

II-350 – INFLUÊNCIA DA SALINIDADE SOBRE O COMPORTAMENTO DO SISTEMA DE LODOS ATIVADOS – A EXPERIÊNCIA DA CETREL

José Gilson Santos Fernandes⁽¹⁾

Químico Industrial, Mestre em Engenharia Sanitária pela Universidade Federal da Paraíba – Engenheiro de Processo da Cetrel/ETE-Camaçari.

Eduardo P. da Cunha Lima

Químico Industrial, doutorando do Programa de Pós-Graduação de Engenharia Industrial da Universidade Federal da Bahia.

Demosthenes M. de Carvalho Filho

Químico Industrial, pela Universidade Federal da Bahia – Diretor de Produtos da Cetrel

Endereço⁽¹⁾: Via Atlântica, km 9 - Pólo Industrial - Camaçari - BA - CEP: 42810-000 – Brasil -Tel.:+55 (0**71) 3634-6888 – Fax: +55 (0**71) 3634-6949 - e-mail: fernandes@cetrel.com.br ou jgsfernandes@terra.com.br

RESUMO

Esse trabalho apresenta os resultados do estudo do efeito da salinidade sobre o desempenho do sistema de lodo ativado da ETE-Cetrel. Neste propósito, varias medidas respirométricas foram conduzidas para analisar a resposta da cinética das populações autotróficas e heterotróficas do lodo.

Um efeito significativo da salinidade foi observado, o sal interferindo no desempenho da ETE na remoção de amônia e DQO.

Primeiro bactérias autotróficas, responsáveis pela nitrificação da amônia, revelaram-se mais sensíveis do que as populações heterotróficas que metabolizam a DQO.

Até valores de salinidade de 12,5 g/L (22,01 mS/cm), o desempenho do sistema na remoção de amônia e DQO poderá ocorrer sem prejuízo das condições operacionais. Também foram calculadas Idades de Lodo (Rs) mínimas necessárias, em função da concentração de sais levando em consideração o efeito destes sobre o metabolismo. Para valores iguais ou superiores a 12,5 g/L de sal (condutividade de 22 mS/cm), a idade de lodo aplicada para operação terá que ser maior que 25 dias.

Enfim, o aumento da idade de lodo não poderá compensar a redução dos desempenhos de tratamento com salinidade acima de 36,5 g/L (55,11mS/cm), relacionado ao efeito tóxico do sal sobre a população autotrófica.

PALAVRAS-CHAVE: Salinidade, condutividade, respirometria, cinética bacteriana, idade de lodo, autotróficas e heterotróficas.

INTRODUÇÃO

Estudar o efeito da elevação da salinidade sobre o desempenho do sistema de lodos ativados da ETE da Cetrel. Nesse estudo será analisado o efeito dos sais sobre o metabolismo dos organismos autotróficos e heterotróficos. Também será avaliado o efeito do sal sobre a solubilidade e a transferência do oxigênio. Oportunamente será avaliada a influência da concentração do lodo sobre a eficiência da transferência do oxigênio.

O presente trabalho também tem como objetivo mostrar as aplicações da respirometria como uma ferramenta adequada para o controle e otimização de sistemas de lodos ativados.

MATERIAIS E METODOS

Salinidade

Para estudar o efeito da salinidade sobre o metabolismo biológico de substratos foram investigadas diferentes concentrações. Utilizou-se cloreto de sódio comercial de uso doméstico.

- As salinidades testadas para as bactérias autotróficas foram de 2-4-8-12-16-20-24-32 e 64 g/L;
- A salinidade testadas para as bactérias heterotróficas foram: 2-4-8-16-24-32-64-80 e 100 g/L.

Os lodos ativados da ETE da Cetrel já contêm concentrações de sais de 4,0 até 4,9 g/L e condutividades de 7,17 até 8,77 mS/cm. Assim, todos os valores que serão apresentados neste trabalho só consideram a salinidade adicional.

Valores de “condutividade total” constituem valores reais considerando o sal adicionado durante os testes e o sal já presente no licor misto (4,52 g/L ou 8,60 ms/cm).

