

## II-046 - REMOÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA E NUTRIENTES EM SISTEMAS DE LODO ATIVADO COM DIFERENÇA NO REGIME HIDRAÚLICO

**Dayane de Andrade Lima<sup>(1)</sup>**

Tecnóloga em Saneamento Ambiental pelo IFCE – Campus Limoeiro do Norte (2013) e Mestranda em Ciência e Tecnologia Ambiental pela Universidade Estadual da Paraíba (UEPB).

**Jéssica de Freitas Lima<sup>(2)</sup>**

Tecnóloga em Saneamento Ambiental pelo IFCE – Campus Limoeiro do Norte (2013) e Mestranda em Ciência e Tecnologia Ambiental pela Universidade Estadual da Paraíba (UEPB).

**Heraldo Antunes Silva Filho<sup>(3)</sup>**

Tecnólogo em Gestão Ambiental pelo CEFETCE (2006), Mestre em Engenharia Civil e Ambiental pela UFCG (2009), Professor/Pesquisador do IFCE – Campus Limoeiro do Norte e Doutorando em Engenharia Ambiental pela UEPB.

**Elivânia Vasconcelos Moraes dos Santos<sup>(4)</sup>**

Tecnóloga em Gestão Ambiental pelo CEFETCE (2006), Mestre em Engenharia Civil e Ambiental pela UFCG (2009), Professora/Pesquisadora do IFCE – Campus Limoeiro do Norte e Doutoranda em Engenharia Ambiental pela UEPB.

**José Tavares de Sousa<sup>(5)</sup>**

Engenheiro Químico pela Universidade Federal da Paraíba (1980), Especialista em Metodologia do Ensino Superior pela Fundação Universidade Regional do Nordeste (1982), Mestre em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade Federal de Campina Grande (1986), Doutor em Engenharia Civil pela Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo (1996), Pós-Doutor pela Universidade de São Paulo (2010) e Professor/Pesquisador da UEPB – Campina Grande.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Vereador Arrojado Lisboa, 274, AP 202 – Campina Grande - PB - CEP: 58400-640- Brasil - Tel: (83) 8762-8890 - e-mail: dayane\_eld@hotmail.com

### RESUMO

A remoção biológica de nutrientes das águas residuárias vem sendo evidência nos últimos anos devido ao lançamento de esgotos incontrolado em mananciais, caracterizando a poluição de corpos hídricos, podendo vir a ocasionar o processo de eutrofização. A solução mais eficaz e econômica para a preservação da qualidade desses ambientes aquáticos consiste no controle do aporte de nutrientes resultante da disposição de esgotos em corpos d'água. Este trabalho fundamenta-se na comparação do desempenho na remoção de nitrogênio e fósforo em duas configurações de sistemas de lodo ativado. Os sistemas foram operados em escala experimental, sendo estes: um Reator em Bateladas Sequenciais- RBS com estratégias de granulação aerobia de lodo e um sistema *University of Cape Town* - UCT. A partir da montagem, operação e geração do lodo obteve-se suporte para comparar o desempenho de cada sistema que foi avaliado a partir da concentração dos poluentes encontrados inicialmente no esgoto e posteriormente no efluente tratado, a partir dos parâmetros: nitrogênio, fósforo e material orgânico de cada sistema. Destaca-se que o regime hidráulico dos sistemas consistiu em parâmetro primordial a ser analisado, visto que na literatura nacional ainda não se identifica qual configuração mostra-se mais adequada ao atendimento da remoção de nutrientes, de forma efetiva, tomando-se como base as alterações e complementações legais desde a Resolução N°357 de 17 de março de 2005, perpassando a Resolução N°430 de 13 de maio de 2011 e a Portaria Estadual N° 154 de 22 de julho de 2002. A concentração de amônia no esgoto afluente mostrou-se elevada comparando com as outras frações de nitrogênio, mas houve boa remoção. Nas duas tecnologias de tratamento de esgoto pôde ser notado um aumento nas formas de nitrito e nitrato no efluente, que ocorreu devido ao processo de nitrificação completa e desnitrificação parcial. A partir dos valores obtidos concluiu-se que as configurações de lodos ativados estudadas, embora reportados na literatura como especialistas na remoção de nutrientes, não atingiram a eficiência esperada. O sistema que mostrou maior eficiência foi o de fluxo afluente contínuo, UCT, todavia com percentuais de remoção bem próximos ao RBS em torno de 80% de DQO, mais de 70% de amônia (e o RBS com 55%), 35% de ortofosfato solúvel e o RBS 23%. Os dados indicam que para o bom uso do sistema de lodo ativado, o projeto e a operação por mão-de-obra qualificada é imprescindível, por isso é uma tecnologia tão discutida em termos de escolha para adoção em estações de tratamento municipais.

