

II-498 - DESEMPENHO DE UM FILTRO BIOLÓGICO PERCOLADOR NA REMOÇÃO DE NITROGÊNIO AMONIAVAL DE EFLUENTE DE LAGOA FACULTATIVA

Humberto Carlos Ruggeri Júnior⁽¹⁾

Engenheiro Civil pela Escola de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP. Mestre em Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais pela Escola de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP. Doutor em Engenharia Hidráulica e Sanitária pela Escola Politécnica da USP.

Mônica Medeiros⁽²⁾

Engenheira Ambiental pelo Centro Universitário de Lins – UNILINS. Mestre em Engenharia Hidráulica e Sanitária pela Escola Politécnica da USP.

Roque Passos Piveli⁽³⁾

Engenheiro Civil pela Escola de Engenharia de São Carlos da USP. Professor Associado do Departamento de Hidráulica e Ambiental da Escola Politécnica da USP.

Endereço⁽¹⁾: Av. Prof. Almeida Prado, 83 trav.2 - Cidade Universitária – São Paulo - SP - CEP: 05508-900 - Brasil - Tel: (11) 3091-5161 - e-mail: hcruggeri35@yahoo.com.br.

RESUMO

O trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho de um filtro percolador operando como uma unidade de pós-tratamento de efluente de lagoa facultativa visando à remoção de nitrogênio amoniacal, focando os efeitos das taxas de aplicação, do tipo de material de enchimento e das características do afluente aos filtros, tais como pH, temperatura e concentração de oxigênio dissolvido, sobre a nitrificação e nitratação do esgoto tratado em lagoas facultativas secundárias. Foi construído e posto em operação um filtro percolador com 1,2 m de diâmetro e 4 m de altura útil. O filtro foi dividido ao meio e cada metade foi preenchida com dois materiais de características distintas: brita 4 e anéis plásticos. O filtro foi submetido a diferentes taxas de aplicação. Os resultados mostraram que, para todas as condições de operação, os filtros apresentaram uma nitrificação parcial, sendo observadas concentrações significativas de nitrito no efluente dos filtros, para os dois materiais de enchimento empregados. A condição de pH elevado, altas temperaturas existentes na região e a concentração de NH_3 levou o filtro a operar em uma região de provável inibição da nitratação devido à presença de NH_3 . Os filtros apresentaram remoções significativas de nitrogênio amoniacal em taxas de aplicação relativamente baixas. Para taxas acima de 0,25 kgDBO/m³.d a nitrificação foi praticamente encerrada. De qualquer forma, as taxas de aplicação que resultaram em boas condições de nitrificação não foram muito elevadas, de modo que o volume necessário de filtro biológico pode ser grande e demandar gastos expressivos para a sua implantação.

PALAVRAS-CHAVE: Filtro Biológico Percolador, Nitrificação, Nitratação, Pós-tratamento, Lagoa Facultativa.

INTRODUÇÃO

Existem centenas de sistemas de lagoas de estabilização em operação no Brasil, particularmente no interior do estado de São Paulo. Partes desses sistemas são projetados basicamente para remover matéria orgânica, não possuindo lagoas terciárias ou de maturação, sobretudo devido à falta de terreno disponível. Nessas condições, não é possível o atendimento aos limites de concentração de nitrogênio amoniacal para águas naturais estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005, em virtude das baixas capacidades de diluição de inúmeros corpos receptores de esgoto tratado.

Segundo Zimmo et al. (2004), as atuais tecnologias para o tratamento de águas residuárias, como o processo de lodos ativados visando a remoção de nutrientes, apresentam custos elevados para regiões em desenvolvimento, que sofrem com o crescente problema de tratamento de suas águas residuárias.

Os filtros percoladores, assim como as lagoas de estabilização, também apresentam baixos custos operacionais. Entretanto, ainda são escassos na literatura trabalhos que explorem o uso de filtros como pós-tratamento de

efluentes de lagoas facultativas. Alguns estudos relataram a utilização de filtros operando como pós-tratamento de processos anaeróbios, como o de Silva (2005), que conduziu experimentos sobre a viabilidade de pós-tratamento de efluentes de UASB utilizando filtros percoladores com ausência da etapa de clarificação.

