

Estudo hidrodinâmico de reator *airlift* utilizado para nitrificação parcial

Hydrodynamic study of airlift reactor used for partial nitrification

RESUMO

A remoção biológica de nitrogênio utilizando nitrito comoceptor final de elétrons é a técnica que vem sendo amplamente utilizada para tratar efluentes ricos em nitrogênio. Os estudos dos microrganismos envolvidos no processo é algo constantemente pesquisado, no entanto, carecem estudos voltados à hidrodinâmica das unidades reacionais em escala de bancada. Neste trabalho, objetivou-se realizar a caracterização de alguns dos principais parâmetros hidrodinâmicos de um reator *airlift* utilizado para aplicação do processo de nitrificação parcial. Para isso, determinou-se a retenção gasosa, o tempo de mistura e a velocidade superficial do gás em 11 vazões de ar diferentes, prevendo aplicações em efluentes concentrados. Como resultado, foram obtidos os valores de cada um dos parâmetros para cada vazão de ar analisada. A velocidade superficial do gás ideal para tempos de misturas mínimos e gastos energéticos aceitáveis foi de 7,67 cm/min, enquanto que, a retenção gasosa assumiu o comportamento constante de incorporação do gás no líquido, ao passo que a velocidade superficial do gás era aumentada. Devido a estes resultados, a operação futura do reator será realizada de maneira mais eficiente e econômica.

PALAVRAS-CHAVE: Tempo de mistura. Retenção gasosa. Velocidade superficial do gás. Hidrodinâmica.

ABSTRACT

The biological nitrogen removal using nitrite as the final electron acceptor is a technique that has been widely used to treat nitrogen-rich wastewater. The study of the microorganisms of these processes is something constantly researched, however, studies focused on the reactors hydrodynamics are lacking. In this work, the objective was to characterize some of the hydrodynamic parameters of an airlift reactor used in the literature to apply the partial nitrification process. Analyzes of gas holdup, mixing time and superficial gas velocity were performed in 11 different air flow rates, estimating applications in nitrogen-rich wastewater. The values of each parameter were obtained for each air flow rate analyzed. The best superficial gas velocity - with minimum mixing time and acceptable energy expenditure - was 7.67 cm/min, while the gas holdup showed constant incorporation of the gas into the liquid, since it increased as the surface velocity of the gas was increased. Due to these results, the future operation of the reactor will be carried out more efficiently and economically.

KEYWORDS: Mixing time. Gas retention. Gas surface speed. Hydrodynamics.

Felipe Moura Dias

felipe.fmd7@gmail.com

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, Paraná, Brasil

Marina Celant De Prá

marinapra@utfpr.edu.br

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, Paraná, Brasil

Gracielle Johann

graciellej@utfpr.edu.br

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, Paraná, Brasil

Cecília Paulina Johann Dammann

cecidamann2000@gmail.com

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, Paraná, Brasil

Jessica Defiltro

jessicadefiltro@hotmail.com

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, Paraná, Brasil

Recebido: 19 ago. 2020.

Aprovado: 01 out. 2020.

Direito autoral: Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



INTRODUÇÃO

O tratamento adequado, barato e eficiente de efluentes com elevada carga nitrogenada é uma preocupação em muitos países. Para mitigá-lo, são frequentemente utilizadas tecnologias que usam a via biológica (MCCARTY, 2018). A nitrificação parcial (NP) é uma das biotecnologias utilizadas para remoção de nitrogênio e uma das etapas necessárias para o sucesso de novas tecnologias, como: CANON (*Completely Autotrophic Nitrogen removal Over Nitrite*) (ZHANG et al., 2012), SHARON (*Single reactor system for High Ammonia Removal Over Nitrite process*) (VAN DONGEN; JETTEN; VAN LOOSDRECHT, 2001) e Desamonificação (processos combinados de nitrificação parcial + ANAMMOX) (ZUBROWSKA-SUDOL et al., 2011; XU et al., 2015).

Os microrganismos envolvidos na NP e a bioquímica do processo estão sendo alvo de vários estudos nos últimos anos. No entanto, tem-se ainda desafios em torno da engenharia desse processo, principalmente no que tange às configurações das unidades reacionais.

Nesse panorama, a caracterização hidrodinâmica de reatores proporciona muitas vantagens, que vão desde o melhor aproveitamento da matéria prima e maior geração de produto, a até a redução de custos associados ao uso de compressores.

