

II-126 - USO DA RESPIROMETRIA NA DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS CINÉTICOS DE BIOMASSA DISPERSA NITRIFICANTE

Da Silva. Rosângela Maria⁽¹⁾

Técnica em Meio Ambiente pelo Instituto Federal de Educação Ciências e Tecnologia (IFCE)-campus Maracanaú. Tecnóloga em Saneamento Ambiental pelo IFCE - campus Limoeiro do Norte. Mestranda em Tecnologia em Gestão Ambiental pelo IFCE- campus Fortaleza

Damasceno. Danikelly Silva⁽²⁾

Tecnóloga em Saneamento Ambiental pelo IFCE - campus Limoeiro do Norte. Mestranda em Recursos Naturais pela Universidade Federal de Campina Grande – UFCG

Glória Maria Marinho Silva Sampaio⁽³⁾

Graduada em Farmácia pela Universidade Federal do Ceará – UFC (1990), Mestrado em Engenharia Civil (Saneamento Ambiental) pela Universidade Federal do Ceará (2001) e Doutorado em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos/USP (2005).

Heraldo Antunes Silva Filho⁽⁴⁾

Graduado em Gestão Ambiental pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (2006), Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental, área de concentração em Engenharia Sanitária pela Universidade Federal de Campina Grande (2009), Doutorado em Engenharia Ambiental pela Universidade Estadual da Paraíba (UEPB).

Endereço⁽¹⁾: Rua Estevão Remígio, 1145 – Centro – Limoeiro do Norte – CE – CEP: 62930-000 - Brasil - Tel: (88) 3447-6400 - e-mail: rosangela_ifce@hotmail.com

RESUMO

No tratamento biológico dos despejos líquidos domésticos e/ou industriais, devido à matéria orgânica e as formas nitrogenadas presentes na água residuária, se desenvolvem bactérias nitrificantes, predominando na fração ativa do lodo biológico. O conhecimento do metabolismo dessas bactérias bem como da sua cinética de crescimento é de fundamental importância para projetos racionais de estações de tratamento de esgoto, bem como para a sua adequada operação. O metabolismo dessas bactérias pode ser verificado através das constantes cinéticas do modelo de Marais, (1976). A determinação dessas constantes é feita utilizando-se métodos respirométricos onde se mede a velocidade com que o oxigênio é consumido em uma batelada de lodo em função do consumo de um substrato específico. Nesse sentido, a pesquisa buscou caracterizar o comportamento das bactérias nitrificantes via respirometria, e os elementos básicos cinéticos e operacionais que fundamentam e condicionam o crescimento e o decaimento diante de diferentes situações ambientais e operacionais eventualmente impostas, com vistas à extrapolação dessas condições à escala real de projeto e operação.

PALAVRAS-CHAVE: Respirometria, parâmetros cinéticos, lodos ativados, nitrificação.

INTRODUÇÃO

Grande parte da poluição hídrica provém de despejos líquidos urbanos (esgoto sanitário ou municipal), lançados de forma inadequada ou sem o tratamento necessário. Esses despejos merecem atenção especial, pois apresentam elevadas concentrações de nitrogênio e fósforo. Esses compostos, quando dispostos no meio ambiente aquático em concentrações elevadas, provocam a degradação do corpo hídrico e podem acarretar em um processo denominado de eutrofização.

Porém Jordão e Pessoa (2011) citam que o nitrogênio é um elemento essencial para muitos seres vivos e encontra-se em proteínas, ácidos nucleicos e outras biomoléculas. Ele pode ser encontrado no meio natural em diferentes formas e estados de oxidação sendo as espécies mais comuns, e, portanto mais importantes para a engenharia sanitária, o nitrogênio orgânico, o nitrogênio amoniacal ($\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$), o nitrito (NO_2^-) e o nitrato (NO_3^-). Então, na verdade, o fósforo é quem comumente é considerado o fator limitante para a eutrofização.