Outros estudos abordaram outras concepções de tratamento que incorporam filtros percoladores, como o processo PETRO (*Pond Enhanced Treatment and Operation*) o qual é considerado como um sistema híbrido que incorpora uma lagoa facultativa ou anaeróbia primária, uma lagoa secundária e um filtro percolador em um projeto integrado. O objetivo principal dessa concepção é a remoção de algas do efluente final. Na Tabela 01 são mostradas as concentrações de nitrogênio amoniacal, NTK e nitrato, obtidas em um sistema PETRO, composto por dois filtros percoladores funcionando em paralelo.

Tabela 01: Concentrações de NTK, nitrogênio amoniacal e nitrato em um sistema PETRO

Parâmetros	Efluente Lagoa	Efluente filtro 1	Efluente filtro 2
NTK (mg-N/L)	28	5,6	5,6
NH ₃ (mg-N/L)	24	4	3,8
NO ₃ ⁻ (mg-N/L)	0,3	26	31

Fonte: Meiring et al. (1995)

Outra experiência com filtro percolador operando como unidades de pós-tratamento de reator UASB pode ser observado no trabalho conduzido por Almeida (2007). Neste estudo, o autor operou um filtro biológico percolador compartimentado, onde cada compartimento possuía materiais de enchimento de características distintas. Para uma taxa de aplicação volumétrica de 0,24 kgDBO/m³.d e taxa de aplicação hidráulica de 10 m³/m².d, as concentrações efluentes no filtro ficaram abaixo de 20 mgNH⁴⁺-N/L, tendo sido atendida, portanto, a concentração de lançamento estabelecida pela Resolução CONAMA 357/2005.

Dentro do contexto de filtros biológicos operando como pós-tratamento de efluente de lagoas facultativas, pode-se citar o trabalho desenvolvido por Oliveira e Gonçalves (1999). Nesse caso, os autores utilizaram filtro aerado submerso como pós-tratamento de efluentes de lagoas facultativas. A taxa de aplicação hidráulica aplicada foi de 45,6 m³/m².d. Para essa taxa, foram observadas taxas volumétricas de nitrificação de 0,47 kgNH⁴⁺-N/m³.d e redução na concentração de nitrogênio amoniacal de 20mgNH⁴⁺-N/L (afluente do filtro) para 5mgNH⁴⁺-N/L (efluente do filtro).

O sucesso no processo de nitrificação em filtros percoladores é diretamente dependente da taxa de aplicação superficial, do oxigênio disponível, das condições climáticas e da natureza dos elementos que compõem o meio suporte do leito. Entretanto, fatores como pH, concentração de nitrogênio amoniacal e temperatura também podem, dependendo das relações entre esses parâmetros, ocasionar uma nitrificação parcial nos filtros, sendo possível observar uma presença significativa de nitrito no efluente desses dispositivos.

Nijhof e Klapwijk (1995) estudaram a influência da concentração de nitritos sobre a nitrificação em filtros percoladores. O acúmulo de nitrito em ambientes aquáticos e seu efeito inibidor sobre grupos de bactérias vêm sendo publicado há décadas.

A Resolução CONAMA 357/2005 não estabelece limites de lançamento nos corpos receptores para o nitrito e nitrato, entretanto, estes dois elementos constituem-se como parâmetros de qualidade de rios e lagos. Para rios e lagos de classe 1 a legislação impõe um limite máximo de 10 mg/L para o nitrato e 1 mg/L para o nitrito, sendo imposto os mesmos limites para rios e lagos de classe 2 e 3. Nota-se que a legislação é mais restritiva com relação às concentrações de nitrito, desta maneira, sistemas de tratamento com concentrações significativas de nitrito poderiam apresentar dificuldades em assegurar esses limites, principalmente no interior do estado de São Paulo, onde uma grande parte dos corpos receptores apresenta baixos fatores de diluição.

Anthonisen et al. (1976) apresentaram uma discussão sobre a inibição da nitrificação pela amônia e ácido nítrico. Alguns anos após a publicação de Anthonisen et al. (1976), Philips et al. (2002) retoma o tema, com a publicação de seu trabalho focando a discussão sobre a origem, causas e efeitos do aumento nas concentrações de nitrito em ambientes aquáticos.

O presente trabalho tem como objetivo avaliar o desempenho de filtros biológicos percoladores em relação à remoção de nitrogênio amoniacal de efluente de lagoa facultativa fotossintética, focando os efeitos das taxas de aplicação, do tipo de material de enchimento e das características do afluente aos filtros, tais como pH, temperatura e concentração de oxigênio dissolvido, sobre a nitrificação e nitratação do esgoto tratado em lagoas facultativas secundárias.