**PALAVRAS-CHAVE:** Fósforo, Nitrogênio, Sistema de Lodo Ativado.

## INTRODUÇÃO

Águas residuárias, tratadas ou não, podem conter quantidades excessivas de nutrientes como nitrogênio e fósforo. Se essas águas contiverem tais nutrientes ao serem lançadas em corpos d'água superficiais podem desencadear o processo de eutrofização, resultando no crescimento excessivo de algas e comprometendo os seus múltiplos usos.

Em muitos casos o fósforo é o nutriente limitante para o processo de eutrofização de corpos d'água, já que o nitrogênio pode ser capturado da atmosfera por meio de algas fixadoras de nitrogênio e assim encontrar-se disponível em águas superficiais. Devido necessidade de preservar os recursos hídricos dos problemas causados por descargas excessivas de nutrientes, é necessário projetar sistemas de tratamento que, além de removerem os sólidos sedimentáveis e o material orgânico, sejam capazes de remover nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo (VAN HAANDEL E MARAIS, 1999).

Para que ocorra a remoção do nitrogênio nos sistemas de lodo ativado, comumente ocorrem processos sequenciados, iniciando com a amonificação, seguida de nitrificação e se os parâmetros operacionais estiverem controlados e o sistema bem operado, após pode ocorrer o processo de desnitrificação (LIMA, 2011).

O sistema de lodo ativado (SLA) é uma das formas mais empregadas entre os processos de tratamento biológicos para a remoção dos nutrientes nitrogênio e fósforo. O fósforo presente nos esgotos domésticos vem geralmente de origem dos detergentes, das proteínas e da urina. Os detergentes contribuem com a maior parcela na forma de polifosfatos correspondendo a mais ou menos a metade do teor de fósforo total, (VAN HAANDEL E MARAIS, 1999).

As técnicas de remoção biológica de fósforo se baseiam na capacidade, de algumas bactérias heterotróficas presentes na biomassa ativa dos lodos ativados, de acumularem, dentro da célula, fosfato solubilizado na forma de polifosfatos, se houverem condições ótimas para seu crescimento e metabolismo (HENRIQUE et al., 2010).

Diante dos possíveis e graves problemas com o lançamento de esgotos contendo cargas excessivas de nutrientes, tornou-se necessária a definição dos limites de concentração destes compostos.

Este trabalho propõe-se avaliar o desempenho de diferentes sistemas de lodo ativado quanto à remoção de material carbonáceo e nutriente (nitrogênio e fósforo), tendo o regime hidráulico dos sistemas como um parâmetro primordial a ser analisado. Identificar o melhor sistema de lodo ativado que se adeque aos padrões de lançamento quanto à remoção de nutrientes com base na legislação vigente do Estado do Ceará e Nacional (Portaria da SEMACE N°154/02 e Resoluções do CONAMA N°357/05 e N°430/11).

## MATERIAIS E MÉTODOS

Esta pesquisa foi dividida em etapas: (1) instalação, partida e operação de dois sistemas de lodo ativado; (2) análises laboratoriais para avaliar a eficiência de remoção dos nutrientes. Os sistemas operados foram montados nas instalações físicas do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Campus Limoeiro do Norte (IFCE-LN), no Laboratório de Controle Ambiental (LCA) onde também se realizaram as análises laboratoriais.

