



II-286 - AVALIAÇÃO DA CINÉTICA DAS BACTÉRIAS HETEROTRÓFICAS E AUTOTRÓFICAS NITRIFICANTES DE DUAS CONFIGURAÇÕES DE LODO ATIVADO

Heraldo Antunes Silva Filho ⁽¹⁾

Tecnólogo em Gestão Ambiental pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE). Mestre em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Professor do IFCE – Campus Limoeiro do Norte.

Elivânia Vasconcelos Moraes dos Santos

Tecnóloga em Gestão Ambiental pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE). Mestre em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Professora do IFCE – Campus Limoeiro do Norte.

Érica de Oliveira da Nóbrega

Engenheira Civil pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Mestre em Engenharia Civil e Ambiental pela UFCG.

Paula Frassinetti Feitosa Cavalcanti

Professora da Universidade Federal de Campina Grande.

Adriannus C van Haandel

Professor da Universidade Federal de Campina Grande.

Endereço ⁽¹⁾: Rua Aprígio Veloso, 882 - Bodocongó – Campina Grande - PB - CEP: 58109-970 - Brasil - Tel: (83) 88646917 - e-mail: prosab@uol.com.br

RESUMO

A aplicação de sistemas de tratamento biológico de águas residuárias, principalmente os aeróbios restritos e/ou facultativos, como é o exemplo dos sistemas de lodo ativado, apresenta grandes limitações técnicas devido à falta de conhecimento do sistema em uso e da dinâmica existente no mesmo. Ao se conhecer essa dinâmica, torna-se possível projetar e operar unidades biológicas de tratamento de forma mais racional e técnica, além de promover uma otimização ao sistema. A respirometria, ou seja, a determinação da velocidade de respiração de uma biomassa ativa constitui-se em uma metodologia bastante adequada para a quantificação da atividade biológica aeróbia, em particular a caracterização da capacidade de nitrificação de um determinado lodo e a capacidade de oxidação da matéria orgânica. Este trabalho teve como objetivo, determinar e comparar o metabolismo de lodo heterotrófico e autotrófico nitrificante gerados em duas configurações de sistemas de lodo ativado em escala piloto, sendo estas: Bardenpho e University of Cape Town (UCT), utilizando a respirometria aliada com o modelo simplificado para sistemas de lodo ativado como ferramentas para a descrição dos processos metabólicos. Nos testes respirométricos para determinação da taxa de crescimento do lodo heterotrófico foi usado acetato de sódio como substrato e para determinação da taxa de crescimento do lodo autotrófico foram utilizados dois substratos: Cloreto de Amônio e Nitrito de Sódio. De acordo com os testes respirométricos, foram obtidos valores da taxa máxima de crescimento específico que variaram entre 0,36 a 0,48 d⁻¹ para as bactérias autotróficas nitrificantes (nitrificadoras + nitratadoras), entre 0,29 a 0,42 d⁻¹ para as bactérias autotróficas nitratadoras, e μ_{max} de 0,78 a 1,79 d⁻¹ para as bactérias heterotróficas. Para as constantes de meia saturação foram encontrados valores abaixo de 2 mg/L para as bactérias autotróficas e abaixo de 10 mg/L para as bactérias heterotróficas. Ficou estabelecido que ambos os sistemas promovem a remoção de matéria orgânica e de nitrogênio de forma satisfatória com baixa dependência da concentração dos substratos.

PALAVRAS-CHAVE: Lodo Ativado, UCT, Bardenpho, Cinética.

INTRODUÇÃO

No tratamento das águas residuárias, o conhecimento dos fenômenos intervenientes nos processos de oxidação e as taxas em que eles ocorrem são de fundamental importância, pois fornecem elementos essenciais para um projeto e operação racional dos sistemas de tratamento, visando a otimização de seus processos.



A forma mais adequada de se avaliar as reações envolvidas na remoção biológica de nitrogênio e de matéria orgânica é através do estudo de sua cinética. Esse estudo é importante por duas razões principais: (1) em primeiro lugar, fornece informações de como as bactérias realizam seu metabolismo e quais suas necessidades em termos de substratos, e, (2) em complemento, permite aperfeiçoar a remoção de nitrogênio e matéria orgânica em sistemas de tratamento projetados de forma racional. As constantes cinéticas são críticas na compreensão do modo de funcionamento do sistema de tratamento de esgoto, além de definirem parâmetros importantes para esses como: a idade de lodo mínima e máxima que pode ser aplicada, o volume dos reatores visando à eficiência máxima de remoção, concentração mínima e máxima de OD que pode ser aplicada e capacidade de nitrificação (VAN HAANDEL e MARAIS, 1999; SILVA, H. A. 2009).

