

Análise do desempenho de sistema integrado, enfatizando lagoa de polimento, tratando efluentes domésticos em condições de variações de temperatura

H. R. R. Gonçalves*, D. A. da Silveira*, L. O. Monteggia*; G. Basseggio & L.A. Miranda

*Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Av. Bento Gonçalves, 9500, Caixa Postal 15029, Porto Alegre, Brazil. (E-mail: helioricardo33@ig.com.br dialtieri@yahoo.com.br; montegia@iph.ufrgs.br)

Resumo *O presente trabalho apresenta dados referentes a 240 dias de operação, entre março e dezembro de 2007, de um sistema de tratamento de esgotos sanitários, composto de reator anaeróbio do tipo UASB e lagoa de polimento. Convencionou-se a divisão temporal em dois períodos: quente (março, abril, outubro, novembro e dezembro) e frio (maio, junho, julho, agosto e setembro). O critério da divisão baseou-se nos dados de temperatura média mensal obtidos pelo INEMET. A avaliação de parâmetros como DQO, DBO₅, SS e Alcalinidade indicaram variações maiores no período frio. NH₄-N, NTK, PT e PO₄-P, apresentaram ao contrario variações elevadas no período quente, possivelmente pelo aumento das reações bioquímicas e atividade dos organismos. A eficiência de remoção e conversão esta diretamente ligada à temperatura e o período do ano que se observa/ avalia. Foi realizado o teste de Tukey a 5% para avaliação de diferenças entre os períodos observados.*

Palavras-chave Lagoa de polimento, remoção de nutrientes, variação de temperatura, efeito na eficiência.

INTRODUÇÃO

A eutrofização artificial de ambientes aquáticos devido aos despejos domésticos, industriais e agrícolas, sem o devido tratamento, produz alterações na qualidade da água, levando os prejuízos à vida aquática, redução do oxigênio dissolvido, aumento nos custos de tratamento de água de abastecimento público e favorece a ocorrência de florações de algas (Tessele, 2005; Von Sperlin, 1995).

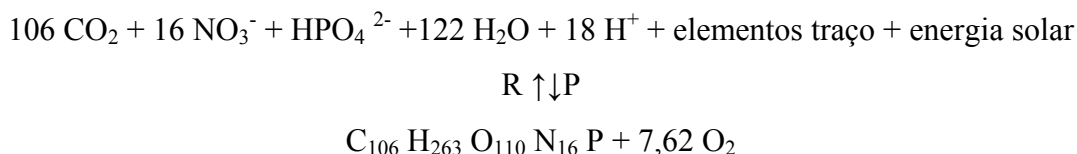
Adicionalmente, a crescente demanda por água de boa qualidade faz com que o tratamento de efluentes seja implementado de forma abrangente.

Desse modo, as lagoas estabilização são empregadas para depuração de águas residuárias urbanas e efluentes industriais, devido a sua simplicidade operacional, baixo custo de investimento e operação, bem como eficiência satisfatória, principalmente na remoção de organismos patogênicos, sendo muitas utilizadas nos países em desenvolvimento.

As lagoas de estabilização são os processos de tratamento de efluentes que melhor se aproximam de um ambiente natural, sendo empregadas como pós-tratamento de processo anaeróbio, e assim denominadas de lagoas de polimento. Isso se deve ao fato de unidades anaeróbias ter elevada eficiência de remoção de material orgânico e sólido em suspensão (Van Haandel & Lettinga, 1994).

O emprego de lagoas de polimento para remoção de nutrientes e decaimento bacteriano tem-se mostrado promissor. Este tipo de lagoa esta sendo empregada em larga escala no Brasil e têm por objetivo proporcionar tempo de retenção suficiente para a desinfecção de efluentes pela radiação ultravioleta e para a remoção de nutrientes (principalmente N e P) pela ação de algas.