Entre as formas citadas acima a amoniacal é a principal encontrada em esgotos sanitários e domésticos, visto que a ureia se converte no sistema de esgotamento em amônia e uma pequena fração se mantém orgânica tendo 75% amoniacal na entrada da estação de tratamento de esgotos (ETE).

O metabolismo nitrificador, pode ser avaliado e otimizado quando de fato se identificam condições ideais de crescimento mantidas a partir do controle operacional de um sistema biológico de tratamento de águas residuárias, a exemplo dos sistemas de lodo ativado.

Santos (2009) cita que sistemas de lodo ativado se distinguem de outros sistemas de tratamento devido à possibilidade de remoção dos nutrientes (nitrogênio e fósforo) das águas residuárias. Devido a isso os sistemas de lodo ativado têm sido bastante utilizados por assegurar uma boa qualidade no efluente. Nesse tipo de sistema há uma possibilidade de se obter racionalmente uma biomassa adequadamente estável e eficiente na remoção dos poluentes em destaque. A remoção do nutriente nitrogênio pode ser particularmente notável através dos processos de nitrificação e desnitrificação.

O metabolismo das bactérias nitrificadoras pode ser verificado através das constantes cinéticas do modelo de Marais (1976). Esse modelo descreve o comportamento de sistemas de lodo ativado baseando-se em processos bioquímicos. A partir do uso desse tipo de modelo, com base na cinética de Monod (1967), a determinação, por exemplo, da taxa de crescimento, da taxa de utilização de material nitrogenado, de decaimento e constante de meia saturação de substrato ou oxigênio podem ser calculadas.

Segundo Van Haandel & Marais (1999) o conhecimento do valor numérico das constantes cinéticas de nitrificação é imprescindível, quando se deseja fazer projetos racionais de sistemas de lodo ativado, assim como nas estações de tratamento, bem como para sua adequada operação onde ocorram processos de nitrificação e desnitrificação.

Tendo em vista o exposto, esta pesquisa visa determinar modelos cinéticos para nitrificação em sistemas de lodo ativado, utilizando o modelo da teoria descrita por Van Haandel e Marais (1999), buscando caracterizar o comportamento das bactérias nitrificantes via respirometria, e os elementos básicos cinéticos e operacionais que fundamentam e condicionam o crescimento e o decaimento diante de diferentes situações ambientais e operacionais eventualmente impostas, com vistas à extrapolação dessas condições à escala real de projeto e operação.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para geração de lodo de testes foi necessária a montagem, operação e monitoramento de um sistema de lodo ativado do tipo University of Cape Town (UCT), tratando efluente de característica peculiar doméstica.

Através da técnica respirométrica foram determinadas as constantes cinéticas envolvidas no processo da nitrificação sendo estas: as constantes de crescimento específico máximo (μ_{\max}), de meia saturação de substratos (k_{ss}) e a constante de decaimento (b_n).

SISTEMA UCT

O sistema UCT é um sistema de tratamento biológico do tipo fluxo contínuo. Na *figura 1* está exposto o sistema com suas recirculações, motor de agitação e aerador.



Figura 1: Configuração do Sistema UCT e da disposição dos reatores assim como dos seus elementos suporte (bombas dosadoras, recirculação, motor de agitação aerador).

A seguir na tabela 1 encontram-se expostos alguns dados operacionais do sistema UCT.

Tabela 1: Dados operacionais do Sistema UCT.

Dados operacionais do sistema UCT	
Temperatura Média	30° C
Volume	40 L
pH	≈7,0
OD	1 a 3 mg/L
Rs	20 dias
Vazão diária	92 L d ⁻¹

A aeração do sistema era mantida por um aerador do tipo compressor de ar de geladeira adaptado.

VARIÁVEIS ANALISADAS PARA O MONITORAMENTO DO SISTEMA

Para o monitoramento dos sistemas UCT eram coletadas amostras semanalmente. As variáveis investigadas e métodos analíticos estão demonstrados na tabela 2.

