



## II-259 – REMOÇÃO DE FÓSFORO DE EFLUENTES DOMÉSTICOS UTILIZANDO ESCÓRIA DE ACIARIA LD COMO MEIO SUPORTE EM LEITOS CULTIVADOS E NÃO-CULTIVADOS

**Janine Cabral Avelar<sup>(1)</sup>**

Bióloga pela Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF). Mestre em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal do Espírito Santo (UFES).

**Winston Carneiro e Gama<sup>(2)</sup>**

Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal do Espírito Santo (UFES).

**Alex Barcellos Vieira<sup>(3)</sup>**

Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). Analista Ambiental do Instituto de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Espírito Santo – IEMA.

**Ricardo Franci Gonçalves<sup>(4)</sup>**

Engenheiro Civil e Sanitarista – UERJ (1984), Pós-graduado em Engenharia de Saúde Pública - ENSP/RJ (1985), DEA - Ciências do Meio Ambiente - Univ. Paris XII, ENGREF, ENPC, Paris (1990), Doutor em Engenharia do Tratamento e Depuração de Água – INSA de Toulouse, França (1993), Prof. Adjunto do DHS e do PMEA - UFES.

**Sérvio Túlio Alves Cassini<sup>(5)</sup>**

Biólogo pela Universidade Federal de Minas Gerais (1975). PhD Microbiologia pela Universidade Estadual da Carolina do Norte (NCSSU) – EUA – 1988. Pós-Doutorado em Microbiologia Ambiental na Universidade do Tennessee – EUA – 1997. Prof. Adjunto do DHS e do PMEA - UFES.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Av. Fernando Ferrari, s/n – Goiabeiras – Vitória – ES – Brasil - CEP.: 29060-970 - Telefax.: (027) 3335-2165 / Tel: (027) 3335-2069 e-mail: jcavelar@gmail.com.

### RESUMO

A disposição inadequada de resíduos ainda constitui um problema no Brasil. O crescimento desordenado da população e das indústrias, a falta de controle do governo e o baixo conhecimento da população sobre o tema pioram este quadro. O fósforo (P) tornou-se um poluente de grande preocupação, devido à eutrofização e deterioração dos cursos de água, quando lançado em quantidades excessivas nas massas de água (Sedlak, 1991). Em esgotos domésticos, o fósforo apresenta-se principalmente sob a forma de fosfatos, seja na forma inorgânica (polifosfatos e ortofosfatos) ou na forma orgânica (ligado a compostos orgânicos). Além disso, destaca-se por ser necessário ao metabolismo biológico.

Sendo assim, o presente trabalho vem relatar um estudo realizado em uma estação de tratamento de esgoto que utilizou associação de um reator anaeróbio compartimentado a leitos cultivados e não-cultivados com presença de escória de aciaria LD ou brita como meio suporte cujo objetivo foi a remoção de fósforo de efluentes domésticos.

O sistema de tratamento implementado foi eficiente em relação à remoção de fósforo em ambas as etapas experimentais do monitoramento. Em destaque estão os leitos cultivados com presença de escória, que mostraram maior capacidade de remoção do nutriente quando relacionado ao leito cultivado sem presença de escória, fato este ocorrido nas vazões experimentais de 50mL/s e 75mL/s.

**PALAVRAS-CHAVE:** Fósforo, Tratamento de efluentes domésticos, Escória de aciaria LD, Leitos cultivados, Leitos não-cultivados.

### INTRODUÇÃO

É evidente a realidade precária do saneamento, principalmente quando observada no âmbito do tratamento de esgotos. Estatisticamente é sabido que apenas pequena parcela da população possui acesso ao tratamento de seus efluentes, visto que a infra-estrutura oferecida pela maioria das cidades está defasada, em consequência, ineficiente.

