

REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:
Investigación, desarrollo y práctica.

CARACTERIZAÇÃO DO LODO AUTOTRÓFICO DE SISTEMAS DE LODO ATIVADO GERADO A PARTIR DE DIFERENTES SUBSTRATOS

*Alice Rocha de Souza¹
Adrianus Cornelius van Haandel²
Paula Frassinetti Feitosa Cavalcanti²

*CHARACTERIZATION OF AUTOTROPHIC SLUDGE IN
ACTIVATED SLUDGE SYSTEMS GENERATED FROM
DIFFERENT SUBSTRATES*

Recibido el 8 de mayo de 2014; Aceptado el 11 de diciembre de 2014

Abstract

The association of anaerobic pre-treatment, for example in a UASB reactor with activated sludge systems has been an object of several studies and has been applied in practice of waste water treatment systems. Activated sludge systems with different substrates (for example raw or digested sewage) tend to produce sludges with different mechanical and biological characteristics. In order to evaluate the characteristics of the autotrophic fraction of sludge generated from different substrates an experimental investigation was carried out, where three activated sludge systems of the sequencing batch reactor (SBR) type, were operated with raw sewage, digested sewage and ammonium solution as substrates. The systems were evaluated with respect to the suspended solids, organic material and ammonium, settleability and activity of the sludges. The Volumetric Sludge Index (VSI) and the Oxygen Uptake Rate (OUR) were used for the assessment of the mechanical and biological characteristics. The obtained results during the experimental investigation showed that the systems were equally efficient in the removal of organic material and suspended solids with efficiencies of 83% for COD and 91% for TSS. The settleability of the sludge was considered good and median for systems fed with raw sewage and digested sewage, respectively. However, the autotrophic sludge did not exhibit high biological activity having values of the specific growth rate constant for *Nitrosomonas* (μ_m) in the range of 0.31 d⁻¹ and 0.21 d⁻¹ respectively for systems fed with raw sewage and ammonium substrate and, whereas no activity was detected in the system fed with digested sewage.

Key Words: wastewater treatment, activated sludge, respirometry, sludge autotrophic.

¹ Instituto Federal do Tocantins, Universidade Federal do Ceará, Brasil

² Universidade Federal de Campina Grande, Brasil

*Autor correspondente: Rua Ipê, nº 205, Cond. Vale dos Ipês, Torre 1, aptº 205. São Gerardo, Fortaleza, CE, CEP: 60320-040, Brasil.
Email: alicesouza@hotmail.com

Resumo

A associação de pré-tratamento anaeróbio, por exemplo reator UASB, a sistemas de lodo ativado tem sido objeto de estudos e vem sendo aplicada no tratamento de águas residuárias. No entanto, sistemas de lodo ativado alimentados com diferentes substratos, por exemplo esgoto bruto ou digerido, podem gerar lodo biológico com características mecânicas e biológicas também diferentes. A fim de avaliar as características do lodo autotrófico gerado a partir de diferentes substratos, foi realizada uma investigação experimental, onde foram operados três sistemas de lodo ativado do tipo RBS, alimentados com esgoto bruto, esgoto digerido e substrato amoniacal. O desempenho dos sistemas foi avaliado quanto a remoção de sólidos suspensos, material orgânico e nitrogenado, sedimentabilidade e atividade biológica do lodo. Para avaliação das características mecânicas e biológicas do lodo foram utilizados o Índice Volumétrico de Lodo (IVL) e a Taxa de Consumo de Oxigênio (TCO). Os resultados mostraram que os três sistemas foram igualmente eficientes na remoção de matéria orgânica (DQO) e sólidos suspensos (SST), com remoção mínima de DQO de 83% e 91% de SST. A sedimentabilidade do lodo foi considerada boa e mediana para os sistemas alimentados com esgoto bruto e esgoto digerido, respectivamente. No entanto, o lodo autotrófico gerado nos três sistemas de lodo ativado não apresentaram boa atividade biológica, com valores da taxa máxima de crescimento específico das *Nitrossomonas* (μm) de 0.31 dia^{-1} e 0.21 dia^{-1} respectivamente para os sistemas alimentados com esgoto bruto e com substrato amoniacal e, ausência de nitrificação no sistema alimentado com esgoto digerido.

Palavras chave: tratamento de esgoto; lodo ativado; respirometria; lodo autotrófico.

Introdução

O tratamento de esgotos domésticos tem sido uma das principais preocupações do setor de saneamento. O lançamento indiscriminado de esgotos brutos ou parcialmente tratados nos corpos d'água superficiais pode causar sérios problemas de natureza ambiental ou ecológica, reduzindo a vida aquática e provocando riscos à saúde pública.

O avanço tecnológico na área de engenharia e áreas afins tem contribuído para a diversidade de alternativas para o tratamento de esgotos domésticos. Para avaliar qual o tratamento mais adequado, deve-se analisar criteriosamente um processo que se adapta às condições locais e aos objetivos propostos.

