

## REMOÇÃO BIOLÓGICA DE NUTRIENTES EM REATOR BATELADA SEQÜENCIAL

Rubino, F.F.<sup>1</sup>, Araújo, O.Q.F.<sup>2</sup>, Coelho, M.A.Z.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal do Rio de Janeiro, Centro de Tecnologia –Escola de Química  
Ilha do Fundão – Rio de Janeiro-RJ cep:21949-900, [flarubino@hotmail.com](mailto:flarubino@hotmail.com)

<sup>2</sup>Universidade Federal do Rio de Janeiro, Centro de Tecnologia –Escola de Química  
Ilha do Fundão – Rio de Janeiro-RJ cep:21949-900, [alice@eq.ufrj.br](mailto:alice@eq.ufrj.br)

**Resumo** – A remoção biológica de efluentes tem-se tornado uma alternativa de baixo custo operacional para o tratamento de compostos poluentes. Diferentes técnicas operacionais vêm sendo adaptadas ao tradicional sistema de lodo ativado para a caracterização do sistema biológico, otimizando a remoção dos macro-nutrientes presentes. O sistema em estudo tem como principal objetivo a determinação de parâmetros relevantes na remoção de nitrogênio e fósforo empregando dois lodos biológicos distintos oriundos de refinaria e da indústria alimentícia. O sistema de tratamento emprega um Reator Batelada Seqüencial (RBS), operando em ciclos de 6. O processo foi acompanhado retirando-se amostras no final de cada fase e após a alimentação do sistema. No teste cinético para a biomassa proveniente de uma estação de tratamento de refinaria obteve-se percentuais médios de remoção de 70% para o nitrogênio amoniacal e 92% para o fosfato enquanto que, para aquela oriunda da indústria alimentícia, os percentuais médios de remoção foram de 96% para o nitrogênio amoniacal e 93% para o fosfato.

Palavras-Chave: Fósforo; Tratamento Biológico; Nitrogênio, Reator Batelada Seqüencial

**Abstract** – Biological removal processes are among the most economic methods to take nutrients from wastewater. Many adaptations are used in activated sludge to determine the biological system parameters as well to improve biological removal process. The aim of this work is related to nitrogen and phosphorus removal using distinct biomass systems, one from a refinery and another from a food industry. Experimental data was obtained by treating a synthetic wastewater in a sequential batch reactor (SBR) which operates with cycles during 6 hours. Samples were taken before feed, in the end of anaerobic period and in the end of aerobic period. Reductions of 70% and 92% was achieved for ammonia and phosphate, respectively for the biological sludge from refinery and reductions of 96% and 93%, respectively for the analogous provided by a food industry.

Keywords: Sequential Batch Reactor, Biological Treatment, Ammonia, Phosphorus

### 1. Introdução

A preocupação de indústrias e empresas com questões ambientais e a necessidade de controle de parâmetros relacionados à poluição e à degradação ambiental tem contribuído fortemente para o desenvolvimento de profissionais qualificados nesta área. Desta forma, visando atender a atual necessidade de preservação ambiental, estudos vêm sendo realizados para atender as exigências ambientais, entre eles pode-se destacar o tratamento de efluentes industriais.

Os processos biológicos de tratamento são conduzidos abertos ao ambiente e, portanto, estes processos compreendem numerosos tipos de microrganismos. A carga de efluente a ser tratada, contém grande quantidade de energia sob forma de carbono e de outros nutrientes, cujas relativas proporções estão sujeitas às mudanças contínuas, dependendo das características de cada indústria. Dentre os tratamentos biológicos existentes destacam-se os sistemas de lodos ativados. O termo “lodo ativado” (“*activated sludge*”) designa a massa microbiana floculenta que se forma quando esgotos e outros efluentes biodegradáveis são submetidos à aeração.

O nitrogênio, principalmente aquele sob a forma amoniacal, é um dos principais contaminantes dos despejos obtidos nas refinarias. Sua origem da amônia vem dos processos de hidrotreamento e craqueamento catalítico, onde os compostos nitrogenados sofrem hidrogenólise e o nitrogênio é removido na forma amoniacal. Além disso, ainda está presente em unidades de refrigeração (Silva, 2002). A concentração típica de amônia neste tipo de despejo varia de 6 a 50 ppm, enquanto que a presença de fósforo é menor, sendo a concentração típica de ortofosfatos em torno de 10 ppm.

Este trabalho tem como principal objetivo o estudo da remoção dos nutrientes, nitrogênio e fósforo, através do processo de lodo ativado por Reator Batelada Seqüencial (RBS) e foi desenvolvido utilizando dois tipos de biomassa: uma proveniente de refinaria e outra de indústria alimentícia.