MATERIAIS E MÉTODOS

Sistema em escala real

A unidade piloto, composta pelo filtro percolador, decantadores e uma pequena estação de recalque, está localizada dentro do campo experimental da SABESP no município de Lins. O campo experimental encontra-se situado dentro da estação de tratamento de esgoto. A estação possui três módulos operando em paralelo. Cada módulo é formado por duas lagoas ligadas em série (anaeróbia e facultativa), formando um sistema conhecido como australiano. O sistema atende uma população de aproximadamente 65000 habitantes. O tempo médio de detenção hidráulica do esgoto na lagoa anaeróbia é de 5,8 dias e na facultativa é de 13,9 dias.

Sistema em escala piloto

O sistema piloto é composto por um filtro percolador construído em polipropileno, com 1,2 m de diâmetro e altura útil de 4 metros. O filtro foi dividido ao meio por uma placa de 1 cm de espessura, também em polipropileno, formando dessa forma, duas células preenchidas com dois tipos de materiais, brita e anéis plásticos. O meio suporte constituído por brita 4 possui uma área superficial específica de 70 m²/m³ (segundo a literatura) e o anel plástico oferece uma área superficial específica de 100 m²/m³ (segundo o fabricante Mizumo). Todo filtro está apoiado sobre uma base de concreto onde foram previstos um sistema coletor do efluente para cada célula e aberturas para garantir uma boa ventilação. O sistema foi alimentado com o efluente da lagoa facultativa de um dos módulos e o controle da vazão é feito por meio de registros de agulha e um rotâmetro de alma cônica. O efluente foi distribuído no topo do filtro através de um distribuidor mecânico, cuja rotação adequada é controlada por um inversor de frequência. O sistema de controle de vazão está conectado a uma pequena elevatória.

Fases de operação

Neste trabalho, a jornada experimental foi dividida em quatro fases com intuito de avaliar o efeito das taxas de aplicação hidráulica e superficial de DBO sobre a remoção do nitrogênio amoniacal. Na Tabela 02 encontram-se algumas condições de operação para cada fase experimental. Todas as taxas foram baseadas na área superficial e volume do filtro.

Tabela 02 - Condições operacionais em cada material de enchimento utilizado.

Fase	Filtro de Pedra					Filtro de Plástico				
	TAH	TAS _{DBO}	TAS _{NTK}	TAV _{DBO}	TAV _{NTK}	TAH	TAS _{DBO}	TAS _{NTK}	TAV _{DBO}	TAV _{NTK}
1	4,2	0,2	0,2	0,1	0,1	4,2	0,2	0,2	0,1	0,1
2	6,4	0,2	0,3	0,1	0,1	6,4	0,2	0,3	0,1	0,1
3	8,5	0,6	0,4	0,2	0,1	8,5	0,6	0,4	0,2	0,1
4	10-18	0,5-1,1	0,3-0,5	0,1-0,3	0,1-0,2	10-18	0,5-1,1	0,3-0,5	0,1-0,3	0,1-0,2

Nota: TAH = taxa de aplicação hidráulica; TAS = taxa de aplicação superficial de DBO ou NTK; TAV = taxa de aplicação volumétrica de DBO ou NTK.

Na quarta fase, as taxas foram aumentadas semanalmente com o objetivo de determinar a taxa máxima de aplicação que o filtro poderia ser submetido sem o comprometimento do processo de nitrificação.

Cada fase operacional teve duração média de 6 meses, considerados suficientes para a obtenção de um número significativo de resultados sob regime estabilizado.

Análises físico-químicas

Para avaliar o desempenho do filtro frente à remoção de nitrogênio amoniacal, foram coletadas amostras simples, duas vezes por semana, do efluente da lagoa facultativa em escala real (que alimenta o sistema piloto) e do efluente do filtro, em escala piloto, para os dois materiais suporte utilizados.

A partir das amostras coletadas foram realizadas análises para determinar as concentrações de NTK, nitrogênio amoniacal, nitrito, nitrato, pH, alcalinidade, OD e temperatura. Todas as análises foram feitas de acordo com o Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (APHA; AWWA; WEF, 2005).