Tabela 2: Análises realizadas em amostras coletadas semanalmente para avaliar o desempenho dos sistemas e métodos analíticos de determinação.

Variáveis	Métodos analíticos	Referência
DQO mg/L	Titulométrico/refluxação fechada	APHA et al. (2012)
Amônia N-NH ₄ ⁺	Semi-Micro Kjeldahl	APHA et al. (2012)
Nitrato N-NO ₃ ⁻	Salicilato de Sódio	APHA et al. (2012)
Nitrito N-NO ₂ ⁻	Colorimétrico Diazotização	APHA et al. (2012)
Fósforo Total (mgP/L)	Ácido Ascórbico	APHA et al. (2012)

TESTES PARA A DETERMINAÇÃO DAS CONSTANTES

A taxa de consumo de oxigênio (TCO) é determinada conforme Catunda et al. (1996), utilizando-se o respirômetro Beluga, do tipo aberto e de forma semi-contínua, com ciclos de períodos com e sem aeração.

Durante os períodos sem aeração, o respirômetro calcula a TCO a partir da variação da concentração de OD com o tempo. Conforme a *figura 2*.

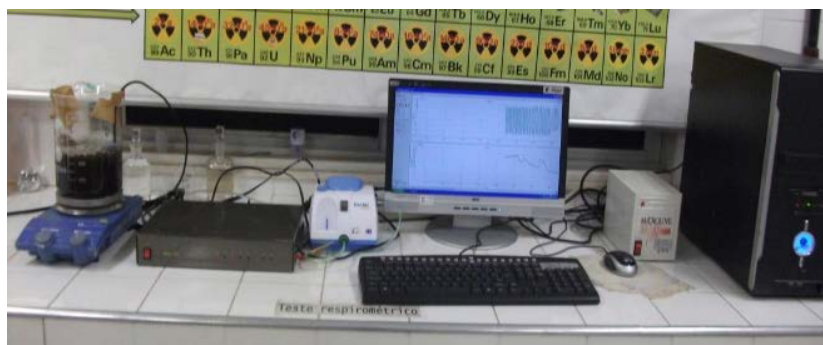


Figura 2: Equipamentos necessários para a realização dos testes respirométricos.

Para o acompanhamento da atividade metabólica das bactérias nitrificantes com adição de pulsos de Cloreto de Amônio em uma concentração de 15 mgN-NH³/L. Na *figura 3* mostra-se um teste respirométrico de bactérias nitrificantes.



Figura 3: Respirograma da taxa de crescimento em função do substrato adicionado.

A partir dos testes respirométricos é possível fazer a determinação das constantes cinéticas envolvidas.

DETERMINAÇÃO DA TAXA ESPECÍFICA DE CRESCIMENTO “ μ_m ”.

Para determinar a taxa específica de crescimento “ μ_m ” foi utilizada a equação de Monod (1949). Na *figura 4* está exposta a curva de crescimento.

$$\mu_m = \mu_{\max} [S/(S+K_S)]$$

Sendo:

μ_m : taxa específica de crescimento (d⁻¹);

μ_{\max} : taxa específica máxima de crescimento (d⁻¹);

K_S : constante de meia saturação (K_a para as nitrificantes e K_n para as nitrificadoras);

S : concentração de substrato.

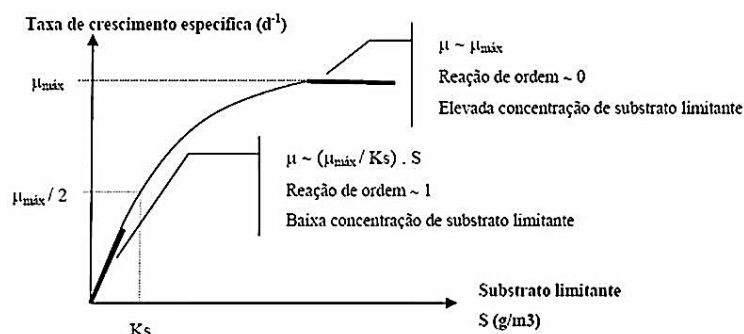


Figura 4: Curva de crescimento específico.

