



ESTUDO DO PROCESSO DE TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO POR WETLANDS

Junior Melo Silva

Pós-Doutor em Materiais Cerâmicos pelo Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (Ipen) da USP.
Pesquisador na Universidade Estadual de Campinas
E-mail: juniorariston@gmail.com

RESUMO

Atualmente a escassez dos recursos hídricos no mundo tem chamado a atenção dos pesquisadores, tornando fundamental o desenvolvimento de tecnologias para o tratamento dos esgotos gerados nas comunidades humanas. O sistema de alagados construídos é uma dessas tecnologias, tratando-se de um sistema que tem como uma de suas mais importantes características a capacidade de remover os nutrientes presentes na composição dos esgotos domésticos. Esta remoção ocorre graças à utilização de plantas aquáticas instaladas em um leito que busca simular de forma artificial os alagados naturais, presentes nas margens de rios e lagos. O presente trabalho monitorou durante duas semanas distintas, que possuíram épocas climáticas diferentes (primavera e inverno), a remoção de nutrientes, fósforo e nitrato, presentes no efluente de um sistema piloto de alagados construídos que tratava uma parcela do esgoto gerado na Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), SP, Brasil. Este alagado era constituído de um leito de área superficial retangular (4 x 1m), onde havia o cultivo de macrofita do gênero *Typha sp.* As amostras do afluente e efluente do alagado foram coletadas a cada uma hora dentro do intervalo de trabalho, que estava compreendido entre as 8 h e às 20 h. O sistema apresentou uma remoção média para o fósforo, durante o inverno, de 44,1% e para o nitrato de 36,8%. Na primavera a redução média de fósforo e nitrato foi de 38,9% e 30,7% respectivamente.

PALAVRAS-CHAVE: Alagados construídos; esgotos domésticos; pós-tratamento; baixo custo.

STUDY OF THE DOMESTIC SEWAGE TREATMENT PROCESS BY WETLANDS

ABSTRACT

Currently the scarcity of water resources in the world has attracted the attention of the researchers, making fundamental the development of technologies for the treatment of sewage generated in human communities. The built flood system is one of these technologies, being a system that has as one of its most important characteristics the ability to remove the nutrients present in the composition of domestic sewage. This removal takes place thanks to the use of aquatic plants installed in a bed that seeks to artificially simulate the natural floodwaters present on the banks of rivers and lakes. The present work monitored for two distinct weeks, which had different climatic seasons (spring and winter), the removal of nutrients, phosphorus and nitrate, present in the effluent of a pilot system of built floods that treated a portion of the sewage generated in the Faculty of Engineering Agricultural University of the State University of Campinas (UNICAMP), SP, Brazil. This

*Autor para correspondência/Author for correspondence/Autor para la correspondencia: Junior Melo Silva
UNICAMP - Rua da Reitoria nº 81, Cidade Universitária "Zeferino Vaz" - Unicamp - Barão Geraldo - Campinas - São Paulo CEP: 13083-872

Data do recebimento do artigo (received): 22/10/2016
Data do aceite de publicação (accepted): 12/12/2017

Desk Review
Double BlindReview

flood was composed of a bed of rectangular surface area (4 x 1m), where there was the cultivation of macrophy of the genus *Typha* sp. The samples of the effluent and effluent from the floodwaters were collected every one hour within the working range, which was between 8h and 20h. The system presented a mean removal for phosphorus, during winter, of 44.1% and for nitrate of 36.8%. In the spring the average reduction of phosphorus and nitrate was 38.9% and 30.7%, respectively.

Keywords: Constructed floodwaters; household sewage; after treatment; low cost.

ESTUDIO DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO POR WETLANDS

RESUMEN

Actualmente la escasez de recursos hídricos en el mundo ha llamado la atención de los investigadores, haciendo fundamental el desarrollo de tecnologías para el tratamiento de las alcantarillas generadas en las comunidades humanas. El sistema de inundaciones construidas es una de esas tecnologías, tratándose de un sistema que tiene como una de sus más importantes características la capacidad de remover los nutrientes presentes en la composición de las aguas residuales domésticas. Esta remoción se produce gracias a la utilización de plantas acuáticas instaladas en un lecho que busca simular de forma artificial los alagados naturales, presentes en los márgenes de ríos y lagos. El presente trabajo monitoreó durante dos semanas distintas, que poseyeron épocas climáticas diferentes (primavera e invierno), la remoción de nutrientes, fósforo y nitrato, presentes en el efluente de un sistema piloto de inundaciones construidas que trataba una parcela del alcantarillado generado en la Facultad de Ingeniería Agrícola de la Universidad Estadual de Campinas (UNICAMP), SP, Brasil. Este alagado estaba constituido de un lecho de área superficial rectangular (4 x 1m), donde había el cultivo de maquila del género *Typha* sp. Las muestras del afluente y efluente de la inundación fueron recolectadas cada hora dentro del intervalo de trabajo, que estaba comprendido entre las 8 h y las 20 h. El sistema presentó una remoción media para el fósforo, durante el invierno, del 44,1% y para el nitrato del 36,8%. En la primavera la reducción media de fósforo y nitrato fue de 38,9% y 30,7% respectivamente.