4 RESULTADOS

Na Figura 1 encontram-se os gráficos Box-Whiskers (fases 1, 2 e 3) e série histórica (fase 04), relativos às concentrações de nitrogênio amoniacal. O termo "filtro de pedra" faz referência à metade do filtro preenchida com brita 4 e "filtro de plástico" é referente à parte com anéis plásticos.

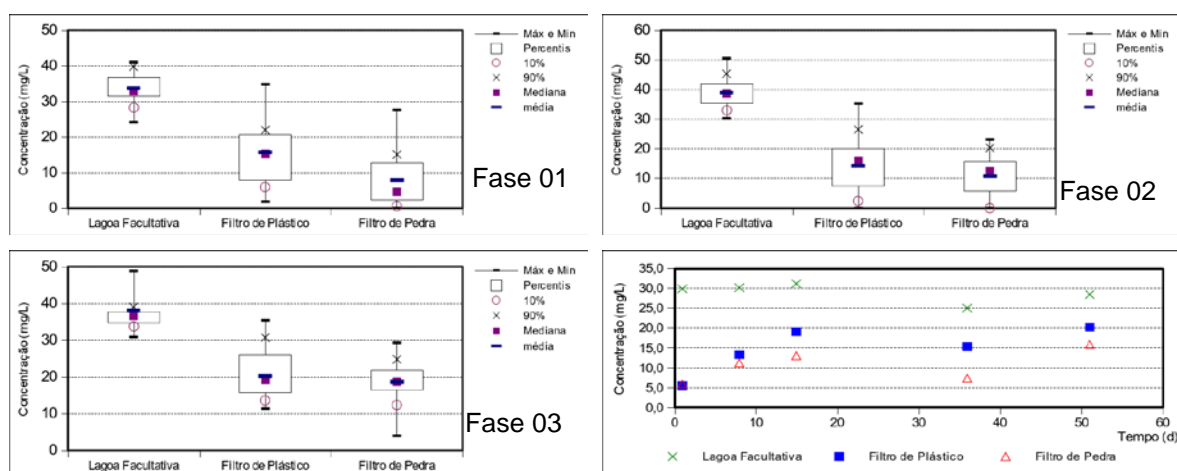


Figura 1 - Concentração de nitrogênio amoniacal: Box-Whiskers e série histórica (fases 01, 02, 03 e 04)

Na fase 01, a taxa de aplicação hidráulica sobre cada material de enchimento foi de 4,2 m³/m²d e a taxa volumétrica de aplicação de DBO em torno de 0,1 KgDBO/m³d. Nesta fase, foi possível observar reduções razoáveis de nitrogênio amoniacal, atendendo ao padrão de emissão de 20 mg/L estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005 e suspenso temporariamente pela Resolução CONAMA 397/2008. Nas fases 02 e 03, as taxas de aplicação hidráulica foram na média de 6,4 m³/m²d e 8,5 m³/m²d, respectivamente, resultando em taxas volumétricas de aplicação de DBO de 0,1 e 0,2 KgDBO/m³d. Mesmo com o aumento das taxas, os filtros mantiveram seu desempenho, ou seja, o limite de concentração de referência de 20 mg/L de nitrogênio amoniacal continuou sendo observado. Os gráficos revelam que concentrações abaixo de 5mg/L também ocorreram durante as fases 01 e 02. Além disso, as menores concentrações foram observadas com o meio suporte de brita. Era esperado que o meio suporte formado por anéis plásticos tivesse um desempenho melhor (maior área superficial específica), entretanto, este comportamento poderá estar relacionado à eficiência de molhamento. O efluente pode ter percolado de maneira mais efetiva no meio suporte de pedra. Outros fatores, além da eficiência de molhamento, podem influenciar as diferenças existentes entre os materiais de enchimento, em termos de desempenho dos filtros. No trabalho realizado por Parker e Richards (1986), os leitos constituídos de anéis plásticos apresentaram menores desempenhos em comparação aos leitos constituídos de pedra. Estas diferenças podem estar relacionadas com a rugosidade do material adotado. Almeida (2007) estudou o efeito de diferentes tipos de meio suporte no desempenho de filtros biológicos percoladores aplicados aos pós-tratamento de efluentes de reatores UASB, com ênfase na nitrificação. Os materiais de enchimentos empregados no estudo foram: escória de alto forno, anéis plásticos aleatórios, aparas de conduíte corrugado e sistema Downflow Hanging Sponge (DHS). Segundo o autor, para uma taxa de aplicação volumétrica de 0,43kgDBO/m³.d e uma taxa de aplicação hidráulica de 20m³/m².d, não houve diferenças estatisticamente significativas entre os materiais de enchimento testados. Para taxa de aplicação volumétrica de 0,24 kgDBO/m³.d e taxa de aplicação

hidráulica de 10 m³/m².d, foi detectada diferenças nas concentrações efluentes de nitrogênio amoniacal, para os diferentes materiais de enchimento empregados.

