

COMPORTAMENTO DA COMUNIDADE DE PROTOZOÁRIOS E ROTÍFEROS EM BIOREACTORES AERÓBIOS SOB CONDIÇÕES DE ESTRESSE QUÍMICO

JAIME LOPES DA MOTA OLIVEIRA^{1*}; TOMAZ LANGENBACH²; MÁRCIA DEZOTTI³; INÁCIO DOMINGOS DA SILVA-NETO⁴

¹ DSSA/ENSP/FIOCRUZ; ² IMPPG/UFRJ; ³ PEQ/COPPE/UFRJ; ⁴ IB/UFRJ; * jaimel@ensp.fiocruz.br, Rua Leopoldo Bulhões, 1480 - Manguinhos, Rio de Janeiro. CEP: 21041-210, RJ.

RESUMO

Este trabalho avaliou o impacto negativo causado por compostos químicos em um sistema de tratamento de esgotos. Bioreatores aeróbios realizaram o processo operando em batelada com ou sem estresse químico causado pelo pesticida keltane pré-diluído ou em água ou em metanol. A eficiência deste processo foi medida pelos parâmetros físico-químicos e pela mudança na comunidade de protozoários e rotíferos do lodo biológico. A remoção da matéria orgânica foi satisfatória em quase todos os testes, mas a taxa de biomassa teve grande variação entre os diferentes ensaios. Este resultado coincidiu com a observação de alterações na comunidade de protozoários, onde os rotíferos e os ciliados rastejantes foram mais sensíveis do que os ciliados sésseis. Provavelmente isto ajudou no restabelecimento da eficiência do processo. Mudanças morfológicas foram observadas em *Epystilis* sp. possivelmente como um mecanismo adaptativo para suportar as condições tóxicas geradas pelo metanol. *Vorticella* sp. foi o espécime dominante no processo submetido ao maior grau de toxicidade. Os resultados mostraram que os grupos de protozoários e de rotíferos podem ser usados como indicadores de eficiência de processo sob estresse químico.

Palavras-chave: protozoários, rotíferos, bioreator, poluentes orgânicos, bioindicador.

BEHAVIOR OF COMMUNITIES OF PROTOZOA AND ROTIFERS IN AEROBIC BIOREACTORS UNDER CHEMICAL STRESS CONDITIONS

ABSTRACT

This work available the negative impact caused by chemical compounds in an wastewater treatment system. Aerobic bioreactors performed a batch process with or without stress caused by keltane pesticide pre-diluted in water or methanol. The efficiency of the process was measured by physical-chemical parameters and changes in the community of protozoa and rotifers from biological sludge. Removal of organic matter was satisfactory in almost all tests but the content of biomass had more variation between different essays. This result coincided with the observation of changes in the protozoa community where rotifers and crawling ciliates were more sensible than attached ciliates. Probably this helped in restoring efficiency of the process. Morphological changes were observed in *Epystilis* sp. possibly as adaptative mechanisms to support toxic conditions generated by methanol. *Vorticella* sp. was dominant specimen in the process submitted to high degree of toxicity. The results showed that the groups of protozoa and rotifers can be used as indicator of efficiency of process under chemical stress.

Keywords: protozoa, rotifers, bioreactor, organic pollutants, activated sludge.

INTRODUÇÃO

O sistema de tratamento de esgoto mais usado no mundo é o lodo ativado devido a sua alta capacidade de biodegradação da matéria orgânica. Este processo constitui de uma câmara de aeração onde o esgoto a ser tratado é misturado ao lodo biológico. Basicamente este lodo é composto por bactérias heterotróficas, protozoários, rotíferos, entre outros

microrganismos que são os responsáveis por esta redução. A eficiência desses processos normalmente é medida através de análises físico-químicas convencionais como a remoção de matéria orgânica carbonácea (von Sperling, 2002). Porém, alguns autores têm sugerido a observação microscópica do lodo como um parâmetro para avaliar a performance destes processos (Curds, 1969, Curds & Cockburn, 1970, Metcalf, 1977, Poole, 1984, Madoni, 1994 e