Visando obter um tratamento simples e de baixo custo que pudesse ser implementado em pequenas comunidades de até 2.000 habitantes, e minimizasse o impacto de despejos no ambiente utilizaram-se leitos cultivados e não-cultivados para o tratamento de efluentes domésticos. Para tanto, faz-se necessário a utilização de meio suporte, sendo a brita o meio mais comum. Contudo, no estado do Espírito Santo as



indústrias siderúrgicas representam uma parcela significativa na geração de resíduos sólidos, como a escória de aciaria LD, atualmente acumulados visto que sua produção é muito maior que a capacidade de reaproveitamento do mesmo. Inúmeras pesquisas buscam aplicações para este co-produto. A presente pesquisa utiliza escória de aciaria LD como meio suporte em leitos cultivados e não-cultivados, visando ações concretas e necessárias para este setor.

Neste contexto destaca-se fósforo, sendo um nutriente presente no esgoto cujas fontes variam de excretas humanas, detergentes e produtos sintéticos e compostos utilizados no tratamento de água. As moléculas em que o elemento pode ser observado são encontradas tanto na forma orgânica (presente em lipídios, proteínas e aminoácidos) quanto na forma inorgânica (ortofosfatos e polifosfatos). A ocorrência de fósforo em águas naturais e em águas residuárias se dá quase que exclusivamente na forma de fosfato ( $\text{PO}_4$ )<sup>3-</sup>. (APHA; AWWA & WPCF, 1992). Eles são encontrados em solução, em partículas ou detritos, ou em tecidos de organismos aquáticos (bactérias, fungos, algas, micro-invertebrados, macrófitas); fosfatos também estão presentes em sedimentos no fundo de corpos d'água e em lodos biológicos, tanto sob forma inorgânica precipitada como incorporados a compostos orgânicos, formando complexos organofosforados refratários (APHA et al., 1992).

Em leitos cultivados a remoção do nutriente é realizada por processos físicos, químicos e biológicos decorrentes principalmente dos mecanismos de precipitação, sedimentação, remoção e adsorção. Para tanto, as macrófitas e microrganismos tem papel relevantes, pois utilizam o macronutriente em seu metabolismo (PHILIPPI e SEZERINO, 2004). O fósforo entra nos leitos com o fluxo de alimentação e por deposição atmosférica; sai dos leitos com o fluxo de saída e por liberação gasosa de  $\text{PH}_3$  (KADLEC e KNIGHT, 1996). Ele pode se tornar disponível no leito através de ligação química ou difusão da solução.

O desenvolvimento desse trabalho contou com o apoio e a participação do Núcleo Água – Núcleo de Bioengenharia Aplicada ao Saneamento da Universidade Federal do Espírito Santo – UFES e da Arcelor Mittal Tubarão.

## MATERIAIS E MÉTODOS

A presente pesquisa utiliza a estação de tratamento de esgoto composta pela associação em série de um reator anaeróbio compartimentado, denominado RAC, e leitos cultivados e não-cultivados com composições distintas. Localizada no parque experimental do Núcleo Água – Núcleo de Bioengenharia Aplicada ao Saneamento da Universidade Federal do Espírito Santo – UFES, no Campus Universitário de Goiabeiras – Vitória, e foi desenvolvida em duas etapas: a primeira entre os meses de março de 2007 a agosto de 2007 e a segunda etapa entre os meses de dezembro de 2007 a março de 2008.

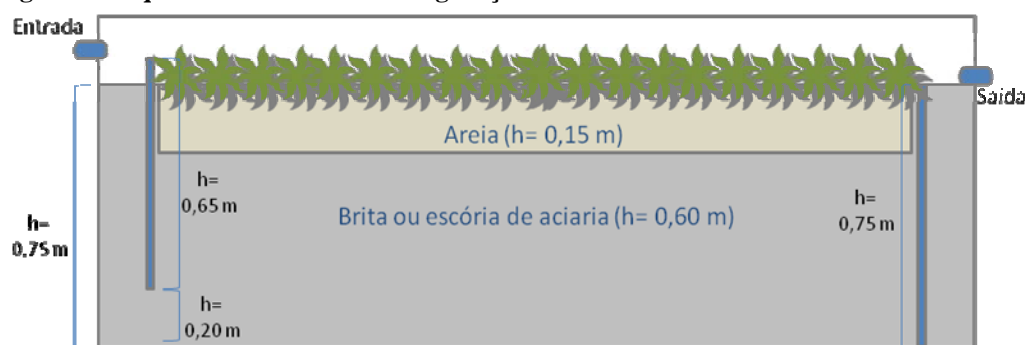
O RAC possui seção circular de 1,60 m de diâmetro, altura total de 3,58 m e volume total de 7,20 m<sup>3</sup> e foi executado em fibra de vidro. Trata-se de um reator constituído por um compartimento interno e outro externo, que consistem nas zonas de digestão e sedimentação, respectivamente. A zona de digestão possui seção circular (tubo interno) de 0,80 m de diâmetro, altura útil de 2,30 m e volume útil de 1,16 m<sup>3</sup>. A zona de sedimentação possui seção em forma de coroa circular (anel externo), cujos diâmetros externo e interno medem, respectivamente, 1,60m e 0,80m, possui altura útil de 2,30 m e volume útil de 3,46 m<sup>3</sup>, como descrito por Souza (2005).