A respirometria é uma técnica baseada na medição do consumo de oxigênio por parte dos microrganismos, durante o catabolismo oxidativo. Testes respirométricos podem determinar a taxa de utilização de oxigênio dissolvido (TCO) por bactérias durante o metabolismo oxidativo aeróbio (VAN HAANDEL e MARAIS, 1999).

A partir dessas considerações foi realizada uma investigação experimental que teve como objetivos: (1) quantificar a taxa específica de crescimento (μ_m) das bactérias heterotróficas que oxidam a matéria orgânica e a taxa específica de crescimento das bactérias autotróficas nitrificantes de duas variantes do processo de lodo ativado, sendo elas Bardenpho e University of Cape Town (UCT); (2) determinar as constantes cinéticas de meia saturação de substratos e a taxa de utilização de substrato para os dois grupos de bactérias. Baseando-se no modelo matemático para lodo ativado simplificado (van Haandel & Marais, 1999), e usando a respirometria como ferramenta, determinou-se a capacidade metabólica autotrófica e heterotrófica destes lodos, aqui expressa em termos da sua taxa específica de crescimento (μ_m), e verificou-se a influência da configuração e da idade de lodo sobre a cinética de crescimento.

MATERIAIS E MÉTODOS

Descrição dos sistemas e de seus aspectos operacionais

Dois sistemas de lodo ativado dos tipos Bardenpho e UCT, foram projetados e operados segundo a teoria de lodo ativado descrita em van Haandel e Marais, (1999). Cada sistema era composto de quatro reatores e um decantador e apresentavam o mesmo volume total dos reatores (235L). Os sistemas foram operados com idade de lodo de 20 e 15 dias. A primeira idade de lodo estabelecida favoreceu o processo de nitrificação, principalmente tendo em vista a partida do sistema, e quando esse processo estabilizou-se, optou-se pela mudança na idade de lodo para 15 dias. O objetivo da operação na segunda idade de lodo foi de otimizar os sistemas e observar seu comportamento quando operados na idade limite para que, segundo a teoria de lodo ativado para esses sistemas, a nitrificação e a desnitrificação completas ainda poderiam ocorrer. Ainda segundo a teoria de lodo ativado descrita em van Haandel e Marais, (1999), as duas idades de lodo aplicadas são adequadas para a remoção total de material orgânico biodegradável.

Diariamente era descartado um volume de 11,7 litros, quando a operação do sistema mantinha idade de lodo de 20 dias, e 15,6 litros quando o sistema era operado com 15 dias de idade de lodo. Esse lodo de descarte era usado para os testes respirométricos, assim como, servia de amostra para as análises físico-químicas, necessárias para os cálculos cinéticos.

Sistema de lodo ativado Bardenpho

Esse sistema foi projetado em escala piloto com três reatores anóxicos (pré-D e pós-D) e um reator aeróbio. Os reatores do sistema Bardenpho eram sequenciais e apresentavam diferentes volumes, como podem ser observados na **Figura 1**. A capacidade do decantador era de 70 litros de volume útil. O primeiro reator (R1) era anóxico, para promover a desnitrificação do nitrato produzido no reator aeróbio. O segundo reator (R2) também era anóxico. O licor misto do reator aeróbio (R3) era recirculado através de bomba peristáltica, para o primeiro reator anóxico com a finalidade de se promover a desnitrificação. O decantador também continha uma recirculação do licor misto para o primeiro reator anóxico.



Sistema de lodo ativado UCT

Constituiu-se de um reator anaeróbio, dois anóxicos (pré-D e pós-D) e um aeróbio. O sistema UCT também foi dimensionado em escala piloto conforme o sistema Bardenpho. O decantador, assim como o decantador do sistema Bardenpho, apresentava 70 litros de volume útil. Ocorriam três recirculações (a, s e r). A recirculação “r”, tinha a intenção de levar o licor misto do segundo reator anóxico (R2) para o primeiro reator R1, sem nitrato, já que o reator R2 era anóxico e ainda poderia apresentar boa taxa de desnitrificação, pois era pré-D. Logo, vê-se que o primeiro reator (R1) era anaeróbio. A recirculação “s” ocorria do decantador para o reator anóxico R2. A recirculação “a”, pretendia inserir nitrato em R2 para favorecer o processo de desnitrificação, em que o nitrato produzido em R3 (aeróbio) deveria ser levado a R2 (anóxico). A **Figura 2** contém um esquema da configuração do sistema UCT.