Os sistemas aeróbios têm sido referenciados, atualmente, como os principais sistemas utilizados tanto para o tratamento de esgotos domésticos quanto para esgotos industriais, face a boa qualidade de seus efluentes, uma vez que removem significativamente sólidos em suspensão, material orgânico e ainda há a alternativa de remoção de nutrientes. No entanto, os custos de implantação e operação desses sistemas são onerosos, limitando sua aplicação, principalmente em regiões subdesenvolvidas.

Os sistemas de lodo ativado em bateladas sequenciais (sistemas RBS) incorporam todas as unidades normalmente necessárias em um processo convencional (decantador, tanque de aeração e decantador secundário) em apenas um reator. O sistema RBS se apresenta como uma

alternativa atrativa ao sistema de lodo ativado convencional, devido a sua facilidade de operação, flexibilidade de tratamento e grau de tratamento desejado.

Os sistemas combinados anaeróbio/aeróbio podem ser uma alternativa técnica e econômica para o tratamento de esgotos domésticos, porque reúnem as vantagens de ambos os sistemas e minimizam, por outro lado, as desvantagens de cada um deles. Várias são as combinações de sistemas anaeróbio/aeróbio em estudo, principalmente se tendo o reator UASB com pré-tratamento anaeróbio.

O reator UASB (upflow anaerobic sludge blanket), atualmente vem se destacando no tratamento de esgotos domésticos, porque operam com curto tempo de detenção hidráulica, removendo eficientemente parte da matéria orgânica. Além disso, reatores do tipo UASB, ocupam pequenas áreas, apresentam baixa produção de lodo e não necessitam de energia externa e equipamentos mecânicos. Tais sistemas quando combinados com sistemas aeróbios levam a uma redução significativa de consumo de energia para a aeração, já que reduzem a carga orgânica afluyente aos reatores aerados.

No sistema de lodo ativado o oxigênio pode ser usado para oxidação de material orgânico e para nitrificação. A taxa de consumo de oxigênio (TCO) representa a velocidade com que as bactérias consomem o oxigênio dissolvido para degradação da matéria orgânica, em um determinado reator por unidade de volume e por unidade de tempo (van Haandel e Catunda, 1982). A TCO total é a soma de consumo de oxigênio durante a oxidação da material orgânico e do material nitrogenado.

A respirometria é um processo aplicado em sistema de tratamento aeróbio para avaliar a velocidade do consumo de oxigênio e a atividade metabólica dos microrganismos. Essa técnica vem sendo utilizada por muitos pesquisadores no tratamento de águas residuárias para determinar as constantes cinéticas (Dold. *et al.*, 1980). O teste pode ser realizado em pequena escala e os valores da TCO em função do tempo possibilitam a determinação das principais constantes cinéticas relativas à capacidade metabólica e ao decaimento do lodo autotrófico.

No presente trabalho são apresentados e discutidos os resultados obtidos numa investigação experimental, executada em escala-piloto, na qual foram operados três sistemas de lodo ativado do tipo reatores em bateladas sequenciais (RBS), alimentados com três diferentes substratos: esgoto bruto, esgoto digerido proveniente de um reator UASB e cloreto de amônia. A operação desses três sistemas teve como objetivo verificar se diferentes substratos levam à formação de lodo autotrófico com características mecânicas e biológicas diferentes. Contudo, foi possível avaliar o desempenho, em termos de remoção do material orgânico e nitrogenado, avaliar a atividade metabólica das bactérias autotróficas formadas a partir de diferentes substratos e ainda, avaliar a sedimentabilidade dos lodos gerados.

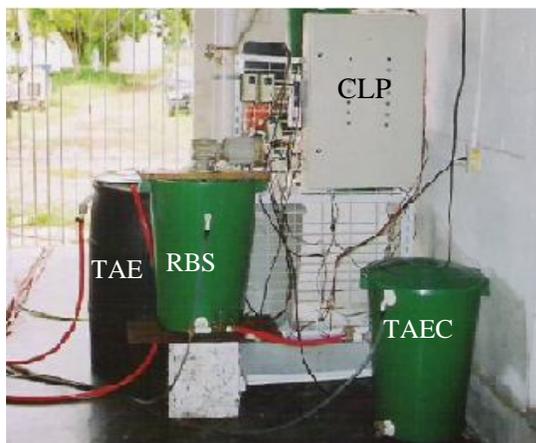
Materiais e métodos

A investigação experimental foi realizada nas instalações do Programa de Saneamento Básico (PROSAB) da Universidade Federal de Campina Grande – PB em duas fases distintas: na primeira fase, março a novembro, foram operados dois sistemas de lodo ativado, alimentados em bateladas sequenciais, denominados de sistema RBS e sistema UASB-RBS, sendo que o primeiro era do tipo convencional, alimentado com esgoto bruto e com volume útil de 60 litros, o segundo era um sistema combinado, alimentado com esgoto digerido proveniente de um reator anaeróbio do tipo UASB, ambos com um volume útil 20 litros. A segunda fase compreendeu a operação de um terceiro sistema de lodo ativado, também alimentado em bateladas sequenciais, denominado RBS-SA, tendo como substrato cloreto de amônia e com um volumen útil de 20 litros. Esse sistema foi operado durante os meses de julho a novembro, devido à constante variação dos dados obtidos nos sistemas de lodo ativado alimentados com esgoto bruto e esgoto digerido.