Para Heijnen et al. (1992), a rugosidade e o diâmetro do material suporte são características importantes no desenvolvimento do biofilme. Para o autor, inicialmente, o biofilme é formado nas cavidades das superfícies dos materiais suportes e quando estas cavidades não estão presentes, as colônias de micro-organismos ficam sujeitos ao efeito de corrente (cisalhamento), podendo ocorrer o desprendimento dessas colônias.

Na Figura 2 são apresentados os diagramas Box-Whiskers (fases 1, 2 e 3) e a série histórica relativos às concentrações de nitrito (fase 04).

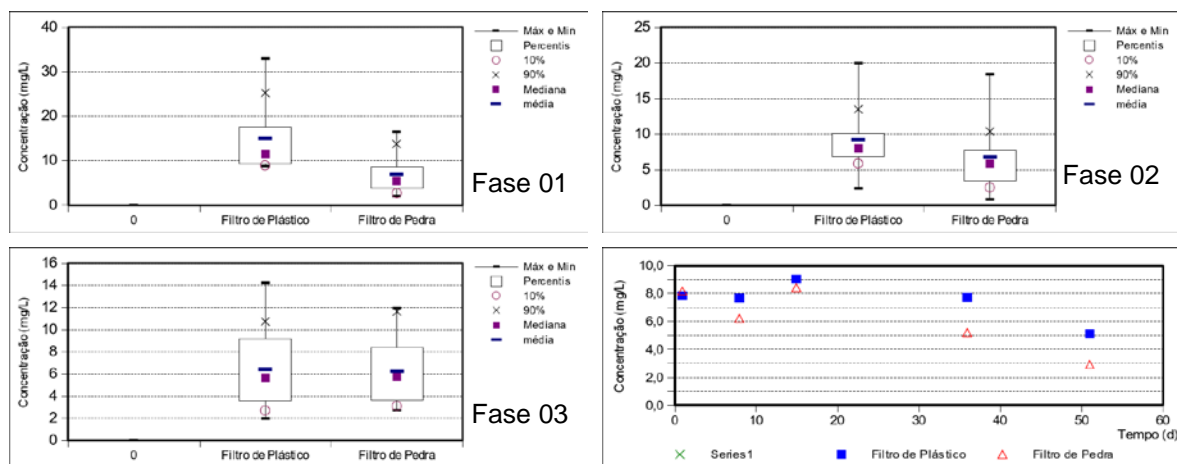


Figura 02 - Concentração de nitrito: Box-Whiskers e série histórica (fases 01, 02, 03 e 04)

Em todas as fases foram observadas concentrações significativas de nitrito, contudo, na Figura 3 verifica-se a presença de nitrato no efluente do filtro para os dois materiais suportes. Esse fato demonstra que as condições operacionais impostas resultaram em uma nitrificação parcial, com a possibilidade de inibição da taxa de nitratação. Alguns autores publicaram trabalhos discutindo o efeito da concentração de NH₃ em pH elevado, e ácido nitroso em pH relativamente baixo. Dentre os trabalhos publicados podem ser citados os trabalhos de Anthonisen et al. (1976) e Philips et al. (2002). Para esse grupo de pesquisadores as condições operacionais tais como, pH, temperatura e as concentrações de NH₃ e ácido nitroso podem modificar as taxas de nitratação e nitratação, ocorrendo o fenômeno denominado como *Build-up*, já que a denominação "acúmulo de nitrito" remeteria o fenômeno a um efeito contínuo e crescente das concentrações de nitrito, descartando o efeito singular do fenômeno.

Como os valores de pH na lagoa facultativa são relativamente altos, sendo observados valores médio de 8,0 e ocorrendo valores acima de 9,0. Os resultados de pH e de concentração de nitrogênio amoniacal total do efluente da lagoa facultativa foram lançados em um gráfico que relaciona as formas predominantes de nitrogênio com o pH, nos qual estão definidas as condições limites das zonas de inibição da nitrificação proposto por Anthonisen et al.(1976).