A construção dos leitos baseou-se na obtenção de 3 leitos, sendo 2 destes cultivados (LC1 e LC2) e um não-cultivado(LC3), obedecendo o declive de 0,10m da entrada para a saída, direcionando o fluxo do afluente. Observa-se que a sigla para o terceiro leito manteve certa continuidade com os demais visando melhor compreensão para fins didáticos. Os leitos foram construídos em paralelo, cada um com volume total de 7,2 m<sup>3</sup> (8,0 x 0,75 x 1,20) e volume útil de 3,3525 m<sup>3</sup> para LC1 e LC2 e 3,450 m<sup>3</sup> para LC3, considerando os volumes de vazios da areia, brita e escória, respectivamente de 39,5%, 46% e 46%. Cada leito foi devidamente impermeabilizado

Na distância de 0,25m dos pontos iniciais e finais de cada leito cultivado, foram inseridas placas de fibra de vidro. As placas iniciais (1,250m x 0,55m) garantiam que o efluente inserido no leito penetrasse pela parte inferior do leito, enquanto que as planas finais (1,25m x 0,65m) permitiam a saída do efluente tratado apenas pela parte superior do leito. Este sistema possibilitou a configuração e a manutenção do fluxo sub-superficial, como indicado pela figura 11. Todas as placas foram impermeabilizadas junto às paredes e ao fundo do leito.



Figura 1: Esquema ilustrativo da configuração dos leitos.



Os leitos cultivados foram preenchidos com diferentes materiais de composição do meio suporte objetivando tratamentos distintos. Os diferentes tratamentos deste trabalho estão descritos na tabela 1. Nos leitos cultivados 1 e 2, o componente de maior granulometria ocupou uma altura de 0,60 m e o de menor granulometria preencheu uma altura de 0,15 m. No LC3 toda altura (0,75 m) foi preenchida com o componente de maior granulometria.

Tabela 1: Composição dos leitos.

| TRATAMENTOS | COMPOSIÇÃO DOS LEITOS                                  | VEGETAÇÃO |
|-------------|--|-----------|
| Leito 1     | Brita 2 ( $D_{10} = 32,0$ mm) + Areia média            | Presente  |
| Leito 2     | Escória de aciaria ( $D_{10} = 32,0$ mm) + Areia média | Presente  |
| Leito 3     | Escória de aciaria ( $D_{10} = 32,0$ mm)               | Ausente   |

Após o preenchimento total dos leitos 1 e 2, foram plantadas espécies dos gêneros *Typha* sp. e *Eleocharis* sp, conhecidas popularmente como taboa e junco obtidas de uma área alagada próximo ao mangue da UFES, na densidade de 5 plantas por  $m^2$ .

Após a construção do sistema RAC + leitos e a partida do sistema com o efluente derivado do RAC, iniciou-se a fase de monitoramento, em março de 2007. O esgoto é bombeado da elevatória e levado até o RAC. Após o tratamento primário, o efluente é coletado utilizando a caixa de passagem, de onde é retirado por meio de bomba dosadora de cabeçotes independentes com regulagem de fluxo. Na primeira fase do tratamento cada linha recebeu 4,32m<sup>3</sup>/d ou 50mL/s. Na segunda fase, cada uma das linhas de tratamento recebeu 6,48m<sup>3</sup>/d ou 75mL/s. Os leitos possuem saída independente das quais foram retirados o efluente final.