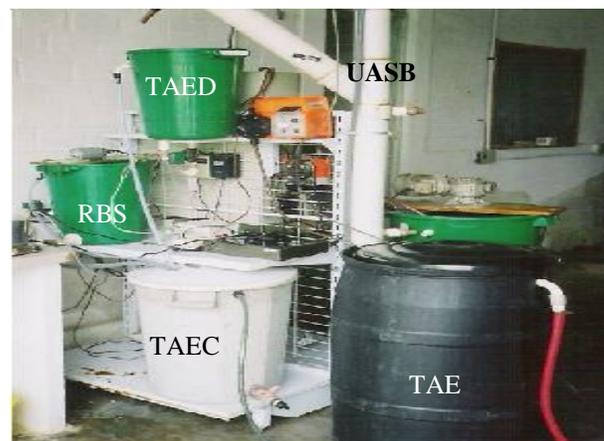
O reator UASB operava continuamente com uma vazão afluente de 120 L/dia e tempo de detenção hidráulica (TDH) de 4 horas. A operação dos RBS era automatizada por um Controlador Lógico Programável (CLP) que realizava o controle das fases de operação: alimentação, aeração, sedimentação e descarga dos efluentes de cada um dos RBS. Durante os meses de março a julho os tempos de cada fase de operação correspondiam a: 12 minutos para alimentação, 60 minutos para aeração/agitação, 60 minutos para sedimentação e 12 minutos para descarga dos efluentes. Para os meses de julho a novembro, os tempos de cada fase foram modificados, visando melhorar o desempenho dos sistemas, para: 12 minutos para alimentação, 94 minutos para aeração/agitação, 30 minutos para sedimentação e 8 minutos para descarga dos efluentes. No total eram 10 bateladas, correspondendo a 10 ciclos diários de operação. Em caso de falta de energia elétrica, o CLP foi programado para reiniciar o ciclo na fase de alimentação. A única operação não controlada pela CLP era o descarte do lodo de excesso. Como não havia decantador após os reatores, as fases alimentação, aeração e agitação, sedimentação e descarga dos efluentes eram realizadas em um único reator.

Os sistemas RBS e UASB-RBS recebiam diariamente uma vazão de 120 litros, distribuídos em 10 bateladas de 12 litros e idade de lodo de 10 e 20 dias, respectivamente. Já o sistema RBS-SA era alimentado com uma vazão diária de 80 litros, distribuídos em 10 bateladas de 8 litros e idade de lodo de 20 dias. Durante os meses de julho, agosto e setembro o sistema RBS-SA foi alimentado com um substrato amoniacal formado por uma mistura de 80 litros de efluente do RBS e 20g de NH_4HCO_3 . Já durante os meses de outubro e novembro o substrato amoniacal era formado da mistura de 60 litros de água, 20 litros de efluente de um sistema de lodo ativado alimentado continuamente, 20g de NH_4Cl e 50g NaHCO_3 para aumentar a alcalinidade.

As Figuras 1 (a e b) e 2 são fotos dos sistemas operados, destacando-se o tanque de armazenamento de esgoto bruto (TAE) e esgoto digerido (TAED), o reator UASB, os reatores RBS, os tanques de armazenamento dos efluentes clarificados (TAEC). Destaca-se, ainda nessas figuras a unidade de automação da operação dos reatores RBS, o Controlador Lógico Programável (CLP), desenvolvido no Departamento de Engenharia Elétrica da UFCG.



(a)



(b)

Figura 1. Sistemas (a) RBS e (b) UASB-RBS destacando-se os tanques de armazenamento de esgoto bruto (TAE) do efluente clarificado (TAEC), os reatores RBS, o reator UASB e o Controlador Lógico Programável (CLP)



Figura 2. Sistema RBS com tanque de armazenamento de substrato amoniacal (TASA), reator RBS e o tanque de armazenamento do efluente clarificado (TAEC)

Os parâmetros analisados para avaliação do desempenho dos sistemas foram: pH, Alcalinidade Total, Sólidos Suspensos Totais (SST), Demanda Química de Oxigênio (DQO), Nitrogênio Total Kjeldhal (NTK), Nitrogênio Amoniacal (N-NH₃), Nitrito (N-NO₂⁻) e Nitrato (NO₃⁻) e Índice Volumétrico de Lodo (IVL₃₀) (AWWA/APA/WEF, 1995). O lodo (licor misto) obtido dos descartes diários era utilizado para fazer os testes respirométricos e sedimentabilidade.