Lee *et al.*, 2004). Metcalf (1977) sugeriu que os rotíferos possam se alimentar de partículas em suspensão do esgoto e que os protozoários são os predadores de bactérias em suspensão; ambos ajudariam na clarificação do esgoto tratado. Poole (1984) observou que alguns protozoários podem ser usados como indicadores deste processo e Esteban *et al.* (1991) encontraram uma boa relação entre alguns parâmetros físico-químicos comumente medidos no controle do processo e a ocorrência de alguns protozoários no lodo biológico. Madoni (1994) propôs uma organização mais prática destes organismos em grupos que se baseiam em sua forma de vida e de locomoção. Desse modo, os organismos observados no sistema seriam divididos em: protozoários ciliados sésseis, protozoários ciliados rastejantes, protozoários ciliados livre-natantes, amebas tecadas, protozoários flagelados e outros onde são incluídos os rotíferos, as larvas de nematódeos e outras formas de vida. Assim, os protozoários e os outros organismos presentes no lodo poderiam ser usados como indicadores de performance do processo.

Vários trabalhos têm relatado sobre a presença de compostos orgânicos perigosos tais como poluentes orgânicos persistentes e substâncias recalcitrantes em sistemas de esgotamento doméstico (Byrns, 2001, Rossi *et al.*, 2004 e Katsoyannis & Samara, 2005). Dentre as classes de poluentes orgânicos encontrados estão os pesticidas que normalmente são detectados na faixa de 1 µg/L a 1 mg/L (Byrns, 2001). No entanto, o objetivo desses artigos é o de estudar a biodegradação e o destino desses compostos e não sobre a possibilidade dessas substâncias em causar impactos negativos na eficiência desses processos. Portanto, o principal objetivo deste estudo foi avaliar a redução da eficiência deste processo causado por poluentes orgânicos através de análise de alguns parâmetros físico-químicos convencionais e de alterações na comunidade de protozoários e rotíferos. Através desta avaliação foi possível associar a ocorrência de alguns grupos de organismos do lodo com a eficiência do processo e propor o seu uso como bioindicadores. O poluente orgânico usado como modelo foi o organoclorado dicofol que é o princípio ativo do pesticida kelthane e é aplicado em cultura de citrus e maçã. Este poluente foi pré-diluído em água ou em metanol que foi usado para facilitar a solubilização do dicofol.

MATERIAIS E MÉTODOS

Adaptação do Lodo

Os experimentos usaram o lodo biológico coletado da Estação de Tratamento de Esgotos da Ilha do Governador (Rio de Janeiro) e o esgoto sintético preparado conforme Holler & Trösch (2001), onde foram dissolvidos peptona de caseína (320 mg), extrato de carne (220 mg), uréia (60 mg), fosfato monobásico de potássio (56 mg), cloreto de sódio (14 mg), cloreto de cálcio dihidratado (8 mg) e sulfato de magnésio heptahidratado (4 mg) em 1 L de água destilada. O lodo biológico e o esgoto sintético foram misturados em um recipiente na proporção de 1:4 sob aeração constante para a adaptação dos organismos do lodo. A cada 24 horas a aeração foi desligada e o esgoto trocado. O período de adaptação do lodo ao esgoto sintético foi por uma semana à temperatura ambiente ($28 \pm 3^\circ\text{C}$) sendo retiradas amostras onde foi acompanhada a microscopia do lodo.

O Processo Aeróbio

Nos processos onde foi aplicado o dicofol, foram utilizados dois diferentes produtos comerciais: o Kelthane 185[®] (KV) com uma concentração de 185 g de dicofol/L e o Kelthane 480[®] (KN) com uma concentração de 480 g de dicofol/L. A partir desses produtos foram preparadas 4 soluções estoque de 1,7 g/L dissolvidas ou em água ou em metanol. O metanol foi usado para uma melhor dissolução do dicofol.

Bioreatores de 3,0 L foram utilizados para realizar o processo onde 1,6 L de esgoto sintético e 0,4 L de lodo biológico pré-adaptado foram misturados. Nos testes sob estresse, 6 mL de cada solução estoque foram adicionados para garantir que a concentração do dicofol aplicado tivesse sido de 1 mg/L. Nos ensaios que usaram as soluções de kelthane dissolvidas em metanol, o lodo biológico foi pré-adaptado ao esgoto sintético com metanol (3mL/L). Esta adaptação foi de um mês da mesma forma como descrita acima sendo monitorada pela microscopia do lodo. Desse modo, foram montados seis processos diferentes: controle negativo sem metanol (controle), controle negativo com metanol (controle com metanol), testes usando Kelthane 185[®] diluído em água (KV), testes usando Kelthane 185[®] diluído em metanol (KV com metanol), testes usando Kelthane 480[®] diluído em água (KN) e testes usando Kelthane 480[®] diluído em metanol (KN com metanol) como mostrado na

Tabela 1. Cada experimento foi repetido por mais três vezes.