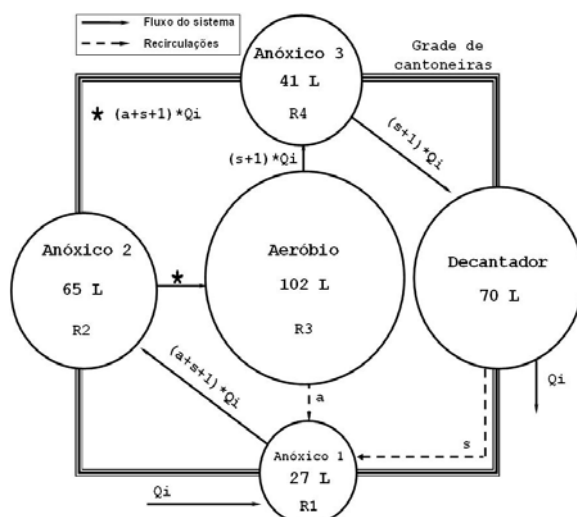


Figura 1: Esquema de montagem do sistema de tratamento em escala piloto Bardenpho

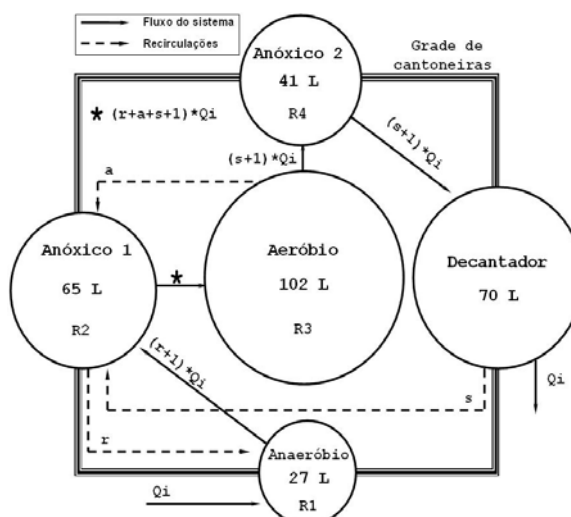


Figura 2: Esquema de montagem do sistema de tratamento em escala piloto UCT

Testes Respirométricos

A taxa de consumo de oxigênio (TCO) foi determinada conforme Catunda *et al.* (1996), utilizando-se o respirômetro Beluga, do tipo aberto e de forma semi-continua. Um aerador era ligado ao respirômetro, que por sua vez o controlava através do *software* S3.2c que acompanha o equipamento. O respirômetro ativava o aerador quando a concentração de OD atingia um limite inferior estabelecido (1 mgO₂/L), desativando-o quando esta atingia um limite superior também estabelecido (3 mgO₂/L), iniciando, assim, ciclos de períodos com e sem aeração. Durante os períodos sem aeração, o respirômetro calculava a TCO a partir da variação da concentração de OD com o tempo. (**Figura 3**)



Figura 3: Equipamentos necessários para a realização dos testes respirométricos com o lodo gerado nos reatores Bardenpho e UCT



Durante os períodos sem aeração, o Beluga calculava a TCO utilizando os dados adquiridos da diminuição da concentração de OD, através de regressão linear, sendo esta taxa expressa como (**Equação 1**):

$$TCO = (dOD/dt) = (OD_{\max} - OD_{\min})/\Delta t \quad (1)$$

Onde:

TCO : taxa de consumo de oxigênio ($\text{mgO}_2 \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$);
 OD_{\max} : valor de oxigênio dissolvido de referência superior (mg/L);
 OD_{\min} : valor de oxigênio dissolvido de referência inferior (mg/L);
 Δt : variação do tempo (h).