Sabendo que a condutividade é um parâmetro predominantemente usado no contexto da operação para mensurar salinidade, adotou-se também este parâmetro para complementação do estudo. Mediante os valores experimentais foi encontrada uma relação linear entre a concentração de sais e a condutividade.

$$(Sal) = f(Cond) \Rightarrow y = 1,3795 \cdot x + 2,367 \quad (R^2 : 0,9983)$$

Respirometria

A capacidade metabólica do lodo pode ser avaliada convenientemente a partir da TCO depois da adição de um substrato específico. Sabe-se que no caso do material orgânico biodegradável, esse consumo é 1/3 da massa de substrato adicionado e metabolizado (Van Haandel and Marais 1999). Por outro lado os 2/3 que sobram são usados para a síntese de nova biomassa.

No caso do estudo da nitrificação e, considerando a relação estequiométrica do procedimento observe-se um consumo de oxigênio de 4.56 mg de O₂/mg N-NH₄ nitrificado.

Na Figura 1 observam-se os perfis de TCO após adições de dois substratos nesse estudo.

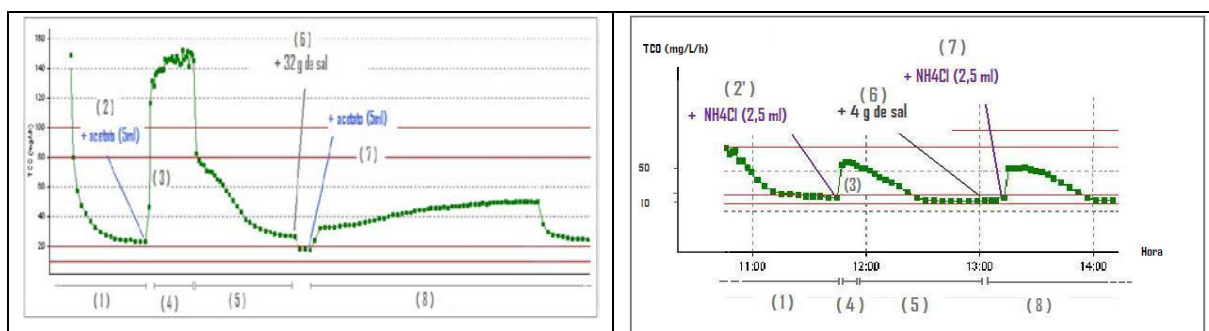


Figura.1: Perfil da TCO/tempo sobre a respiração heterotrófica e outotrófica.

Cinética para populações bacterianas

A fim de determinar a capacidade metabólica das bactérias (autotróficas e heterotróficas), primeiro deve-se estimar a concentrações destas. Usando-se a teoria básica de MARAIS AND EKAMA (1976), estas concentrações podem ser estimadas a partir dos dados operacionais no sistema que gerou o lodo, usando-se as seguintes expressões:

$$X_a = (S_b Y_h R_s) / ((1+bh R_s)Rh) \quad \text{equação 1}$$

$$X_n = (N_c Y_n R_s) / ((1+bn R_s)Rh) \quad \text{equação 2}$$

Onde:

bh: constante de decaimento = $1.24(1.04)^{(T-20)}$ (Van Haandel and Marais, 1999);
 bn: constante de decaimento das bactérias autotróficas (Nitrossomonas);
 Nc: concentração de amônia nitrificada no sistema (mg/l de N-NH₃);
 Rh: tempo de permanência hidráulica (1 dia);
 Rs: idade de lodo (25 dias pelos tanques 3 e 4);
 Sba: DQO biodegradável do afluente (mg DQO/l);
 T: Temperatura do sistema (29°C);
 Xa: concentração média do lodo heterotrófico (mgXa/l);
 Xn: concentração média do lodo autotrófico (Nitrossomonas) (mgXn/l);
 Yh: coeficiente de rendimento das bactérias heterotróficas (0.45mgSSV/mgDQO);
 Yn: coeficiente de rendimento das bactérias autotróficas (0.1mgXn/mgN nitrificado).

Constantes de crescimento específico máximo: μ_{mc} e μ_{mn}

Sabendo-se também que a equação de Monod prevê uma relação entre a taxa máxima de metabolização e o crescimento de lodo (quando o substrato não é limitante), as seguintes equações podem ser aplicadas:

$$r_{mc} = \mu_{mc} * X_a / Y_h = K_{mc} X_a \quad \text{equação 3}$$

e

$$r_{mn} = \mu_{mn} * X_n / Y_n = K_{mn} X_n \quad \text{equação 4}$$

Onde:

μ_{mc} : constante de crescimento específico máximo das bactérias heterotróficas (dia⁻¹);
 μ_{mn} : constante de crescimento específico máximo das bactérias autotróficas (dia⁻¹);
 K_{mc} : constante de utilização do material orgânico (mgDQO/mgXa/dia);
 K_{mn} : constante de utilização de amônia (mgN-NH₄/mgXn/dia);
 X_a : concentração média do lodo heterotrófico (mgXa/l);
 X_n : concentração média do lodo autotrófico (Nitrossomonas) (mgXn/l);
 Y_h : coeficiente de rendimento das bactérias heterotróficas (0.45mgSSV/mgDQO);
 Y_n : coeficiente de rendimento das bactérias autotróficas (0.1mgXn/mgN nitrificado).