Palabras clave: Alagados construidos; alcantarillas domésticas; después del tratamiento; bajo costo.

I INTRODUÇÃO

Os alagados podem ser naturais ou construídos, caracterizando-se por serem áreas inundadas ou saturadas por águas superficiais ou subterrâneas (lençol freático), numa frequência e duração suficientes para a manutenção da grande umidade do sistema (U.S.EPA, 1988).

Estes alagados podem ser comparados aos filtros biológicos, onde os microorganismos ficam alocados na superfície do meio suporte.

O meio suporte é responsável pela fixação do sistema radicular da macrófita, sendo composto geralmente por brita, palha de arroz ou outros. Neste meio suporte acabam por ocorrerem as principais reações bioquímicas responsáveis pelo tratamento das águas residuárias (Wood, 1995).

No meio natural, estima-se que mais de 5.000 espécies de plantas são adaptadas à sobrevivência em alagados naturais (Hammer, 1989). Sabe-se que quanto ao tamanho, existem, macrófitas que não ultrapassam a dimensão de uma cabeça e alfinete, enquanto que outras como as taboas (*Typha* sp), chegam a atingir quatro metros de altura (ALPHA, 1992).

Esses alagados naturais são basicamente áreas inundadas que com auxílio do sistema radicular das macrófitas locais remove parte dos compostos nitrogenados e fósforo presente na

água. No Brasil afora essas áreas são conhecidas popularmente por: pântano; caniçal; palude; juncal; brejo ou lodaçal.

Um exemplo de alagado natural é encontrado na região do Pantanal, de procedência predominantemente brasileira na parte ocidental do país e com porções adjacentes na Bolívia e Paraguai. Trata-se de um alagado de 11.000.000 ha, que recebe águas poluídas em sua parte setentrional e oriental, e as transforma em águas limpas, que são drenadas pelo rio Paraguai, contribuindo como um dos maiores provedores de águas da parte meridional da América do Sul (Hammer, 1997).

Wetzel (1993) apresenta uma classificação para as macrofitas aquáticas que considera três tipos fundamentais: macrofitas aquáticas flutuantes (enraizadas ou livres); macrofitas submersas; macrofitas aquáticas emergentes.

Nos alagados construídos empregados no tratamento de esgotos que possuem um sistema baseado em macrofitas emergentes, podem ser dividido em três grupos básicos: sistemas de fluxo superficial; sistemas de fluxo subsuperficial horizontal e os sistemas de fluxo subsuperficial vertical.

O sistema de fluxo superficial é mais frequente nos Estados Unidos e sua configuração consiste em bacias ou canais dotados de um sistema impermeabilizante que evite infiltrações. É ainda dotado de algum solo ou outro tipo de substrato que suporte a vegetação emergente e de um corpo de água normalmente pouco profundo não ultrapassando os 30 cm.

O sistema de fluxo subsuperficial horizontal trata-se do sistema mais frequente. Seu conceito foi desenvolvido na Alemanha, sendo colocado em funcionamento no ano de 1974, na cidade de Othfresen. É conhecido por “Método Rizosférico” (“*Root-Zone Method*”, em alemão “*Wurzelraumentsorgung*”). A água residuária é distribuída na entrada do sistema e se sujeita a percolação mais ou menos prolongada ao longo da zona rizosférica (em redor das raízes), onde coexistem áreas aeróbias, anóxicas e anaeróbias.

No sistema de fluxo subsuperficial vertical a distribuição do efluente é feita na superfície dos alagados e a deslocação do líquido é em percolação.

A figura 1 resume os diferentes sistemas de fluxo empregados em alagados construídos.