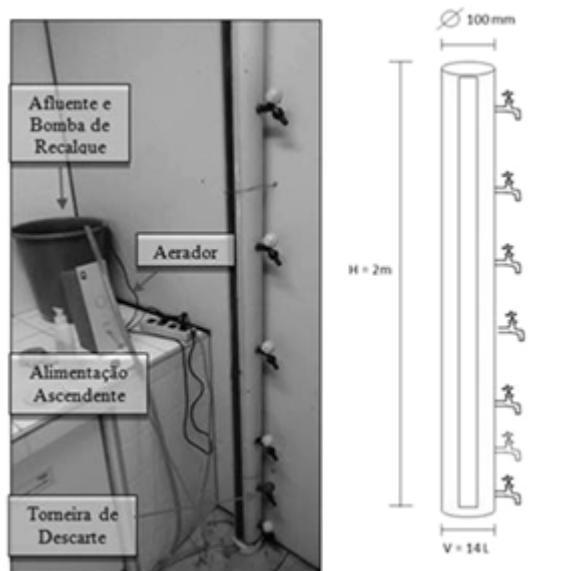
### Reator em Bateladas Sequenciais Granular (RBSG)

Não se utilizou inóculo para dar partida no sistema, tendo sido necessários, aproximadamente, dois meses para o lodo encontrar-se relativamente adequado em termos de concentração de sólidos e com boa consistência granular. Para granulação do lodo aeróbio existem várias táticas dentre tais, a relação altura/diâmetro do sistema, os ciclos de alimentação, tempo de sedimentação para seleção do lodo, temperatura, pH, características do esgoto adequadas aos microrganismos.

O sistema RBS granular foi operado sob as seguintes condições: temperatura média de 25°C, volume de aproximadamente 14 litros e a idade de lodo de 20 dias. O RBS Granular foi montado com uma relação altura/diâmetro igual a 20 sendo um valor significativo onde o sistema apresentava uma altura de 2 m e o

diâmetro de 100 mm usando um cano de PVC (**Figura 1**), a alimentação era ascendente por meio de uma bomba que promovia o recalque do esgoto.

O esgoto usado para alimentar o RBSG foi proveniente das instalações da instituição de ensino, apresentando-se fraco ou médio em termos de DQO (300 a 500 mg/L) e com concentração de amônia acima de 100 mg/L. Para a areação usou-se um dispositivo no fundo do reator para responsabilizar-se pela difusão de oxigênio (pedra porosa de aquário) alimentado por um compressor de ar.



**Figura 1: Sistema RBS Granular montado com seus elementos suportes.**

#### Sistema University of Cape Town (UCT)

O UCT é sistema de lodo ativado com configuração diferente do RBS, onde o regime hidráulico é contínuo, o mesmo era constituído de quatro reatores iniciando com um reator anaeróbio onde existia a liberação de fósforo na forma de ortofosfato e captura de parte da matéria orgânica, seguido de um reator anóxico 1 (pré-desnitrificante) onde se iniciava o processo de desnitrificação, após encontrava-se o reator aeróbio onde se previa a ocorrência da absorção do fósforo e remoção de matéria orgânica, outro anóxico 2 (pós-desnitrificante) onde a desnitrificação ocorria em fase endógena e por último o decantador que separava o lodo do efluente tratado e recirculava o lodo no sistema.

O sistema e seus elementos suportes estão expostos na **Figura 2**. A configuração do sistema previa a remoção de nitrogênio e fósforo, em reatores voltados para cada finalidade. Para obter desempenho satisfatório do sistema houve necessidade de acompanhar e controlar parâmetros operacionais como: temperatura, pH e oxigênio dissolvido. O sistema UCT manteve-se numa temperatura média de operação em torno de 25°C, pH em torno 7,3 e OD de 1 a 3 mg/L.



**Figura 2: UCT montado em escala bancada e seus elementos suportes.**

#### Analise de Desempenho dos Sistemas

Para avaliar o desempenho dos sistemas foram analisadas as variáveis descritas na **Tabela 1**. Os sistemas operados foram montados nas instalações físicas do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Campus Limoeiro do Norte (IFCE-LN), no Laboratório de Controle Ambiental (LCA). Os testes laboratoriais também foram realizados no LCA.

Para avaliar o desempenho dos sistemas foram analisadas as variáveis descritas na **Tabela 1**.