DETERMINAÇÃO DA CONSTANTE DE MEIA SATURAÇÃO “KSS”.

De acordo com a cinética de Monod, no momento em que a TCO exógena é metade da TCO exógena máxima, a concentração de substrato, neste momento em particular, é igual ao valor da constante de meia saturação (K_n).

Para estimar o valor da constante, deve-se determinar a concentração do substrato no momento em que $\mu = 1/2\mu_m$ ou $TCO_n = 1/2TCO_{max}$. A figura 5 mostra o momento em que $\mu = 1/2\mu_m$.

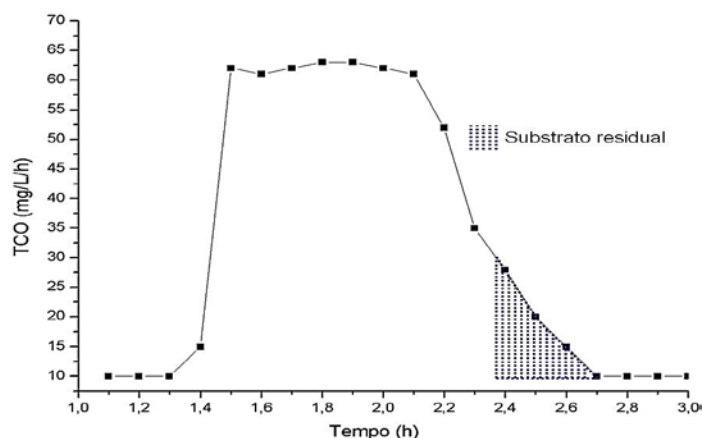


Figura 5: Determinação de K quando $TCO = TCO_{exomax} / 2$.

RESULTADO

CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE E AFLUENTE

Os dados de entrada do sistema mostram os resultados de entrada e saída do esgoto bruto. Na tabela 3 apresenta os resultados obtidos de eficiência do afluente e efluente.

Tabela 3: Dados de eficiência do sistema UCT.

Dados de caracterização do Esgoto bruto		
Parâmetros	Entrada	Saída
DQO	360,93 mg/L	113,68 mg/L
Amônia (NH ₄)	153,02 mg/L	39,52 mg/L
Nitrato (NO ₃)	1,66 mg/L	29,10 mg/L
Nitrito (NO ₂)	0,11 mg/L	8,98 mg/L
Fósforo total	6,38 mg/L	4,81 mg/L

Com os resultados obtidos a cima pode se perceber que o sistema está sendo eficiente na remoção dos poluentes citados. Porém o sistema mostra se bem diferentes de um esgoto doméstico devido à elevada concentração de amônia e uma baixa carga de DQO. A amônia presente no sistema mostrou uma elevada eficiência de remoção com valores de entrada de 153mg/LN-NH₃ e saída do efluente de 39 mg/LNH₄⁺ mostrando que os processos de nitrificação está ocorrendo de forma completa tendo uma eficiência de 75%.

Toda via o processo da nitrificação é bastante sensível e pode ser afetado por condições adversas como: pH, temperatura, OD e demais compostos que possam vir no afluente que causem de certa forma inibição no processo. Derks (2007) diz que até fatores como o próprio pré-tratamento quando aplicado pode afetar o processo da nitrificação.

CINÉTICA

Com os dados obtidos dos testes respirométricos foram realizados os cálculos das constantes cinéticas. A tabela 4 apresenta os valores obtidos nos testes.