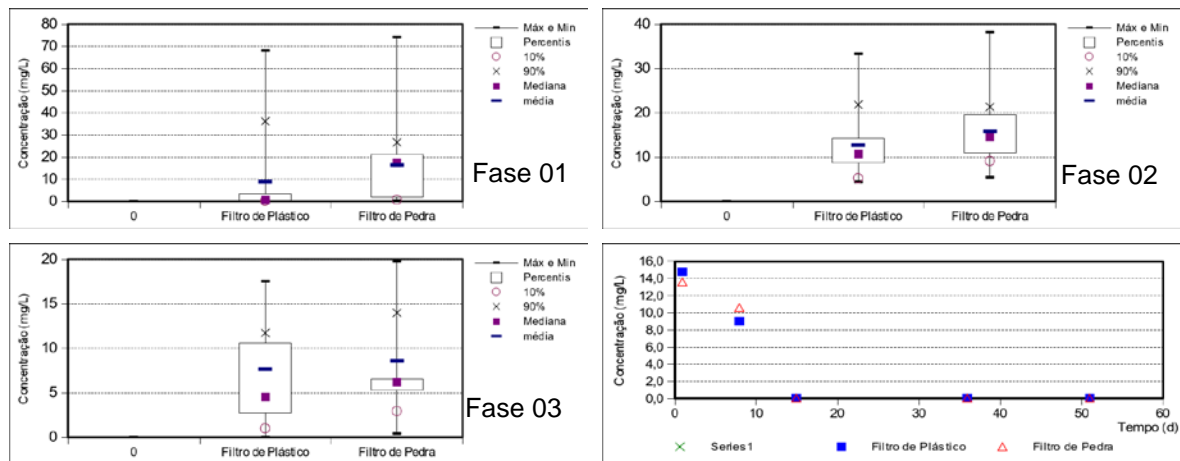


Figura 03- Concentração de nitrato - Box-Whiskers (fases 1, 2 e 3) e série histórica (fase 4)

Pode-se observar que a totalidade dos pontos ficou situada dentro da faixa de ocorrência de inibição das nitrobacter devido à concentração de NH_3 (Figura 4).

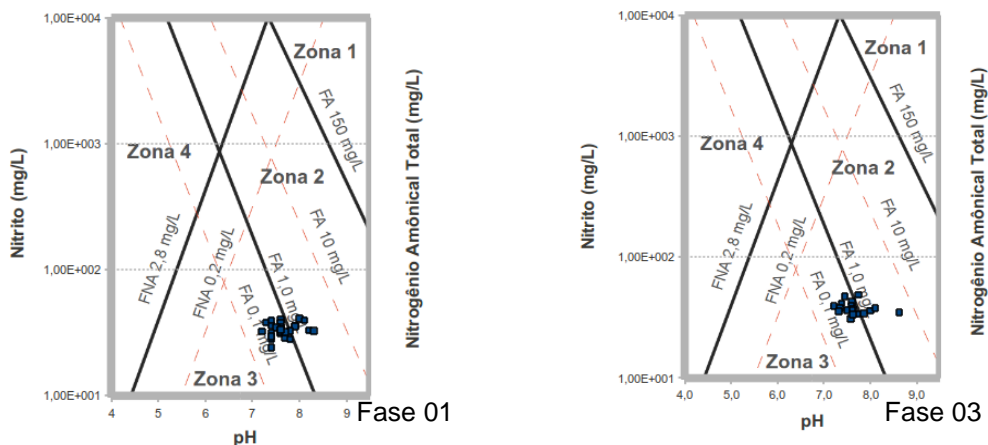
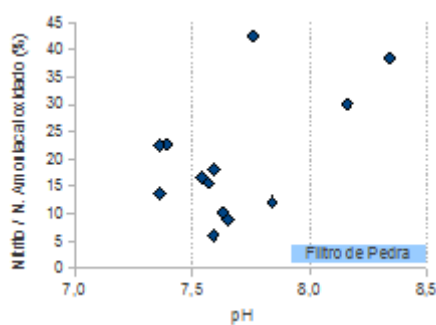