Dentre os testes hidrodinâmicos disponíveis, o tempo de mistura (t_M) atrelado a velocidade superficial do gás (U_{GS}) e a retenção gasosa (ϵ_G), destacam-se, pois são de fácil execução e grande utilidade. Gerando conhecimento do volume útil de trabalho do reator com a incorporação do gás no líquido, bem como, para a redução de gastos energéticos pela relação $t_M \times U_{GS}$.

Neste trabalho, foram realizados alguns dos principais testes hidráulicos em um reator *airlift* de vidro, que possui amplo uso na literatura para aplicação de processos de NP (YAMAMOTO et al., 2006; DE PRÁ et al., 2012; VANOTTI et al., 2012). Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi caracterizar a transferência de movimento dentro do reator e por conseguinte, obter alguns dos parâmetros chave para favorecer a operação do processo de NP.

METODOLOGIA

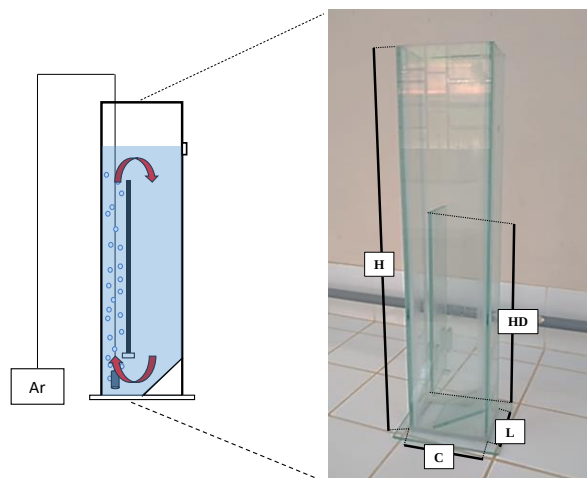
A unidade reacional em estudo foi construída em vidro, apresenta volume útil de trabalho de 4,45 L, suas dimensões são expressas na Tabela 1. A representação esquemática e real é apresentada na Figura 1.

Tabela 1 – Dimensões do reator *airlift* em estudo

Largura (L)	Comprimento (C)	Comprimento da placa transversal (CT)	Altura (H)	Altura do defletor (HD)	Volume útil
9,2 cm	13,7 cm	10,8 cm	60 cm	30 cm	5 litros

Fonte: Autoria própria (2020).

Figura 1– representação esquemática e real do reator *airlift*



Fonte: Autoria própria (2020).

O reator possui como características a circulação interna, devido à existência de uma placa defletora, e também, a base reduzida por uma placa de angulação de 45°. A aeração foi realizada por um compressor de ar Big Air A430, utilizando uma pedra porosa para a realização da dispersão do ar.

Os testes hidráulicos realizados para caracterizar a transferência de movimento no reator foram: tempo de mistura (t_M), a velocidade superficial do gás (U_{GS}) e a retenção gasosa (ϵ_G). Todos os testes foram realizados em 11 vazões de ar diferentes, sendo estas, de: 100, 150, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900 e 1000 mL/min.

Velocidade superficial do gás (U_{GS})

A velocidade superficial do gás (U_{GS}), foi calculada pela Eq. (1).

$$U_{GS} = \frac{Q_G}{A_s} \quad (1)$$

Em que: U_{GS} é a velocidade superficial do gás (cm/min); Q_G é a vazão volumétrica de ar (cm³/min); A_s é a área transversal da região de subida do reator (cm²).

Tempo de mistura (t_M)

Para a determinação do tempo de mistura (t_M), foi utilizado a metodologia de ensaios tipo pulso, proposta por Chisti e Moo-Young (1989). Que consiste na adição de um ácido traço e acompanhamento da variação do pH no meio reacional em um ponto específico do reator.

O tempo de mistura (t_M) e a velocidade superficial do gás (U_{GS}), ditam a transferência de movimento dentro do reator. É senso comum pensar que quanto maior a U_{GS} menor o t_M , porém na prática, isso não ocorre. Determinar a relação desses dois parâmetros é de grande importância, principalmente para tomada de decisões baseadas na redução de gastos energéticos, pois a partir de uma determinada U_{GS} não se tem mais a redução do t_M .

