

II-532 – TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO PELO PROCESSO DA NITRIFICAÇÃO E DESNITRIFICAÇÃO SIMULTÂNEA EM BIOMASSA SUSPensa SOB FLUXO CONTÍNUO

Rodrigo de Freitas Bueno⁽¹⁾

Bacharel em Biologia. Especialista em Engenharia de Controle da Poluição Ambiental pela Faculdade de Saúde Pública da USP. Mestre em Saúde Pública e Engenharia Ambiental pela Faculdade de Saúde Pública da USP (FSP/USP).

Roque Passos Piveli⁽²⁾

Engenheiro Civil pela EESC. Professor Associado do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EP/USP).

Pedro Alem Sobrinho⁽³⁾

Engenheiro Civil e Sanitarista pela USP. Professor Titular do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EP/USP).

Endereço⁽¹⁾: Rua Belo Jardim, 118 – Jd. Mutinga – São Paulo – SP - CEP: 05159-200 - Brasil - Tel: (11) 3902.7374 - e-mail: robueno@usp.br

RESUMO

Recentemente foi desenvolvido na Europa o processo conhecido por SND – Simultaneous Nitrification and Denitrification, ou Nitrificação e Desnitrificação Simultânea (NDS), em que o lodo ativado opera com tempo de retenção de sólidos suficientemente altos para que a nitrificação ocorra mesmo com baixa concentração de oxigênio dissolvido nos tanques de aeração, situação em que é possível a manutenção de condições anóxicas no interior dos flocos e a ocorrência da desnitrificação. No Brasil, muitas estações de tratamento de esgoto foram construídas ou estão sendo projetadas para operarem sob as condições da variante do processo de lodo ativado conhecida por aeração prolongada, reconhecidamente eficiente na remoção de matéria orgânica e na nitrificação do esgoto. Tais estações podem ser adaptadas para estas novas condições, de forma a se obter o benefício técnico da desnitrificação e o ganho econômico relativo à redução no consumo de energia elétrica para aeração. Este estudo teve como objetivo a avaliação das condições de remoção de nitrogênio via NDS em um sistema de lodo ativado por aeração prolongada alimentada em fluxo contínuo com diferentes idades do lodo 40, 30 e 20 dias e condições de A/M estimadas em 0,050, 0,075 e 0,100 gDBO/gSSV/d, em escala piloto, tratando esgoto sanitário. Os resultados demonstraram que é possível obter altas eficiências no processo de NDS quando a concentração de oxigênio dissolvido está na faixa de 0,3–0,8mgO₂/L. O processo de tratamento permaneceu estável durante todo o período de observação, sempre resultando em alta eficiência na remoção de DQO. A concentração de SST no efluente manteve-se sempre baixa, demonstrando que a baixa concentração de OD no tanque de aeração e as demais condições operacionais da NDS não causaram danos significativos na floculação biológica. Os valores da constante de crescimento específico máximo das bactérias autotróficas *Nitrossomonas* (μ_m) e de meia saturação de Monod (K_n) obtidos nesse estudo resultaram muito próximas aos encontrados na literatura, indicando que é possível com baixas concentrações de oxigênio dissolvido e as demais condições operacionais do processo de NDS obter velocidade de nitrificação similar aos sistemas de lodos ativados convencionais.

PALAVRAS-CHAVE: Nitrificação e desnitrificação simultânea (NDS), lodo ativado, aeração prolongada, baixa concentração de oxigênio, nitrificação e desnitrificação aeróbia, desnitrificação autotrófica anóxica.

INTRODUÇÃO

Muitos estudos têm mostrado que a nitrificação e desnitrificação pode ocorrer simultaneamente em um reator sob condições aeróbias com pouco oxigênio dissolvido, conhecido como processo de nitrificação e desnitrificação simultânea (NDS). Collovognarelli e Bertanza (1999) relataram que o processo de NDS poderia remover demanda química de oxigênio (DQO) e de nitrogênio com eficiência elevada, com menor consumo de energia para aeração chegando a uma economia de 50% em comparação com um processo de pré-desnitrificação convencional. A NDS foi aplicada a uma ampla gama de processos de tratamento biológico de águas residuais, tais como sistemas de biofilme aeróbio; em processos de remoção biológica de fósforo