Nestes sistemas, a função das algas é a remoção de nitrogênio, fosfato e matéria orgânica, empregados na síntese celular, segundo a seguinte equação:



Sendo $\text{C}_{106} \text{ H}_{263} \text{ O}_{110} \text{ N}_{16} \text{ P}$ a composição celular média das algas, P = taxa de fotossíntese (produção) e R a taxa de respiração (consumo), Tessele (2005).

Entretanto, a eficiência global de remoção de matéria orgânica dos sistemas com lagoas de polimento foi prejudicada pela elevada concentração de algas no efluente provocando uma deterioração da qualidade da água do corpo receptor.

Segundo Kim & Kim (2000), a remoção da biomassa algal é essencial para produzir efluente com menor demanda de DQO, DBO₅, carregamento de nutrientes e sólidos totais. O mecanismo de depuração envolve relação mutualística entre bactérias e algas que oxidam a matéria orgânica em presença de oxigênio dissolvido.

O trabalho tem por objetivo avaliar a eficiência de remoção de matéria orgânica, organismos patogênicos e nutrientes em lagoa de polimento convencional em dois períodos com diferente temperatura ambiente.

Este trabalho apresenta os resultados obtidos em 240 dias de operação de uma lagoa de polimento tratando o efluente de reator anaeróbico de manto de lodos de fluxo ascendente (UASB). Foi adotado períodos distintos de temperatura para análise de desempenho da lagoa:

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi realizado em escala piloto durante 240 dias (março/07 e dezembro/07), tratando o esgoto sanitário em uma planta piloto.

Dividiu-se a operação do sistema em dois períodos, denominados: (a) quente (março, abril, outubro, novembro e dezembro); e (b) frio (maio, junho, julho, agosto e setembro). O critério da divisão baseou-se nos dados de temperatura média mensal obtidos pelo INEMET, conforme Tabela 1.

Tabela 1. Temperaturas médias mensais

Mês	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Temperatura máxima (°C)	28	26	22	19	19	20	21	23	27	29
Temperatura mínima (°C)	18	16	12	9	9	10	12	14	16	18

*Em vermelho períodos quentes e em azul e período frio

O sistema consiste de uma lagoa de polimento como pós-tratamento de um reator UASB. O sistema atualmente trata efluente sanitário para uma população estimada de 240 pessoas, correspondendo a uma vazão (Q) diária de 36,0 m³.

O reator anaeróbico apresenta as seguintes características: volume (V) de 18,35 m³, tempo de detenção hidráulico (TDH) de 12 horas, vazão de 1,5 m³/h e altura de lamina de água da lagoa de (h) de 1,0 m. A lagoa de polimento possuía relação comprimento: largura (C:L) igual a 11,4 com fluxo tendendo a fluxo de pistão, com TDH de 12,5 dias e área superficial da lagoa de 465 m². A relação entre área superficial e população tratada ficou em 2m²/hab.

Segundo Kato *et al* (2001), utilizando-se a proporção de área de 2m²/hab, pode-se atender remoção de ovos de helmintos, boa remoção de DBO e de DQO, além de sólidos suspensos. Observando lagoas com profundidades equivalentes, Kato *et al* (2001), indicam a necessidade de aumento de 50% da área, de 2m²/hab para 3m²/hab, para obter-se boas eficiências na remoção de nitrogênio amoniacal. O valor médio das concentrações de esgoto bruto está relacionado na Tabela 2

Tabela 2. Características médias do esgoto sanitário e reator UASB no estudo nos períodos.

Parâmetro	DQO _T	DBO ₅	NTK	NH ₄ -N	Alcalinidade	PT	SST	PO ₄ -P	pH	Coliformes Totais	Organismos termotolerantes
UASB	136,6	82,3	33,1	19,4	213,8	4,37	115,2	2,44	7,14	1,44E6	8,74E6
Eficiência de remoção no período quente	70,3	59,8	-6,3	2,4	-26,7**	17,5	71	-38,5	0,31**	59,8	71,5
UASB	239,9	103	29,2	24,5	206	4,38	116,3	2,50	7,11	2,61E6	4,60E6
Eficiência de remoção no período frio	36,9	44,5	14,4	-19,1	-12,7**	11,4	64	-67,3	1,46**	58,1	87,1

* Valores em mg/L nos parâmetros DBO₅, DQO_{total}, NH₄-N, NTK, PO₄-P, PT e alcalinidade. CT e Org. Term. estão em NMP/100mL.