**Tabela 1: Variáveis analisadas para acompanhamento do desempenho dos sistemas.**

Variáveis	Métodos Analíticos	Referência
*DQO (mg/L)	Titulométrico Refluxação Fechada	5220 C. / APHA et al. (2012)
Amônia N-NH4+ (mg/L)	Semi-Micro Kjeldahl	4500-NH3 / APHA et al. (2012)
Nitrato N-NO3- (mg/L)	Salicilato de Sódio	RODIER et al. (1975)
Nitrito N-NO2- (mg/L)	Colorimétrico Diazotização	4500-NO2 B. / APHA et al. (2012)
Fósforo e Frações (mg/L)	Ácido Ascórbico	4500-P E./ APHA et al. (2012)

\*DQO – Demanda Química de Oxigênio;

#### RESULTADOS E DISCUSSÃO

- **Desempenhos dos sistemas**

Os resultados médios da eficiência alcançados pelos sistemas UCT e RBSG encontram-se na **Tabela 2** respectivamente.

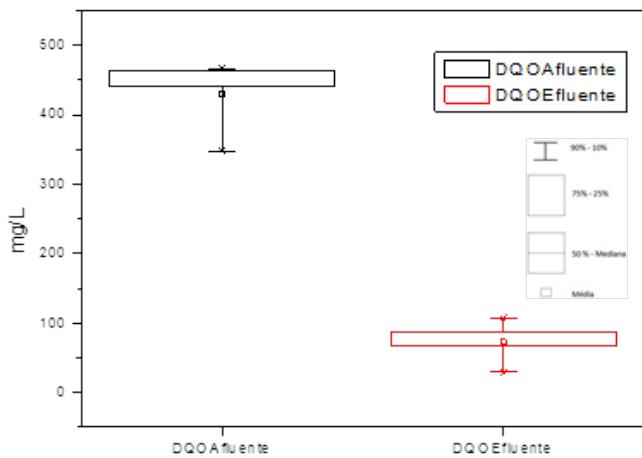
**Tabela 2: Médias das análises de desempenho dos sistemas.**

Análises	<i>mg/L</i>				<i>Eficiência (%)</i>	
	<i>*Afluente 1</i>	<i>UCT</i>	<i>*Afluente 2</i>	<i>RBSG</i>	<i>UCT</i>	<i>RBSG</i>
*DQO (mg/L)	430,1	72,6	426,6	86,2	83,13	79,79
Amônia N-NH4+ (mg/L)	153,2	39,5	98,4	43,7	74,18	55,58
Nitrato N-NO3- (mg/L)	1,7	29,1	0,5	2,9	-	-
Nitrito N-NO2- (mg/L)	0,11	2,7	0,8	8,9	-	-
Fósforo (mg/L)	8,7	6,8	13,4	9,9	28,83	25,52
Ortofosfato (mg/L)	5,7	3,7	7,9	6,5	34,47	22,81

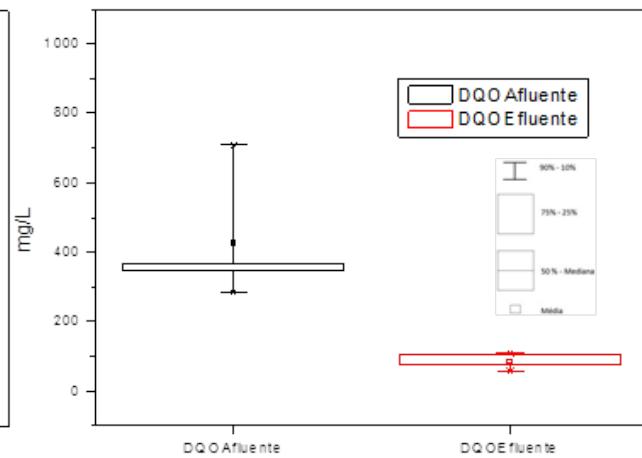
\*DQO – Demanda Química de Oxigênio; ( - ) Não houve remoção; \*Afluente 1 – Esgoto usado para alimentar o UCT; \*Afluente 2 – Esgoto usado para alimentar o RBS-Granular.