reforçada; em sistemas de reatores de leito fluidizado e em sistemas de reator em bateladas sequenciais (SBR) (MUINCH et al, 1996; ZENG et al, 2003). A remoção de nitrogênio obtida através da NDS é semelhante ao do processo convencional de nitrificação e desnitrificação, sem a necessidade de um tanque anóxico, juntamente com uma diminuição nos custos operacionais devido à baixa concentração de oxigênio dissolvido (COLLIVIGNARELLI e BERTANZA, 1999). No entanto, até recentemente no país, a remoção de nitrogênio via NDS não tem sido implantada em estações de tratamento de águas residuais à escala real, por falta de conhecimento do fenômeno. Um maior entendimento dos fatores intervenientes de controle da NDS é necessário antes da otimização de plantas de pequeno, médio ou grande porte, podendo ser bem sucedido. Há uma série de mecanismos dominante para a nitrificação e desnitrificação simultânea (NDS), tais como a teoria do microambiente, a nitrificação heterotrófica e desnitrificação aeróbia. Com base na teoria de microambiente o conceito de nitrificação e desnitrificação autotrófica anóxica pode ocorrer simultaneamente e naturalmente no lodo ativado. É causado pela transferência limitada de oxigênio dissolvido dentro do floco do lodo ativado (POCHANA e KELLER, 1999). Flocos maiores que 0,15mm foram relatados como suficientes para permitir a desnitrificação em processos de lodo ativado convencional (VAN LOOSDRECHT e JETTEN, 1998). A concentração de oxigênio dissolvido tem sido reconhecida como um dos fatores-chave na NDS. Muinch et al. (1996) calculou que NDS poderia ocorrer em uma concentração de 0,5 mgO₂/L de oxigênio dissolvido. Peng Zhang e Zhou Qi, (2007) relataram que a velocidade de nitrificação aumentou para 95% de nitrificação completa com a concentração de OD na faixa de 0,3 a 0,8 mgO₂/L. Este estudo teve como objetivo a avaliação das condições de remoção de nitrogênio via NDS em um sistema de lodo ativado por aeração prolongada alimentada em fluxo contínuo com diferentes idades do lodo 40, 30 e 20 dias e condições de A/M estimadas em 0,050, 0,075 e 0,100 gDBO/gSSV/d, em escala piloto, tratando esgoto sanitário de forma a se procurar contribuir para a identificação das condições necessárias para o desenvolvimento de um processo estável e eficiente em países de clima tropical.

MATERIAIS E MÉTODOS

OPERAÇÃO E CONFIGURAÇÃO DA PLANTA PILOTO

Uma planta em escala piloto, alimentado com esgoto sanitário com fluxo constante sob condições de lodo ativado por aeração prolongada foi instalado no Centro Tecnológico de Hidráulica - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP) - São Paulo - Brasil. A Figura 1 mostra o arranjo experimental utilizado neste estudo. A aeração é feita por ar difuso para garantir a mistura completa do lodo. Para evitar a sedimentação, misturadores foram instalados no tanque de aeração. Uma válvula solenóide controlada por um medidor de oxigênio dissolvido (OD) foi utilizado para manter a concentração de OD na faixa de 0,3-0,8 mgO₂/L. O volume líquido do tanque de aeração é 183L. A concentração de OD, pH, temperatura e potencial de oxirredução (ORP), foram medidos e monitorados durante todo o estudo on-line, por meio de sensores instalados no tanque de aeração. Os dados foram registrados em um computador, por um data logger. O reator foi mantido em temperatura ambiente e o pH do lodo foi controlado na faixa de 6,5 a 7,5.

CARACTERÍSTICAS DO ESGOTO SANITÁRIO

O esgoto que alimenta o sistema vem do conjunto residencial (CRUSP) e do restaurante central da Universidade de São Paulo – USP. É bombeado para a entrada do tratamento preliminar, composto por uma grade mecanizada (step-scream) e uma caixa de areia, de onde é bombeado para o tanque de aeração. A Tabela 1 mostra as suas principais características.

FASE DE ACLIMATAÇÃO

No start up do sistema, o tanque de aeração foi preenchido com lodo ativado, com concentração de sólidos de 3,5 g/L. A concentração inicial de oxigênio dissolvido foi mantida na faixa de 0,3-0,8 mgO₂/L no tanque de aeração. O tempo de retenção de sólidos (TRS) foi mantido por 40 dias. Após 80 dias de operação observou-se que o sistema estava em condições estáveis, com IVL de 100 mL/g, taxa de remoção de DQO e de nitrogênio foi de 90%, considerando o término da Fase de aclimação.