** Representam as variações dos períodos e não a eficiência

Abaixo, Tabela 3, características físicas, hidrodinâmicas, carregamento hidráulico e orgânico.

Tabela 3. Características físicas, hidrodinâmicas e carregamento hidráulico das unidades do sistema.

	VAZÃO m ³ /h	TDH horas	VELOCIDADES em m/h		Área de escoamento	Volume m ³			Carregamento médio
			ascenc	Defletor		Decantação	sep. trifásico	Digestão	CHV*
Reator UASB	1,50	12	0,32	0,70	4,71 m ²	5,18	4,71	8,46	1,96
Lagoa de polimento	1,50	300	0,247		465 m ²	465m ³			0,07

* Valores de carregamento hidráulico em termos de m³/m².dia, e orgânico em termos de kg DQO/m³.dia

Os parâmetros operacionais do processo, monitorados semanalmente foram: pH, alcalinidade, temperatura, DQO_{total}, NH₄-N, PO₄-P, ST, SV, SD, coliformes totais e organismos termotolerantes (Apha, 2005). Abaixo, na Tabela 3, temos as médias mensais na cidade de Porto Alegre em 2007.

Utilizou-se delineamento inteiramente causalizado (DIC) para o experimento, com análise de variabilidade dos resultados pelo teste de significância de Tukey com 5 %.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A temperatura média para a cidade de Porto Alegre, no período de análise foi de 18,4°C. Esse valor não difere muito do utilizado como parâmetro para modelagem de sistemas. As observações de eficiência globais podem mascarar efeitos pontuais de perda de eficiência e não atendimento dos padrões de emissão dos órgãos brasileiros.

Dividindo-se as temperaturas médias obtidas no estudo, em período quente (março, abril, outubro, novembro e dezembro de 2007) e período frio (maio, junho, julho, agosto e setembro de 2007), observa-se a temperatura média de 21,5⁰C no período quente e temperatura média de 15,3⁰C para o período frio, com amplitude térmica entre os períodos de 6,2°C.

Keller & Pires (1998), indicam temperaturas ideais para a proliferação de algas acima de 20°C. Sabe-se que temperaturas mais elevadas possibilitam o aumento das taxas e reações bioquímicas nas lagoas, mas produz efeitos adversos ao meio, como diminuição da solubilidade dos gases, principalmente do oxigênio dissolvido (OD), crucial para o sucesso do processo em lagoas de maturação. Desse modo, em períodos quentes, a produção fotossintética poderá ser maior em

relação aos períodos frios, favorecendo o processo fotossintético pelas algas em detrimento do ao processo oxidativo das bactérias.

O valor médio das concentrações e da eficiência da lagoa de polimento, nos períodos quente e frio, está relacionado na Tabela 4.

Tabela 4. Características médias do efluente da lagoa de polimento.

Parâmetro	DQO _T	DBO ₅	NTK	NH ₄ -N	Alcalinidade	PT	SST	PO ₄ -P	pH	Coliformes Totais	Organismos termotolerantes
Lagoa polimento	145,8	86,4	18,9	10,7	186,3	4,03	108,4	1,96	8,27	1,81E5	6,8E5
Eficiência (%) Período Quente	-6,7	-5,0	35,5	44,7	-11,4	7,81	6,8	42	-15,7	87,5	92,2
Lagoa polimento	151	70	29,2	17,1	142,7	4,77	184,8	2,55	7,51	1,03	5,86E5
Eficiência (%) Período Frio	37,2	31,9	11	30,4	30,7	-8,91	-60,4	-2,07	-5,63	96,1	87,8