A idade de lodo: R_{sn} e R_{sc}

Para avaliar a idade de lodo as equações abaixo foram utilizadas no trabalho.

$$R_{sn} = 1 / (\mu_{mn} - b_n) \quad \text{equação 5}$$

e

$$R_{sc} = 1 / (\mu_{mc} - b_h) \quad \text{equação 6}$$

Onde:

bh: constante de decaimento = $1.24(1.04)^{(T-20)}$ (Van Haandel and Marais, 1999);
 bn: constante de decaimento das bactérias autotróficas (Nitrossomonas);
 μ_{mc} : constante de crescimento específico máximo das bactérias heterotróficas (dia⁻¹);
 μ_{mn} : constante de crescimento específico máximo das bactérias autotróficas (dia⁻¹);
 R_{sc} : idade de lodo mínima para degradação do material orgânico (dia)
 R_{sn} : idade de lodo mínima para nitrificação (dia)

Testes estatísticos

A fim de avaliar a significância dos resultados obtidos da taxa de crescimento relativa das bactérias autotróficas e heterotróficas, foram aplicados:

- “ANOVA” (análise de significância das variâncias a 1 fator);
- “Teste de comparação múltipla” de Tukey.

Esses testes foram conduzidos com 31 e 32 repetições para os autotróficos e os heterotróficos respectivamente e um intervalo de confiança de 95 % ($\alpha = 0.05$).

As análises estatísticas foram aplicadas sobre o percentual da redução do valor de μ provocado pela adição de sal. Optou-se por trabalhar com o percentual da redução do μ para evitar efeitos de variações naturais do

experimento. Para identificar se as variações ocorreram por fatores não controlados ou se de fato as variações ocorreram pela influência do tratamento (adição de sal) foram realizados teste F e teste Tukey.

RESULTADOS

Taxas de crescimento específico (μ m)

Como se pode notar a salinidade mostrou um efeito significativo sobre a cinética bacteriana a partir de uma salinidade real de 12,5 g/L para as bactérias autotróficas e 20,5 g/L para as heterotróficas.

A figura 2 seguinte representa a evolução da porcentagem relativo de diminuição dos μ_{mn} e μ_{mc} em função da salinidade.

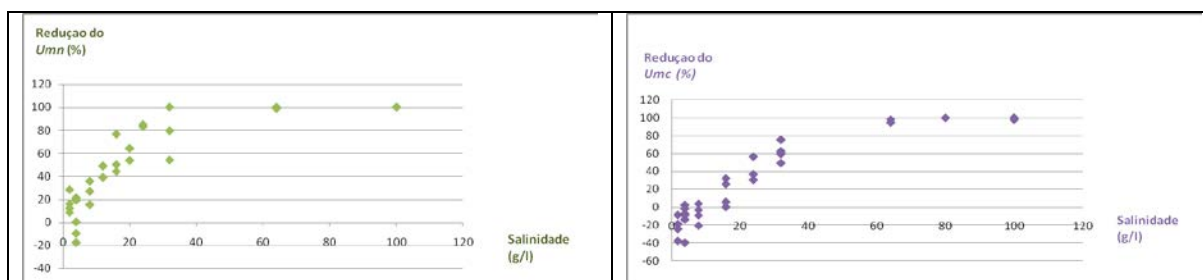


Figura. 2 : Redução relativa das μ_{mn} e da μ_{mc} em função da salinidade

Valores de decaimento das taxas metabólicas

A Figura 3 mostra a relação entre as taxas de crescimento específico e os aumentos dos valores de salinidade.