O processo foi realizado por 24 horas a temperatura ambiente sob constante aeração. Amostras de mistura foram coletadas no início, em intervalos de 1 hora nas cinco primeiras horas e no final do processo.

Análises Físico-Químicas

As amostras coletadas de cada teste foram submetidas a análise de demanda química de

oxigênio (DQOs) e de sólidos em suspensão voláteis (SSV) de acordo com a APHA (2000). As amostras para análise de DQO solúvel (DQOs) foram antes filtradas em membrana de 0,45 µm e somente o filtrado foi analisado. O índice volumétrico de lodo (IVL) foi determinado no final de cada processo medindo-se o volume de lodo decantado por 30 min. e calculado conforme citado por von Sperling (2002).

Tabela 1. Composição dos diferentes testes realizados nos diferentes reatores.

TIPO DE TESTE	COMPOSIÇÃO
<i>CONTROLE</i>	1600 mL esgoto sintético; 400 mL de lodo biológico adaptado ^(*) ;
<i>KN</i>	1600 mL de esgoto sintético; 400 mL de lodo biológico adaptado ^(*) ; 6 mL de solução de Kelthane 480 [®] diluída em água;
<i>KV</i>	1600 mL de esgoto sintético; 400 mL de lodo biológico adaptado ^(*) ; 6 mL de solução de Kelthane 185 [®] diluída em água;
<i>CONTROLE COM METANOL</i>	1600 mL de esgoto sintético; 400 mL de lodo biológico adaptado ^(**) ; 6 mL de metanol;
<i>KN COM METANOL</i>	1600 mL esgoto sintético; 400 mL de lodo biológico adaptado ^(**) ; 6 mL de solução de Kelthane 480 [®] diluída em metanol;
<i>KV COM METANOL</i>	1600 mL de esgoto sintético; 400 mL de lodo biológico adaptado ^(**) ; 6 mL de solução de Kelthane 185 [®] diluída em metanol;

Nota: ^(*) lodo biológico adaptado ao esgoto sintético; ^(**) lodo biológico adaptado ao esgoto sintético com metanol.

Observação Microscópica do Lodo

Uma gota de cada amostra foi colocada imediatamente à coleta em uma lâmina

microscópica e coberta por uma lamínula de 20x20. Os espécimes foram observados em um Microscópio Ótico por Contraste de Fases nos aumentos de 10x e 40x e agrupados de acordo

com a sua forma de vida e locomoção (Madoni, 1994). Alguns protozoários específicos foram identificados usando as chaves taxonômicas propostas por Foissner *et al.* (1991, 1992, 1994, 1995 e 1996).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Testes em Água (sem metanol)

Na microscopia do lodo adaptado ao esgoto sintético foram observados 6 grupos de organismos, os ciliados sésseis, ciliados rastejantes, ciliados livre-natantes, amebas tecadas (*Arcella vulgaris*), flagelados grandes (*Peranema* sp.) e vários rotíferos (*Dissotrocha* sp.).

A concentração média de DQOs e a taxa média de SSV usados no início dos testes foram de 500 mg/L e de 1000 mg/L, respectivamente. A eficiência final dos processos em relação à remoção da matéria orgânica (DQOs) foi satisfatória em todos os testes, porém as taxas de SSV foram baixas nos ensaios sob estresse. A Figura 1(A) mostra que com 3 horas de processo foi medido um aumento na concentração de DQOs no teste KV. Além disso, no período entre 2 e 4 horas foi medida uma grande oscilação nas taxas de SSV nos ensaios KN e KV (Figura 1(B)). Estes resultados foram acompanhados com alterações na comunidade microscópica do lodo. No teste KV não foram observados nem ciliados rastejantes e nem livre-natantes o que não ocorreu no ensaio KN. Ainda assim, nestes processos sob estresse foi observado um domínio de ciliados

sésseis como o *Epystilis* sp. (Figura 2(A)) e a *Vorticella* sp. (Figura 2(E)). Madoni (1994) sugeriu que protozoários ciliados sésseis podem indicar uma boa eficiência do processo e alguns como *Vorticella* sp. podem ser mais resistentes a condições adversas (Esteban *et al.*, 1991). Estes resultados mostram que os organismos mais sensíveis foram substituídos por outros mais resistentes e isto provavelmente ajudou na preservação da eficiência do processo. No entanto, esta restauração somente foi observada após 24 horas de processo, que é um tempo elevado quando comparado ao aplicado nas estações em escala real (entre 4 e 6 horas).