Em caso de problemas técnicos e conseqüentes interrupções nas análises, os resultados considerados foram os de uma segunda análise após a interrupção, visto que a primeira análise era utilizada para fins de teste e comparação ao período anterior à interrupção e posteriormente descartada.

O processo de amostragem foi realizado por meio de coletas de amostras simples nos diversos pontos de coleta, com frequência semanal na primeira etapa de monitoramento, e duas vezes por semana na segunda etapa do monitoramento, sempre realizado no período entre 8 e 10 horas da manhã.

Na avaliação do parâmetro fósforo total ( $P_T$ ) utilizou-se o método do ácido ascórbico pela oxidação em meio ácido (APHA; AWWA & WPCF, 1992).

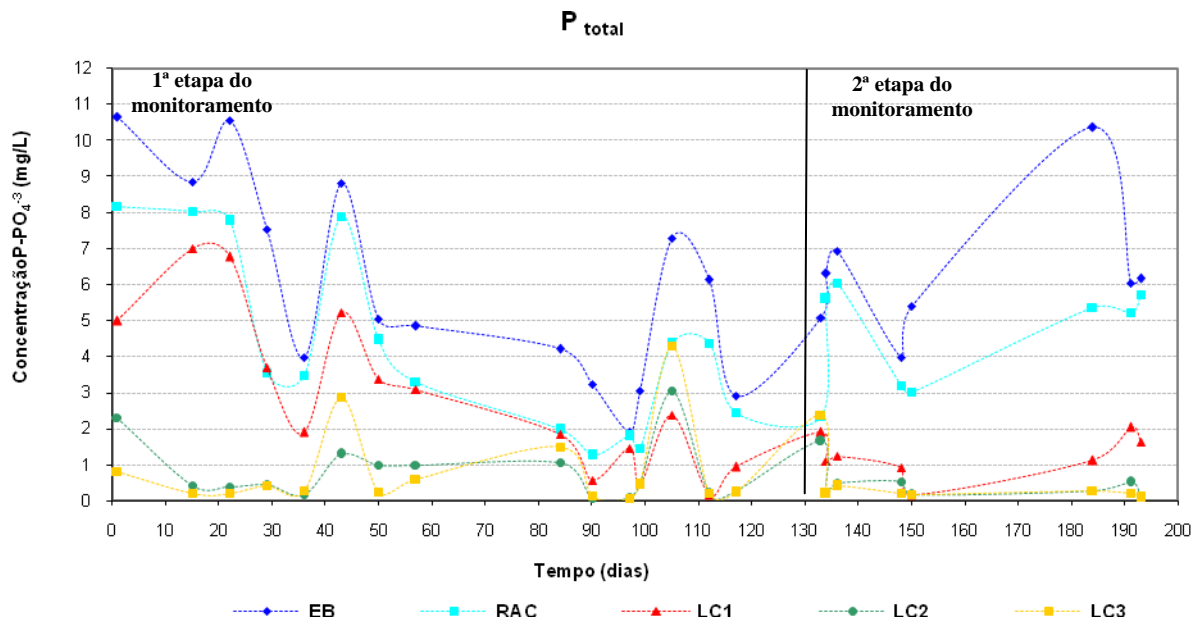
A análise estatística dos resultados foi realizada utilizando o pacote estatístico R versão 2.6.2.

Os desempenhos dos tratamentos do reator anaeróbio compartimentado (RAC) e dos leitos (LC) foram analisados de acordo com a comparação dos resultados obtidos nas fases do monitoramento. Tal comparação foi realizada através do teste de *Wilcoxon-Mann-Whitney*. Trata-se de um teste não paramétrico que tem por objetivo testar a equivalência de duas populações, ou seja, verificar se apresentam a mesma distribuição de probabilidade. Para o teste descrito, considerou-se a probabilidade de 5% de erro.