- **Matéria Orgânica**

As tecnologias de tratamento de águas residuárias apresentaram o desempenho exibido nos gráficos abaixo, em relação ao parâmetro DQO, o percentual de remoção apresenta uma média de 83,13% para o UCT e de 79,79% para o RBS, os dois sistemas apresentaram relevante remoção de matéria, sendo que o UCT apresentou-se um pouco melhor. **Figura 3 e 4.**



**Figura 3: Desempenho do sistema UCT na remoção de matéria orgânica.**



**Figura 4: Desempenho do sistema RBS na remoção de matéria orgânica.**

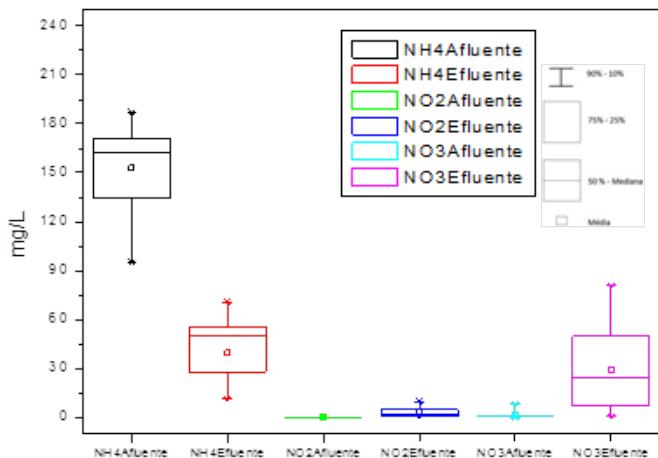
De acordo com a Portaria Nº 154/02 da SEMACE (Superintendência Estadual do Meio Ambiente do Ceará) o valor máximo permitido para DQO é de 200 mg/L as duas tecnologias trabalhadas na pesquisa conseguiram se adequar a esse padrão. Na legislação nacional que é Resolução Nº 430 que dispõe sobre o lançamento de esgoto não trata concentrações de valores padrões permissíveis, apesar disso fala que os sistemas de tratamento deve ter ao menos 60% de eficiência na remoção de DBO do afluente antes do lançamento de esgoto, apesar dos sistemas não atingirem suas eficiências ótimas, atingiram esses padrões dessa forma pode-se afirmar que todos estavam dentro os padrões. A justificativa para não se atingir a remoção esperada para as tecnologias é qualidade do esgoto usado para alimentar os sistemas apresentou baixa concentração de material orgânico biodegradável, o esgoto era proveniente das instalações de uma instituição de ensino, este recebe maior contribuição líquida na forma de urina que dá origem aos compostos nitrogenados onde as proporções apresentaram-se bem diferenciadas com excesso de nutrientes principalmente o nitrogênio que esteve sete vezes superior a proporção descrita na literatura e fósforo duas vezes. Essas proporções ideias são indispensáveis para o crescimento dos microrganismos e efetiva remoção desses poluentes.

- **Nitrogênio**

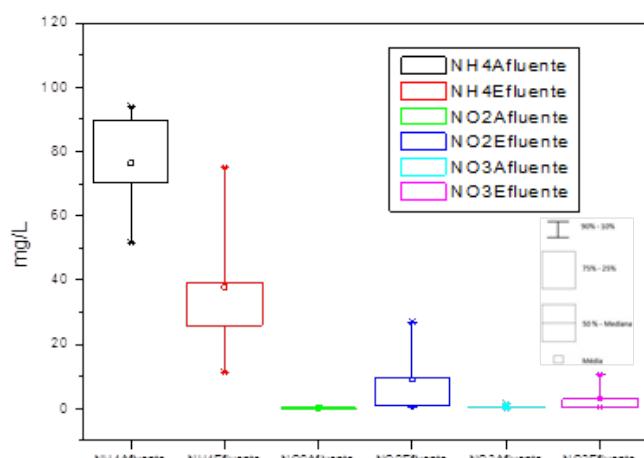
Durante o processo de tratamento em função da oxidação com gás oxigênio as bactérias nitrificantes transformam a amônia presente no afluente em nitrito (nitritação), o qual posteriormente passará de nitrito a nitrito (nitratização). Esse processo é chamado de nitrificação, sendo essas etapas, respectivamente, nitritação e nitratização. Quando o nitrogênio está na forma de nitrito fica possível removê-lo através do processo de desnitrificação.

