



II-508 - ASPECTO DA REMOÇÃO DE NITROGÊNIO EM UM REATOR HÍBRIDO (ANAERÓBIO-AERÓBIO)

Luiza Carla Girard Teixeira Machado⁽¹⁾

Doutora em Ciências - Desenvolvimento Sócio-Ambiental pelo NAEA/UFPA. Mestre em Saneamento pela EPUSP. Professora Adjunta da Faculdade de Engenharia Sanitária e Ambiental e do Mestrado em Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará – UFPA.

Neyson Martins Mendonça

Doutor em Hidráulica e Saneamento pela EESC/USP. Professor Adjunto da Faculdade de Engenharia Sanitária e Ambiental e do Mestrado em Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará - UFPA.

Ilka Suely Dias Serra

Mestre em Saneamento pela EPUSP. Professora do Instituto Federal de Educação Tecnológica do Pará.

Emilia Yumi Kawaguchi

Técnica em Saneamento Ambiental pelo Centro Federal de Educação Tecnológica do Pará (CEFET-PA). Graduada de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal do Pará (UFPA).

Endereço⁽¹⁾: Tv Vileta, 1289, 1002 – Pedreira-Belém-Pará-Brasil E-mail: lugird@ufpa.br

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo avaliar a remoção de nitrogênio utilizando um reator híbrido com zonas anaeróbia-aeróbia sobrepostas de 50% e de 50% em um sistema piloto para tratamento de esgoto doméstico. As condições de operação impostas a essa unidade foi vazão de alimentação 267 ± 27 L/dia e tempo de detenção hidráulica teórico de aproximadamente de 8,74 h. Na operação do reator observou-se em seu efluente ($N \approx 39$ mg/L — NTK + N-nitrito + N-nitrato), o seguinte percentual para nitrogênio orgânico, n-amoniaco, n-nitrato e n-nitrito: 10,25%, 30,77%, 56,41% e 2,56%, respectivamente.

PALAVRAS-CHAVE: Tratamento de Esgoto, Reator Híbrido, Remoção de Nitrogênio

INTRODUÇÃO

A água, elemento vital para os ecossistemas e para as sociedades humanas, é um dos principais recursos afetados pela crescente degradação ambiental, tornando-se, portanto, mais difícil a sua obtenção em quantidade e qualidade adequadas para suprir as demandas das atividades humanas. Muitos dos mananciais hoje utilizados estão sendo poluídos e deteriorados progressivamente.

O grande acúmulo de nutrientes em águas naturais, advindo dos despejos domésticos sem tratamento, principalmente nitrogênio e fósforo, causa a eutrofização, com efeitos adversos tais como formação de toxinas das algas e resíduos, problemas de odor, efeitos nocivos à saúde humana em consequência da diminuição da concentração de oxigênio dissolvido (OD), fato que dificulta a autodepuração do corpo receptor.

De acordo com os últimos dados da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (2000), no Brasil, 42% da população total é atendida por rede coletora de esgoto sanitário. São ao todo 70,94 milhões de brasileiros que produzem, diariamente, 14,57 milhões de metros cúbicos de esgoto. Deste total, apenas 35% são tratados, ou seja, apenas 5,14 milhões de metros cúbicos.

Políticas para saneamento vêm sendo discutidas e implementadas em todo o Brasil, embora não com a velocidade e efetividade compatíveis com o crescimento da população, principalmente nas grandes regiões metropolitanas.

Nos últimos anos, muitos estudos vêm demonstrando esforços para o desenvolvimento de tecnologias para o tratamento do esgoto, devido o aumento das exigências ambientais que estabelecem desafios de buscar alternativas para minimizar os impactos gerados pelo seu despejo inadequado.

Por esse motivo o trabalho aqui exposto, avalia o desempenho de um reator híbrido (aeróbio-anaeróbio) em escala piloto, na remoção de N, bem como sua taxa de nitrificação no tratamento de esgoto doméstico, visando

a adequação do efluente tratado à resolução 357 do CONAMA, com relação à remoção da matéria nitrogenada presente em águas residuárias.

MATERIAIS E MÉTODOS

INSTALAÇÃO EXPERIMENTAL

O presente trabalho foi desenvolvido nas instalações do Centro Experimental em Reúso da UFPA, implantado na Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) do Jardim Sideral localizada no distrito administrativo de Icoaraci-Belém-Pará.