Na **Tabela 1** são apresentados os substratos usados nos testes e para qual grupo de bactérias se destinava:

Tabela 1: Substratos utilizados para os testes respirométricos

Grupo de Bactéria	Legenda	Substrato Específico	Oxidante	Tipo de Teste
Bactérias Autotróficas Nitrificantes	BAN	Cloreto de Amônio (NH_4Cl)	Oxigênio	Respirométrico
Bactérias Autotróficas Nitrificadoras	BAn	Nitrito de Sódio (NaNO_2)	Oxigênio	Respirométrico
Bactérias Heterotróficas	BH	Acetato de Sódio (CH_3COONa)	Oxigênio	Respirométrico

Determinação da constante de crescimento específico máximo (μ_m) via respirometria

Para a determinação da taxa de crescimento específica máxima (μ_{\max}) das bactérias estudadas, foi utilizada a **Equação (2)**. (VAN HAANDEL e MARAIS, 1999; BORZANI, W. et al, 2001).

$$\mu_{\max} = (Y \cdot r_{\max})/X \quad (2)$$

Sendo:

X : concentração ativa das bactérias (X_N para BAN e X_H para BH) (mgX/L);
Y : coeficiente de rendimento das bactérias: 0,1 para BAN (mgX_N/mgN) e 0,45 para BH ($\text{mgX}_H/\text{mgDQO}$);
 r_{\max} : taxa máxima de consumo do substrato (mgS/L/h).

Para determinar r_{\max} foi utilizada a **Equação (3)** para as BAN, a **Equação (4)** para as BAn e a **Equação (5)** para as BH.

$$r_{n,(BAN)} = TCO_N / 4,57 \quad (3)$$

$$r_{n,(BAn)} = TCO_N / 1,14 \quad (4)$$

$$r_{n,(BH)} = 3 \cdot TCO_{\text{EXO}} / X_H \quad (5)$$

Sendo:

TCO_N : TCO total devido à nitrificação ($\text{mgO}_2/\text{L/h}$);
 TCO_{EXO} : taxa de consumo de oxigênio exógena (a DQO oxidada é equivalente a $TCO_{\text{EXO}} \cdot 3$, visto que 1/3 do material adicionado é oxidado);
 $r_{n,(BAN)}$: taxa de utilização máxima da amônia e do nitrito gerado ($\text{mgNH}_4/\text{mgX}_N/\text{d}$);
 $r_{n,(BAn)}$: taxa de utilização máxima do nitrito ($\text{mgNO}_2/\text{mgX}_N/\text{d}$);
 $r_{n,(BH)}$: taxa de utilização máxima do material carbonáceo ($\text{mgDQO}/\text{mgX}_H/\text{d}$).

A concentração das bactérias estudadas foi determinada conforme a **Equação (6)** para as nitrificantes e a **Equação (7)** para as heterotróficas

$$X_N = [Y_N R_S / (1 + b_N R_S)] \cdot N_C / R_H = [Y_N R_S / (1 + b_N R_S)] \cdot MN_C / V_R \quad (6)$$

Sendo:

R_S : idade de lodo (d);
 N_C : concentração de amônia nitrificada (mg/L);
 MN_C : fluxo da concentração de amônia nitrificada (gN/d);
 b_N : constante de decaimento para as BAN = $0,04 \cdot 1,04^{(t-20)}$, onde t é a temperatura de operação ($^\circ\text{C}$);



R_H : tempo de permanência (d);

V_R : volume do reator (L);

X_N : concentração das bactérias autotróficas nitrificantes mgSSV/L;

$$X_a = Y_h \cdot R \cdot h \cdot S_b / (1 + b_h \cdot R_s) \cdot R_h$$

(7)

sendo:

R_h : tempo de permanência do líquido (d);

S_b : DQO do afluente (mg/L);

B_h : constante de decaimento de lodo ativo (/d);

R_s : idade de lodo (d);

Determinação da constante de meia saturação via respirometria

Para estimar o valor da constante de meia saturação K , deve-se determinar a concentração de substrato no momento em que μ for $= \frac{1}{2}\mu_m$ ou que a $TCO = \frac{1}{2}TCO_{max}$. Esta determinação é feita da seguinte maneira (**Figura 4**):

- determina-se o momento em que a TCO exógena é metade da máxima ($TCO_{exógena\ max} / 2$);
- determina-se a integral da área hachurada que corresponde ao substrato residual, através da soma de trapézios;
- calcula-se, para as bactérias nitrificantes, a concentração do substrato cloreto de amônio e nitrito de sódio com a razão da área hachurada pelos coeficientes estequiométricos de oxigênio por mol do substrato considerado (amônia - 4,57 e nitrito - 1,14). Para as bactérias heterotróficas essa relação é de 1:1 com o oxigênio consumido.