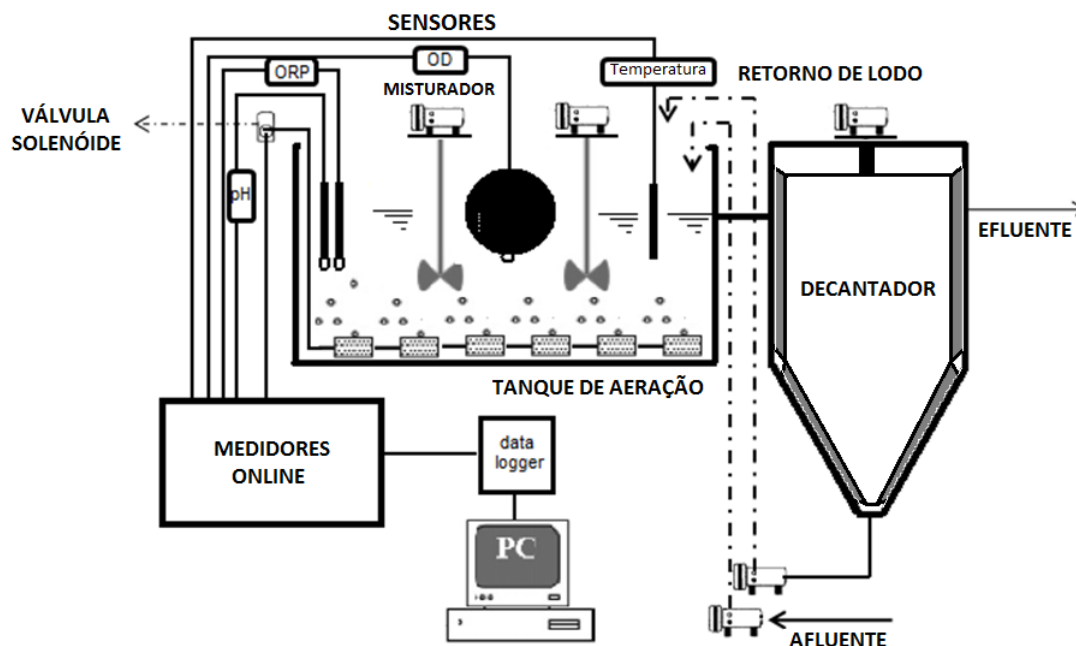


Figura 1: Visão esquemática da unidade piloto com sensores de medição online

CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO E ENSAIOS LABORATORIAIS

O sistema de lodo ativado por aeração prolongada com fluxo contínuo foi operado em três Fases, com variações na taxa de A/M e TRS, como mostra a Tabela 1. A concentração de 0,3-0,8 mgO₂/L foi definida de modo que não ocorra nenhum déficit ou excesso de demanda por oxigênio, apesar da variação da carga orgânica. Os métodos analíticos utilizados foram descritos no Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 21th Edition (APHA, 2005). As concentrações de amônia, nitrito, nitrato e fósforo, foram quantificados em um cromatógrafo de íons (Dionex-100, ASR2mm-CSR2mm) e Flow Injection Analysis (FIA). As determinações laboratoriais foram realizadas no Laboratório de Saneamento Prof. Lucas Nogueira Garcez - Escola Politécnica da USP.

Tabela 1: Resumo das condições de operação e características do esgoto sanitário afluente

PARÂMETROS	FASE I	FASE II	FASE III
Dias de operação	80	80	80
Volume do reator (L)	183	183	183
TRS (dias)	40	30	20
A/M (gDBO/gSSV/d)	0,050	0,075	0,100
Faixa de OD (mgO ₂ /L)	0,3-0,8	0,3-0,8	0,3-0,8
N (amostras)	19	17	23
AFLUENTE			
DQO _{total} (mg/L)	511±87	537±62	587±172
DQO _{solúvel} (mg/L)	238±59	280±48	282±123
DBO _{total} (mg/L)	245±42	269±32	384±122
DBO _{solúvel} (mg/L)	114±28	139±24	168±8
SST (mg/L)	107±53	111±91	94±34
NH ₄ -N (mgN/L)	61±9	64±5	52±6
PO ₄ -P (mgP/L)	6±0,7	8±1,1	6±1,0
NTK (mgN/L)	77±12	75±9	61±8
ALCALINIDADE (mgCaCO ₃ /L)	217±23	232±15	203±23
NO _x -N (mgN/L)	<0,5	<0,5	<0,5

CONSTANTE DE CRESCIMENTO ESPECÍFICO MÁXIMO DAS BACTÉRIAS AUTOTRÓFICAS *NITROSSOMONAS* (μ_m) E CONSTANTE DE MEIA SATURAÇÃO (K_n) POR MEIO DA RESPIROMETRIA