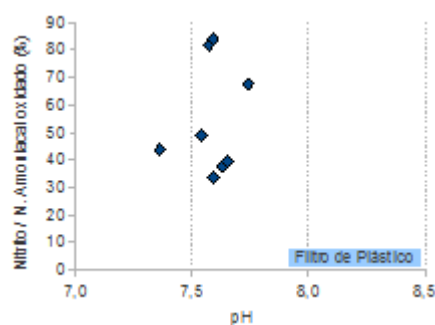
Figura 04 - Relação entre concentração de amônia livre e ácido nitroso e inibição das nitrificantes: Filtro percolador (Fase 01 e 03). Adaptado: Anthonisen et al. (1976)

A Figura 5 contém os gráficos que relacionam o pH do efluente da lagoa facultativa, que alimenta o filtro, com a fração determinada pela concentração de nitrito e a quantidade de amônia oxidada.

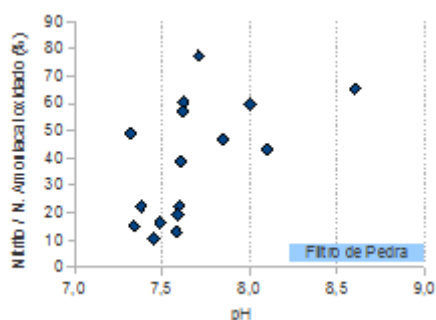
É possível verificar, nos gráficos da figura 05 uma tendência das maiores porcentagens de nitrito em relação à amônia oxidada ocorrerem nas faixas de pH acima de 7,5. A grande dispersão dos valores apresentados durante a fase 2 em ambos os filtros não permitem verificar qualquer tendência dos pontos amostrais, principalmente no filtro preenchido com pedra, desta forma os gráficos relativos à fase 2 não foram apresentados. Este comportamento, apresentado nos filtros de pedra e plástico na fase 2, pode estar relacionado com a dificuldade em manter um padrão na alimentação dos filtros durante essa fase. A elaboração destes gráficos não tem como objetivo obter uma curva de correlação, apenas tem o propósito de elucidar o possível efeito do pH sobre o acúmulo de nitrito no sistema



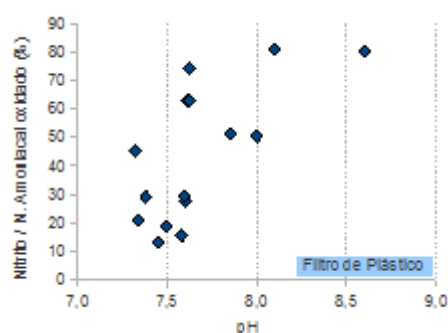
(a) Filtro com brita (fase 01)



(b) Filtro com anel plástico (fase 01)



(c) Filtro com brita (fase 03)



(d) Filtro com anel plástico (fase 03)

Figura 5 - Relação entre a razão de concentração de nitrito e nitrogênio amoniacal oxidado com pH afluente: Filtros percoladores

Na Tabela 3 mostram-se os resultados referentes à detecção do número provável de bactérias nitrificantes e nitrificantes durante a fase 3.

Tabela 3 - Concentração de nitritantes e nitratantes: Fase 3

Fase	Data	Filtro de Pedra		Filtro de Plástico	
		Nitritantes	Nitratantes	Nitritantes	Nitratantes
		(NMP/100mL)	(NMP/100mL)	(NMP/100mL)	(NMP/100mL)
3	16/10/08	3,30E+04	4,00E+03	1,20E+04	2,00E+03
	25/06/09	1,60E+06	4,00E+04	1,60E+06	4,00E+04
	27/08/09	3,30E+03	4,00E+02	2,20E+03	4,00E+02
	22/10/09	4,00E+04	2,00E+04	6,00E+04	20

Durante a fase 03, a concentração de bactérias nitrificantes foi menor comparado com o número mais provável de nitrificantes presentes em ambos os materiais de enchimento. Verifica-se o valor de 20 NMP/100 mL para as nitrificantes no filtro preenchido com anel plástico. Esse menor número apresentado pode influenciar nas taxas de formação de nitrito e nitrato, levando ao um desbalanceamento entre as quantidades oxidadas.

Além disso, em condições favoráveis para nitrificação, as taxas de nitrificação e nitrificação devem ser equivalentes. Dentro dessas condições, não deverá ser observado o acúmulo de nitrito no sistema, sendo esse praticamente oxidado a nitrato quase que instantaneamente. A presença de amônia livre, em concentrações inibitórias é capaz de alterar as taxas entre esses grupos de bactérias (nitritantes e nitratantes). Sendo assim, a taxa de formação de nitrito pode assumir uma ordem de valor mais elevada em relação à taxa de nitrificação.