* Valores em mg/L nos parâmetros DBO, DQO_{total}, NH₄-N, NTK, PO₄-P, PT e alcalinidade

Remoção de DQO_{total}, DBO₅, carregamento superficial aplicado

O carregamento orgânico superficial da lagoa no período frio foi 185,7 kg DQO/ha.dia e 79,7kg DBO₅/ha.dia; e no período quente 105,7 kg DQO/ha.dia e 63,7 kg DBO₅/ha.dia. Os valores indicam grande variação na eficiência do sistema anaeróbio de remoção carbonácea, mais eficiente em períodos quentes, proporcionando nesses menores cargas orgânicas na lagoa. Nesses períodos, o aumento da concentração de DQO do efluente da lagoa de polimento em comparação ao efluente do reator UASB, deve-se provavelmente à produção exagerada de biomassa algal em condições de excesso de nutrientes e boas condições de insolação.

As cargas superficiais aplicadas, em termos de DQO_{total} e DBO₅, segundo Kato *et al.* (2001), configuram a lagoa de maturação, onde a carga de DBO₅ aplicada está abaixo de 100 kg DBO₅/ha.dia. Referem que nessas condições de carga, inferior a carga que caracterizaria uma lagoa de maturação, pode-se proporcionar condições aeróbias adequadas e facilitar estabilização da matéria orgânica através da sua oxidação bacteriana. Mara & Person, 1987, indicam o valor de 150 kg DBO₅/ha.dia, como o valor apropriado para a classificação de lagoas de maturação. Houve diferença significativa através da análise de Tukey a 5% , para o carregamento orgânico e a eficiência de remoção carbonácea, nos diferentes períodos.

O valor absoluto da concentração efluente da lagoa de polimento, no período quente e no período frio foi equivalente, não havendo diferença estatística entre eles. Kato *et al.* (2001), estimaram a DQO de saída do efluente de lagoa de polimento, operada com TDH equivalente e altura de lâmina d'água de 1,0m, possa produz efluente com concentração próxima a 100 mg/L. Obteve-se esse valor em 7 das 38 amostragens do experimento, obtendo-se assim uma confiabilidade de 18% para atendimento do padrão indicado por Kato *et al.* (2001).

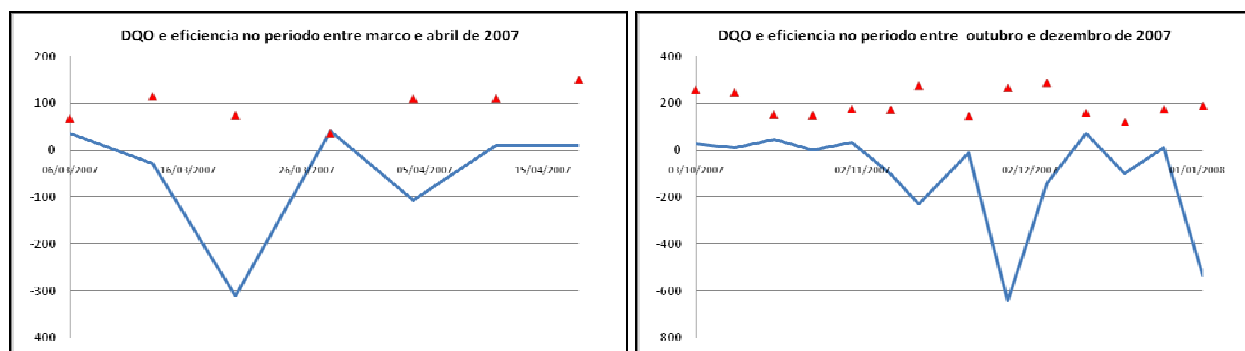


Gráfico 1. Valores de concentração de DQO (▲) e eficiência (—) no período quente.