Para a determinação das taxas de consumo de oxigênio (TCO), usou-se um respirômetro modelo Beluga do tipo aberto acoplado a um aerador e um agitador para medições de forma semi-continua, ligados a um computador e controlado através do software S4.0C. A aeração foi estabelecida na faixa de 0,3 a 0,8 mgO₂/L, reproduzindo as mesmas condições de operação da planta piloto. Foi possível manter essa baixa concentração de OD sem erros de leitura, pois o respirômetro foi configurado para ligar a aeração quando a concentração de OD era menor que o limite de referência inferior (0,3 mgO₂/L), aumentando a concentração de OD. Quando esta chegava ao valor de referência superior (0,8 mgO₂/L), a aeração era interrompida e observava-se a diminuição da concentração de OD devido à respiração. Ao atingir novamente o valor de referência inferior, a aeração era ligada novamente e iniciava-se outro ciclo. Desta maneira determinava-se a TCO semi-continuamente. Com o uso da respirometria foi possível determinar a constante de crescimento específico máximo das bactérias autotróficas *Nitrossomonas* (μ_m) e o valor da constante de meia saturação (K_n), utilizando como substrato nos testes respirométricos uma concentração de 10 mgN/L de cloreto de amônio. Os conceitos e equações para as estimativas das constantes foram baseadas nas equações de Monod e na teoria de lodo ativado descrita por Van Haandel e Marais, (1999).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Características do lodo ativado

As concentrações médias de sólidos em suspensão do licor misto, durante as Fases I, II e III foram 3541±341, de 3434±190 e de 3007±464. Os valores médios de IVL foram de 189±41mL/g (Fase I), de 210±9mL/g (Fase II) e de 170±9mL/g (Fase III), apesar dos valores do IVL um pouco acima dos encontrados na literatura, não houve problemas na sedimentação do lodo. Através de análises microscópicas, o floco do lodo biológico apresentou-se com boa estrutura e formação, com tamanhos superior a 0,15mm, tamanho que permite a ocorrência de zonas anóxicas dentro do floco (VAN LOOSDRECHT e JETTEN, 1998). Em relação à microbiologia, observamos durante todo período de estudo uma rica comunidade biológica ativa, característica do processo de lodo ativado. Incluindo: Protozoários, amebas, ciliados e bactérias filamentosas, essas últimas em pequeno número durante todo período de estudo. Assim, para baixas concentrações de OD e para as condições de operação estabelecidas para o desenvolvimento da NDS não houve problemas de lodo filamentoso, espuma superficial e sedimentabilidade do lodo.

Remoção de material orgânico

A Figura 2 mostra os resultados experimentais das concentrações afluentes e efluentes da DQO total. Os valores médios foram de 511±87 e 46±26, de 537±62 e 35±30 e de 587±172 e 29±27 (mg/L) nas Fases I, II e III, respectivamente. As concentrações de DQO no efluente final após o tratamento foram consideravelmente baixas. Em todo o período do estudo houve alta eficiência na remoção da DQO, sendo superiores a 90% na Fase I, de 95% na Fase II e de 93% na Fase III (Figura 3). Os resultados experimentais demonstram que a baixa concentração de OD e as condições operacionais estabelecidas não afetaram a remoção de material orgânico.

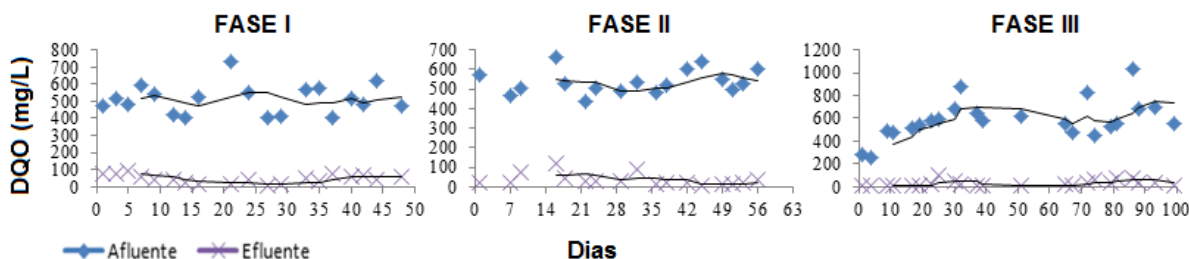


Figura 2: Série temporal com médias móveis de 4 termos: Análise da DQO total do afluente e efluente

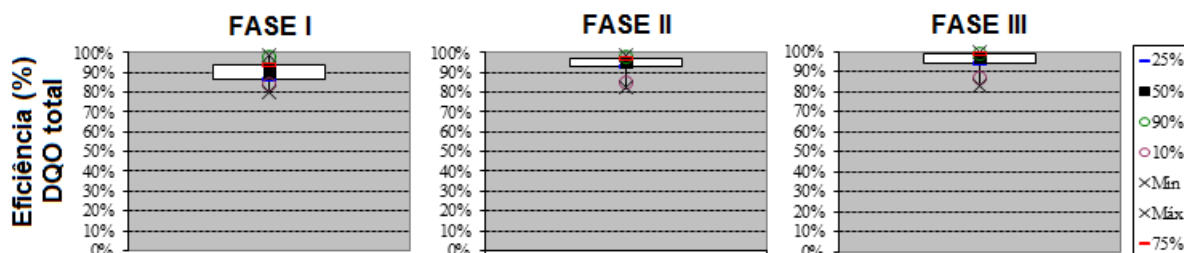


Figura 3: Box e Whiskers: Eficiência na remoção da DQO total nas Fases I, II e III.