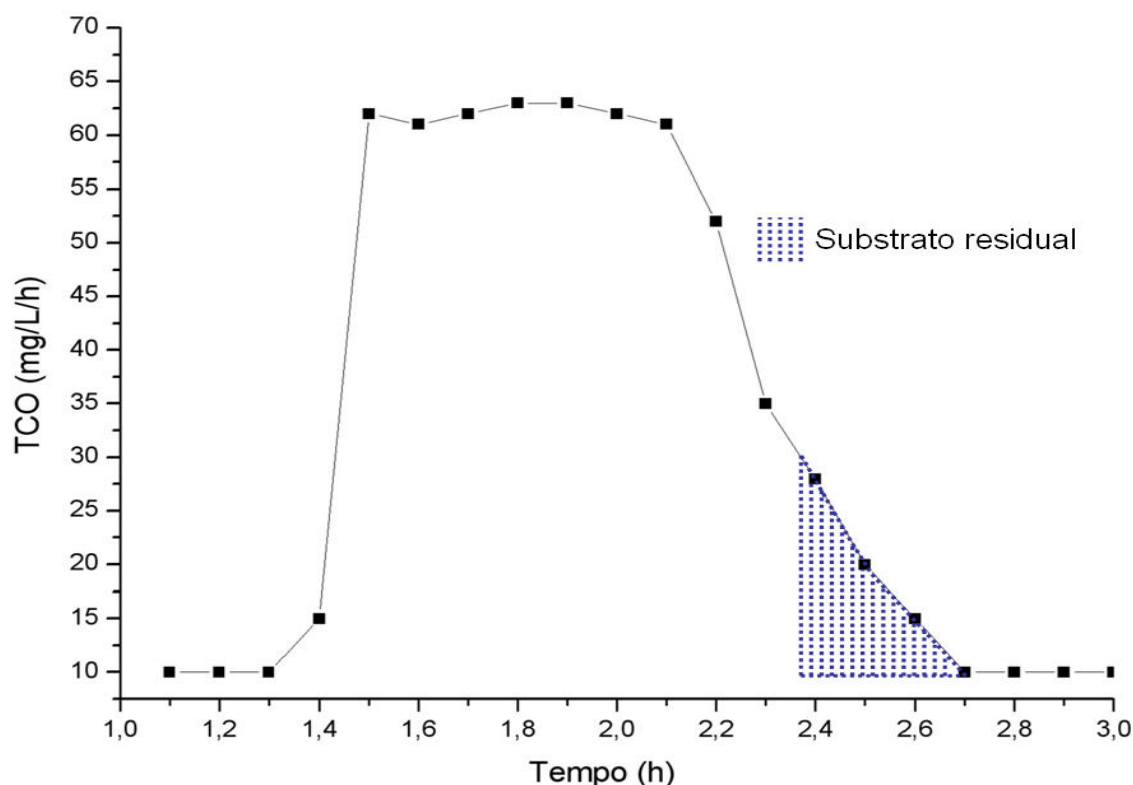


Figura 4: Determinação de K quando TCO_n e $TCO_h = TCO_{exo\ max} / 2$



RESULTADOS

Na **Tabela 2** estão os resultados das constantes específicas de crescimento para as bactérias autotróficas nitrificantes (BAN) e bactérias autotróficas nitrificadoras (BAn). Na **Tabela 3**, encontra-se o resultado da constante específica de crescimento para as bactérias heterotróficas. Essas constantes cinéticas foram obtidas dos testes respirométricos realizados ao longo de 10 meses de operação dos sistemas Bardenpho e UCT. Para os valores apresentados, foram realizadas 15 determinações ($n=15$) considerando as particularidades de operação de cada sistema (idades de lodo diferentes). Para cada parâmetro foi determinado seu valor máximo (Max), mínimo (Min), desvio padrão (DP), coeficiente de variação (CV) e amplitude total (At, sendo $At = Max - Min$).

Os Valores de μ_{max} encontrados para as bactérias autotróficas nitrificantes encontram-se dentro de uma faixa adequada, não sofrendo variações significativas em função da idade de lodo operada nem da configuração do sistema. Esses valores variaram entre 0,36 a 0,48 d^{-1} para as bactérias autotróficas nitrificantes (nitrificadoras + nitrificadoras) e entre 0,29 a 0,42 d^{-1} para as bactérias autotróficas nitrificadoras, sendo essas faixas próximas a faixa encontrada por diversos autores como Derks (2007) e van Haandel e van der Lubbe (2007), que relatam valores de 0,30 a 0,45 d^{-1} para as bactérias nitrificantes autotróficas e valores de 0,18 a 0,35 d^{-1} para as bactérias nitrificadoras.