## RESULTADOS

Na figura 2 estão ilustrados os resultados do monitoramento realizado para as vazões experimentais de 50mL/s e 75mL/s referentes ao parâmetro  $P_{TOTAL}$ .

**Figura 2:** Série histórica referente ao parâmetro  $P_{total}$  no período de março de 2007 a março de 2008, com  $n=23$ . A linha indica a mudança de vazão no período experimental.



A série histórica representando a primeira etapa do monitoramento indica grande variação já no afluente do sistema, entre 2 a 11mg/L, com média de 5,9mg/L, resultado este possivelmente ligado a fatores abióticos, como a ocorrência de chuvas.

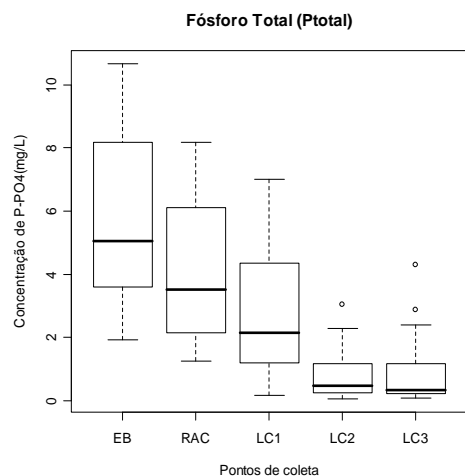
Visto o comportamento do afluente, o RAC seguiu a mesma tendência, com baixa capacidade de amortecimento de cargas, variando de 1 a 9,5mg/L, com valor médio de 4,2mg/L.

Os leitos apresentaram menor variabilidade, entre 0,1 a 4,5mg/L, quando relacionado a etapa de tratamento anterior do sistema. Os valores médios de LC1, LC2 e LC3 são respectivamente 2,9mg/L, 0,9mg/L e 0,9mg/L.

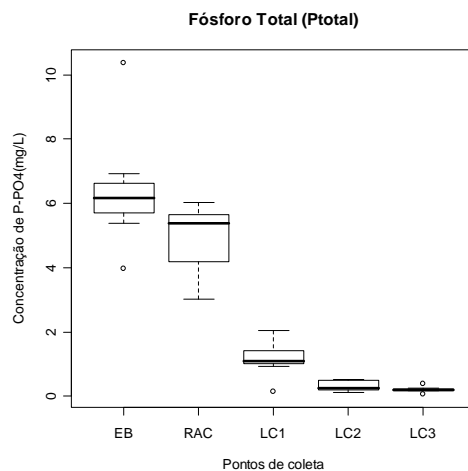
Na segunda etapa do monitoramento, cuja vazão foi de 75mL/s, observa-se comportamento semelhante à primeira vazão experimental, entretanto os valores obtidos na concentração do afluente foram menores e a variação está em torno de 4 a 10,5mg/L para EB e 2 a 6mg/L para RAC, com valores médios de 6,5mg/L e 4,9mg/L respectivamente para EB e RAC. Por sua vez, os leitos apresentaram resultados entre 0,1 e 2mg/L, com valores médios de 1,2mg/L, 0,3mg/L e 0,2mg/L respectivamente para LC1, LC2 e LC3.

Os valores indicam boa capacidade de remoção de fósforo, como pode ser percebido nas figuras 3 e 4.