Resultados da série nitrogenada no efluente final

Os valores médios das concentrações de NTK, de NH_3 e de NO_3^- , no efluente final foram de $5,9 \pm 2,9$, $2,9 \pm 2,5$ e $0,8 \pm 0,7$ mgN/L (Fase I), de $4,3 \pm 2,1$, $2,2 \pm 1,4$ e $6,5 \pm 1,4$ mgN/L (Fase II) e de $4,6 \pm 2,5$, $1,8 \pm 1,6$ e $7,2 \pm 3,9$ mgN/L (Fase III), respectivamente. As concentrações de nitrogênio no efluente final após o tratamento foram consideravelmente baixas, em todas as fases do estudo, como podemos observar na Figura 4. Os resultados experimentais demonstram que a influência da baixa concentração de OD ($0,3\text{--}0,8$ mgO₂/L) no licor misto e as condições operacionais estabelecidas não foi limitante no desenvolvimento da nitrificação, ao contrário, essa faixa de OD garantiu uma nitrificação eficiente e estabilidade no processo de NDS. As concentrações de nitrito e nitrato no afluente e do nitrito no efluente final foram menores que 0,5 mgN/L, que, para todos os efeitos, foi desconsiderada. As médias das concentrações de nitrato (NO_3^-) no efluente final, foram consideravelmente baixas na Fase I (0,8 mgN/L) onde o sistema foi operado sob condições de tempo de retenção de sólidos elevado (40 dias) e relação (A/M) estimada em 0,050 gDBO/gSSV/d, quando o TRS é reduzido para 30 dias e 20 dias, Fase II e III, há um aumento na concentração do nitrato no efluente final, no entanto a concentração média foi menor que 10mgN/L em ambas as Fases. Quando realizamos o balanço de massa do material nitrogenado nas Fases I, II e III, podemos concluir que: (1) A nitrificação ocorreu com elevada eficiência no tanque de aeriação em uma faixa estreita de oxigênio dissolvido ($0,3\text{--}0,8$ mgO₂/L); (2) Foi possível obter condições anóxicas no interior dos flocos e a ocorrência da desnitrificação na presença de baixas concentrações de oxigênio dissolvido (3) Ocorreu no tanque de aeriação o desenvolvimento da nitrificação e desnitrificação simultânea (NDS).