Em relação ao μ_{max} para as BH (**Tabela 3**), foi possível observar que seu valor foi bastante diferente entre um sistema e outro (μ_{max} de 1,56 a 1,79 d^{-1} para o sistema Bardenpho e μ_{max} de 0,78 a 0,86 d^{-1} para o sistema UCT, respectivamente para cada sistema nas idades de lodo de 15 e 20 dias), sendo o sistema Bardenpho o que apresentou o maior valor médio nas duas idades de lodo. Para um mesmo sistema, variando apenas a idade de lodo, a variação entre os valores de μ_{max} não ultrapassou os 10% (9% para o sistema Bardenpho e 6% para o sistema UCT), o que mostra que para essa constante cinética, a operação nessa faixa de idade de lodo (entre 15 a 20 dias) não afeta significativamente seu valor.

A presença de um reator anaeróbio no sistema UCT pode ter sido o maior fator de redução da atividade metabólica das BH, visto que nesse reator grande parte do material solúvel biodegradável disponível no afluente vem a ser consumido por outras bactérias que não participam do processo aeróbio, competindo assim pelo substrato com as bactérias aeróbias estritas e facultativas. No sistema Bardenpho, tem-se um reator anóxico ao invés de um reator anaeróbio como sendo o primeiro da série de reatores, onde nessas condições, as bactérias desnitrificantes apresentam-se de forma facultativa em relação ao oxidante utilizando, se alimentando ora no reator aeróbio e ora no ambiente aeróbio, não havendo grandes competidores pelo substrato rapidamente disponível. Segundo Santos (2009), a presença de um reator anóxico com nitrato em concentração suficiente para a oxidação da matéria orgânica via desnitrificação, garante eficiência na remoção dessa matéria orgânica equivalente a um reator aeróbio de mesmas proporções, reduzindo assim a necessidade de oxigênio e garantindo um valor de μ_m satisfatório para as BH, visto que o reator anóxico não reduz o seu valor.

Tabela 2: Caracterização das constantes cinéticas das bactérias autotróficas nitrificantes (taxa específica de crescimento)

μ_m (d^{-1})	Bardenpho				UCT			
	$R_s = 20$		$R_s = 15$		$R_s = 20$		$R_s = 15$	
	BAN	BAn	BAN	BAn	BAN	BAn	BAN	BAn
Média	0,38	0,33	0,48	0,42	0,36	0,29	0,42	0,43
Max	0,45	0,43	0,62	0,57	0,52	0,47	0,56	0,63
Min	0,31	0,27	0,34	0,30	0,25	0,21	0,32	0,27
DP	0,04	0,04	0,09	0,10	0,08	0,08	0,07	0,10
CV (%)	10	13	20	23	21	26	16	24
At	0,15	0,16	0,28	0,27	0,27	0,26	0,24	0,36

BAN: Bactérias autotróficas nitrificantes (nitrificadoras + nitrificadoras)

BAn: Bactérias autotróficas nitrificadoras

**Tabela 3: Caracterização das constantes cinéticas das bactérias heterotróficas (taxa específica de crescimento)**

μ_m (d ⁻¹)	Bardenpho	UCT	Bardenpho	UCT
	R _S = 20 dias	R _S = 20 dias	R _S = 15 dias	R _S = 15 dias
Média	1,79	0,86	1,56	0,78
Max	2,52	1,55	2,12	1,97
Min	0,89	0,57	0,69	0,62
DP	0,54	0,32	0,43	0,56
CV (%)	30	37	27	71
At	1,63	0,98	1,43	1,35

Na **Tabela 4 e 5** encontram-se os valores das constantes de meia saturação determinados para cada grupo de bactéria estudado. Para as bactérias heterotróficas, foram obtidos valores inferiores a 10 mg/L, ou seja, apenas com valores de DQO menores do que 10 mg/L que é possível observar uma redução na taxa máxima de crescimento específico para essas bactérias. O mesmo foi observado para as bactérias autotróficas nitrificantes e para as bactérias autotróficas nitrificadoras, onde as constantes de meia saturação foram inferiores a 2 mg/L. Os valores baixo das constantes de meia saturação resultam em processos que não dependem significativamente de altas concentrações de substrato para trabalhar em taxa máxima, tendo mais relevância nessa taxa os aspectos operacionais e ambientais (temperatura, pH e oxigênio dissolvido).