Provavelmente a diferença observada entre os ensaios KN e KV podem ser devido à quantidade de solventes inertes presentes na formulação desses produtos. O Kelthane 185[®] possui uma maior quantidade de solventes (81,5%) que o Kelthane 480[®] (42%). Como a concentração de dicofol aplicada nos experimentos foi a mesma, a diferença entre os ensaios com estresse foi a concentração de solventes. Desse modo, esses solventes foram mais tóxicos ao processo do que o organoclorado dicofol nas suas respectivas concentrações usadas o que afetou a comunidade de ciliados rastejantes e livre-natantes. Este estresse não foi percebido pela remoção final de DQOs e nem pelo IVL (Tabela 2), que permaneceu abaixo de 200 mL/g como recomendado pela literatura para uma boa decantabilidade do lodo (von Sperling, 2002). Mas foi detectado pelas variações na taxa de biomassa (SSV) e pelas mudanças na comunidade de protozoários.

Tabela 2. Valores de índice volumétrico de lodo (IVL) em mL/g nos diferentes ensaios.

Tempo (h)	IVL nos testes sem metanol			IVL nos testes com metanol		
	Controle	KN	KV	Controle	KN	KV
1	78	110	158	64	228	221
2	52	69	86	74	372	281
3	83	56	73	50	367	264
4	71	112	104	90	329	274
5	61	83	78	82	301	201
24	66	75	65	190	245	502

Nota: Os valores em negrito são os que representam uma decantabilidade do lodo ruim de acordo com a literatura (von Sperling, 2002).