Os testes respirométricos foram determinados de forma semi-contínua, por um respirômetro do tipo Beluga, desenvolvido na UFPB. Foram utilizados valores de referência de concentração de oxigênio (OD) mínima e máxima de 1.0 mg/L e 3.0 mg/L respectivamente para o sistema RBS e de 2.0 mg/L e 3.0 mg/L para o sistema RBS-SA. Um software calculava a taxa de consumo de oxigênio (TCO) e armazenava os dados de TCO, OD e temperatura em planilhas do programa Excel para a produção de respirogramas. Durante os testes, inicialmente era determinado a capacidade máxima de nitrificação do lodo dos reatores de bancada (1 litro de licor misto), através da TCO máxima (TCO_{máx}) e da TCO endógena (TCO_{end}). A TCO_{máx} era considerada depois da adição do substrato, cloreto de amônio (NH₄Cl), para ser utilizado pelas bactérias autotróficas *Nitrossomonas* e a TCO_{end} era obtida na ausência de substrato. O procedimento adotado foi o seguinte: calibrava-se o respirômetro para uma concentração de OD de acordo com a temperatura ambiente, 1 litro do licor misto do RBS era coletado no início da aeração e transferido para o reator de bancada (becker de um litro) e nele estavam inseridos: um agitador magnético, um aerador de aquário e um eletrodo de oxigênio dissolvido para que o lodo ficasse em suspensão, todos conectados ao respirômetro. Ao atingir a TCO_{end}, eram coletados 50 ml da amostra em análise para determinar a concentração de amônia, a fim de confirmar que não havia mais amônia presente na amostra. Logo em seguida, era adicionado 10 mg N-NH₄/L e 20 mg N-NH₄/L como NH₄Cl nas amostras dos sistemas RBS e RBS-SA, respectivamente para atingir a TCO_{máx} de nitrificação no lodo, em seguida aguardava-se novamente chegar a TCO_{end}. Durante todo o procedimento, verificava-se o pH da amostra para avaliar se o ambiente estava adequado para o desenvolvimento da atividade das bactérias nitrificantes.

Na amostra do sistema RBS-SA, para elevar a alcalinidade, eram adicionados 200 mg de NaHCO₃ no início do teste e 500mg de NaHCO₃ antes de adicionar o substrato amoniacal para assegurar um ambiente favorável às bactérias nitrificantes até o término da oxidação da amônia presente no meio ou o substrato amoniacal adicionado.

Para se determinar a sedimentabilidade do lodo, adotou-se o Índice Volumétrico de Lodo (IVL) que representa o volume ocupado, após 30 minutos de sedimentação, por 1 grama de sólidos suspensos totais. O procedimento adotado foi o seguinte: coletava-se 1 litro do licor misto (lodo em suspensão) na fase de aeração dos sistemas RBS, deixava-se decantar por 30 minutos numa proveta transparente e graduada, anotava-se o volume dos sólidos sedimentados, descartava-se o sobrenadante e determinava-se os sólidos suspensos do lodo sedimentado.

Resultados e discussão

Desempenho dos sistemas

A Tabela 1 apresenta as médias, os valores máximo e mínimo e o desvio padrão dos dos parâmetros analisados durante a investigação experimental, que permitem avaliar e comparar o desempenho dos sistemas de lodo ativado RBS, UASB-RBS e RBS-SA.

Tabela 1. Valores médios, máximos, mínimos e desvio padrão dos resultados das análises de laboratoriais obtidas durante a operação dos sistemas RBS, UASB-RBS e RBS-SA

Parâmetros		Sistema RBS		Sistema UASB-RBS		Sistema RBS-SA	
		Esgoto bruto	Efluente RBS	Efluente UASB	Efl.UASB-RBS	Substrato amoniacal	Efluente RBS-SA
pH	Média	7.16	7.60	7.42	7.73	7.74	7.41
	Máximo	7.31	7.72	7.53	7.85	7.78	7.72
	Mínimo	6.96	7.39	7.29	7.59	7.72	7.04
Alc. Total (mg/L)	Média	326	239	391	349	353	166
	Máximo	359	330	426	379	440	271
	Mínimo	280	140	365	306	237	109
SST (mg/L)	Média	153	12	23	13	7	6
	Máximo	212	26	31	19	9	13
	Mínimo	92	5	19	10	6	4
DQO (mg/L)	Média	471	70	135	77	-	-
	Máximo	634	102	184	118	-	-
	Mínimo	280	41	94	54	-	-
NTK (mg/L)	Média	45	21	42	39	57	28
	Máximo	53	33	48	48	66	34
	Mínimo	37	5	35	31	48	22
N-NH ₃ (mgN/L)	Média	37	20	38	37	56	32
	Máximo	46	30	44	44	66	42
	Mínimo	28	3	33	31	48	25
N-NO ₃ (mgN/L)	Média	0.53	1.13	0.50	0.80	5.13	29
	Máximo	0.76	4.17	0.64	1.78	8.61	43
	Mínimo	0.29	0.37	0.32	0.31	1.10	18
N-NO ₂ (mgN/L)	Média	0.025	3.33	0.04	0.06	2.00	8
	Máximo	0.03	6.43	0.06	0.07	3.06	16
	Mínimo	0.02	0.75	0.02	0.04	1.09	5