Tabela 4: Valores das constantes cinéticas encontradas no Sistema UCT

Constantes	Valores Encontrados	Unidades
TCN _{max}	34,96	mg/L h ⁻¹
K _{MS} (nitrificante)	3,79	mg/L
μ _m nitrificante	1,70	d ⁻¹

A figura 6 e 7 apresentam os valores encontrados nos testes quanto as constante de crescimento (μ_m) e decaimento (b_n).

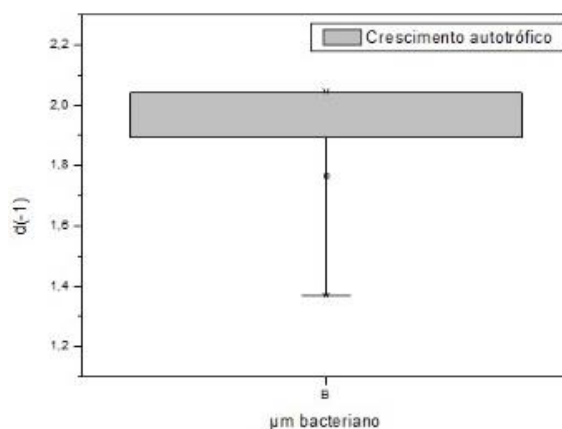


Figura 6: Gráfico temporal do crescimento das bactérias autotróficas (μ_m).

Os valores obtidos de crescimento específico encontrado na pesquisa estavam entre a faixa de 1,3 – 2,04 d⁻¹, valores estes bem discrepantes dos valores literários. Os valores encontrados estão bastante diferentes, porém o valor obtido do crescimento nos testes está na média de 1,76 d⁻¹ valor este bem alto comparado aos demais, esse fato deve ter ocorrido devido à alta concentração da amônia existente no sistema, que é diferenciada das demais, já que tem característica peculiar devido às concentrações se diferenciando do esgoto doméstico que tem alta carga de DQO e baixa amônia (relação aproximadamente de 100:5).

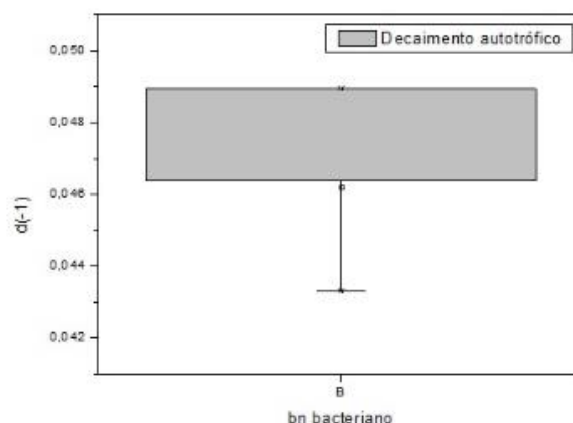


Figura 7: Gráfico temporal do decaimento bacteriano autotrófico (b_n)

Os valores de decaimento mantiveram-se próximos aos valores encontrados na literatura. Tendo em vista que seria para uma temperatura de 20°C. O valor de b_n obtido foi 0,046d⁻¹.

Tendo em vista os valores obtidos das constantes cinéticas, será feito um estudo dentro da literatura existente para obter dados da constante de crescimento e decaimento das bactérias autotróficas nitrificantes existente para poder ser feita uma análise concreta dos valores obtidos na pesquisa. A tabela 5 e 6 apresentam os valores encontrados na literatura quanto aos dados da constante de crescimento (μ_m) e decaimento (b_n).

Tabela 5: Valor da constante de crescimento específica “ μ_m ” das bactérias autotróficas encontradas na literatura.

Autotróficas Nitrificantes UCT		
μ_m (d ⁻¹)	Temperatura (°C)	Referência
1,71	25	SILVA (2013)*
0,36	24	SILVA FILHO (2009)
0,18	25	DERKS (2007)
0,78	25	FERREIRA (2002)

*Silva (2013) dados obtidos nesta pesquisa.