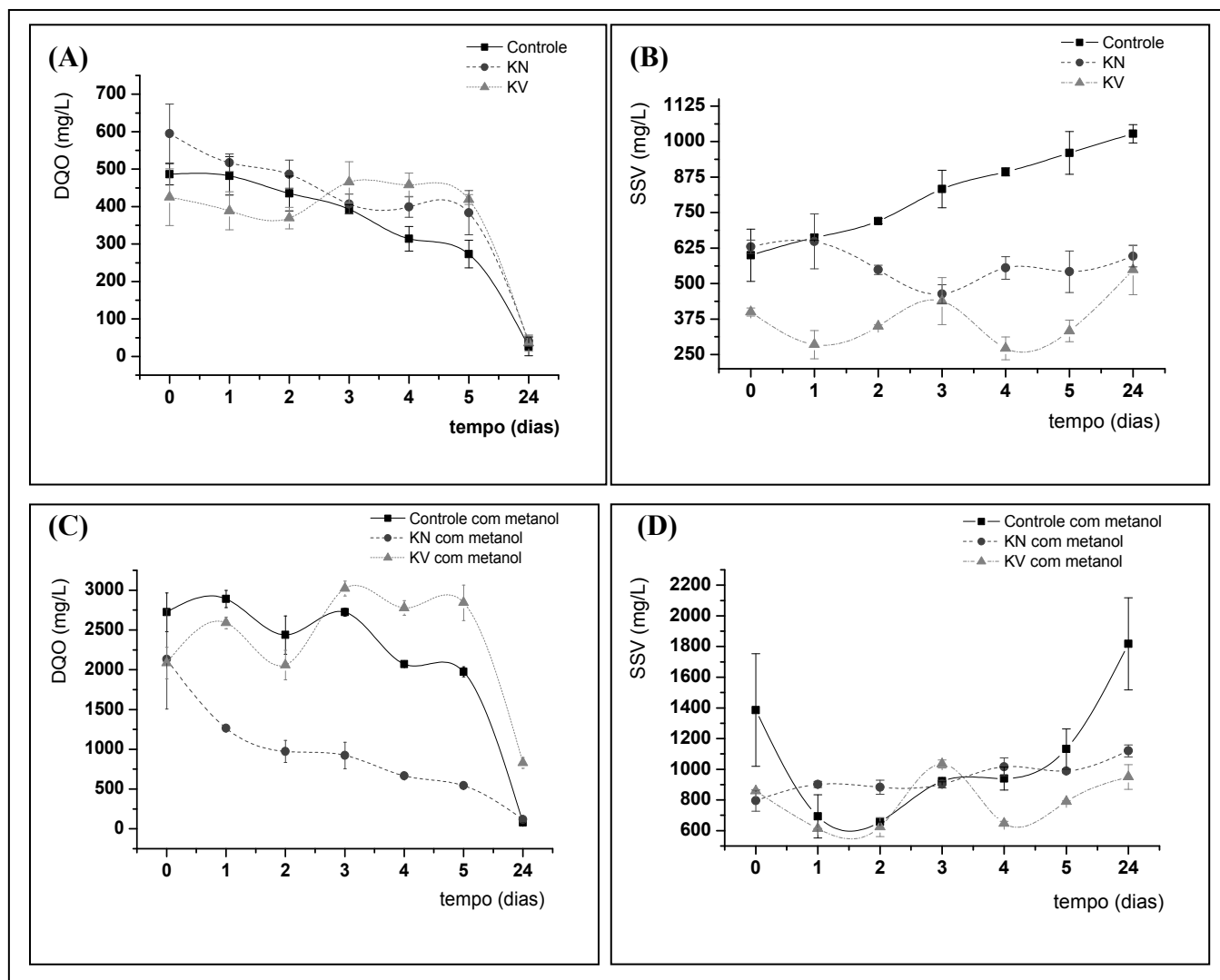


Figura 1. Eficiência dos experimentos em função da concentração de matéria orgânica (DQOs) nos testes sem metanol (A) e com metanol (C) e da taxa de biomassa (SSV) nos testes sem metanol (B) e com metanol (D).