Retenção gasosa (ϵG)

A retenção gasosa (ϵG) foi determinada pelo método de expansão de volume conforme a Eq. (2).

$$\epsilon G = \frac{hD - hL}{hD} \quad (2)$$

Em que: ϵG , é a retenção gasosa global (adimensional); hD , a altura do líquido aerado (cm) e hL , a altura do líquido não aerado (cm).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos em cada teste hidráulico, estão apresentados na Tabela 2. Como é possível observar, a partir da $U_{GS} = 17,90$ cm/min, não houve redução do tM conforme o aumento da U_{GS} (Tabela 2). Desta forma, quando $U_{GS} = 17,90$ cm/min, tem-se o menor valor da U_{GS} para o tM mínimo, e chamamos tal valor de ponto de inflexão, sendo de grande coerência assumi-lo para a operação do processo.

Tabela 2 – Resultados obtidos nos testes de tempo de mistura (tM), velocidade superficial do gás (U_{GS}) e retenção gasosa (ϵG).

Vazão de Ar (mL/min)	U_{GS} (cm/min)	tM (s)	ϵG
100,0	2,56	38,00	0,0082
150,0	3,84	35,00	0,0092
200,0	5,12	27,33	0,0102
300,0	7,67	20,67	0,0102
400,0	10,23	19,33	0,0112
500,0	12,79	17,33	0,0122
600,0	15,35	20,67	0,0133
700,0	17,90	16,67	0,0143
800,0	20,46	16,67	0,0169
900,0	23,02	16,67	0,0183
1000,0	25,58	16,67	0,0202

Fonte: Autoria própria (2020).

Embora a U_{GS} correspondente ao ponto de inflexão seja um bom parâmetro para a escolha da U_{GS} de operação do processo, outros fatores devem ser cuidadosamente analisados, como por exemplo, o custo energético.

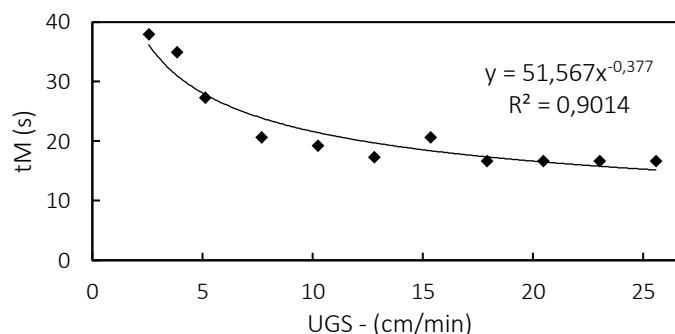
Como é possível verificar na Tabela 2, a $U_{GS} = 7,67$ cm/min proporciona um tM muito próximo a do ponto de inflexão, com uma diferença de apenas 3s. Nota-se também, que se utilizado a U_{GS} correspondente ao ponto de inflexão e não a de 7,67cm/min, ocorreria o aumento de 233,3% da utilização do compressor de ar, o que não é economicamente justificável para a redução de apenas 3s no tempo de mistura. Portanto, do ponto de vista energético e hidráulico, a $U_{GS} = 7,67$ cm/min

seria uma escolha sensata para a operação do processo de nitrificação parcial dentro do reator.

Foi encontrada a correlação a potência do t_M e a U_{GS} para o reator, e esta pode ser descrita pela Eq. (3), gerada pela relação da Figura 2.

$$t_M = 51,567 \cdot U_{GS}^{-0,377} \quad (3)$$

Figura 2 – Relação do tempo de mistura (t_M) e a velocidade superficial do gás (U_{GS})

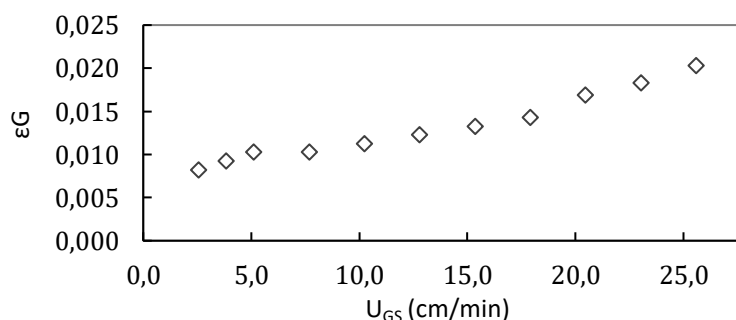


Fonte: Autoria própria (2020).