**Figura 3:** Remoção de  $P_{total}$  no período de março a agosto de 2007 para vazão de 50mL/s e TDH 19h.



**Figura 4:** Remoção de  $P_{total}$  no período de janeiro a março de 2008 para vazão de 75mL/s e TDH 12,5h.



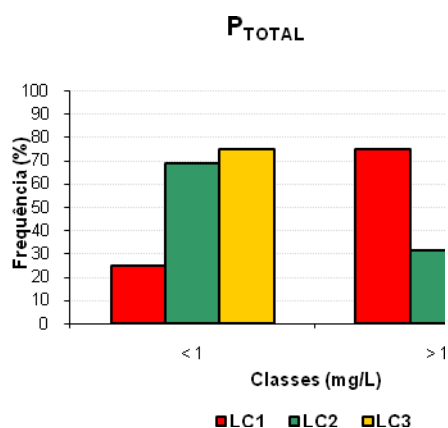


Na vazão experimental de 50mL/s, o sistema de tratamento foi notadamente eficiente em suas etapas, apresentando 29% de remoção de fósforo no RAC e 31%, 79% e 78% de remoção respectivamente para os leitos 1, 2, e 3. Nota-se que os leitos compostos por escória de aciaria LD apresentaram melhores resultados em relação ao leito composto por brita. Todavia, entre LC2 e LC3 não houve diferenças significativas entre os tratamentos.

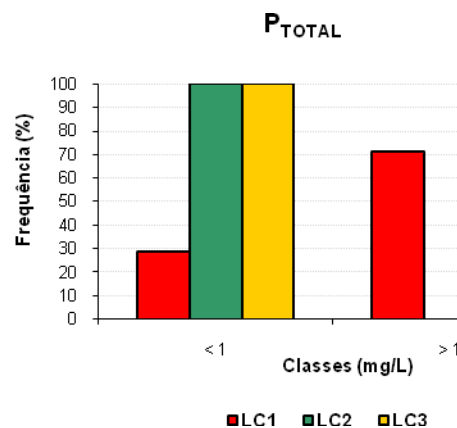
Quanto à eficiência na remoção de fósforo, a vazão experimental de 75mL/s comportou-se de forma semelhante a vazão de 50mL/s. Entretanto, resultados ainda melhores foram obtidos nos leitos, apesar da pequena queda na taxa de remoção do RAC em relação à primeira etapa do monitoramento, com resultado de 24% de remoção de fósforo. Como citado, os leitos apresentaram as respectivas taxas de remoção: 76% para LC1, 93% para LC2 e 96% para LC3, confirmando a influência positiva da presença de escória de aciaria LD para remoção de fósforo.

O COMDEMA 02-1991 (Conselho Municipal de Meio Ambiente) determina quanto ao parâmetro fósforo total que para o lançamento de efluentes a carga de fósforo total deve ser inferior a 1mg/L. Os desempenhos dos resultados obtidos pelas análises das amostras dos efluentes dos leitos encontram-se descritas nas figuras 5 e 6.

**Figura 5 – Distribuição de freqüência para o parâmetro  $P_{TOTAL}$  no período de março a agosto de 2007 para vazão de 50mL/s e TDH 19h**