Pode-se perceber a partir de valores encontrados na literatura que o μ_m mostrou elevado valor em relação aos demais lodos testados em anos anteriores por diferentes autores. Uma explicação pode ser em função da característica do esgoto utilizado que contém uma elevada concentração de NH_4^+ e baixa disponibilidade de matéria orgânica que reduz a atividade heterotrófica (competidora de oxigênio).

Outro fator fundamental para o elevado valor de crescimento é ocasionado ao controle da alcalinidade do sistema. A alcalinidade existente no esgoto bruto é em torno de 376mg/L, devido ao sua baixa concentração era adicionado ao sistema Carbonato de Sódio (NaHCO_3) para manter o sistema sempre com um pH em torno de 7, para que ao acontecer o processo da nitrificação o sistema não baixa se o pH e as bactérias nitrificantes morressem.

Tabela 6: Valores da constante de decaimento “ b_n ” das bactérias autotróficas encontradas na literatura.

Autotróficas Nitrificantes UCT		
b_n (d ⁻¹)	Temperatura (°C)	Referência
0,046	25	Pesquisa (2013)
0,039	24	Silva Filho (2009)
0,046	25	MARAIS & EKAMA (1976)
0,040	25	RODRIGO (2011)
0,050	20	MARAIS & EKAMA(2003)

O valor de decaimento obtido através do estudo literário mostrou valores próximos entre si estando numa faixa entre 0,03-0,05 d⁻¹.

CONCLUSÃO

O sistema UCT mostrou eficiência na remoção dos poluentes envolvidos e principalmente da amônia que chegou a remover mais de 75% do valor de entrada 150mg/L para 39mg/L;

Os valores encontrados das constantes cinéticas μ_m para a idade de lodo de 20 dias apresenta lodos testados em anos anteriores por diferentes autores mostraram-se altos em relação aos valores encontrados na literatura, $\mu_m = 1,47 \text{ d}^{-1}$, isso possivelmente devido à elevada concentração de amônia de aproximadamente 150 mg/LNH₃;

Para as constantes cinéticas de decaimento os valores mostraram-se dentro da faixa de valores obtidos por pesquisadores da área e publicados em literatura especializada com valor médio de $b_n = 0,046 \text{ d}^{-1}$;

A alcalinidade no sistema é um fator muito importante principalmente porque está associada ao pH, pois sua condição além de influir decisivamente no funcionamento do processo representa importante indicador do desequilíbrio para o crescimento dos microrganismos nitrificantes.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- CATUNDA, S. Y. C.; DEEP, G. S.; VAN HAANDEL, A. C.; FREIRE, R. C. S (1996). Fast on-line measurement of the respiration rate in activated sludge systems. IEEE Instrumentation and measurement technology conference Bruxelas, Bélgica, Junho 4-6.
- DERKS, Y. M. The use of the respirometry to evaluate the influence of operational and environmental factors on the nitrification kinetics. 2007. 100 f. Thesis (Master)– Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2007.
- FERREIRA, A. F (2002). Uso da respirometria na avaliação da influência do pH na capacidade ativa das bactérias nitrificantes. Dissertação de Mestrado. 80 p. Campina Grande-PB: UFCG.
- JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. Tratamento de esgotos domésticos. 6. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2011. 1050 p.
- MARAIS, G. V. R e EKAMA, G. A. The activated sludge process: Steady state behaviour. Water S. A. 1976.
- MONOD, J. (1949). The growth of bacterial cultures, annual Review of Microbiology, 3, 371-394.
- SANTOS, E. V. M. Desnitrificação em sistemas de lodo ativado. 2009. 114 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campina Grande, 2009.
- SILVA FILHO, H. A. Nitrificação em Sistemas de Lodo Ativado. 2009. 134 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2009
- VAN HAANDEL, A.; MARAIS, G. R. V. O comportamento de sistemas de lodo ativado. Campina Grande, 1999.