## 2. Remoção Biológica de Nitrogênio e Fósforo em Reator Batelada Sequencial

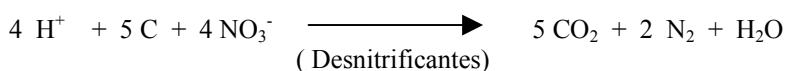
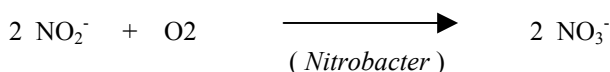
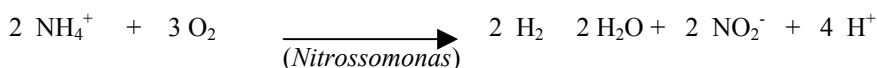
No processo em batelada, as operações relacionadas com a oxidação biológica e a decantação secundária são geralmente desenvolvidas em um único tanque. Neste tipo de reator a massa biológica fica retida durante todos os ciclos, eliminando a necessidade de decantadores, separadores e de elevatórias de recirculação de lodos. Os ciclos normais de tratamento englobam as etapas de: 1) enchimento (entrada de efluente bruto ou decantado no reator); 2) reação; 3) sedimentação (sedimentação e separação dos sólidos em suspensão do esgoto tratado); 4) esvaziamento (retirada do efluente tratado do reator).

O RBS apresenta uma série de vantagens como: a flexibilidade de ajuste no tempo de necessário para as reações ocorrerem e nas condições de operação; a reação ocorre num único tanque, reduzindo custos de capital e operação; descarta a necessidade de reciclo de lodo, economizando bombas de reciclo; evita-se o “wash out” (arraste) dos microrganismos do reator biológico, onde as bactérias autotróficas crescem mais lentamente.

Os macronutrientes, nitrogênio e fósforo, quando despejados em excesso e de forma contínua no corpo receptor, promovem o desenvolvimento exagerado de algas, plantas aquáticas e outros organismos, acelerando o processo de eutrofização devido ao rompimento biológico dos seus respectivos ciclos naturais nos corpos d'água. Além disso, nitrogênio amoniacal, nitrito e nitrato são classificados como potencialmente cancerígenos. (Souza, 2000)

### 2.1. Remoção Biológica de Nitrogênio

A remoção biológica de nitrogênio amoniacal é feita em duas etapas: nitrificação e desnitrificação. Na etapa de nitrificação, realizada por bactérias autotróficas em presença de oxigênio, nitrogênio na forma amoniacal é oxidado primeiramente a nitrito pelas bactérias *Nitrossomonas* sp. e este é oxidado a nitrato pelas bactérias *Nitrobacter* sp. A desnitrificação é realizada por bactérias heterotróficas em condições anóxicas, que também realizam a biodegradação da matéria orgânica em condições aeróbias. A remoção biológica de nitrogênio é conhecida como a forma mais econômica de controle da quantidade de nitrogênio amoniacal nos efluentes.



### 2.2. Remoção Biológica de Fósforo

As fontes e quantidades de fósforo em efluentes industriais são bastante variadas, sendo influenciadas pela presença de detergentes. Para a remoção biológica de fósforo é essencial a existência de zonas anaeróbias e zonas aeróbias na linha de tratamento. Na fase anaeróbia os organismos acumuladores de fosfato (OAPs) liberam fosfato de forma a obter energia para o transporte de substrato e para a formação e armazenamento de produtos metabólicos orgânicos, como o polihidroxibutirato (PHB). Na fase aeróbia o PHB é oxidado a gás carbônico e água. Assim, o fosfato solúvel é retirado da solução pelos OAPs, sendo armazenado em suas células para a geração de energia.

A remoção biológica de fósforo, na forma de fosfato, pode ocorrer tanto por aumento do crescimento da biomassa microbiana acumuladora de fosfato (OAPs) quanto pelo aumento da capacidade desta de estocagem de fosfato, na forma de poli-P. A predominância dos organismos acumuladores de fosfato no processo, neste tipo de configuração (anaeróbio- aeróbio), é devido a capacidade que eles têm de hidrolisar, na ausência de oxigênio, poli-P para suprir o *uptake* da fonte de carbono. Nestas condições ocorre o acúmulo de PHB e a liberação dos ortofosfatos. Subseqüentemente, os PAOs crescem aerobicamente e o ortofosfato se converte em poli-P às dispensas da degradação de PHB como fonte de carbono e energia.