Nas **Figuras 5 e 6** nota-se nos resultados de nitrito encontrados nos afluentes e efluentes do UCT e RBS que ambos os sistemas não removem nitrito dos afluentes, devido às concentrações de nitrito no afluente ser rara, no afluente o nitrogênio está presente em outras formas como amônia e nitrogênio orgânico. O nitrito teve seu valor aumentado no efluente devido ao processo de nitrificação, principalmente no sistema UCT essa concentração chegava a 30mg/L que é elevada e não é sempre que decai, ou seja, que desnitrificação possivelmente pela falta de material orgânico, onde o nitrogênio nitroso ou nítrico seria removido passando a nitrogênio gasoso e se incorporando a atmosfera. O RBS também tem o valor de nitrito aumentado mais com valores menores em torno de 10 mg/L.

Quanto os resultados de nitrito encontrados nos afluentes e efluentes do UCT e RBS, observam-se que ambos os sistemas em quase todas as análises conseguiram converter o nitrito a nitrato (nitratação), onde às concentrações de nitrito eram nulas em apenas um teste do RBS esse valor esteve aumentado com 9,43 mg/L de nitrito e em dois testes para o UCT onde as concentrações passam de 8,0 mg/L de nitrito saindo do padrão de lançamento para o nitrito que é de um 1,0 mg/L (CONAMA 357/2005). Para esses valores de nitrito pode ter sido causada pelo tempo de aeração não ter sido suficiente para completar o processo de nitrificação e as devidas conversões.



**Figura 5:** Desempenho do sistema UCT na remoção de nitrogênio.



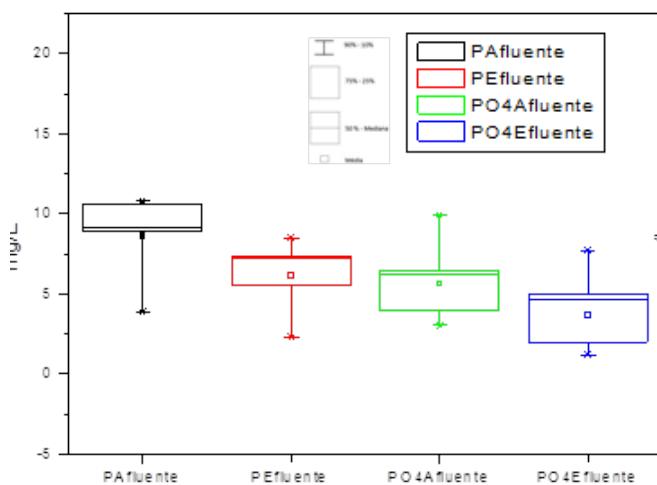
**Figura 6:** Desempenho do sistema RBS na remoção de nitrogênio.

#### • Fósforo

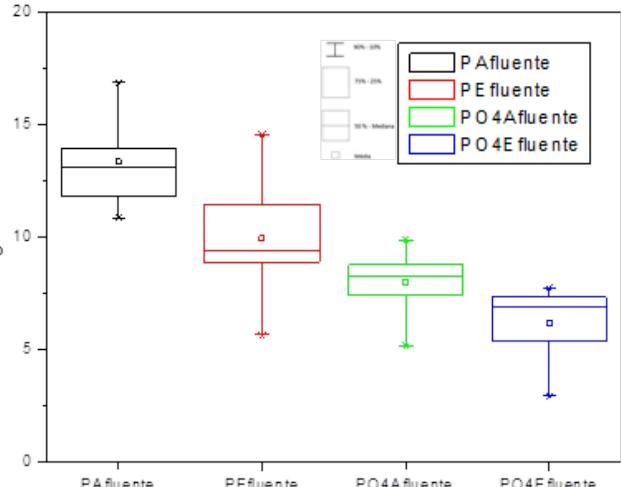
O processo de remoção de fósforo inicia-se em ambiente anaeróbio, onde o fósforo é liberado na forma de ortofosfato para o líquido, e a matéria orgânica é armazenada pelos OAF, após passa para um ambiente anaeróbio, onde o ortofosfato é utilizado nos processos metabólicos. A matéria orgânica é oxidada e a remoção do fósforo dá-se pelo descarte do lado. Os dois sistemas foram operados com a mesma idade de lodo (vinte dias), obtendo uma remoção considerada deste poluente. Passou a fazer descarte de lodo nos sistemas após dez dias de operação.