No Gráfico 1 observa-se a grande dispersão de eficiência nos períodos quentes e a tendência do processo fotossintético estar proporcionando a produção exagerada de biomassa algal, conduzindo a concentrações maiores que as observadas na entrada da lagoa. As eficiências nos períodos quentes sofreram as maiores variações absolutas e frequentemente apresentaram valores negativos.

Através do Gráfico 2, observa-se que a concentração da DQO no efluente da lagoa de polimento manteve-se abaixo da concentração observada no reator UASB no período frio.

Essa constatação pode ser explicada pela possível preponderância do processo oxidativo por vias bacterianas em detrimento ao processo da fotossíntese, dependente da insolação que envolve aumento de matéria orgânica e conseqüentemente demanda de oxigênio para sua estabilização. Nos períodos frios e de menor incidência solar, a mineralização dos poluentes e utilização do CO₂, tende a uma via bacteriana.

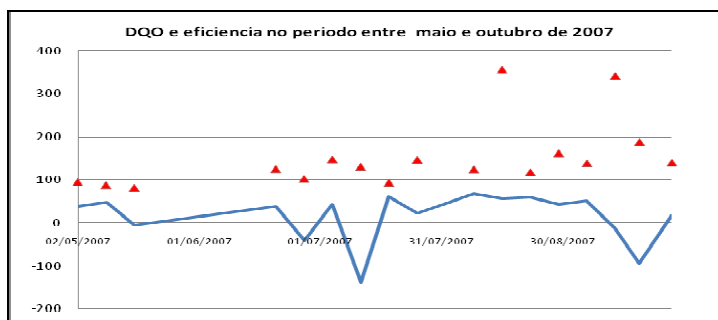


Gráfico 2. Valores de concentração de DQO (▲) e eficiência (—) no período frio.

O carregamento em termos de DBO₅ apresentou diferença significativa nos períodos. Observou-se no período quente concentração de DBO₅ foi de 86,4 mg/L, valor superior ao observado na concentração DBO₅ no efluente do reator UASB. O aumento da DBO₅ assim como o aumento da DQO, pode ter ocorrido devido ao aumento da biomassa algal no período quente.

No período frio, obteve-se uma razoável remoção da concentração de DBO₅ e de DQO no sistema, próximas a 30% e 37% respectivamente. O valor de concentração de DBO₅ do período frio, foi menor que o do período quente, mesmo com um carregamento orgânico superior em 76% em termos de DQO e superior em 25% em termos de DBO₅.

A pequena redução da concentração de DQO_{total} e de DBO₅, na lagoa de polimento, ou mesmo o aumento desses valores, podem de um modo geral terem sido influenciadas pela variação na taxa de oxidação/estabilização da matéria orgânica, na taxa de sedimentação das algas e na taxa de produção fotossintética, acima sugerido.

O aumento da relação entre DQO_{total}/DBO₅, na lagoa de polimento, do valor absoluto 1,68 no período quente para o valor de 2,15 no período frio, indica um maior consumo da matéria orgânica biodegradável na estabilização dos poluentes em períodos ditos quentes. Essa observação indica a existência de uma grande fração de matéria orgânica ainda passível de ser biodegradada por outro processo biológico no período quente, mas de difícil degradação prática, por ser composta essencialmente por biomassa algal.

Houve diferença significativa entre os carregamentos e as eficiências dos períodos tanto para DQO_{total} como para DBO₅.

Sólidos Totais, Sólidos Voláteis, Sólidos Fixos, Sólidos Suspensos e Sólidos Dissolvidos

Os sólidos totais apresentaram remoção de 6,7% na sua concentração no período frio e aumento de 67,5% nos períodos quentes. Observa-se que os sólidos suspensos aumentaram sua concentração no período quente, possivelmente pela incorporação de massa algal no meio líquido. Isso corrobora com as observações de concentrações de DQO e DBO₅ elevadas no período quente.