## 3. Condições de Operação do Sistema

A obtenção de resultados relacionados com a remoção de nitrogênio e de fósforo foi realizada utilizando um reator batelada seqüencial (RBS), operando com um ciclo de 24 horas para o reator com lodo de refinaria e ciclo de 8 horas para o sistema contendo lodo proveniente da indústria alimentícia. O efluente sintético é composto de  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ,  $\text{MgSO}_4$ ,  $\text{NaCl}$ ,  $\text{NaHCO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  e Acetato de sódio como fonte de carga orgânica. O afluente do sistema contém 20,5 ppm de nitrogênio amoniacal e 2ppm de fosfato.

A fase reacional consiste de três etapas distintas, a alimentação (afluente), fase anaeróbia e fase aeróbia. A fase anaeróbia é obtida adicionando gás nitrogênio ( $\text{N}_2$ ) ao sistema. A fase aeróbia é conseguida através do fornecimento de oxigênio ao sistema empregando ar comprimido. O ciclo termina quando cessa a fase aeróbia. Deixa-se então o lodo sedimentar por 30 min e após este tempo retira-se o efluente tratado, alimentando novamente o sistema e começando assim um novo ciclo. A Figura 1 ilustra este processo.

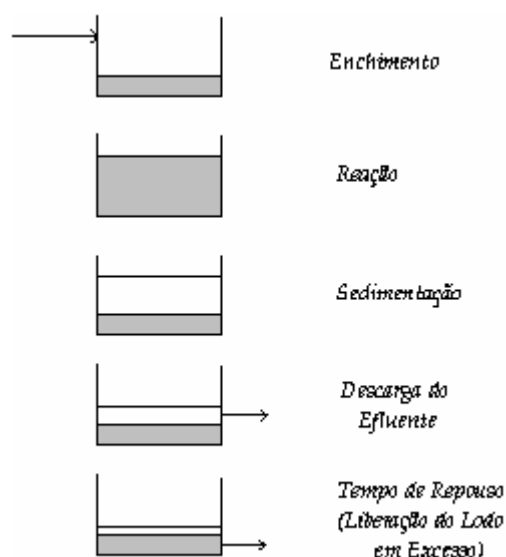


Figura 1– Etapas do Ciclo no Reator Batelada Sequencial.

O pH é um fator de grande relevância na remoção de fósforo. Estudos sobre a influência do pH na remoção do fósforo sugerem os seguintes pontos (Sperling, 1997): a remoção de fósforo é mais eficiente no pH entre 7,5 e 8,0; a remoção de fósforo reduz-se bastante com valores de pH inferiores a 6,5 e toda a atividade é perdida no pH próximo a 5,0. Quando a fase anaeróbia é controlada para ter pH 7,0 os organismos acumuladores de glicogênio (GAOs) tomam conta da cultura. Estes organismos competem por substrato com os OAPs, sendo assim o aumento da população de GAOs um aspecto desfavorável para os OAPs. Sem o controle do pH nesta fase, o pH sobe como resultado da desnitrificação e remoção do acetato do sistema. No sistema estudo, o pH na alimentação é controlado para estar entre 7,5 e 8,0. Nas demais fases, anaeróbia e aeróbia, o pH é acompanhado e varia de 8,0 a 8,5.

Com relação a temperatura do sistema, no caso do tratamento de lodos ativados convencionais não é uma variável usualmente controlada por razões econômicas. A nitrificação é observada numa faixa de 5 a 50° C, sendo que a temperatura ótima varia de 25 a 36° C (Souza, 2000). Além disso, a remoção biológica de fósforo tem sido aplicada com sucesso em uma ampla faixa de temperaturas, sendo que a única indicação que se tem é que a taxa de liberação de fósforo na zona anaeróbia é menor para baixas temperaturas.

Com relação ao oxigênio dissolvido no sistema, para a etapa de desnitrificação, o processo é viabilizado por condições anóxicas no floco, i.e. na vizinhança imediata das bactérias desnitrificantes. Para a remoção de fosfato, a entrada de oxigênio na fase anaeróbia diminui a remoção de fosfato e causa o crescimento de bactérias filamentosas. Na fase aeróbia, o mecanismo de remoção biológica sugere que a concentração de oxigênio dissolvido pode afetar a taxa de remoção de fósforo nesta zona, mas não a quantidade de remoção possível, desde que haja suficiente tempo em fase aeróbia.

#### 4. Metodologia Analítica

As análises seguiram o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (Greenberg, 1992).