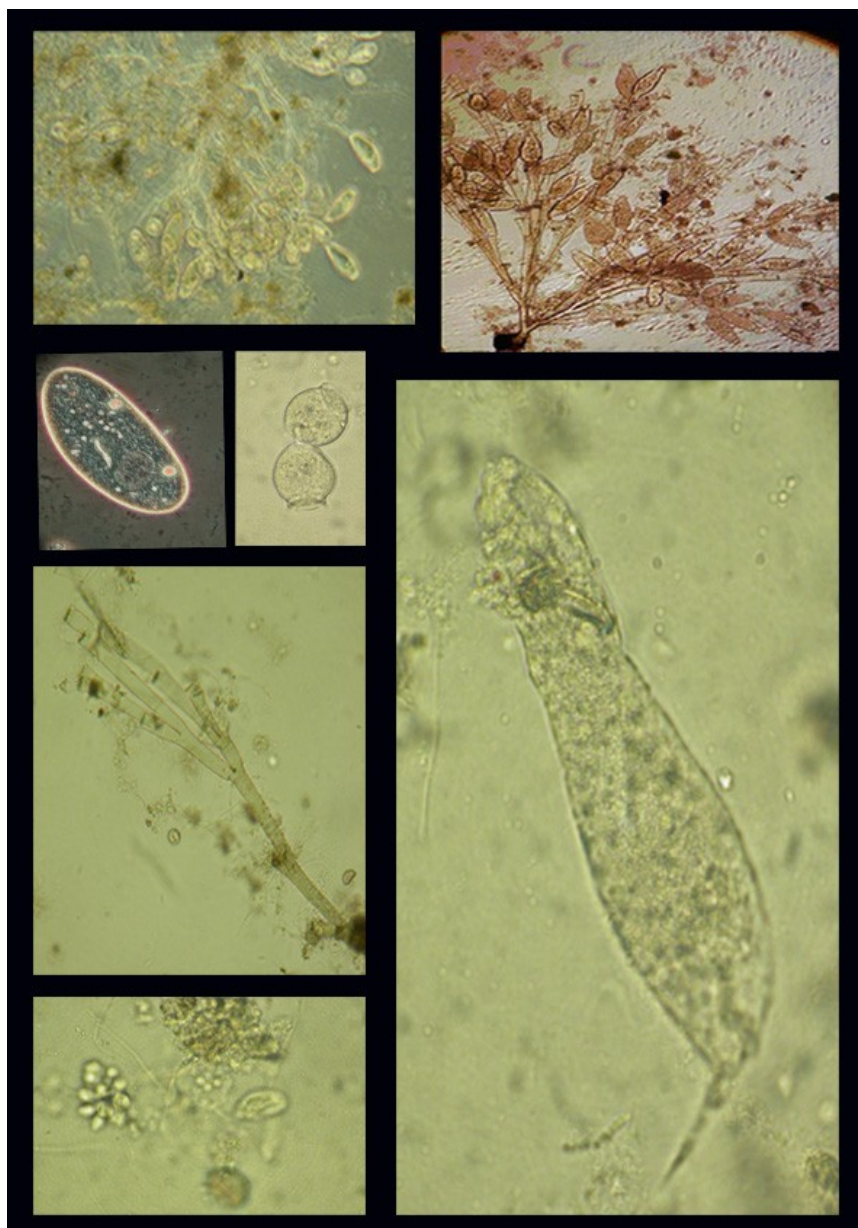


Figura 2. Micrografia in vivo de alguns espécimes encontrados no lodo biológico durante os testes sob estresse químico; organismos resistentes a certas condições de estresse onde (A) *Epistyllis* sp. no teste KV e KN e (D) *Paramecium* sp. no teste controle com metanol, ambos provavelmente ajudaram na restauração de seus processos; no lodo adaptado ao metanol (B) *Epistyllis* sp. mostrando um pedúnculo rígido (*seta*) como mudança morfológica possivelmente adaptada a toxicidade do metanol e (C) carcaça de um rotífero mostrando sua sensibilidade a este solvente; e os observados nos testes KV com metanol, onde (E) *Vorticella* sp. em divisão e (G) coanoflagelados coloniais, ambos espécimes melhores adaptados a esta condição, enquanto que (F) mostra o pedúnculo rígido sem as formas vegetativas do *Epistyllis* sp. alertando sobre o efeito da toxicidade provocado pela concomitância desses compostos.

Testes em metanol

No lodo biológico adaptado ao esgoto sintético com metanol foi observada uma mudança no perfil da comunidade de protozoários e rotíferos. Dentre os seis grupos encontrados no lodo aclimatado ao esgoto sintético, somente quatro foram mantidos ativos após a adaptação ao esgoto sintético com metanol. Em algumas amostras foram observadas carcaças de rotíferos (Figura 2(C)) e estruturas modificadas no pedúnculo de ciliados sésseis provavelmente como uma forma adaptativa (Figura 2(B)). Assim, os ciliados rastejantes e os rotíferos não foram observados neste lodo pré-adaptado ao esgoto sintético com metanol.

Nos ensaios com metanol, a carga orgânica média inicial foi de 2.000 mg/L (DQOs) e a taxa média de biomassa aplicada nos reatores foi de 1.000 mg/L (SSV). Embora estes valores sejam incomuns para este tipo de processo, a avaliação da eficiência dos testes com metanol foi feita comparando os experimentos entre si, ou seja, entre o controle com metanol e os testes KN e KV com metanol.

As Figuras 1(C) e 1(D) mostram a alta variação na remoção de DQOs e baixa taxa de SSV, respectivamente nos processos com metanol. Provavelmente os rotíferos e os ciliados rastejantes que estavam ausentes nestes ensaios tenham uma importante função na remoção da matéria orgânica e na manutenção da biomassa nestes processos. Madoni (1994) sugeriu que a dominância de ciliados rastejantes indica uma boa performance para este processo. Embora seja observada uma variação inicial na remoção de DQOs nos experimentos, após 24 horas de processo a performance nos ensaios controle e KN com metanol foi restaurada, o que não ocorreu no teste KV com metanol. Além disso, no reator controle com metanol foi medida uma recuperação na taxa de SSV o que coincidiu com a ocorrência de ciliados livre-natantes como o *Paramecium* sp., o que não foi observado nos experimentos sob estresse. Hollubar *et al.* (2000) sugeriram que a presença de ciliados predadores no lodo seja um bom indicativo de performance do processo, pois eles se alimentam das bactérias em suspensão. Embora os grupos de predadores como ciliados rastejantes estivessem ausentes nestes ensaios, é possível que o grupo de livre-natantes o tenha substituído ajudando na restauração do processo. Isto pode explicar a boa decantabilidade do lodo medida neste ensaio (Tabela 2), enquanto que nos testes KN e KV com metanol seus valores foram altos (acima de 200 mL/g). Apesar do metanol ter sido um agente

muito agressivo ao processo, o ensaio controle mostrou uma boa recuperação na sua eficiência maior que nos ensaios sob estresse. Os autores deste artigo acreditam que a redução na performance dos ensaios sob estresse seja devido à ação tóxica conjunta dos solventes presentes no kelthane e do metanol e não pela alta carga orgânica aplicada nestes testes, uma vez que o controle mostrou um bom desempenho final.