Para avaliar a remoção de matéria orgânica e sólidos em suspensão foram analisados os parâmetros de SST e DQO e a alcalinidade e as frações de nitrogênio para caracterizar o processo de nitrificação. Com relação aos SST (Tabela 1) os sistemas RBS e UASB-RBS

apresentaram uma remoção média de 92% e 91%, respectivamente, sendo que para o sistema UASB-RBS havia uma remoção de 84% no reator UASB. Esses resultados mostram que ambos foram eficientes, uma vez que valores de eficiência nessa ordem são obtidos em sistema de lodo ativado bem operados. O sistema RBS-SA apresentou valores baixos de SST, uma vez que o sistema tratava um meio de cultura com substrato amoniacal, gerando apenas lodo autotrófico e este não gerou lodo em abundância. Quanto a DQO, devido as constantes e intensas chuvas durante a investigação experimental o esgoto bruto apresentou variações importantes com médias mensais entre 280 e 634 mg/L. Embora alimentados com cargas bastante variáveis os sistemas apresentaram boa remoção de matéria orgânica na ordem de 85% para o RBS e 83% para o UASB-RBS, sendo 70% da remoção ocorrida no reator UASB.

Observa-se ainda na Tabela 1, que as concentrações de NTK e NH_3 no efluente do sistema UASB-RBS foram superiores ao do sistema RBS. Com relação ao sistema RBS-SA, apesar do efluente apresentar concentrações relevantes de NTK e NH_3 , o sistema apresentou valores médios mensais de NO_3^- e NO_2^- em seu efluente com variações entre 18 e 43 mg/L e 5 e 16 mg/L, respectivamente.

Os valores numéricos das concentrações de nitrito e nitrato (Tabela 1) nos efluentes dos três sistemas, indicam que as reações bioquímicas de nitrificação não se desenvolveram como era esperado. O sistema RBS, durante os meses de agosto a novembro, depois da modificação nos três sistemas do tempo de aeração que foi aumentado de 60 para 94 minutos e o de decantação que foi diminuído de 60 para 30 minutos, apresentou indícios de nitrificação: eficiência média de remoção de NTK e NH_3 de 66% e 70%, respectivamente, chegando a uma eficiência média de 90% e 93% de remoção de NTK e NH_3 durante o mês de novembro. Para tal redução, esperava-se encontrar uma concentração maior que a encontrada de nitrito e/ou nitrato no efluente.

Tendo em vista que o sistema RBS apresentou indícios de desenvolvimento de nitrificação em vários períodos da investigação experimental, realizou-se no mês de novembro um estudo analítico durante as fases de enchimento, início, meio e fim da aeração e fim da sedimentação (efluente tratado), a fim de identificar as causas de tantas variações no sistema, quanto ao processo de nitrificação. Os parâmetros analisados foram: N-NH_3 , N-NO_3^- e N-NO_2^- e na Tabela 2 estão contidos os resultados obtidos.

Observa-se na Tabela 2 que houve remoção de NH_3 com uma eficiência média de aproximadamente 90%. Quanto aos valores de NO_3^- e NO_2^- estes foram baixos em todas as fases, com valores médios entre 0.42 e 0.64 mg/L e as concentrações de NO_2^- eram maiores que as de NO_3^- como vinha ocorrendo ao longo da pesquisa com valores médios entre 3.43 e 7.03 mg/L.

Tabela 2. Valores médios dos resultados das análises de N-NH₃, N-NO₃⁻ e N-NO₂⁻ na fase líquida do licor misto do reator RBS durante a aeração e após a sedimentação

Parâmetros	Unidade	SISTEMA RBS				
		Esgoto bruto	Início da aeração	Meio da aeração	Fim da aeração	Fim da sedimentação
N-NH ₃	mg/L	45	17	14	8	5
N-NO ₃ ⁻	mg/L	-	0.42	0.51	0.63	0.64
N-NO ₂ ⁻	mg/L	-	3.58	3.40	6.29	7.03

As variáveis que podem influenciar no processo de nitrificação segundo vários pesquisadores são: pH, temperatura, baixas concentrações de OD, idade de lodo e a presença de substâncias tóxicas ou inibidoras. O sistema operou sob condições ideais de pH (próximo à neutralidade), temperatura ($\pm 26^{\circ}\text{C}$), oxigênio dissolvido ($4.0 > \text{OD} < 6.0$) e idade de lodo (10 dias). Provavelmente o que influenciou negativamente no processo de nitrificação foi a perda de NH₃, pois havia indícios de desprendimento significativo durante a aeração. Embora esse mecanismo não seja significativo na faixa de pH entre 7 e 8, outros fatores, tais como grau de turbulência e configuração física (área superficial superior à área do fundo e pequena profundidade), como é o caso desse sistema, podem contribuir para seu maior efeito. Este fenômeno só era possível porque a concentração de NH₃ não era baixa como teria sido caso a nitrificação tivesse ocorrido eficientemente. Outro possível fator de contribuição para a baixa concentração de NO₃⁻ e NO₂⁻ no efluente do sistema RBS, seria a ocorrência de desnitrificação durante o período de sedimentação. No entanto, amostras coletadas durante o intervalo de aeração e sedimentação (Tabela 2) não apresentaram redução significativa de NO₃⁻ e NO₂⁻, de modo que esta hipótese pode ser excluída.