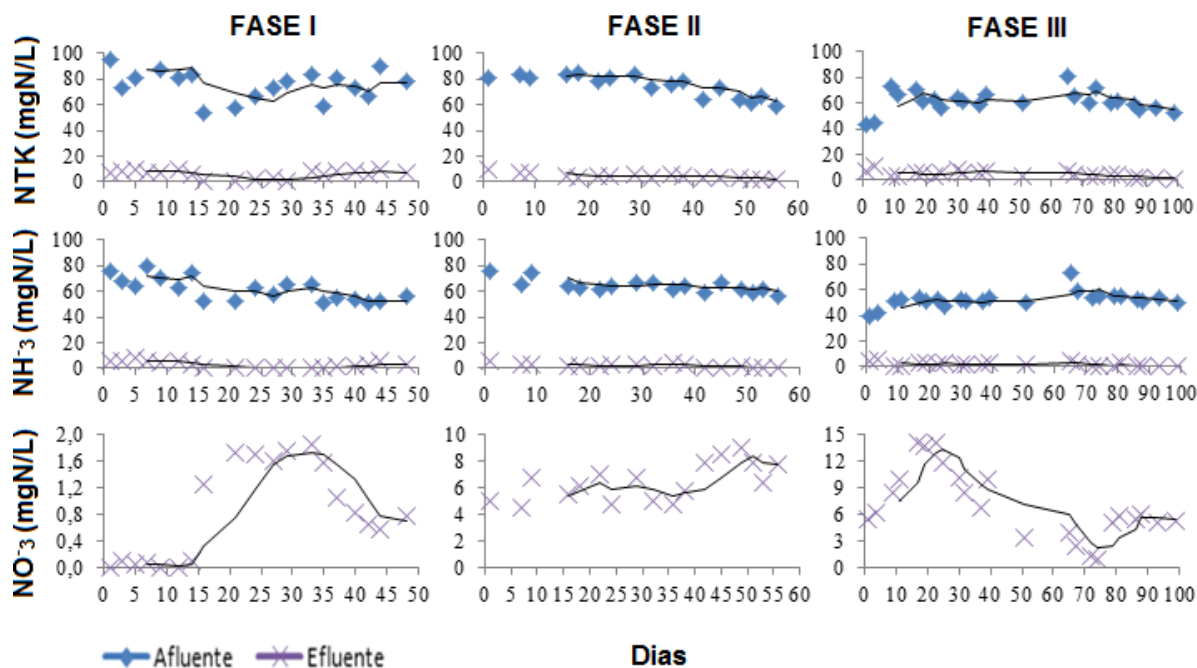


Figura 4: Série temporal com médias móveis de 4 termos: Concentração de NTK, NH_3 e NO_3^- no afluente e efluente final após tratamento nas Fases I, II e III.

Variação da alcalinidade devido à amonificação, nitrificação e desnitrificação

A concentração média de alcalinidade no efluente final foi de 35 ± 20 , de 50 ± 12 e de 91 ± 20 mgCaCO₃/L nas Fases I, II e III. Considerando que 1,0 mgNH₄⁺ demanda 3,57 mg/L de alcalinidade em CaCO₃ para os processos de amonificação, nitrificação e desnitrificação. Quando as variações de nitrito e nitrato são negligenciadas, podemos observar que o balanço de alcalinidade no sistema é compatível. Este resultado confirma que todo o processo bioquímico envolvido aconteceu. Dependendo da concentração de amônia e da alcalinidade no afluente, torna-se necessário a introdução de alcalinizante artificial, para não ocorrer limitações no processo de NDS.

Variáveis de controle (monitoramento online)

Oxigênio dissolvido, ORP, Temperatura e pH no licor misto

Os valores médios das concentrações de OD, ORP, temperatura e pH obtido através do monitoramento online do licor misto são apresentados na Figura 5, esses valores correspondem à média das medições realizada e registrada a cada 10 segundos diariamente durante cada Fase do estudo. O controle do oxigênio foi um fator “chave” para o desenvolvimento da NDS. Com o uso da aeração por ar difuso, e mediante ao sistema automatizado de controle de OD, a faixa estabelecida de 0,3 a 0,8 mgO₂/L foi atendida praticamente durante todas as Fases do estudo. A remoção biológica de nitrogênio nessas condições foi obtida com ótimo desempenho e estabilidade, e os níveis de OD foram ajustados para atender as variações de carga sem comprometer o desenvolvimento da NDS. Os valores obtidos de ORP oscilaram entre 60 a 160mV durante todas as Fases do estudo. Valores semelhantes foram descritos por (HONG W. ZHAO, et al, 1998 e D. THAURÉ, et al., 2008), quando operaram sistemas promovendo a NDS. A temperatura média ficou praticamente acima de 20°C, que teve papel fundamental no desenvolvimento da nitrificação no sistema. Os valores médios de pH ficaram próximos a neutralidade 6,8 – 7,0, faixa que garantiu o desenvolvimento estável do processo de NDS.