##### 4.1 Análise de Amônia

As análises foram realizadas com eletrodo íon seletivo (Corning) para amônio. São utilizados 5mL de amostra e 50 µL de solução de 10M de NaOH. Para o cálculo da concentração de amônia presente na amostra, uma curva-padrão contendo cloreto de amônio em concentrações variadas na faixa de 1 a 50 ppm foi realizada a cada 7 dias.

##### 4.2 Análise de Nitrato

As análises foram conduzidas com auxílio de eletrodo íon seletivo (Orion) para nitrato. São utilizados 5 mL de amostra e 100 µL de solução Nitrate ISA. Para o cálculo da concentração de nitrato presente na amostra, uma curva-padrão contendo sal de nitrato na faixa de 5 a 200 ppm foi feita a cada 7 dias.

##### 4.3 Análise de Fosfato

A dosagem é feita utilizando o método 8048 (HACH). Para o cálculo da concentração de fosfato presente na amostra foi produzida uma curva-padrão com sal de  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  em concentrações variadas na faixa de 0,1 a 2,5 ppm.

#### 5. Resultados

Os resultados a seguir correspondem ao teste cinético feito com lodo proveniente de refinaria e em paralelo a testes com lodo proveniente de indústria alimentícia. Desta forma, caracterizações e comparações foram feitas com objetivo de otimizar o processo. O teste cinético teve duração total de 6 horas, sendo 2 horas de fase anaeróbia e 4 horas de fase aeróbia. As amostras foram retiradas em intervalos de 30 minutos, obtendo-se assim as curvas que correspondem as Figuras 2,3 e 4.

A Figura 2 mostra a remoção de nitrogênio amoniacal no lodo de refinaria obtendo 70% de remoção, enquanto que a Figura 3 mostra a liberação do nitrato e a Figura 4 mostra uma remoção de fosfato correspondente a 92%.

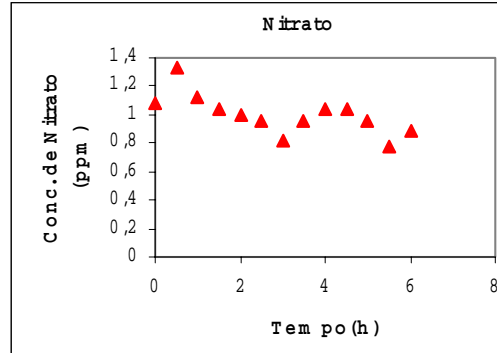
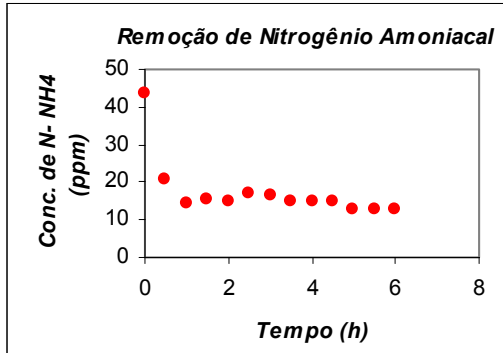


Figura 2 – Remoção de Nitrogênio amoniacal      Figura 3- O gráfico mostra a liberação de nitrato

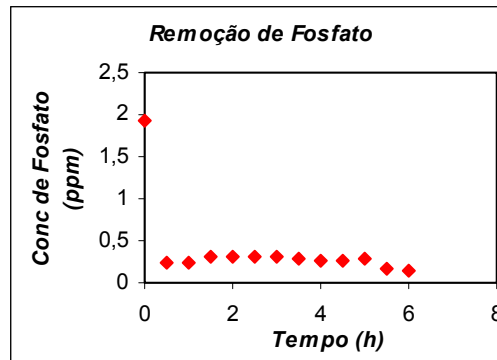


Figura 4 – Remoção de Fosfato no lodo de refinaria

Conforme mencionado anteriormente, testes relativos a remoção de nitrogênio amoniacal e fosfato foram feitos em lodo proveniente de indústria alimentícia e os resultados obtidos correspondem as Figuras 5,6 e 7. A Figura 5 mostra a remoção de nitrogênio amoniacal atingindo um percentual de remoção de 96%, enquanto que a Figura 6 apresenta a formação de nitrato a liberação de nitrato. A Figura 7 relaciona uma remoção de fosfato de cerca de 93%.