No sistema UASB-RBS não houve nitrificação, o que pode ter sido influenciado por vários fatores. Na literatura sobre o tratamento de efluentes anaeróbios, existe uma grande variedade de opiniões sobre as razões que dificultam o processo de nitrificação em sistemas anaeróbio/aeróbio. Os efluentes anaeróbios apresentam a relação DQO/N muito baixa por que esses sistemas removem bem material orgânico, porém não removem significativamente nitrogênio. Mesmo quando essa relação é equilibrada, os fatores ambientais inadequados também podem dificultar a nitrificação. Alguns pesquisadores abordam a possibilidade dos subprodutos da digestão anaeróbia inibirem o processo de nitrificação, mas ainda existem controvérsias sobre o assunto. Em estudos realizados por Eillersen *et al.* (1994) e Eillersen *et al.* (1995) sobre o efeito inibitório dos ácidos graxos voláteis e da trimetilamina sobre a nitrificação em sistemas de lodo ativado, mostram que esses compostos inibem a nitrificação, porém outros pesquisadores têm opiniões contrárias. Outra substância importante a ser questionada é o sulfeto de hidrogênio presente no efluente do UASB, que por sua vez pode inibir o processo de nitrificação. Em estudos realizados por Guimarães (2003) sobre o efeito do sulfeto sobre as bactérias nitrificantes em sistemas de lodo ativado em bateladas sequenciais, através de testes

respirométricos realizados com 1, 2, 6 e 10 mgS/L, mostram que em concentrações acima de 2 mg/L o sulfeto já atuou como inibidor da atividade das bactérias nitrificantes e quanto maior a concentração de sulfeto testada, maior o efeito inibidor, com percentuais de inibição de 20% e 57% para concentrações 2 e 6 mg/L, respectivamente e, total ausência da atividade dessas bactérias com concentrações de 10 mg/L. Quanto as variáveis pH, temperatura, idade de lodo e concentrações de oxigênio dissolvido o sistema operava sob condições ideais, com pH próximo a neutralidade, temperatura média de 26°C, idade de lodo de 20 dias e oxigênio dissolvido entre 3.0 >OD< 4.5.

Com relação ao sistema RBS-SA observou-se o desenvolvimento do processo de nitrificação, embora só tenha ocorrido uma eficiência média de remoção de NTK e NH₃ de apenas 50% e 45%, respectivamente. Esperava-se uma remoção maior dessas variáveis, porém como descrito no teste respirométrico as bactérias autotróficas consumiam a amônia presente em aproximadamente 5 horas, isso justifica a baixa eficiência uma vez que a atividade metabólica das bactérias era baixa para a quantidade de amônia no meio. Apesar de baixa eficiência, o sistema RBS-SA foi o que apresentou melhor desempenho no processo de nitrificação.

Teste da atividade do lodo autotrófico

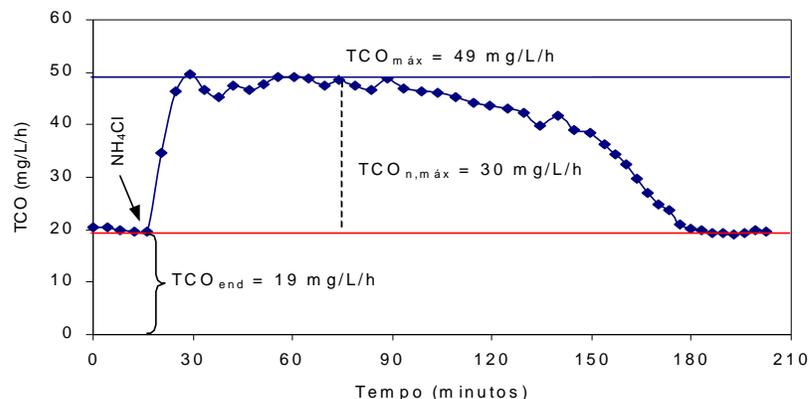


Figura 3. Variação da TCO após a adição de substrato nitrogenado (cloreto de amônia) em amostra do licor misto do sistema RBS

A Figura 3 mostra um perfil da TCO obtida em um teste realizado no lodo proveniente do sistema RBS, no período que o sistema apresentava desenvolvimento de nitrificação (novembro). Observa-se que a TCO obtida representa bem a taxa de consumo de oxigênio para nitrificação e para respiração dos microrganismos, uma vez que todo o substrato adicionado (10 mgN/L como cloreto de amônia) foi consumido pelas bactérias autotróficas, sendo: $TCO = TCO_{end} + TCO_n$.

A Figura 4 é a representação de um outro respirograma relativo à atividade das bactérias autotróficas do sistema RBS-SA. Observa-se, nessa figura, que as bactérias autotróficas consumiram o substrato nitrogenado adicionado na amostra (cloreto de amônia) obtendo uma TCO associada a nitrificação de 40 mg/L.