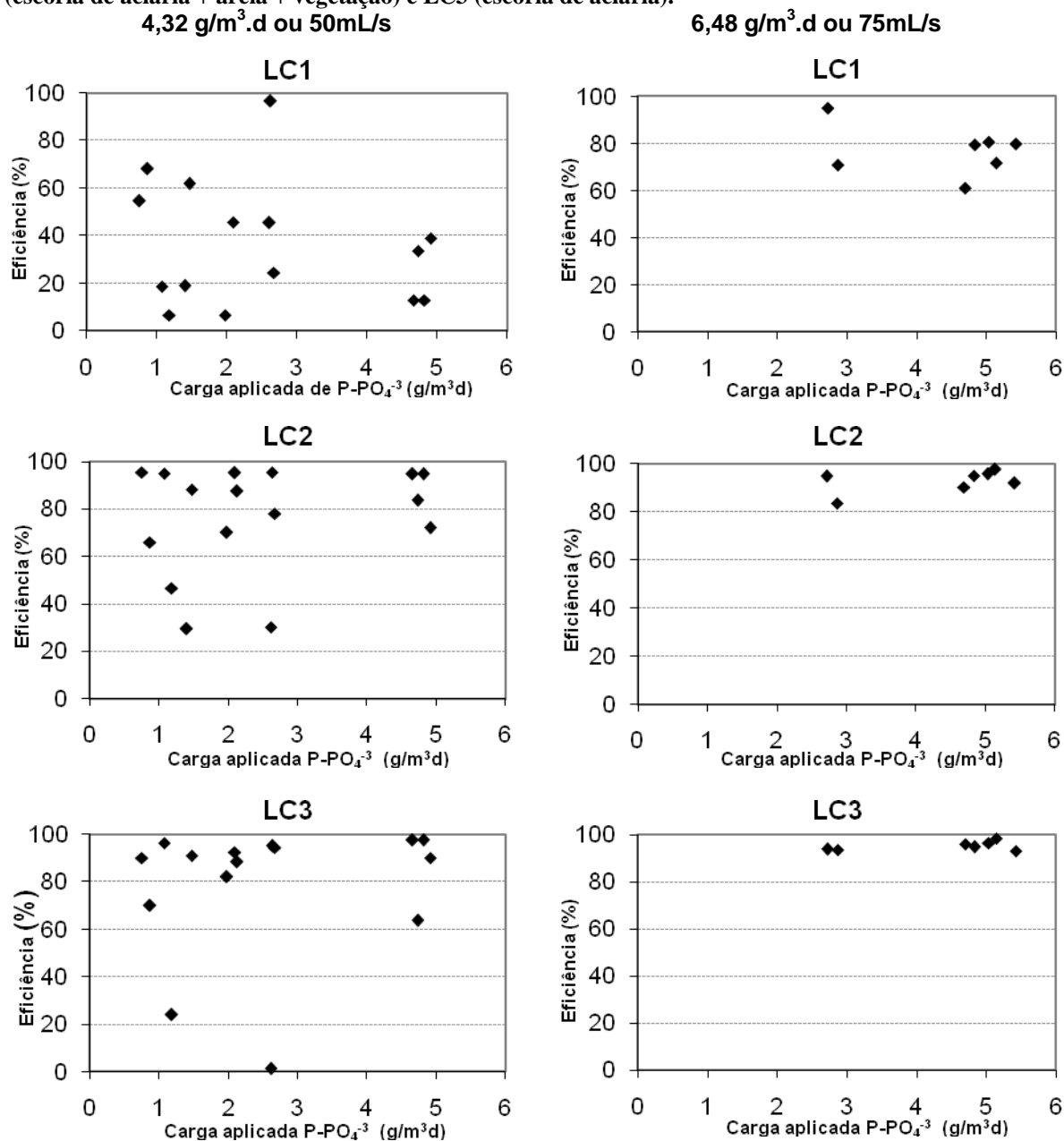
**Figura 6 – Distribuição de freqüência para o parâmetro  $P_{TOTAL}$  no período de janeiro a março de 2008 para vazão de 75mL/s e TDH 12,5h.**



Nas duas etapas do monitoramento nota-se o desempenho superior na remoção de fósforo nos leitos que utilizam escória de aciaria LD como meio suporte, obtendo em torno de 70% e 75% das amostras de LC2 e LC3 respectivamente, abaixo de 1mg/L na primeira etapa experimental. O LC1 obteve cerca de 25% das amostras abaixo do valor padrão.

Na segunda etapa experimental os valores foram ainda mais significativos, visto que 100% de LC2 e LC3 estavam abaixo de 1mg/L, enquanto LC1 apresentou cerca de 70% das amostras abaixo do valor citado. A avaliação da eficiência das cargas aplicadas nos leitos com relação ao parâmetro  $P_{total}$  indica excelente atuação dos leitos da presente pesquisa para remoção de fósforo como descrita nos gráficos da figura 7.

**Figura 7 – Análise da variabilidade das eficiências para o parâmetro  $P_{total}$  nas distintas composições dos leitos de acordo com as cargas volumétricas aplicadas. A saber: LC1 (brita + areia + vegetação), LC2 (escória de aciaria + areia + vegetação) e LC3 (escória de aciaria).**



A partir da comparação entre as vazões experimentais no LC1, nota-se uma tendência, na qual o aumento na carga aplicada reduz a eficiência de remoção de fósforo. Esse comportamento se faz esperado, visto que a carga ultrapassa o limite de absorção dos microrganismos e das plantas, mantendo-se em solução.