Um parâmetro importante para a eficiência de remoção desse nutriente fósforo é idade de lodo, onde se usou vinte dias que é considerada pela literatura idade para haver significativa remoção de fósforo, o fósforo é absorvido pelos microrganismos OAF na fase aeróbia e removido com o descarte de lodo no fim dessa fase.

Nas **Figuras 7 e 8** encontram-se a remoção do nutriente fósforo para o UCT teve eficiência de 34,47% um pouco maior em relação ao RBS que teve um desempenho de 22,81%.



**Figura 7: Desempenho do sistema UCT na remoção de fósforo.**



**Figura 8: Desempenho do sistema RBS na remoção de fósforo.**

## CONCLUSÕES

A partir dos valores obtidos pode-se concluir que as configurações de lodos ativados estudadas não conseguiram atingir a eficiência máxima esperada no tratamento de águas residuárias quanto à remoção de DQO, contudo o efluente esteve dentro dos padrões de lançamento, o desempenho foi em torno de 80% no RBSG e no UCT. As tecnologias não conseguiram atingir a eficiência potencial (acima de 90%) devido à qualidade do esgoto usado na alimentação dos sistemas que apresentou baixa concentração de material biodegradável e altas concentrações de nitrogênio, desbalanceando a relação ótima sugerida entre esses constituintes.

De acordo com a Portaria Nº 154/02 da SEMACE (Superintendência Estadual do Meio Ambiente do Ceará) o valor máximo permitido para DQO é de 200 mg/L as duas tecnologias trabalhadas na pesquisa conseguiram se adequar a esse padrão.

Quanto à remoção de nitrogênio mais de 70% de eficiência para o sistema UCT e para o RBSG com 55%, remoção de 35% de ortofosfato solúvel no UCT e o RBSG 23%. O sistema que mostrou uma maior eficiência foi o de fluxo afluente contínuo – o UCT apesar de a diferença na ter sido relevantemente significativa. Os dados indicam que para uma boa atuação do sistema de lodo ativado, o projeto e a operação por mão-de-obra qualificada é imprescindível, por isso é uma tecnologia tão discutida em termos de escolha para adoção em estações de tratamento municipais, em especial, porque seu potencial de eficiência mesmo em configurações não convencionais como as estudadas, pode não ter uma boa atuação sendo necessário o conhecimento prévio do esgoto a ser tratado.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA, et al. Standard methods for the examination of water and wastewater. 22<sup>a</sup>. ed. Washington: American Public Health Association. 2012.
2. BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA - Resolução Nº357 de 17 de março de 2005, Dispõe sobre a Classificação das águas doces, salobras e salinas do território nacional. Diário Oficial da União, Brasília Seção 1, pp. 58-63, 2005.
3. BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA - Resolução Nº430 de 13 de maio de 2011, Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução Nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. O texto não substitui o publicado no DOU Nº92, em 16/05/2011, p. 89. 2011.
4. CEARÁ. Superintendência de Meio Ambiente do Ceará – SEMACE – Portaria Nº154 de 22 de julho de 2002, Dispõe sobre padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes



XII SIBESA

XII Simpósio Ítalo-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental  
2014



poluidoras. Diário Oficial do Estado do Ceará, Fortaleza, Caderno Único, pp. 32-33, 01 de outubro de 2002.

5. HENRIQUE, I.N, SOUSA, J. T, CEBALLOS, B. O, BRASIL, D.P. Remoção biológica de fósforo em reatores em bateladas sequenciais com diferentes tempos de retenção de sólidos. Engenharia Sanitaria Ambiental 15, 2, 2010. p197-204.
6. LIMA, F.J.O, LIMA, D. A., SANTOS, A. M. Q. S., SILVA FILHO, H.A., SANTOS, E. V. M. Avaliação da eficiência de um sistema RSB em escala experimental In: VI Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica, Natal – CONNEPI 2011. 2011. p. 335-344.
7. VAN HAANDEL, A; MARAIS, G. O Comportamento do Sistema de Lodo Ativado: Teoria e Aplicações para Projetos e Operações. Campina Grande: Epgraf, 1999.
8. VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgoto. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 84 p. 2005.