Figura 01. Instalações do Reator híbrido.

As características principais do esgoto podem ser observadas na Tabela 1.

Tabela 1. Características do Esgoto Sanitário da ETE-Sideral.

Variável	Faixa (máxima-mínima)
Temperatura (°C)	29,3 - 24
pH (-)	7.92 - 7.03
Alcalinidade bicarbonato (mgCaCO ₃ .L ⁻¹)	320-140
Ácidos Voláteis (mgHac.L ⁻¹)	96-16
DQOtotal (mgO ₂ .L ⁻¹)	520 - 127
DQOfiltrada (mgO ₂ .L ⁻¹)	500-135
SST (mg.L ⁻¹)	242-56
SSV (mg.L ⁻¹)	376-47
NTK (mgN-NH ₃ .L ⁻¹)	278-10
N-amoniaco (mgN-NH ₃ .L ⁻¹)	136-29
Fósforo total (mgP.L ⁻¹)	95-20
<i>E-coli</i> (NMP)	5.10 ⁷ - 1,31.10 ⁶

OBS: Dados avaliados durante o período de 20/09/2007 a 20/05/2008.

PROCEDIMENTOS ANALÍTICOS E CONDIÇÕES OPERACIONAIS DO REATOR HÍBRIDO

O monitoramento do reator foi realizado por meio de coleta de amostras do afluente e do efluente da unidade de tratamento reator anaeróbio as 8:00h e efluente dos reatores aeróbios depois de decorrido o tempo de detenção hidráulica teórico desses. Nessas amostras foram determinadas as seguintes variáveis físico-químicas: temperatura, pH, oxigênio dissolvido (OD), alcalinidade bicarbonato (AB), DQO (total e de amostra filtrada com poro de filtro de 1,2µm), sólidos suspensos totais (SST), sólidos suspensos voláteis (SSV), nitrogênio amoniacal (N-NH₃), nitrato (N-NO₃⁻), nitrito (N-NO₂⁻) e Fósforo total.

Durante o monitoramento do reator as condições de operação impostas a essa unidade foram as seguintes: vazão de alimentação 267±27 L/dia, tempo de detenção hidráulica teórico de aproximadamente de 8.74 h (zona de reação).



Essas variáveis foram determinadas de acordo com os procedimentos do Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater (AWWA/APHA/WEF, 1998). A frequência das análises variou de 2 vezes por semana, com exceção da temperatura, pH e OD, que foram monitorados diariamente por meio da pH-metro Qualxtron e oxímetro Instrutherm MO-900.

Além do monitoramento da unidade de tratamento efetuou-se, no reator híbrido anaeróbio-aeróbio, um perfil de amostragem temporal ao longo de 24 h, para obtenção da taxa de nitrificação.

A taxa de nitrificação (TN) nessa unidade de tratamento obedeceu ao procedimento descrito por van Haandel & Marais (1999), no qual se considera o reator operando sob regime de equilíbrio dinâmico, escoamento de mistura completa ideal e desconsiderando-se as limitações de transferência de massa. Para determinação da TN foram realizados ensaios N°114 e no N° 254 dia de operação, quando o reator foi operado com vazão e carga constante. Então se iniciou programa de amostragem, coletando-se amostras do afluente e do efluente do reator a cada 2h durante 24h, sendo determinados: vazão, temperatura, pH, OD, AB, DQOtotal (no início e final do experimento), N-amoniaco, N-nitrato e N-nitrito.

No final do ensaio de TN, foram calculadas as taxas de nitrificação considerando-se AB, N-amoniaco, N-nitrato e a média dessas variáveis conforme, a equação 01, a seguir (van Haandel & Marais, 1999):

$$r_{cr} = \frac{(C_2 - C_a - (C_1 - C_e)e^{-\tau})}{(1 - e^{-\tau})\theta_H} \quad (\text{Eq.01})$$

em que:

τ : razão entre o intervalo t e o tempo de detenção hidráulica;

θ_H : o tempo de detenção hidráulica (h);

C_a : Concentração do reactante C no afluente (mg.L⁻¹);

C_2 : Concentração do reagente C no fim do intervalo t (mg.L⁻¹);

C_1 : Concentração do reagente C no início do intervalo t (mg.L⁻¹).

A Tabela 2 apresenta as principais características do esgoto sanitário e de operação do RHANA durante os ensaios de taxa de nitrificação realizados.

Tabela 2. Principais características do Esgoto Sanitário e de operação do Reator Híbrido.

Variáveis	Unidade	ENSAIO 1	ENSAIO 2
Temperatura	°C	28.2±0.1	27.8±0.2
pH	-	7,56-7,81	7,14-7,75
AB	mgCaCO ₃ .L ⁻¹	290±10	203±29
DQOtotal	mgO ₂ .L ⁻¹	346±21	218±50
OD	mg.L ⁻¹	5,00±0,30	5,95±0,50
N-amoniaco	mgN-NH ₃ .L ⁻¹	78±7	34±5
Vazão	L/dia	290	267
Tempo de detenção hidráulica	h	4,8	4,5
Razão de recirculação	----	30	30

RESULTADOS

A apresentação dos resultados irá se concentrar em informações referentes a balanço nutricional do esgoto bruto; avaliação da qualidade do efluente produzido pelo reator sob condições anaeróbia-aeróbia, perfil de amostragem espacial e definição da razão do reator.

O esgoto sanitário em questão considerando-se os valores médios de DQO/NTK/P tem relação de cerca de 421:83:4, respectivamente, (Tabela 1), que se equivale a 100:19.7:1. Essa relação, considerando-se a DQO≈DBO, e comparando-se com a DBO/N/P de 100:5:1 citada em literatura, a água residuária em questão revela a priori balanço adequado para o tratamento biológico envolvendo processo anaeróbio-aeróbio.

O resumo das principais variáveis físico-químicas do efluente produzido e da eficiência de remoção do reator em termos de DQOtotal, DQOfiltrada, N e NTK sob condição anaeróbia-aeróbia pode ser observado na Tabela 3.

**Tabela 3. Resultados médios do efluente e de eficiência do Reator Híbrido**

Variáveis	N	Média	DP	Máximo	Mínimo	E(%)
Temperatura (°C)		25.8	0.73	27.5	24.0	---
pH	24	---	---	7.21	6.70	---
AB (mgCaCO ₃ .L-1)	48	105	51	250	21	---
OD (mgO ₂ .L-1)	47	5.70	0.7	7.8	4.0	---
DQOtotal (mgO ₂ .L-1)	48	64	30	132	12	77±10
DQOfiltrada (mgO ₂ .L-1)	48	37	17	72	3	70±10
N (mg.L-1)	29	32	11	58	14	52±19
NTK (mg.L-1)	29	16	12	47	2	75±23
N-amoniaco (mg.L-1)	48	12	11	46	1	---
N-nitrito (mg.L-1)	42	1.0	1.2	5.87	0.01	---
N-nitrato (mg.L-1)	47	22	14	68	4.2	---
SST (mg.L-1)	47	27	21	79	6	77±21
SSV (mg.L-1)	47	17	20	89	0	---
Fósforo total (mg.L-1)	37	2.0	1.2	5.0	0.3	---

De acordo com os dados da Tabela 3, o reator operou com temperatura média de 27.8±0.73, pH na faixa de 7.21 e 6.70 e OD de 5.70±0.7mg/L. Tais variáveis segundo a literatura técnica (von Sperling, 1997 and van Haandel & Marais, 1999) indicam valores ótimos na faixa de 7.2 a 8.0, e que abaixo de 7.2 o ambiente aeróbio para desenvolvimento de microrganismos nitrificantes apresenta queda de crescimento desses. Analisando-se tal fato com a operação do reator verifica-se que em 10% das amostras determinas o valor do pH foi menor que 7.2, indicando que na maioria do período em questão a unidade de tratamento fora em faixa ideal para crescimento de microrganismos nitrificantes.

Aqui deve-se ressaltar que a faixa de pH em questão na zona anaeróbia do reator teve valores máximo e mínimo de 7.74 e 7.26, respectivamente, a qual esta dentro da faixa de 7 a 8 necessária ao desenvolvimento de microrganismos desnitrificantes. Porém, a concentração de OD encaminhada através da recirculação de cerca de 5.7±0.70mg/L, é considerada elevada para o estabelecimento de ambiente anóxico nessa região do reator. Com relação a alcalinidade nota-se a redução de AB de 230mgCaCO₃/L no afluente para 105mgCaCO₃/L indicando a consumo de alcalinidade microrganismos nitrificantes.

A literatura especializada menciona que para 1mgN-amoniaco oxidado consome-se 7.2mgCaCO₃ (alcalinidade). Para efeito de comparação para cerca de 41mgN-amon./L (oxidado) seriam necessários - 295mgCaCO₃/L (dado teórico) enquanto que o dado medido é de -127mgCaCO₃/L. Possivelmente a diferença nesses valores deva-se a distintas atividades biológicas e alterações químicas que ocorrem no meio, tais como: amonificação e o stripping de CO₂ conseqüente da aeração .

Tabela 4. Valores de N-amoniaco, N-nitrato e N-nitrito do efluente do Reator.

Tempo (hora)	NH ₃ _1 (mg/L)	NO ₃ _1 (mg/L)	AB_1 (mg/L)	NH ₃ _2 (mg/L)	NO ₃ _2 (mg/L)	AB_2 (mg/L)
8	14	22.0	150	6.8	7.9	130
10	17	16.4	160	19.2	4.8	160
12	17	20.4	150	18.4	5.1	110
14	13	16.0	140	18.0	6.5	150
16	14	17.6	160	17.2	5.8	160
18	14	17.8	300	14.0	6.5	130
20	13	14.6	160	16.4	4.9	180
22	18	15.1	180	15.2	6.8	120
0	16	9.7	190	13.6	5.7	150
2	16	9.6	120	8.8	7.5	150
4	14	8.0	350	11.2	7.1	120
6	7	7.5	240	9.2	7.3	110
8	8	4.0	260	4.8	7.5	100

Com relação à carga nitrogenada observa-se que o reator submetido a 0,226gNTK.L⁻¹.d⁻¹ apresentou eficiência média de remoção de nitrogênio total de 52±19% (Tabela 2) e de NTK de 75±23%. Tal desempenho do reator fora capaz de produzir efluente final com valor média de N-amoniaco de 12±11mg/L (Tabela 2), atendendo



assim em 79% dos resultados o limite de 20mg/L de N-amoniaco estabelecido pela Resolução N.357/05 Art.34 §5 Tabela X.

Ressalta-se aqui que o efluente do reator efetuando-se a distribuição das formas nitrogenadas, considerando-se os dados da Tabela 2 ($N \approx 39 \text{ mg/L} = \text{NTK} + \text{N-nitrito} + \text{N-nitrato}$), esse apresentou o seguinte percentual para nitrogênio orgânico, n-amoniaco, n-nitrato e n-nitrito: 10,25%, 30,77%, 56,41% e 2,56%, respectivamente.

A Tabela 4 e a Figura 02 ilustram os valores de N-amoniaco, N-nitrato e Alcalinidade e o comportamento da taxa de nitrificação, respectivamente.

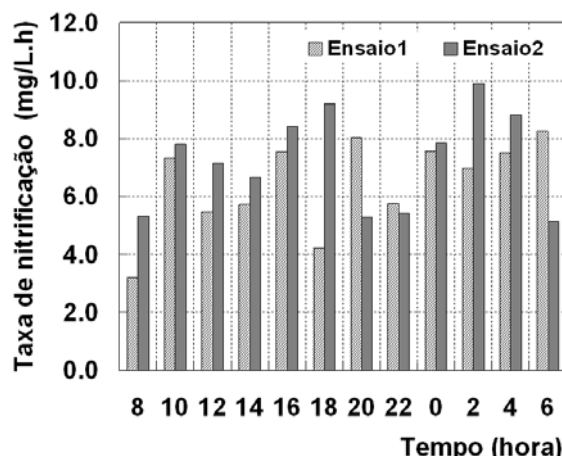


Figura 02. Taxa de nitrificação do reator em função do tempo.

De acordo com a Figura 02 é possível se observar que o reator teve para os ensaios 1 e 2 valores médios de TN de $6,5 \pm 1,6$ e $7,2 \pm 1,7 \text{ mg/L.h}$, respectivamente. Tais resultados quando comparados aos obtidos por Mendonça et al.(2003) durante estudo de nitrificação em reatores de filme fixo tratando efluente de reator anaeróbio de leito expandido, cuja TN para o reator com suporte de carvão ativado fora de $2,4 \pm 0,5 \text{ mgN.L}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$, tem valor médio 2,85 vezes superior ao obtido por esses pesquisadores.

Ainda com base nos resultados da taxa de nitrificação foi possível se determinar com auxílio do programa POLYMATH as constantes cinéticas aparentes para as etapas de nitrificação e nitratação ocorridas no RHANA, considerando modelo cinético de primeira ordem. Esses resultados podem ser melhor observados na Tabela 5.

Tabela 5. Valores das constantes cinéticas do reator.

Estatística do teste	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 1	Ensaio 2
	$K1_{app} (\text{d}^{-1})$	$K1_{app} (\text{d}^{-1})$	$K2_{app} (\text{d}^{-1})$	$K2_{app} (\text{d}^{-1})$
	0.0370241	0.0373537	0.109626	0.0504944
Média	0.03719		0.08006	
0.95% intervalo de confiança	0.00882587	0.00764246	0.0292046	0.0256825
Limite superior	0.0281982	0.0297112	0.138831	0.0761768
Limite inferior	0.0458499	0.0449961	0.0804217	0.0248118
σ^2	0.433876	0.337096	0.00655057	0.0603542

A obtenção dessas constantes existentes na Tabela 4 permite inferir, que o processo de nitrificação nessa unidade estava sendo limitado pela etapa de nitrificação, haja vista o valor de $k2_{app} > k1_{app}$, que de acordo

com Missen et al. (1999) para o modelo de reações em série $\left(\text{N} - \text{NH}_3 \xrightarrow{k_1^{app}} \text{N} - \text{NO}_2^- \xrightarrow{k_2^{app}} \text{N} - \text{NO}_3^- \right)$, a formação de nitrato ocorre à medida que o nitrito é produzido, dependendo a geração de nitrato inteiramente apenas da



velocidade com que as bactérias oxidadoras de amônia (por exemplo: *Nitrosomonas* sp) convertem esse a nitrito.

CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

- Na operação do reator híbrido com zonas anaeróbia-aeróbia sobrepostas de 50% e de 50%, respectivamente, esse reator apresentou no seu efluente ($N \approx 39 \text{ mg/L} = \text{NTK} + \text{N-nitrito} + \text{N-nitrato}$), o seguinte percentual para nitrogênio orgânico, n-amoniaco, n-nitrato e n-nitrito: 10,25%, 30,77%, 56,41% e 2,56%, respectivamente.
- O reator operado em proporções de 50%-50% de zonas anaeróbia-aeróbia sob vazão de alimentação $267 \pm 27 \text{ L/dia}$, tempo de detenção hidráulica teórico de aproximadamente de 8.74 h (zona de reação), apresentou $E_{\text{DQO}}(\%) = 77 \pm 10\%$, efluente com $\text{DQO}_{\text{total}}$ de $64 \pm 30 \text{ mg/L}$, $\text{CDC}_{\text{DQO}} = 84\%$ e % ATP de 83%, $E_{\text{SST}}(\%) = 77 \pm 21\%$, efluente com SST de $27 \pm 21 \text{ mg/L}$, $\text{CDC}_{\text{DQO}} = 94\%$ e % ATP de 89% e $E_{\text{N}}(\%) = 52 \pm 19\%$, efluente com N-amoniaco de $12 \pm 11 \text{ mg/L}$, $\text{CDC}_{\text{DQO}} = 85\%$ e % ATP de 79%.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. IMHOFF, K. “Manual de Tratamento de Águas Residuárias”. Edgard Blucher. São Paulo.
2. JORDÃO, E.P., “Tratamento de Esgotos Domésticos”. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES, São Paulo, 1995, 681p.
3. SPERLING, Marcos Von, “Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental/UFMG. Belo Horizonte, 1995.
4. VAN HAANDEL, A.C. e LETTINGA, G. “Tratamento Anaeróbio de Esgotos – Um Manual para Região de Clima Quente”. Ed. Eppgraf, Campina Grande, 1994.