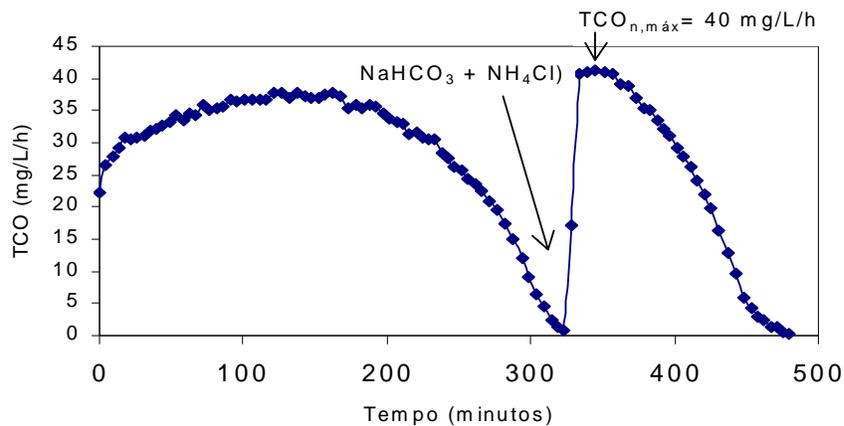


Figura 4. Variação da TCO após a adição do substrato nitrogenado (cloreto de amônia) em amostra do licor misto do sistema RBS-SA

Os testes respirométricos demonstraram que o consumo de oxigênio presente nas amostras de lodo eram compatíveis com a massa de substratos adicionados. Nos testes do sistema RBS, onde se adicionava 10mgN como NH_4Cl , determinava-se um consumo de oxigênio de aproximadamente 45.3 mgO_2/L . Esse resultado está bem próximo ao do consumo teórico de $10 \times 4.57 = 45.7 \text{ mgO}_2/\text{L}$, uma vez que para cada miligrama de nitrogênio oxidado, 4.57 mg de oxigênio são consumidos. A pequena diferença entre o consumo teórico e experimental provavelmente se devem a pequenos desvios nos testes experimentais e determinação da TCO. Quanto ao lodo aeróbio do sistema UASB-RBS não foi possível obter resultados da atividade metabólica das bactérias autotróficas, uma vez que o sistema não obteve nitrificação.

A Tabela 3 apresenta a $\text{TCO}_{\text{máx}}$ alcançada para oxidação do substrato nitrogenado adicionado, bem como a concentração das *Nitrosomonas*, a taxa máxima de nitrificação e de crescimento específico das *Nitrosomonas* dos testes respirométricos dos sistemas RBS (Figura 3) e RBS-SA (Figura 4.).

Tabela 3. Resultados da $TCO_{n,máx}$, da concentração de amônia nitrificada (N_c), da concentração de *Nitrossomonas* (X_n), da taxa de máxima de nitrificação ($rn_{máx}$) e da taxa máxima de crescimento específico das *Nitrossomonas* (μ_m), obtidos durante os testes respirométricos em amostras do licor misto dos sistemas RBS e RBS-SA.

Parâmetro	Unidade	Sistemas	
		RBS	RBS-SA
$TCO_{n,máx}$	mgO ₂ /L/h	30	40
N_c	mgN/L	35	19
X_n	mgSSV/L	50	84
$rn_{máx}$	mgN/L/d	158	211
μ_m	d ⁻¹	0.31	0.25

Quanto a taxa máxima de crescimento específico das *Nitrossomonas* (μ_m) verificou-se que foi baixa para ambos os sistemas. Esperava-se valores maiores por se tratar de lodos gerados a partir de esgoto doméstico e de um meio de cultura tendo como substrato amônia. Van Haandel e Marais (1999), analisando resultados de μ_m de vários pesquisadores, sugerem um valor médio de $\mu_{m20} = 0.4 \text{ dia}^{-1}$ a uma temperatura 20°C. Segundo a Equação de Arrhenius ($\mu_{mT} = \mu_{m20} \cdot \theta^{(T-20)}$) para quantificar a influência da temperatura, o valor de μ_m a uma temperatura de 26°C pode chegar a $\mu_{m26} = 0.8 \text{ dia}^{-1}$. Nesse contexto, os testes respirométricos indicaram a possibilidade de presença de substâncias no esgoto bruto que inibiam o crescimento das bactérias autotróficas visto que os valores de μ_m estão na faixa de valores encontrados por Wilson e Marais (1976) citado por van Haandel e Marais (1999) de 0.5 a 0.7 dia⁻¹ a 20°C, podendo esse valor diminuir para 0.25 a 0.3 dia⁻¹ ou mesmo mais baixo μ_m 0.17 d⁻¹, depende da contribuição industrial. Medeiros (2004) em sua pesquisa tratando efluentes da indústria Petroquímica a uma temperatura média de 26°C, encontrou valores de μ_m na faixa de 0.3 a 0.19 dia⁻¹.