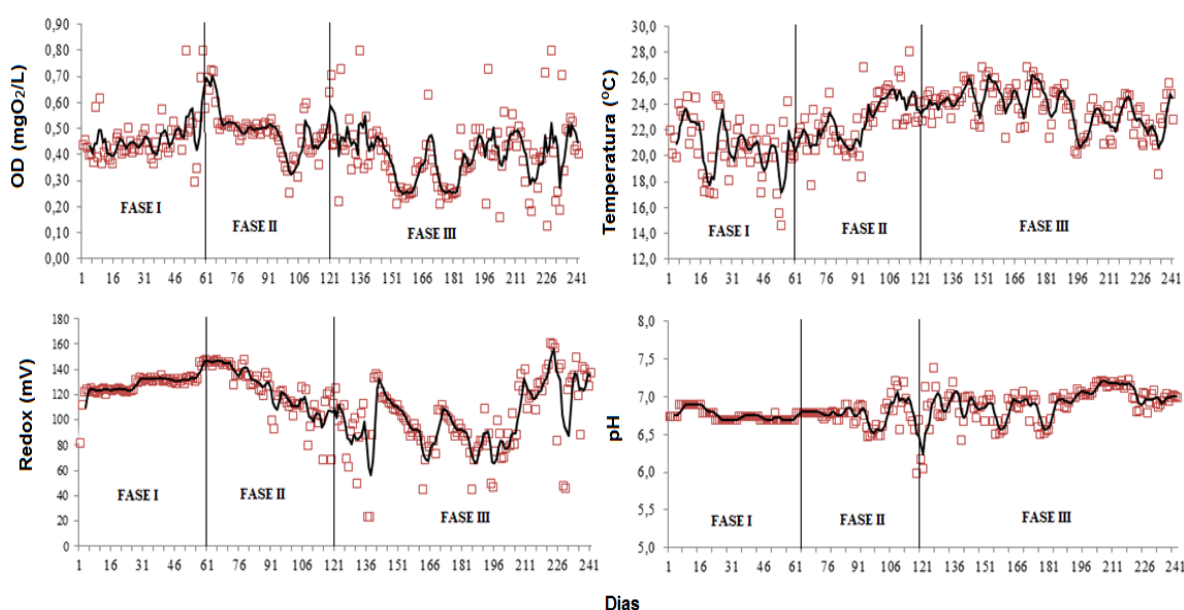


Figura 5: Série temporal com médias móveis de 4 termos: Monitoramento online da concentração de OD, ORP, temperatura e pH no licor misto durante as Fases I, II e III.

CONSTANTE DE CRESCIMENTO ESPECÍFICO MÁXIMO DAS BACTÉRIAS AUTOTRÓFICAS NITROSSOMONAS (μ_m) E DE MEIA SATURAÇÃO DE MONOD (K_n)

Com auxílio da respirometria determinou-se os valores da constante de crescimento específico máximo das bactérias autotróficas *Nitrossomonas* (μ_m) e de meia saturação de Monod (K_n) que são apresentados na Tabela 2 e 4. Quando se comparam os dados obtidos nesse estudo com os valores encontrados na literatura (Tabela 3)

e (Tabela 5), observa-se que as constantes resultaram muito próximas, indicando que é possível com baixas concentrações de oxigênio dissolvido e as demais condições operacionais do processo de NDS obter velocidade de nitrificação similar aos sistemas de lodos ativados convencionais.

Tabela 2: Valores médios das constantes de crescimento específico máximo de *Nitrossomonas*

Constantes de crescimento específico máximo de <i>Nitrossomonas</i> (μ_m)			
μ_{m20} (d^{-1})	Fase I	Fase II	Fase III
média	0,20	0,29	0,54
máximo	0,28	0,46	1,45
mínimo	0,11	0,16	0,20
Desvio Padrão	0,05	0,10	0,29
Coef. de variação (%)	25,3	32,8	52,8
Amplitude total	0,2	0,3	1,3

Tabela 3: Valores de referência das constantes de crescimento específico máximo de *Nitrossomonas*

Constantes de crescimento específico máximo de <i>Nitrossomonas</i> (μ_m)			
μ_{mT} (d^{-1})	T ($^{\circ}C$)	μ_{m20} (d^{-1})	Referências
0,33	15	0,66	BARNARD (1991)
0,47	15	0,45	KAYSER (1991)
0,45	15	0,73	ECKENFELDER (1992)
0,53	25	0,26	SUTTON et al, (1979)
0,40 - 0,50	14	0,80 - 1,00	GUJER (1977)
0,33 - 0,65	20	0,33 - 0,65	EKAMA & MARAIS (1976)
1,08 - 1,44	23	0,75 - 1,02	PODUSKA & ANDREWS (1974)
0,57	16	0,76	GUJER & JENKINS (1975)
0,34 - 0,40	12	0,86 - 1,01	GUJER & JENKINS (1975)
0,50	20	0,50	LAWRENCE & BROWN (1973)
0,94	29	0,33	LIJELMA (1973)
0,33	20	0,33	DOWNING et al, (1964)
-	-	0,20 - 0,90	METCALF E EDDY (2003)

Fonte: adaptada (VAN HAANDEL e MARAIS, 1999 e METCALF E EDDY, 2003).

Tabela 4: Valores das constantes de meia saturação para o crescimento de *Nitrossomonas*

Constante de meia saturação de amônia para o crescimento de <i>Nitrossomonas</i> (K_n)			
K_{nT} (d^{-1})	Fase I	Fase II	Fase III
média	0,34	0,39	0,42
máximo	0,47	0,52	1,20
mínimo	0,18	0,28	0,11
Desvio Padrão	0,11	0,11	0,30
Coef. de variação (%)	32,1	28,2	71,0
Amplitude total	0,3	0,2	1,1

Tabela 5: Valores de referência das constantes de meia saturação para o crescimento de *Nitrossomonas*

Constante de meia saturação de amônia para o crescimento de <i>Nitrossomonas</i> (K_n)			
K_{nT} (d^{-1})	T ($^{\circ}C$)	K_{n20} (d^{-1})	Referência
0,0	23	0,04	PODUSKA & ANDREWS (1974)
0,2	15	0,1	DOWNING et al, (1964)
0,2	20	0,2	DOWNING et al, (1964)
0,2	10	0,6	GUJER (1979)
0,5	14	1,0	EKAMA & MARAIS (1976)
1,0	20	1,0	EKAMA & MARAIS (1976)
1,0	20	1,0	LIJELMA (1973)
-	-	0,5 - 1,0	METCALF E EDDY (2003)

Fonte: adaptada (VAN HAANDEL e MARAIS, 1999) e (METCALF E EDDY, 2003).

