaluation of the abundance ratio between crawling and attached ciliates in the management of an activated sludge sewage*

treatment plant. In: BIOLOGICAL APPROACH TO SEWAGE TREATMENT PROCESS: CURRENT STATUS AND PERSPECTIVES, Perugia. Proceedings. Perugia: Centro Bazzucchi, p. 229-233. 1991.

BENTO, A.P., PHILIPPI, L.S. *Caracterização da microfauna na avaliação da remoção de nitrogênio e matéria orgânica em um sistema de tratamento por lodos ativados*. In: IX SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, Porto Seguro, Anais... ABES, p.678-687. 2000.

BICK, H. *Ciliated Protozoa*. 1 ed. Geneva: World Health Organization, 199 p. 1972.

CURDS, C.R. *Protozoa*. In: ECOLOGICAL ASPECTS OF USE WATER TREATMENT. London, London, Proceedings... London: Academic Press., p. 203-268. 1975.

CYBIS, L.F., PINTO, C.R.R. *Protozoários e metazoários presentes em reatores sequenciais em batelada (RSB) observados no processo de nitrificação*. In: 19º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, Anais... Fóz do Iguaçu: ABES, p. 793-802. 1997.

De MARCO, N. et al. *Performance of biological sewage treatment plants: some experiences on municipal plants in the province of Pordinone (Italy)*. In: BIOLOGICAL APPROACH TO SEWAGE TREATMENT PROCESS: CURRENT STATUS AND PERSPECTIVES, Proceedings... Perugia: Centro Bazzucchi, p. 247-251. 1991.

Di MARZIO, W.D. et al. *Indicadores microbiológicos del funcionamiento de sistemas industriales de depuración por lodos activados de la provincia de Buenos Aires, Argentina*. In: CONGRESO MUNDIAL DEL ÁGUA, Anais... Argentina: AIDIS, p. 94-100. 1999.

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

GERARDI, M.H. *An operator's guide to protozoa and their role in the activated sludge process*. Public Works, p. 44-47/90-92, July. 1986.

HOFFMANN, H., PLATZER, C. *Aplicação de imagens microscópicas do lodo ativado para a detecção de problemas de funcionamento das estações de tratamento de esgotos na Alemanha*. In: I SEMINÁRIO DE MICROBIOLOGIA APLICADA AO SANEAMENTO, Anais... Universidade Federal do Espírito Santo, p. 108-120. 2000.

JARDIM, F.A., BRAGA, J.M.S., MESQUITA, M.M.F. *Avaliação da eficiência do tratamento biológico de esgotos através da caracterização da microbiota da ETE Fonte Grande – Contagem-MG*. In: 19º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, Anais... Fóz do Iguaçu: ABES, p. 1-12. 1997.

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

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, n. 1, p. 67-75, 1994.

NBR 10559/88 - *Águas - Determinação de oxigênio dissolvido - Método iodométrico de Winkley e suas modificações - Método de ensaio*.

PATTERSON, D. J. *Free-living freshwater Protozoa*. Austrália: Universidade de Sydney, 223 p. 1996.

VAZOLLER, R. F.; GARCIA, A. D.; CONCEIÇÃO NETO, J. *Microbiologia de Lodos Ativados – Série Manuais*. CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. São Paulo: CETESB, 23 p. 1991.

VOGEL, A. L. *Análise Inorgânica Qualitativa*. 4ed. Editora Guanabara. Rio de Janeiro-RJ. 1981.

Von SPERLING, M. *Lodos Ativados*. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 416 p. 1997.

WPC – Water Pollution Control. *Wastewater Biology: The Microlife*. Alexandria, Va: Water Environmental Federation, 196 p. 1990.

Endereço para correspondência:

Alessandra Pellizzaro Bento
Universidade Federal de Santa Catarina

End.: Rua Aracy Vaz Callado 1735
88090-690 Estreito - Florianópolis - SC - Brasil

Tel.: (48) 3244-5432

Email:alessandrabento@gmail.com