Com relação aos testes realizados a fim de avaliar a atividade metabólica das bactérias *Nitrobacter* no sistema RBS, não foram obtidos resultados. Van Haandel e Marais (1999) e outros pesquisadores referem-se a segunda fase de nitrificação, a oxidação de nitrito para nitrato, como um processo que se desenvolve a uma velocidade tão rápida que, em termos práticos pode ser considerado como instantâneo.

Sedimentabilidade

A Tabela 4 apresenta os dados da concentração de SST, dos sólidos sedimentáveis (Sed em ml/L) e do IVL. De acordo com Von Sperling (1997) o IVL₃₀ em ml/g SST demonstrou que o lodo manteve boa sedimentabilidade no reator aerado do sistema UASB-RBS que apresentou em média um IVL₃₀ de 82 ml/g e uma sedimentabilidade média para o sistema RBS com uma variação média de IVL₃₀ de 190 ml/g.

Tabela 4. Resultados da concentração de sólidos suspensos totais (SST), dos sólidos sedimentáveis e do Índice Volumétrico de Lodo (IVL) dos reatores aerados RBS e UASB-RBS

Sistemas	RBS			UASB-RBS		
	SST (g/L)	Sed (ml/L)	IVL (ml/g)	SST (g/L)	Sed (ml/L)	IVL (ml/g)
Média	1.93	348	190	1.03	83	82
Máximo	3.28	500	341	1.58	120	143
Mínimo	0.88	198	126	0.56	30	38

Conclusões

Os sistemas RBS e UASB-RBS apresentaram boa eficiência na remoção de matéria orgânica e sólidos suspensos. Dentre eles, o sistema RBS, tratando esgoto bruto, foi o que apresentou melhor desempenho com eficiência média de remoção 85% de DQO e 92% de sólidos suspensos totais.

O sistema UASB-RBS demonstrou ser uma alternativa tecnicamente viável para tratamento de esgoto doméstico visto que o reator UASB removeu cerca de 70% de matéria orgânica, reduzindo sobremaneira a carga orgânica afluyente do reator aerado (reator RBS), denotando uma opção mais econômica, comparada ao sistema de lodo ativado convencional, por reduzir os custos de construção e operação.

Os sistemas RBS, UASB-RBS e RBS-SA não apresentaram bom desempenho quanto ao processo de nitrificação. O sistema RBS-SA, tratando substrato amoniacal, apresentou melhor desempenho, com remoção de TKN e NH_3 na ordem de 50% e 45%, respectivamente, e valores médios mensais de nitrato no efluente entre 18 mg/L e 43 mg/L.

A respirometria mostrou-se ser uma excelente ferramenta para avaliar a atividade metabólica das bactérias autotróficas.

O lodo gerado no reator aerado do sistema RBS foi caracterizado como de sedimentabilidade mediana, com valores médios IVL de 190 ml/g, e baixa atividade biológica com uma taxa máxima de crescimento específico das *Nitrossomonas* de 0.31 dia^{-1} , concentração de *Nitrossomonas* de 50 mgSSV/L e taxa máxima de nitrificação de 158mgN/L/d. No reator aerado do sistema UASB-RBS o lodo gerado apresentou uma boa sedimentabilidade, com valores médios de IVL de 82 ml/g. No entanto, não apresentou atividade das bactérias autotróficas.

Referências bibliográficas

- AWWA/APHA/WEF (1995) *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 19th edition. Washington, 1268 pp.
- Dold, P.L., Ekama, G.A., Marais, G.V.R. (1980) A general model for the activated sludge process. *Prog. Wat. Tech.*, **12**, 47-77.
- Eillerssen, A. M., Henze, M., Kloft, L. (1994) Effect of volatile fatty acids and trimethylamine on nitrification in activated sludge. *Water Research*, **28**(6), 1329-1336.
- Eillerssen, A.M., Henze, M., Kloft, L. (1995) Effect of volatile fatty acids and trimethylamine on denitrification in activated sludge. *Water Research*, **29**(5), 1259-1266.
- Guimarães, P. (2003) *Sistema de lodo ativado em bateladas sequenciais para pós-tratamento de esgoto digerido em um reator UASB*. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN.
- Medeiros, U.T.P. (2004) *Influência da concentração de oxigênio dissolvido sobre o desempenho de sistemas de lodo ativado tratando efluentes da indústria petroquímica*, Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Campina Grande, PB.
- Van haandel, A.C., Catunda, P.F.C. (1982) Determinação da Taxa de Consumo de Oxigênio. *Revista Engenharia Sanitária*, **21**(4), p. 481-488.
- Van Haandel, A. C., Lettinga, G. (1994) *Tratamento anaeróbio de esgotos*, Epgraf, Campina Grande/PB.
- Van Haandel, A. C., Marais, G. (1999) *O comportamento do sistema de lodo ativado: teoria e aplicações para projeto e operação*. Epgraf, Campina Grande/PB, 472 pp.
- Von Sperling, M. *Princípios de tratamento biológico de águas residuárias – Lodos Ativados*, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, **4**, 415 pp.