A pior performance foi observada no teste KV com metanol onde mesmo após 24 horas a redução de DQOs foi baixa (75%) (Figura 1(C)). Este resultado coincidiu com a observação de carcaças do pedúnculo do ciliado sésseis *Epystilis* sp. (Figura 2(F)) e a dominância da *Vorticella* sp.. Apesar desses dois representantes serem da mesma família (Peritrichida), estes espécimes tiveram comportamentos distintos frente a uma mesma condição de estresse. Além disso, neste ensaio foi observada a ocorrência de muitos coanoflagelados no lodo biológico (Figura 2(F)). Alguns autores descrevem que a presença de pequenos flagelados pode representar a perda na eficiência do processo (Madoni, 1994) e, no caso deste estudo, foi observado o colapso total do teste KV com metanol. Madoni (1994) encontrou uma relação negativa entre a ocorrência de *Vorticella* sp. e *Opercularia* sp. e a remoção da matéria orgânica biodegradável solúvel (DBO₅), enquanto que Esteban *et al.* (1991) encontraram uma relação indireta entre a ocorrência destes gêneros de ciliados e a matéria orgânica aplicada nestes processos. Salvadó *et al.* (1995) citaram ainda que enquanto a alta densidade dos rastejantes *Acineta tuberosa*, *Euplotes* sp. e *Zoothamnium* sp. indicavam alta qualidade do efluente tratado, a abundância dos peritríqueos *Uronema nigricans*, *Vorticella microstoma* e *Opercularia coarctata* representavam a perda desta qualidade. Estes estudos mostraram que a perda na qualidade do processo pode ser indicada pela abundância de vorticelas no lodo biológico e, no caso deste estudo, foi confirmado que ela indicou a pior eficiência dos ensaios. No entanto, o maior problema de se encontrar um bom indicador de qualidade do efluente tratado é a possibilidade dos protozoários serem capazes de tolerar uma larga faixa de condições ambientais (Salvadó *et al.*, 1995).

Este trabalho mostrou que podem existir mudanças adaptativas em alguns organismos para um certo grau de toxicidade como ocorreu com o *Epystilis* sp. (Figuras 2(B) e 2(F)). Além disso, foram observados diferentes comportamentos na comunidade de protozoários e rotíferos sob distintas condições de estresse. Um estresse moderado que não foi percebido pela análise

físico-química de DQOs, foi o suficiente para alterar a taxa de biomassa (SSV) e provocar uma perda nos grupos de ciliados livre-natantes e rastejantes. Quando este processo foi submetido a um estresse químico mais rigoroso, houve um colapso total no sistema sendo detectado pela perda na eficiência de redução de matéria orgânica (DQOs) e na queda na taxa de biomassa (SSV); este impacto foi acompanhado pelo desaparecimento da maioria dos grupos de ciliados, a concomitante dominância de *Vorticella* sp. e o aparecimento de coanoflagelados coloniais. A recuperação da maioria dos processos submetidos ao impacto químico se deu em um tempo mais elevado ao comumente adotado pelos sistemas em escala real e somente ocorreu devido à substituição de grupos sensíveis por mais resistentes ao estresse. Porém sob condições extremas não foi observada a restauração de sua eficiência mesmo após 24 horas de processo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A observação microscópica pode contribuir para um melhor conhecimento do lodo biológico usado nos processos de tratamento de esgoto, pois a alteração na comunidade de microrganismos reflete em sua eficiência. Entretanto, este comportamento não segue um modelo padrão, pois alguns organismos podem desempenhar funções diferentes sob condições distintas ou criar estratégias adaptativas para suportar condições de estresse. Através deste estudo foi possível concluir que:

- *A variação na eficiência do processo medido pela remoção de DQOs foi menos sensível do que pela taxa de SSV e pelas mudanças no perfil da microbiota do lodo;*
- *Rotíferos e ciliados rastejantes foram mais sensíveis ao estresse químico que os ciliados sésseis, podendo ser observadas modificações morfológicas como forma de resistência a estes agentes tóxicos;*
- *As funções desenvolvidas por alguns grupos de protozoários puderam ser assumidas por outros, o que ajudou na restauração da eficiência do processo e;*
- *Vorticella sp. foi o espécime mais resistente a todos os poluentes orgânicos usados neste estudo sendo dominante no processo de pior performance.*