Tabela 4: Caracterização das constantes cinéticas das bactérias autotróficas nitrificantes (constantes de meia saturação)

Ka e Kn	Bardenpho				UCT			
	R _S = 20		R _S = 15		R _S = 20		R _S = 15	
	Ka	Kn	Ka	Kn	Ka	Kn	Ka	Kn
Média	1,20	1,33	1,27	1,46	1,36	1,37	1,43	1,46
Max	1,70	2,10	1,70	1,90	1,72	1,75	1,71	1,90
Min	0,79	0,51	0,94	1,10	1,02	0,98	0,90	1,10
DP	0,22	0,54	0,22	0,23	0,19	0,22	0,22	0,23
CV (%)	19	41	17	16	14	16	15	16
At	0,91	1,59	0,76	0,80	0,70	0,77	0,81	0,80

Ka: Constante de meia saturação para amônia

Kn: Constante de meia saturação para nitrito

Tabela 5: Caracterização das constantes cinéticas das bactérias heterotróficas (constantes de meia saturação e de utilização do substrato)

Kms e Kss	Bardenpho		UCT		Bardenpho		UCT	
	R _S = 20		R _S = 20		R _S = 15		R _S = 15	
	Kms	Kss	Kms	Kss	Kms	Kss	Kms	Kss
Média	3,97	7,44	1,9	5,2	5,1	8,8	2,5	5,9
Max	7,5	9,5	3,4	11,8	9,4	10,1	3,6	11,3
Min	1,5	4,7	1,3	2,5	1,7	7,6	0,8	1,7
DP	1,9	1,6	0,7	3,3	2,1	1,2	1,1	4,6
CV (%)	47	21	36	63	41	13	44	77
At	6,0	4,8	2,1	9,3	7,7	2,5	2,8	9,6



CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

A configuração de sistema de lodo ativado UCT apresentou uma média da taxa de crescimento específica máxima para as BH, inferior à obtida para o sistema Bardenpho.

A presença de um reator anaeróbio recebendo o afluente (sistema UCT) reduziu o valor de μ_{\max} para as BH em comparação com a presença de um reator anóxico nas mesmas condições operacionais (sistema Bardenpho).

A remoção de material orgânico através dos sistemas apresentados pode sofrer influência negativa se não se considerar a desnitrificação, visto que apesar dos diferentes valores de μ_{\max} obtidos para ambos os sistemas, o percentual de remoção de matéria orgânica em termos de DQO foi semelhante para os dois sistemas.

Os baixos valores das constantes de meia saturação das bactérias heterotróficas e autotróficas nitrificantes garantem satisfatória eficiência de remoção de matéria orgânica e nitrogênio em taxa máxima de consumo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CATUNDA, S. Y.C.; DEEP, G. S.; VAN HAANDEL, A. C.; FREIRE, R. C. S. **Fast on-line measurement of the respiration rate in activated sludge systems**. Instrumentation and measurement technology conference Bruxelas, Bélgica, 4-6, 1996.
2. VAN HAANDEL, A. C. e MARAIS, G. (1999). **O comportamento do sistema de lodo ativado: teoria e aplicações para projetos e operações**. Campina Grande - PB: Epgraf.
3. SILVA FILHO, H. A. **Nitrificação em Sistemas de Lodo Ativado**. 2009. 134 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2009.
4. BORZANI, W et al. (2001). **Biotecnologia Industrial (v2) - Engenharia bioquímica**. São Paulo, Editora EDGARD BLUCHER, 1ª edição.
5. SANTOS, E. V. M. **Desnitrificação em sistemas de lodo ativado**. 2009. 114 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campina Grande, 2009.
6. VAN HAANDEL, A.C.; VAN DER LUBBE, J. (2007). **Handbook biological wastewater treatment, design and optimization of the activated sludge systems**. Quist Publishing. Leidschendam, Holland.
7. DERKS, Y. M. **Uso da respirometria para avaliar a influência de fatores operacionais e ambientais sobre a cinética de nitrificação**. 2007. 100 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2007.

AGRADECIMENTOS

Os autores são gratos às agências FINEP e CNPq pelo suporte financeiro como também à Cia de Água e Esgotos da Paraíba – CAGEPA pela cooperação.