De acordo com a Eq. (3), o t_M se relaciona com a U_{GS} elevada a -0,377 potência. Cerri e Badino (2010) e Prá (2017), realizaram a mesma correlação descrita, ambos obtiveram respectivamente a correlação à potência de aproximadamente -1/2 e -1/3. Prá (2017), comenta que essas diferenças presentes na relação do t_M x U_{GS} , são comuns, pois o t_M depende também de outros fatores, como: relação altura/diâmetro, geometria do reator e viscosidade do fluido.

A relação entre a U_{GS} e a retenção gasosa (ϵ_G) pode ser verificada por meio da Figura 3. Os resultados adquiridos, exemplificam a constante incorporação do gás no líquido, visto que com o aumento da U_{GS} , a ϵ_G também aumentou.

Figura 3 – Relação da velocidade superficial do gás (U_{GS}) e a retenção gasosa (ϵ_G)



Fonte: Autoria própria (2020).

Ressalta-se, a importância dos valores de ϵ_G para fins de *scale-up*, pois o mesmo determina o volume de trabalho do reator, interferindo no pré-dimensionamento de projeto. Além de ser um parâmetro importante para a determinação teórica de outros parâmetros do processo, como: diâmetro médio de bolha e o coeficiente volumétrico de transferência de oxigênio (kLa).

CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos por meio dos testes de caracterização hidrodinâmica, pôde-se concluir que para tempos de mistura aceitáveis e maior economia de energia na operação do reator, a U_{GS} de 7,67 cm/min é preferível. Quanto a ε_G , notou-se uma constante incorporação do gás no líquido, visto que a ε_G aumentou conforme houve o aumento da U_{GS} .

Para melhor compreender a hidrodinâmica do reator, posteriormente serão realizados ensaios de estímulo-resposta com a utilização de um elemento traço, visando determinar possíveis zonas mortas, curtos circuitos hidráulicos e a eficiência volumétrica global do reator em questão. Em conjunto, esses resultados permitirão encontrar as melhores condições de operação do reator, o que refletirá diretamente numa maior eficiência do processo de nitrificação parcial.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Universidade Tecnológica Federal do Paraná/Brasil.

REFERÊNCIAS

CERRI, M. O.; BADINO, A. C. Oxygen transfer in three scales of concentric tube airlift bioreactors. **Biochemical Engineering Journal**, v. 51, n. 1–2, p. 40–47, 2010.

CHISTI, Y.; MOO-YOUNG, M. On the calculation of shear rate and apparent viscosity in airlift and bubble column bioreactors. **Biotechnology and bioengineering**, v. 34, n. 11, p. 1391–1392, 1989.

DE PRÁ, M. C. et al. Simultaneous removal of TOC and TSS in swine wastewater using the partial nitrification process. **Journal of Chemical Technology and Biotechnology**, v. 88, n. 9, p. 1641–1647, 2012.

MCCARTY, P. L. What is the Best Biological Process for Nitrogen Removal: When and Why? **Environmental Science and Technology**, v. 52, n. 7, p. 3835–3841, 2018.

PRÁ, MARINA CELANT DE. **Desenvolvimento e validação de protótipo de reator para aplicação do processo de desamonificação utilizando digestato da suinocultura**. 2017. 139 p. Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Florianópolis, 2017.

VAN DONGEN, U.; JETTEN, M. S. M.; VAN LOOSDRECHT, M. C. M. The SHARON®-Anammox® process for treatment of ammonium rich wastewater. **Water Science and Technology**, v. 44, n. 1, p. 153–160, 2001

VANOTTI, M. et al. Ammonia removal using nitrification and anammox in a single reactor. **American Society of Agricultural and Biological Engineers Annual International Meeting**, ASABE 2012, v. 3, n. 12, p. 2466–2475, 2012.

XU, G. et al. The challenges of mainstream deammonification process for municipal used water treatment. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 99, n. 6, p. 2485-2490, 2015.

YAMAMOTO, T. et al. Novel partial nitrification treatment for anaerobic digestion liquor of swine wastewater using swim-bed technology. **Journal of Bioscience and Bioengineering**, v. 102, n. 6, p. 497–503, 2006.

ZHANG, L. et al. High rate nitrogen removal by the CANON process at ambient temperature. **Water Science and Technology**, v. 65, n. 10, p. 1826–1833, 2012.

ZUBROWSKA-SUDOL, M. et al. Evaluation of deammonification process performance at different aeration strategies. **Water Science and Technology**, v. 63, n. 6, p. 1168–1176, 2011.