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APHA, AWWA, WEF. Standard methods for the examination of water and wastewater. 20th. Ed. Washington, DC, 2000.
- BYRNS, G.. The fate of xenobiotic organic compounds in wastewater treatment plants. *Water Research*, v. 35, n. 10, p. 2523-2533, 2001.
- CURDS, C.R.. An Illustrated Key to the British freshwater ciliated Protozoa commonly found in activated sludge. *Water Pollution Technologies*, v. 12, London, 1969.
- CURDS, C.R.; COCKBURN, A.. Protozoa in biological sewage treatment process: Protozoa as indicators in activated-sludge process. *Water Research*, v. 4, p. 237-249, 1970.
- ESTEBAN, G.; TELLEZ, C.; BAUTISTA, L.M.. Dynamics of ciliated protozoa communities in activated sludge process. *Water Research*, v. 25, p. 967-972, 1991.
- FOISSNER *et al.*. Taxonomische und ökologische Revision der Ciliaten des Saprobien-systems – Band I: Cyrtophorida, Oligotrichida, Hypotrichia, Colpodea. Informationsberichte des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft. Germany, 1991.
- FOISSNER, W.; BERGER, H.; KOHMANN, F.. Taxonomische und ökologische Revision der Ciliaten des Saprobien-systems – Band II: Peritrichia, Heterotrichida, Odontostomatida. Informationsberichte des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft. Germany, 1992.
- FOISSNER, W.; BERGER, H.; KOHMANN, F.. Taxonomische und ökologische Revision der Ciliaten des Saprobien-systems – Band III: Hymenostomata, Prostomatida, Nassulida. Informationsberichte des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft. Germany, 1994.
- FOISSNER *et al.*. Taxonomische und ökologische Revision der Ciliaten des Saprobien-systems – Band IV: Gymenostomatea, Loxodes, Suctorina. Informationsberichte des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft. Germany, 1995.
- FOISSNER, W.; BERGER, H.. A user friendly guide to ciliates (Protozoa, Ciliophora) commonly

used by hydrobiologists as bioindicators in rivers, lakes and waste water, with notes in their ecology. *Freshwater Biology*, v. 35, p. 375-482, 1996.

HOLLER, S.; TRÖSCH, W.. Treatment of urban wastewater in a membrane bioreactor at high organic loading rates. *Journal of Biotechnology*, v. 92, p. 95-101, 2001.

HOLUBAR *et al.*. Effects of bacterivorous ciliated protozoans on degradation efficiency of a petrochemical activated sludge process. *Water Research*, v. 34, p. 2051-2060, 2000.

KATSOYIANNIS, A.; SAMARA, C.. Persistent organic pollutants (POPs) in the sewage treatment plant of Thessaloniki, northern Greece: occurrence and removal. *Water Research*, v. 38, n. 11, p. 2685-2698, 2004.

LEE, S. *et al.*. Ciliate populations as bio-indicators at Deer Island Treatment Plant. *Advances Environmental Research*, v. 8, p. 371-378, 2004.

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, p. 67-75, 1994.

METCALF, E.. Tratamiento y depuration de las aguas residuales: procesos unitarios biológicos. Barcelona, Spain, 1977.

POOLE, J.E.P.. A study of the relationship between the mixed liquor fauna and plant performance for a variety of activated sludge sewage treatment works. *Water Research*, v. 18, p. 281-287, 1984.

ROSSI, L. *et al.*. Urban storm water contamination by polychlorinated biphenyls (PCB) and its importance for urban water systems in Switzerland. *Science of the Total Environment*, v. 322, p.179-189, 2004

SALVADÓ, H.; GRACIA, M.P.; AMIGÓ, J.M.. Capability of ciliated protozoa as indicators of effluent quality in activated sludge plants. *Water Research*, v. 29, p.1041-1050, 1995.

VON SPERLING, M.. Princípios do tratamento biológico das águas residuárias: volume 4 – lodos ativados. Ed. FCO. Belo Horizonte, Brazil, 2002.

Recebido em / Received: 2009-07-21

Aceito em / Accepted: 2009-08-10