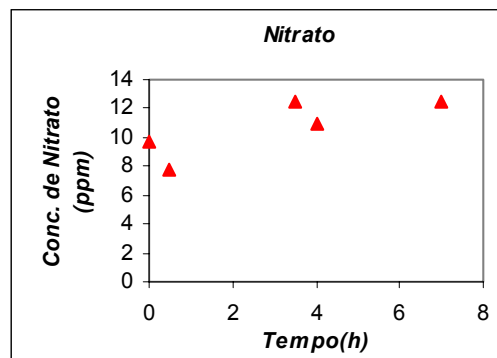
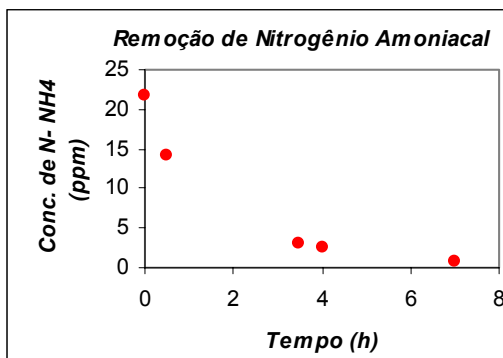


Figura 5 – Remoção de Nitrogênio Amoniacal

Figura 6- Liberação de Nitrato

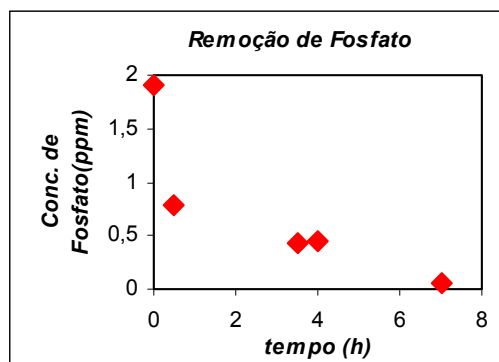


Figura 7 – Remoção de Fosfato

## 6. Microscopia

O conhecimento do metabolismo dos microrganismos é fundamental para a busca de tratamentos biológicos de efluentes adequados, visto que assim é possível uma melhor adequação operacional do tratamento. Problemas operacionais com relação a sedimentabilidade e ao condicionamento do lodo, podem ser monitorados por análise microscópica. A Figura 8 apresenta a microscopia do lodo proveniente de refinaria após aclimação, isto é, após o tratamento para remoção de nitrogênio amoniacal e fosfato e a Figura 9 apresenta a microscopia da biomassa proveniente da indústria alimentícia também após a aclimação. Através desta comparação é possível observar a diferença da comunidade biológica presente em cada um deles.

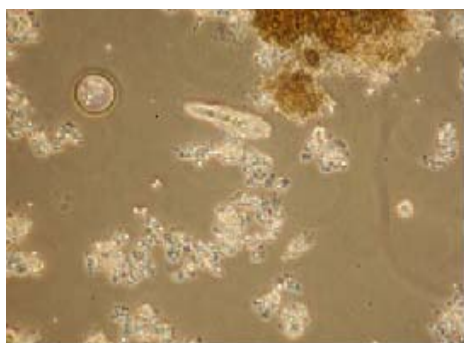


Figura 8 – Lodo de Refinaria

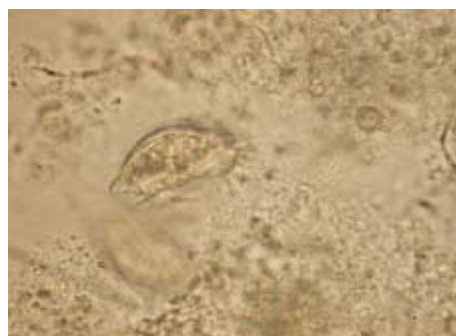


Figura 9 – Lodo de Indústria Alimentícia

## 7. Conclusão

O tratamento biológico por lodo ativado aplicado a cada um dos sistemas estudados, de refinaria e de indústria alimentícia, mostrou-se eficiente para a remoção de nitrogênio amoniacal e fosfato nas concentrações estudadas. A diferença na origem dos lodos implicou diretamente na comunidade biológica existente em cada um deles, embora esta diferença não tenha sido fator significativo de interferência na remoção dos nutrientes, nitrogênio e fósforo.

## 8. Referências

- GREENBERG, A.E.; CLESCERI, L.S. and EATON, A.D. (1992). Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 18<sup>th</sup> ed., USA.
- SOUZA, S.G.M. Sequenciamento em Batelada para Remoção Biológica de Nitrogênio, Tese de Mestrado, Curso de Pós-Graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos, EQ-UFRJ, 2000.
- SPERLING, M. VON. Lodos Ativados, v.4, 2ª edição, p.262-287; p.301-321, 2000.
- SILVA, M.R. Remoção Biológica de Fenol e Nitrogênio Amoniacal de Efluentes em Reator Batelada Sequencial, Programa EQ-ANP, 2002.