A eficiência para remoção de sólidos voláteis e sólidos fixos foi respectivamente no período frio de 80,2% e de 16,9%. No período quente, observou-se queda nesses valores ficando em -18,4% para sólidos voláteis e 27,1% para sólidos fixos.

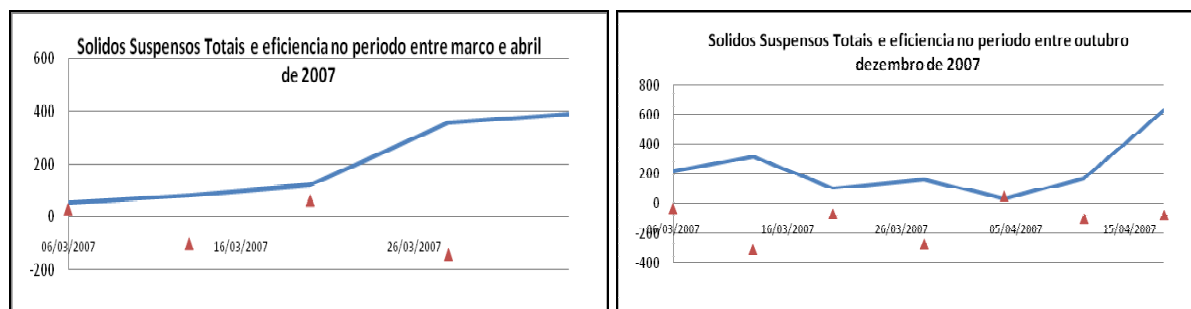


Gráfico 3. Valores de concentração de SST (▲) e eficiência (—) no período quente

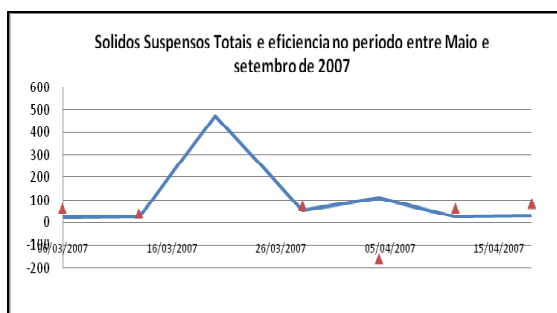


Gráfico 4. Valores de concentração de SST (▲) e eficiência (—) no período frio.

A concentração de sólidos suspensos em lagoas de polimento geralmente apresenta eficiências negativas, observando-se as condições apropriadas, pois se observa o aumento da biomassa algal, dificultando a redução de sólidos suspensos. O aumento de sólidos em suspensão provavelmente deve-se ao crescimento exagerado e descontrolado da biomassa algal. Houve diferença estatisticamente significativa no valor médio das concentrações de sólidos totais, voláteis e fixos obtidos no período quente e no período frio.

pH, alcalinidade e turbidez

O aumento do pH no período quente, pode ter sido derivado da atividade algal, que desloca o equilíbrio do sistema carbonato e o consumo de CO₂ do meio líquido, além de mexer no equilíbrio da concentração de oxigênio dissolvido. Isso pode trazer vantagens ao processo aeróbio de degradação da matéria orgânica. A fotossíntese realizada nos períodos de luz do dia provoca a assimilação de carbono inorgânico e aumento do pH, gerando decréscimo de íons de H⁺ e desequilíbrio nas relações químicas do sistema carbonato conforme Keller & Pires (1998).

Kato *et al.* (2001) observaram em seus experimentos que a profundidade da lâmina líquida tem efeito indireto no pH da lagoa: em profundidades elevadas, a massa onde ocorre a fotossíntese é pequena, gerando consumo biológico de CO₂ e aumento de pH mínimo. A lagoa de polimento

estudada apresentava profundidade máxima de 1,00 m, sendo sucessível ao aumento de pH por via biológica indicada por Kato.