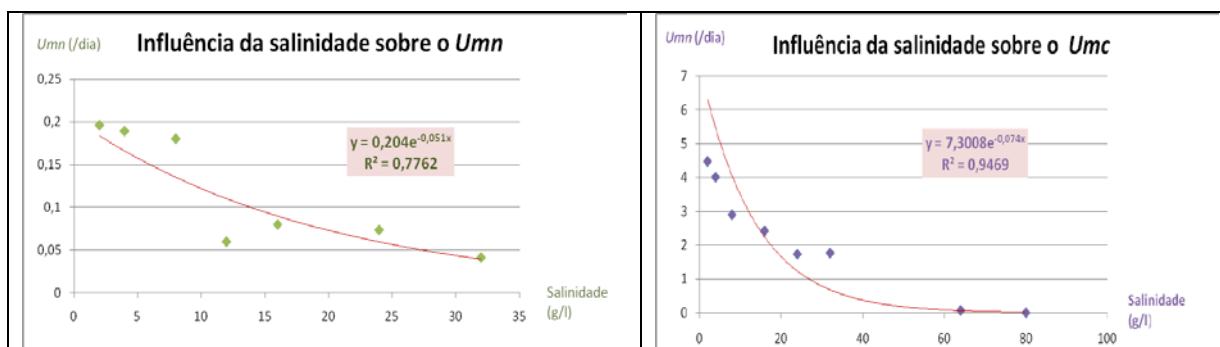


Figura 3 : Relação entre as taxas μ_{mn} e μ_{mc} (médias) em função da salinidade

Testes estatísticos

Resultados dos testes ANOVA

ANOVA conduzidas sobre μ_{mn} e μ_{mc} mostraram que nos dois casos, o tratamento pela salinidade tem uma influência significativa:

- μ_{mn} : $F_{\text{calculado}} = 30,271 > F_{\text{tabela}} = 2,442$; há então diferenças significativas causadas pelos tratamentos (salinidade);
- μ_{mc} : $F_{\text{calculado}} = 40,476 > F_{\text{tabela}} = 2,423$; tem-se também diferenças significativas.

Portanto, a elevação das concentrações do sal tem um efeito significativo de redução das taxas de crescimento específico máximo das populações autotróficas e heterotróficas.

Ao mesmo tempo, pode-se considerar que resultados por K_{mn} e K_{mc} também dão um efeito significativo da salinidade (equação 3 e 4).

Resultados dos testes de “comparação multiples de Tukey”

Com bactérias heterotróficas, nenhum efeito significativo foi constatado até concentrações de sais de 16 g/l (equivalente a uma condutividade real de 33,04 mS/cm), indicando que salinidades 2,4 e 8 g/l não têm efeito estatisticamente significativo sobre atividade metabólica das bactérias heterotróficas.

Constantes de utilização do material orgânico e de amônia (Km)

Os valores das constantes foram determinados com as equações 3 e 4. Gráficos apresentados abaixo foram construídos com os valores médios de Km encontrados para cada salinidade testada.

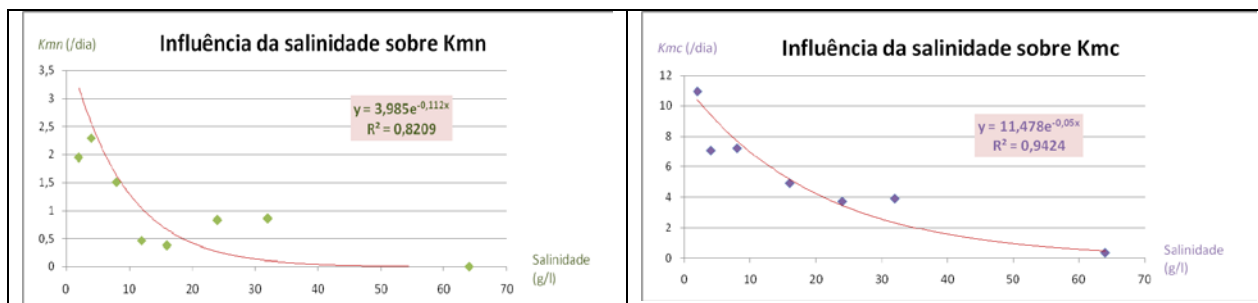


Figura 4 : relação do Km_n e Km_c em função da salinidade

Observa-se claramente aqui uma redução das constantes Km_n e Km_c com a elevação da salinidade no reator. Assim, mais as concentrações de sal aumentam, menores serão as massas de substratos metabolizados por unidade de massa de X, e por unidade de tempo.