Contudo, os leitos 2 e 3 apresentam comportamento distinto. Nota-se que com o aumento da carga ocorre o aumento da eficiência de remoção, indicando que o meio não está saturado. Esse fato deve-se a remoção de fósforo por meio de precipitação, visto que o mesmo reage com o carbonato de cálcio, formado a partir da hidratação do óxido de cálcio liberado pela escória de aciaria, formando fosfato de cálcio.

Outras pesquisas foram realizadas utilizando leitos na remoção de fósforo. Os resultados podem ser comparados com a presente pesquisa por meio da análise da tabela 2.





**Tabela 2 – Comparações entre pesquisas com sistemas de tratamento de esgoto utilizando leitos para remoção de fósforo.**

| AUTORES             | VOLUME DO LEITO (M <sup>3</sup> ) | MATERIAL DO LEITO          | TIPO DE VEGETAÇÃO                        | TDH (H) | EFLUENTE DO LEITO (MG/L) | EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DO LEITO (%) |
|---------------------|-----------------------------------|----------------------------|--|---------|--------------------------|------------------------------------|
| Sousa et al (2000)  | 6,0                               | Areia + cascalho           | <i>Juncus spp</i>                        | 120     | 1,1                      | 83,0                               |
| Sousa et al (2005)  | 2,3                               | Areia + cascalho           | <i>Juncus spp</i>                        | 168,0   | 3,0                      | 56,5                               |
| Brasil et al (2005) | 7,2                               | Brita 0                    | <i>Typha sp.</i>                         | 45,6    | 4,0                      | 35,0                               |
|                     |                                   |                            | <i>Typha sp.</i>                         | 91,2    | 4,0                      | 48,0                               |
| Presente trabalho   | 7,2                               | Brita 2 + Areia Média      | <i>Typha sp.</i> e <i>Eleocharis sp.</i> | 12,4    | 1,2                      | 76,0                               |
|                     |                                   | Escória de aciaria + Areia |  |         | 0,3                      | 93,0                               |
| Neder (2007)        | 45                                | Brita 2                    | <i>Typha sp.</i>                         | –       | 11,2                     | 35,5                               |

## CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

O sistema de tratamento foi eficiente em relação à remoção de fósforo em ambas as etapas de tratamento. Em destaque estão os leitos com presença de escória, que mostraram maior capacidade de remoção do nutriente quando relacionado ao leito cultivado sem presença de escória, fato este ocorrido nas vazões experimentais de 50mL/s e 75mL/s.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA; AWWA & WPCF. Standard methods for the examination of water and wastewater. 19a edição, Washington D. C./USA, American Public Health Association, 1995.
2. BRASIL, M. S.; MATOS, A. T.; SOARES, A. A., FERREIRA, P. A. Qualidade do efluente de sistemas alagados construídos, utilizados no sistema de tratamento de esgoto doméstico. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 9, p. 133 – 137. Campina Grande, PB. 2005.
3. CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente (Brasil). 2005. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, ano 142, n. 53, 18 mar. Seção 1, p. 58-63.
4. KADLEC, R.H. & KNIGHT, R.L. Treatment Wetlands. CRC Press/Lewis Publishers, Boca Raton, Florida, USA, 1996.
5. NEDER, D. K.; QUEIROZ, T. R.; SOUZA, M. A. A. Remoção de sólidos suspensos de efluentes de lagoas de estabilização por meio de processos naturais. XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. ABES, 2007.
6. PHILIPPI, L. R. e SEZERINO, P. H. Aplicação de sistemas tipo wetlands no tratamento de águas residuárias: utilização de filtros plantados com macrófitas. Editora do autor. Florianópolis, 2004.
7. SEDLAK, R. Phosphorus and Nitrogen Removal from Municipal Wastewater: Principles and Practice, 2nd ed, Lewis Publishers, NY. 1991.
8. SOUZA, W. G. Associação em série de um reator anaeróbio compartimentado, uma lagoa de polimento e um sistema de pós-tratamento físico-químico para tratamento terciário de esgoto sanitário. Dissertação de mestrado. Programa de Pós- Graduação em Engenharia Ambiental. Universidade Federal do Espírito Santo. 2005.