Verificou-se a ocorrência valores de pH maiores nos períodos em que a temperatura e provavelmente maiores incidências solares. Os menores valores absolutos e as menores variações do pH foram observados no período frio. Acredita-se que na faixa de pH observado, entre 7,2 e 10,2 não houve inibição total dos organismos responsáveis pelo tratamento biológico. Keller & Pires (1998), indicam que pH acima de 9 possa-se ter forte inibição dos organismos.

A observação da elevada remoção de sólidos em suspensão na unidade anaeróbia, provavelmente auxiliou o processo fotossintético, pela maior penetrabilidade no meio líquido pela luz solar. No caso do parâmetro turbidez, não se pode considerar esse como um dos fatores limitantes para o crescimento algal. É importante ressaltar que a penetração da radiação solar no meio líquido é um dos fatores mais importantes no crescimento algal (Keller & Pires, 1998), mas não o fundamental, pela necessidade de variados fatores convergirem (pH, nutrientes, OD).

O aumento significativo dos sólidos suspensos nos períodos frios influenciou a turbidez do meio líquido, influenciando provavelmente produção algal e as eficiências de remoção de DQO, DBO, N, P, entre outros parâmetros. Observa-se que, mesmo em períodos de temperatura mais elevada, não foi possível averiguar diretamente alguma correlação entre o crescimento algal e a turbidez.

Nutrientes e organismos patogênicos

A alcalinidade do efluente apresentou redução de 25% na sua concentração, provavelmente causada, pelo consumo gerado no processo da dessorção do nitrogênio amoniacal na lagoa, nos períodos de pH elevado (na média o pH foi de 7,90). A redução de alcalinidade provavelmente não ocorreu devido a uma possível nitrificação na lagoa ou, mais possivelmente pela dessorção do nitrogênio amoniacal do meio líquido, que remove 1 meq de alcalinidade por meq NH_3 removido.

A remoção de nutrientes apresenta restrições na presença de concentração de material orgânico elevada, sendo que o crescimento algal fica limitado pela disponibilidade de dióxido de carbono, nitrogênio inorgânico e fósforo inorgânico. No caso, as baixas eficiências de remoção orgânica nos períodos frios pode ter influenciado a baixa remoção do grupo fósforo e nitrogênio.

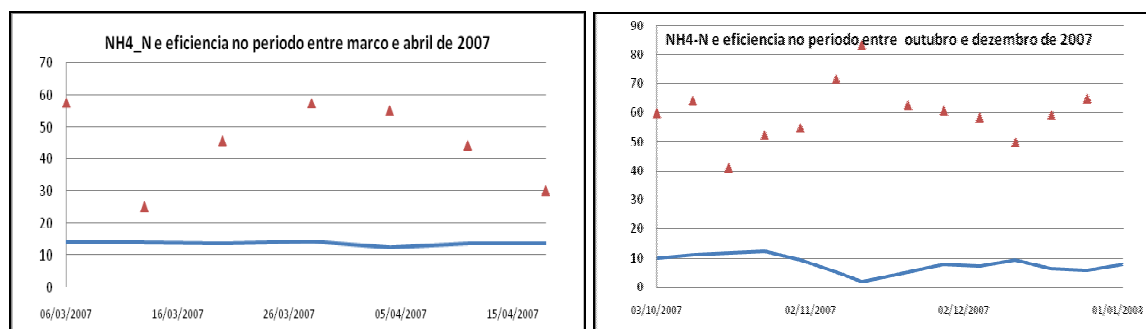


Gráfico 5. Valores de concentração de $\text{NH}_4\text{-N}$ (▲) e eficiência (—) no período quente

Os organismos patogênicos termotolerantes e coliformes totais apresentaram remoções próximas às indicadas por Keller & Pires, 1997. Cabe ressaltar que o baixo TDH das lagoas (12,5 dias) pode ter influenciado a eficiência de remoção nas lagoas. A eficiência de remoção de patogênicos considerada foi considerada razoável, principalmente TDH e a elevada concentração de algas no meio líquido de dificultam a passagem dos raios UV.