Por exemplo, no caso da população heterotrófica, a massa de DQO metabolizada por unidade de tempo com 16 g/L de sal adicionado (salinidade real de 20,52 g/L, condutividade igual a 33,04 ms/cm) será duas vezes menor que com uma condutividade de 13,73 ms/cm (2 g/L de sal adicionado).

Com mesmas condições de condutividade, o Km_n caiu de 1,94 até 0,38 mgN/mgX_n/h.

As constantes μ_{mn} e μ_{mc} atestam a média do crescimento das bactérias. Considerando por outro lado, que Km representa a capacidade metabólica das bactérias mediante a ação das suas enzimas; a diminuição dos valores de Km com aumento da salinidade mostram uma redução da capacidade das bactérias de utilizarem amônia e acetato para fins metabólicos, seja anabolismo ou catabolismo.

Influências da salinidade sobre a Idade do lodo (Rs)

Os valores das idades de lodo foram determinados com as equações 5 e 6, pressupondo-se que a salinidade tenha pouca influência sobre o valor das constantes de decaimento b_h e b_n.

As diminuições das constantes cinéticas atestam redução das atividades biológicas nos reatores. A fim de compensar essa redução do desempenho metabólico no sistema, pode-se aumentar a idade de lodo (Rs).

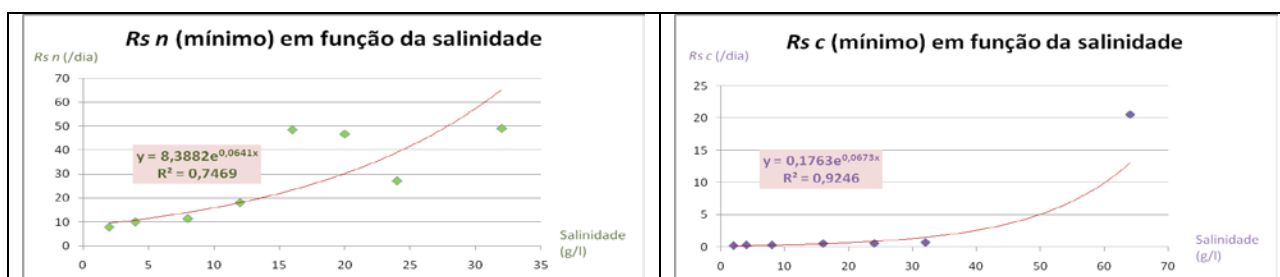


Figura 5 : evolução do Rs_n e Rs_c mínima em função da salinidade

CONCLUSÕES

1. A salinidade interfere no metabolismo de lodo ativado, todavia a salinidade no afluente da ETE (4,5 g/L) não tem efeito mensurável.
2. Para concentrações até 8,5 g/L de sais e condutividade de 16,5 mS/cm o sistema de lodo ativado atual da Cetrel poderá ser operado com estabilidade operacional na remoção de amônia e DQO.
3. Acima desses valores, o desempenho do sistema poderá ainda ser assegurado desde que ocorram ajustes na idade de lodo.
4. Para concentrações superiores ou iguais a 12,5 g/L de sais (condutividade acima de 22 mS/cm) o sistema de lodo ativado atual da Cetrel dificilmente apresentará processo estável de remoção da amônia.
5. Para concentrações acima de 36,5 g/L de sais e condutividade acima de 55 mS/cm, observar-se-á a morte da quase totalidade da população nitrificante.
6. Nessas condições (acima de 55 mS/cm) o sistema de lodo ativado da Cetrel também dificilmente apresentará processo estável de remoção da DQO.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANDREWS, J.F. and BUSBY J.R.; "Dynamic modeling and control strategies for the activated sludge process", Res.Rept., Department of Environmental Systems Engineering, Clemson University, South Carolina, U.S.A, 1973.
2. ECKENFELDER, W.W.JR.; "Berechnung einer Belebungsanlage zur Stickstoffelimination Institut für Siedlungswasserwirtschaft" (em alemã), vol. 50, Univ. de Braunschweig, pp.33-45, 1991.
3. MARAIS, G.V.R and EKAMA, G.A; "The activated sludge process: Steady state behaviour"; Water Science & Technology., vol.2, n°4, pp. 163-200, 1976.
4. VAN HAANDEL, A.C. and MARAIS, G.V.R.; "Nitrification and denitrification kinetics in the activated sludge process", Res. Rep. n°W41, Dep. Civ. Eng., University of CapeTown, South Africa, 1981.