CONCLUSÕES

1. Os resultados demonstraram que é possível obter altas eficiências no processo de NDS com TRS de 40, 30 e 20 dias, e baixas concentrações de OD no tanque de aeração. A operação do sistema mostrou que é possível manter uma baixa concentração de OD no tanque de aeração em uma faixa relativamente estreita. Valores ainda mais baixos de TRS deverão ser testados para remoção de fósforo em paralelo a NDS.
2. O processo de tratamento permaneceu estável durante todo o período de observação, ou seja, nas Fases I, II e III. Sempre resultando em alta eficiência na remoção de DQO. A concentração de SST no efluente manteve-se sempre baixa, demonstrando que a baixa concentração de OD no tanque de aeração e as demais condições operacionais da NDS não causaram danos significativos na floculação biológica.
3. Os valores da constante de crescimento específico máximo das bactérias autotróficas *Nitrossomonas* (μ_m) e de meia saturação de Monod (K_n) obtidos nesse estudo resultaram muito próximas aos encontrados na literatura, indicando que é possível com baixas concentrações de oxigênio dissolvido e as demais condições operacionais do processo de NDS obter velocidade de nitrificação similar aos sistemas de lodos ativados convencionais.
4. Novos estudos devem ser conduzidos a fim de trazer um melhor entendimento desse fenômeno, pois no Brasil, muitas estações de tratamento de esgoto foram construídas ou estão sendo projetadas para operarem sob as condições da variante do processo de lodo ativado conhecida por aeração prolongada, reconhecidamente eficiente na remoção de matéria orgânica e na nitrificação do esgoto. Tais estações podem ser adaptadas para estas novas condições, de forma a se obter o benefício técnico da desnitrificação e o ganho econômico relativo à redução no consumo de energia elétrica para aeração.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION - WATER ENVIRONMENT FEDERATION, Washington, DC, USA. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21th edition, 2005.
2. COLLOVOGNARELLI, C.; BERTANZA, G. Simultaneous Nitrification-Denitrification Processes in Activated Sludge Plants: Performance and Applicability. *Water Sci Technol*, 40 (4-5), 187-194, 1999.
3. HONG W. ZHAO; DONALD S. MAVINIC; WILLIAM K. OLDHAM; FREDERIC A. KOCH. Controlling factors for simultaneous nitrification and denitrification in a TWO-STAGE intermittent aeration process treating domestic sewage. *Water Research*, v.33 N°4, p. 961-970, 1998.
4. METCALF e EDDY, Inc. Wastewater Engineering: Treatment and Reuse. McGraw Hill, 4th edition, p.1819, 2003.
5. MUINCH, E.; LANT, P.; KELLER, J. Simultaneous Nitrification and Denitrification in Bench-Scale Sequencing Batch Reactors. *Water Res.*, 30 (2). 277-284, 1996.
6. POCHANA K, KELLER J, LANT P. Model development for simultaneous nitrification and denitrification. *Water Sci Technol*, vol. 39(1): 235-243, 1999.
7. THAURÉ D, LEMOINE C, DANIEL O, MOATAMRI N, CHABROL J. Optimisation of aeration for activated sludge treatment with simultaneous nitrification denitrification. *Water Sci Technol*, vol.58(3), 639-645, 2008.
8. VAN HAANDEL, A. C., MARAIS, G. v. R. O Comportamento do Sistema de Lodo Ativado: Teoria e Aplicações para Projetos e Operações. Campina Grande: epgraf, 472 p., 1999.
9. VAN LOOSDRECHT, M. C. M. e JETTEN, M. S. M. Microbiological Conversions in Nitrogen Removal. *Water Science and technology*, v.38, n.1, p1-7, 1998.
10. ZENG, R. J.; LEMAIRE; R.; YUAN, Z.; KELLER, Y. J. Simultaneous Nitrification, Denitrification, and Phosphorus Removal in a Lab-Scale Sequencing Batch Reactor. *Biotechnol. Bioeng.*, 84 (2), 170-178, 2003.
11. ZHANG P, ZHOU QI. Simultaneous nitrification and denitrification in activated sludge system under low oxygen concentration. *Front. Environmental Sciences Eng. China*, 2007, 2(1): 1-4
12. ZHAO H W, MAVINIC D S, OLDHAM W K, KOCH F A. Controlling factors for simultaneous nitrification and denitrification in a two-stage intermittent aeration process treating domestic sewage. *Water Res*, v.33(4): 961-970, 1999.