Observa-se nos gráficos a influência do período quente na remoção do nitrogênio amoniacal, apresentando os menores valores absolutos de concentração e maiores taxas de remoção.

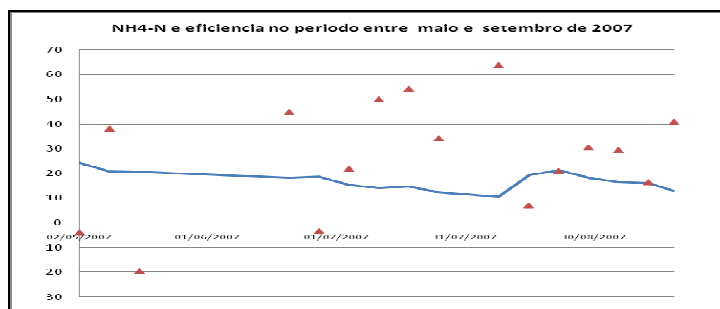


Gráfico 6. Valores de concentração de NH₄-N (▲) e eficiência (—) no período frio.

CONCLUSÕES

Os resultados mostraram que o desempenho da lagoa de polimento é dependente das condições climáticas. Observou-se uma dependência entre os parâmetros DQO, DBO₅, pH e as temperaturas e as variações dos períodos. Desse modo observa-se que exista influencia e interdependência entre os períodos observados e a eficiência global obtida no sistema. Apesar de obterem-se maiores eficiências na remoção carbonácea na unidade anaeróbia em períodos quentes, a unidade de polimento apresenta remoções negativas pelo excesso de biomassa algal produzida (DQO particulada).

A utilização de um processo anaeróbio e uma lagoa de polimento diminui substancialmente o requerimento de área para a obtenção da mesma eficiência no processo, com algumas considerações a serem observadas na instalação em locais de extrema incidência solar e elevada temperatura. Uma solução possível seria um pos-tratamento do efluente da lagoa de polimento, nos períodos quentes, para adequar-se aos valores de lançamento da resolução do CONAMA n°357/05.

REFERÊNCIAS

- [1] APHA, 2005 Standard methods for the examination of water and wastewater. 21^a. Ed., Baltimore: United Book Press Inc.
- [2] CHERNICHARO, C.A.L., (1997), Reatores Anaeróbios Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental DESA/UFMG 5v. 2a ed. 246p.
- [3] KATO, M.; CAVALCANTI, P.F.F.; HAANDEL, A.V; SPERLING, M.V.; MONTEGGIA, L.O. & LUDIVICE, M.L (2001). Pós-tratamento de efluente de reatores anaeróbios por lagoas de polimento. Em: Chernicharo, C.A.L. Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios. Coletânea de Trabalhos Técnicos. FINEP-PROSAB.
- [4] KELLNER, E & PIRES, E.C. (1998) Lagoas de estabilização: projeto e operação. Rio de Janeiro, ABES, 244p.
- [5] KIM, Y. & KIM, W. (2000) Roles of water hyacinths and their roots for reducing algal concentration in the effluent from waste stabilization ponds. Water Research. Vol.34, n.º13. pp.3285-3294.
- [6] MARA, D.D. & PEARSON, H.W. (1987) Waste Stabilization Ponds- Desing Manual for Mediterranean Europe. World Health Organization, Copenhagen
- [7] TESSELE, F.; MONTEGGIA, L.O.; FRONZA, A. & HEGLERT, A.P. (2005) Uso Integrado de Reator Anaeróbio e Lagoa de Polimento para Tratamento de Esgoto Domestico Diluídos em Clima Sub-Tropical, Trab. II- 215, 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Campo Grande, MS
- [8] VAN HAANDEL, A. C. & LETTINGA, G. (1994) Tratamento anaeróbio de esgoto. Um manual para regiões de clima quente. Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande: UFPb. ABES- Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental.