

II-1265 - EFEITO DO TEMPO DE RETENÇÃO HIDRÁULICA E VELOCIDADE ASCENSIONAL NA OPERAÇÃO DE UM REATOR PARA PRODUÇÃO DE BIOMASSA ANAMMOX

Jadiane Paola Cavaler ⁽¹⁾

Engenheira Ambiental pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Medianeira. Mestre em Tecnologias Ambientais pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Medianeira. Doutoranda em Engenharia Agrícola pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE – Campus Cascavel.

Endereço ⁽¹⁾: Rodovia BR-277 - do km 585, Bairro Universitário, Cascavel-PR - 85819-000 jadianecavaler.ea@gmail.com

Fabiane Goldschmidt Antes ⁽²⁾

Doutora em Química – Universidade Federal de Santa Maria. Analista no Centro Nacional de Pesquisa em Suínos e Aves (EMBRAPA Suínos e Aves, Concórdia Santa Catarina).

Airton Kunz ⁽³⁾

Doutor em Química – Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP. Pesquisador no Centro Nacional de Pesquisa em Suínos e Aves (EMBRAPA Suínos e Aves, Concórdia Santa Catarina).

Sandra Camile Almeida Mota ⁽⁴⁾

Mestre em Engenharia Sanitária e Ambiental – Technische Universität Dresden, Alemanha. Analista no Centro Nacional de Pesquisa em Suínos e Aves (EMBRAPA Suínos e Aves, Concórdia Santa Catarina).

Marina Celant De Prá ⁽⁵⁾

Doutora em Engenharia Química - Universidade Federal de Santa Catarina, Diretora de Graduação e Educação Profissional da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Dois Vizinhos.

RESUMO

Para a remoção de elevadas cargas de nutrientes, os processos biológicos são amplamente utilizados. Assim, os processos Anammox, nitrificação parcial e seus sistemas combinados, como a desamonificação, estão sendo estudados para a remoção do nitrogênio. Dentre os maiores desafios para a consolidação de um processo anammox está a obtenção dos microrganismos, já que este pode demorar até 11 dias para sua duplicação celular. No presente trabalho, estratégias de tempos de retenção hidráulica (TRH) e velocidade ascensional promovidas por altas taxas de recirculação foram avaliadas quanto a interferência na granulação e atividade do lodo Anammox. Três reatores de fluxo ascendente foram utilizados, sendo um em escala piloto, com volume de 35 L (E₁) e dois com volume de 1 L (E_{2(a)} e E_{2(b)}) cada, alimentados com 200 mg L⁻¹ de N total (100 mg L⁻¹ de NH₄⁺-N advindo de um reator UASB alimentado com dejetos suínos e 100 mg L⁻¹ de NO₂⁻-N suplementado com NaNO₂). Os reatores E₂, com um TRH de 6 horas e velocidade ascensional de 2,04 m.d⁻¹, apresentaram aumento de atividade específica anammox quando comparado ao reator E₁, operado com TRH de 0,75 h e velocidade ascensional de 74,4 m.d⁻¹. Observou-se que as condições aplicadas aos reatores E₂, promoveram uma distribuição granulométrica mais favorável ao processo Anammox, com uma melhor eficiência de remoção de nitrogênio e consequente produção de biomassa.

PALAVRAS-CHAVE: Anammox, granulometria, remoção de nitrogênio, tratamento de efluentes.

INTRODUÇÃO

O nitrogênio é considerado componente essencial para todos os seres vivos. Por outro lado, a poluição causada por compostos nitrogenados é pauta de preocupação global. Relata-se que 50% da produção alimentícia global depende de fertilizantes nitrogenados, aumentando a entrada deste composto nos ecossistemas e causando

impactos ambientais graves como a eutrofização de corpos hídricos (M KUYPERS; MARCHANT; KARTAL, 2018).

Tecnologias para tratamentos biológicos de remoção de nitrogênio são estudadas e desenvolvidas visando atender os padrões rigorosos para a disposição final de efluentes com concentrações elevadas de nitrogênio, como por exemplo processos já consolidados de nitrificação e desnitrificação (DAI et al., 2023).

Uma tecnologia que vem se destacando para a remoção de nitrogênio de águas residuais é a desamonificação, que consiste no consórcio de bactérias Anammox (BOAnA), bactérias oxidadoras de amônia (BOA) e bactérias heterotróficas (BH) que convertem o íon amônio (NH_4^+) e o íon nitrito (NO_2^-) a nitrogênio gasoso (N_2), apresentando vantagens como a redução de consumo de energia e oxigênio, além da remoção de altas cargas de N, quando comparados a processos convencionais (BONASSA et al., 2022). Entretanto, ainda existem alguns desafios a serem superados principalmente quanto à partida de novos processos em larga escala devido, entre outros fatores, a baixa taxa de crescimento das bactérias Anammox.

Comumente, as bactérias Anammox são encontradas no formato de grânulos compactos ou agregados densos, anaeróbios e se aderem facilmente a diversos tipos de superfície. A formação de grânulos Anammox envolve diversas interações físico-químicas e biológicas (TOMASZEWSKI; CEMA; ZIEMBIŃSKA-BUCZYŃSKA, 2017).

As condições de operação dos reatores interferem nas características morfológicas do lodo quanto a sua forma e eficiência do processo Anammox. Dentre esses fatores, destacam-se a carga de nitrogênio aplicada (CNA), a composição do efluente utilizado para a alimentação, o tipo de reator e a força de cisalhamento e hidrodinâmica, que influenciam, entre outros, no tempo de retenção hidráulica (TRH) do reator (ZHANG et al., 2015).

Assim, o objetivo deste trabalho foi investigar a influência do TRH e da velocidade ascensional (VA) promovidos por altas taxas de recirculação na granulometria e consequentemente na atividade Anammox em reatores destinados à produção de biomassa Anammox.

MATERIAIS E MÉTODOS

Dois reatores foram utilizados para a execução do experimento, sendo um em escala piloto (E_1) e outro em escala de bancada (E_2). O reator E_1 consiste de um reator do tipo EGSB (Expanded Granular Sludge Bed), volume de 35 L, altura de 2 m e diâmetro de 0,015m, respectivamente. O reator encontra-se operando há 200 dias, com TRH de 0,75 horas e CNA de $0,8 \text{ kgNm}^3\text{.d}^{-1}$, além de sistema de recirculação com vazão, $Q_r = 6$ vezes a vazão de alimentação (Q_{in}). O reator E_1 foi inoculado com lodo do banco de microrganismos Embrapa Suínos e Aves (BRMSA 0323).

O reator (E_2) operou em duplicata ($E_2(a)$ e $E_2(b)$), em reatores EGSB de volume de 1 L, com altura de 60 cm e diâmetro de 5 cm, inoculados com 300 mL de biomassa composta por flocos e grânulos anammox, oriundos do reator E_1 . Ambos os reatores operaram com TRH de 6 horas, CNA de $0,8 \text{ kgNm}^3\text{.d}^{-1}$ e temperatura do meio em 35°C . A relação altura/diâmetro dos reatores E_1 e E_2 é de 12 e 13, respectivamente.

A alimentação dos 3 reatores é composta por efluente oriundo de um reator UASB alimentado com dejetos de suínos (KUNZ; MIELE; STEINMETZ, 2009). A concentração de nitrogênio na entrada dos dois sistemas (E_1 e E_2) foi ajustada a $200 \pm 20 \text{ mg N.L}^{-1}$ sendo N-NH_4^+ (100 mgN L^{-1}), e suplementada com NaNO_2 como fonte de N-NO_2^- (100 mgN L^{-1}).

Foram realizados testes cinéticos de consumo de substrato na data de inoculação dos reatores E_2 e após 50 dias de operação, por meio da determinação da atividade específica das bactérias, a partir da velocidade de consumo de substrato (r_s , $\text{mg N-NH}_4^+ \text{ h}^{-1}$) e velocidade específica de consumo de substrato (μ_s , $\text{mg N-NH}_4^+ \text{ gSSV}^{-1} \text{ h}^{-1}$) conforme Bonassa et al., (2022).

A distribuição granulométrica média dos lodos Anammox foi realizada conforme metodologia adaptada de QIAN et al. (2022), com diâmetros nominais das peneiras de 2,4; 1,4; 0,7; 0,3 e 0,2 mm.

A eficiência de remoção de nitrogênio foi avaliada a partir da determinação de N-NH_4^+ , N-NO_2^- e N-NO_3^- em amostras coletadas diariamente na alimentação e saída dos reatores conforme Bonassa et al.⁷ (2022).

Análises por reação em cadeia da polimerase quantitativa (qPCR) foram feitas, utilizando o equipamento modelo 7500 (Applied Biosystems, Thermo Fischer Scientific, EUA) e primers específicos (16S RNA A438F, 5' -GTC RGG AGT TAD GAA ATG -3' e A684R, 5' -ACC AGA AGT TCC ACT CTC -3') e fragmento sintético Anammox para a quantificação (500 ng, IDT, EUA). A extração de DNA do lodo Anammox foi feita com o kit Power Soil DNeasy (Qiagen).

RESULTADOS

Ensaio de atividade específica Anammox dos reatores foram feitos na data de inoculação dos reatores E_2 e após 50 dias de operação destes, o que corresponde a 190 dias de operação do reator E_1 . Os resultados estão apresentados na Tabela 1, juntamente com os resultados obtidos por qPCR (cópias genômicas, cg).

Tabela 1-Resultados dos ensaios cinéticos (r_s : velocidade de consumo de substrato, μ_s : velocidade específica de consumo de sustrato) e qPCR para os reatores E_1 , $E_2(a)$ e $E_2(b)$.

PARÂMETROS	T_0	E_1 T_{50}	E_2		UNIDADE
			$T_{50}(a)$	$T_{50}(b)$	
$r_s \text{ NH}_3\text{-N}$	13,08	19,94	33,50	33,84	($\text{mgN.L}^{-1}.\text{h}^{-1}$)
$\mu_{\text{NH}_3\text{-N}}$	1,04	1,34	2,49	2,12	($\text{mgNH}_3.\text{gSSV}^{-1}.\text{h}^{-1}$)
$r_s \text{ NO}_2\text{-N}$	15,00	15,16	39,71	34,66	($\text{mgN.L}^{-1}.\text{h}^{-1}$)
$\mu_{\text{NO}_2\text{-N}}$	1,19	1,01	2,95	2,17	($\text{mgNO}_2.\text{gSSV}^{-1}.\text{h}^{-1}$)
Anammox	$5,0 \times 10^5$	$1,1 \times 10^6$	$1,1 \times 10^6$	$1,1 \times 10^5$	(cg. μL^{-1})

Nota-se um aumento na r_s e μ_s (Tabela 1) após 50 dias de operação dos reatores E_2 , para NH_4^+ e também para para NO_2^- . Este aumento está relacionado com as diferenças dos regimes hidráulicos dos reatores. Com um TRH de 6 h, os reatores E_2 possuem velocidade ascensional de $2,04 \text{ m.d}^{-1}$, ocasionada pela vazão de alimentação do sistema. Já o reator E_1 opera com um TRH de 0,75 h e velocidade ascensional de $74,4 \text{ m d}^{-1}$, sendo volume diário de 1040 L.d^{-1} (144 L de digestato para alimentação + recirculação, na vazão de $Q_r=6 \cdot Q_{in}$). Chini et al. (2016) avaliou o efeito da recirculação em reatores EGSB para processos de desamonificação, com taxas de $Q_r/Q_{in}=16$ e $Q_r/Q_{in}=2,5$, e concluiu que a alta taxa de recirculação influenciou no crescimento de bactérias nitrificantes, além da desintegração dos grânulos e redução da atividade Anammox.

Nos resultados obtidos por qPCR não é possível afirmar que houve diferença entre os reatores. Numericamente, observa-se um aumento no número de cópias genômicas no reator E_1 e $E_2(a)$ no dia 50 de operação do reator E_1 . Porém, o mesmo não foi observado no reator $E_2(b)$. É possível que esta diferença seja devido às variações de amostragem para a extração de DNA. No entanto seria necessário analisar um número maior de amostras para se obter esta conclusão.

A diferença entre resultados obtidos nos ensaios cinéticos (Tabela 1) pode ser explicada relacionando-os com os resultados obtidos nas análises de granulometria. Os resultados obtidos na análise granulométrica das amostras de lodo dos diferentes reatores estão apresentados na Figura 1, sendo T_0 a amostra coletada do reator E_1 no dia da inoculação dos reatores E_2 , e T_{50} as amostras coletadas após 50 dias de operação dos reatores E_2 .

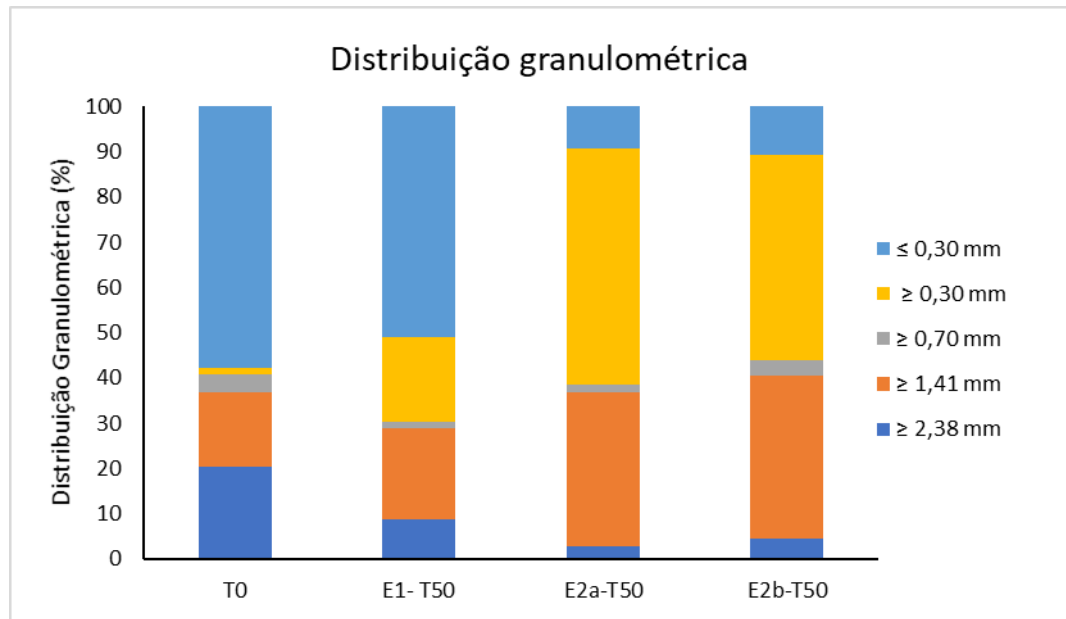


Figura 1 – Distribuição granulométrica em T₀ e T₅₀ nos reatores E₁, E₂(a) e E₂(b).

Após 50 dias de operação dos reatores E₂ (Figura 1) houve um aumento de grânulos maiores que 0,30 e 1,41 mm, e redução de grânulos menores que 0,30 nos reatores E₂ em relação ao E₁. De acordo com Xu et al., (2021), o tamanho de grânulo que promove maior efeito na atividade específica anammox e na eficiência de transferência de massa é em torno de 2 mm.

Nota-se que, com a maior velocidade acensional no reator E₁, após 50 dias houve redução de grânulos maiores que 2,38 mm, corroborando com a desintegração dos grânulos reportado por Chini et al., (2016).

O efeito de desintegração dos grânulos observado no reator E₁ está relacionado à menor eficiência de remoção nitrogênio, que foi de $50 \pm 11\%$. Nos reatores E₂(a) e E₂(b) a eficiência de remoção de nitrogênio total neste período foi de $79 \pm 13\%$ e $81 \pm 12\%$, respectivamente.

Na Figura 2 estão mostrados os gráficos dos coeficientes estequiométricos das espécies de nitrogênio para os reatores deste estudo em comparação com coeficientes estequiométricos reportados na literatura.

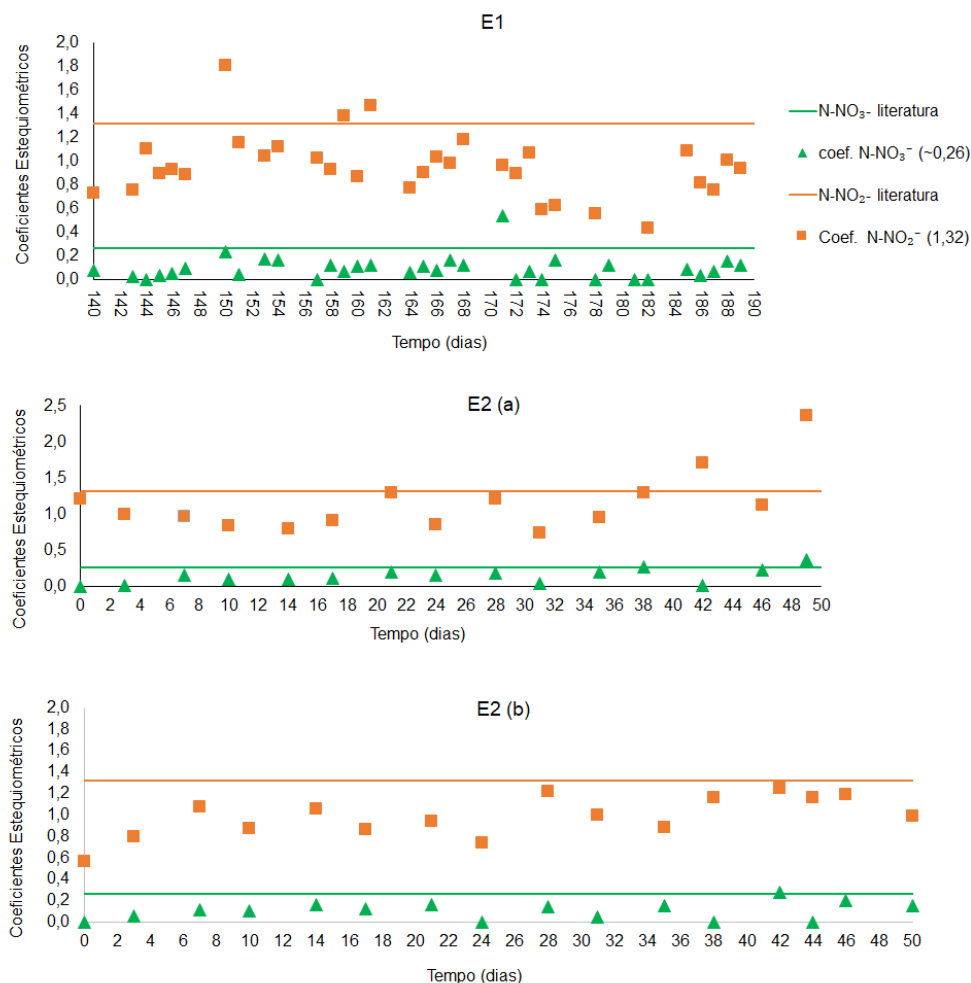


Figura 2 – Coeficientes estequiométricos do processo Anammox nos reatores E1, E2(a) e E2(b), durante os 50 dias de operação.

Ao comparar os coeficientes estequiométricos (Figura 2), nota-se que os valores se aproximam aos da literatura, evidenciando o estabelecimento do processo Anammox. Porém, nos reatores E₂ observa-se uma menor variação, que também pode ser atribuída à menor turbulência ocasionada pela menor velocidade ascensional.

CONCLUSÕES

A taxa de recirculação e a velocidades ascensional são parâmetros muito importantes para o bom desempenho do processo Anammox. Taxas de recirculação muito elevadas favorecem a incorporação de oxigênio no meio, o que acarreta o crescimento indesejável de bactérias nitrificantes. Da mesma maneira, velocidade ascensional muito elevada pode promover a desintegração dos grânulos Anammox e interferir diretamente na atividade dos microrganismos e, conseqüentemente, na eficiência do processo.

Neste trabalho, foi possível observar que o TRH de 6h e velocidade ascensional de 2,04 m.h⁻¹, promoveram uma distribuição granulométrica mais favorável ao processo Anammox (reatores E₂), com uma melhor eficiência de remoção de nitrogênio. Conseqüentemente, espera-se uma maior produção de lodo Anammox neste reator (E₂), que poderá ser utilizado para a inoculação de um reator em larga escala.

Agradecimentos

Este estudo teve apoio financeiro do CNPq e Kemia Tratamento de Efluentes (Modalidade de Doutorado Acadêmico para Inovação).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BONASSA, G. et al. Performance and microbial features of Anammox in a single-phase reactor under progressive nitrogen loading rates for wastewater treatment plants. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, v. 10, n. 1, p. 107028, 1 fev. 2022.
2. CHINI, A. et al. Recirculation and Aeration Effects on Deammonification Activity. *Water, Air, and Soil Pollution*, v. 227, n. 2, p. 1–10, 1 fev. 2016.
3. DAI, B. et al. Enhancement and mechanisms of iron-assisted anammox process. *Science of The Total Environment*, v. 858, p. 159931, fev. 2023.
4. KUNZ, A.; MIELE, M.; STEINMETZ, R. L. R. Advanced swine manure treatment and utilization in Brazil. *Bioresource Technology*, v. 100, n. 22, p. 5485–5489, nov. 2009.
5. M KUYPERS, M. M.; MARCHANT, H. K.; KARTAL, B. The microbial nitrogen-cycling network. *Nature Publishing Group*, v. 16, 2018.
6. QIAN, Y. et al. Control strategy and performance of simultaneous removal of nitrogen and organic matter in treating swine manure digestate using one reactor with airlift and micro-granule. *Bioresource Technology*, v. 355, 1 jul. 2022.
7. TOMASZEWSKI, M.; CEMA, G.; ZIEMBIŃSKA-BUCZYŃSKA, A. Influence of temperature and pH on the anammox process: A review and meta-analysis. *Chemosphere*, v. 182, p. 203–214, 2017.
8. XU, D. et al. Dimension effect of anammox granule: Potential vs performance. *Science of The Total Environment*, v. 795, p. 148681, 15 nov. 2021.
9. ZHANG, Z. Z. et al. Behavior and fate of copper ions in an anammox granular sludge reactor and strategies for remediation. *Journal of Hazardous Materials*, v. 300, p. 838–846, 30 dez. 2015.