A presença de nitrogênio amoniacal na sua forma ionizada, também pode exercer um efeito de inibição sobre os grupos de bactérias nitrificantes, entretanto, segundo Philips et al. (2002) este efeito é menor quando comparado ao da amônia livre (NH_3).

CONCLUSÕES

O filtro apresentou remoções significativas de nitrogênio amoniacal até as taxas que foram aplicadas na fase 3. Para taxas volumétricas de aplicação de DBO acima de $0,25 \text{ kgDBO/m}^2\text{d}$, o filtro começou a manifestar comprometimento na eficiência de remoção do nitrogênio amoniacal e completo bloqueio da nitratação, não sendo observado a presença de nitrato no efluente do filtro em ambos materiais de enchimento.

As condições operacionais conduziram o filtro a operar na faixa de provável inibição da nitratação pela presença de NH_3 , e isto se manifestou pela constante presença de nitrito no efluente do filtro. Essas condições podem estar ligadas às temperaturas elevadas da região onde o filtro está localizado e aos valores altos de pH que podem ocorrer em efluentes de lagoas facultativas. Sendo assim, caso o fenômeno de acúmulo de nitrito não seja revertido, o uso de filtros como unidade de pós-tratamento de efluente de lagoa facultativa não será uma opção adequada.

Recomenda-se a realização de estudos em que se promova a recirculação de esgoto tratado para a entrada dos filtros como tentativa de se superar o problema do acúmulo de nitrito. De qualquer forma, as taxas de aplicação que resultaram em boas condições de nitrificação não foram muito elevadas, de forma que o volume necessário de filtro biológico pode ser grande e demandar gastos expressivos para a sua implantação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALMEIDA, P. G. S., 2007 Efeito de diferentes tipos de meio suporte no desempenho de filtros biológicos percoladores aplicados ao pós-tratamento de efluentes de reatores UASB, com ênfase na nitrificação. Tese de M.Sc. Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais-UFMG, Belo horizonte, 113p.
2. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA); AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA); WATER ENVIRONMENT FEDERATION (WEF). Standard methods for the examination of water and wastewater. 25.ed., Washington, 2005.
3. ANTHONISEN, A. C. et al. Inhibition of nitrification by ammonia and nitrous acid. Journal WPCF, v.48, n.5, p.835-852, 1976
4. CONAMA - CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. Resolução 357, de 17 de março de 2005.
5. CONAMA - CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. Resolução 397, de 03 de Abril de 2008.
6. HEIJNEN, J. et al. Formation of biofilms on small suspended particles in air-lift reactors. Water Science & Technology, v.26, n.9/10, p.2015-2019, 1992.
7. MEIRING, P. G. J. et al. Removal of Algal Biomass and Final Treatment of Oxidation Pond Effluents by the PETRO Process. In: IAWQ International Specialist Conference and Workshop on Waste Stabilisation Ponds Technology and Applications. 3rd, 1995, João Pessoa. Anais. João Pessoa, 1995, p.23-29.
8. NIJHOF, M.; KLAPWIJK, A. Diffusional transport mechanisms and biofilm nitrification characteristics influencing nitrite levels in nitrifying trickling filter effluents. Wat. Res., v.29, n.10, p.2287-2292, 1995
9. OLIVEIRA, F. F.; GONÇALVES, R. F. Principais tecnologias empregadas no polimento do efluente de lagoas de estabilização. In: 20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES). Rio de Janeiro, 1999.
10. PARKER, D.S.; RICHARDS, T. Nitrification in trickling filters. Journal WPCF, V.58, N° 9, p.896-901, 1986.
11. PHILIPS, S. et al. Origin, causes and effects of increased nitrite concentrations in aquatic environments. Environmental Science & Bio/Technology, p.115-141, 2002.
12. SILVA, G. M. Estudo de viabilidade de pós tratamento de efluentes de UASB através de filtros biológicos percoladores sem etapa de clarificação. 2005. 162 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, 2005.
13. ZIMMO, O. R.; van der STEEN, N. P.; GIJZEN H. J.; Nitrogen mass balance across pilot-scale algae and duckweed-based wastewater stabilisation ponds. Water Research, 38, p.913-920, 2004.