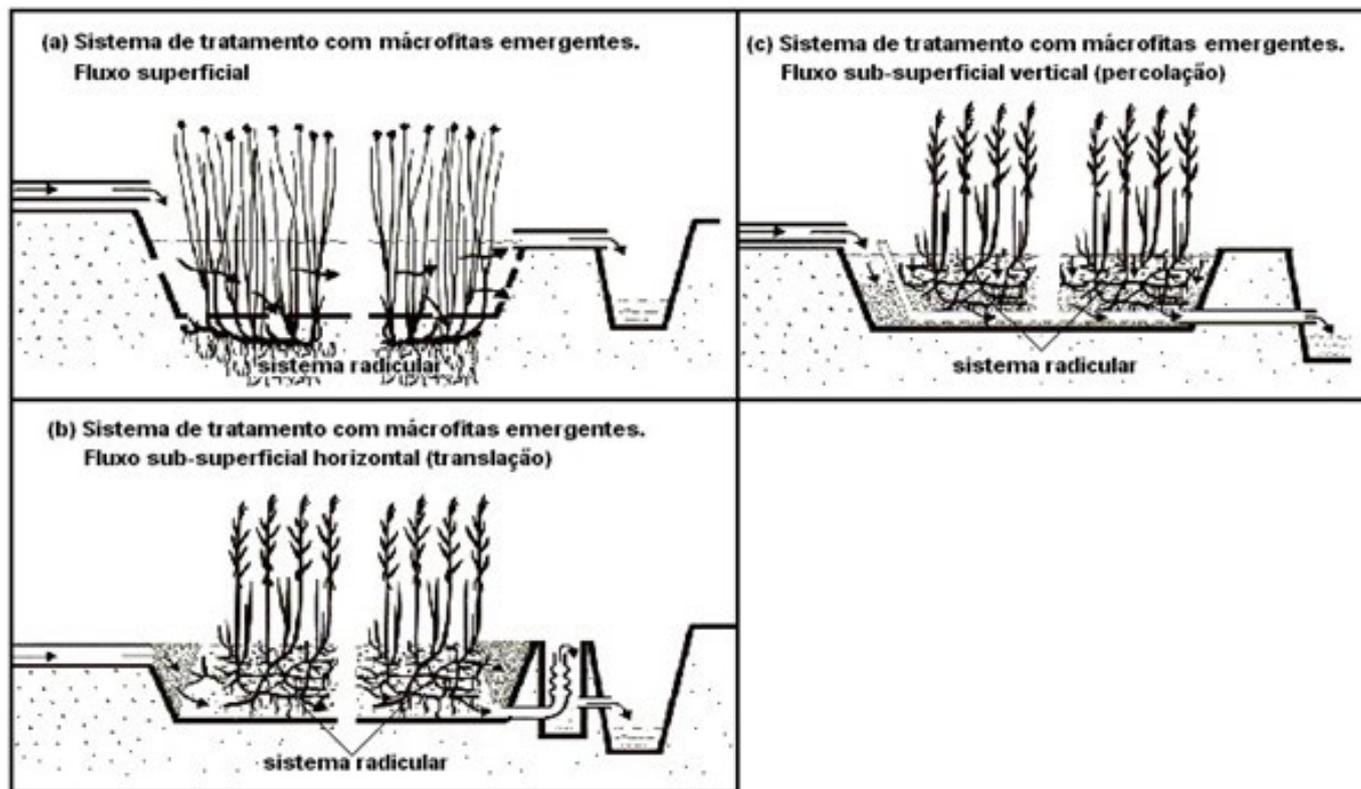


Figura 1. Representação esquemática de um sistema de tratamento de águas residuárias baseado em macrófitas aquáticas emergentes: a) fluxo superficial ilustra-se a espécie *Scirpus lacustris*; b) fluxo subsuperficial horizontal ilustra-se a espécie *Phragmites australis*; c) fluxo subsuperficial vertical (percolação) ilustra-se a espécie *Phragmites australis*. Figura adaptada de Brix (1993).

O sistema de macrófitas aquáticas emergentes de fluxo subsuperficial horizontal teve seu conceito desenvolvido na Alemanha, sendo um modelo colocado em funcionamento no ano de 1974, na cidade de Othfresen. Neste caso, a água residuária é distribuída na entrada do sistema e se sujeita a percolação mais ou menos prolongada ao longo da zona rizosférica, onde coexistem regiões aeróbias, anóxicas e anaeróbias. Durante a passagem por estas diferentes regiões, ocorrem processos de natureza física, química e biológica que acabam por realizar o tratamento das águas residuárias (Kickuth, 1977).

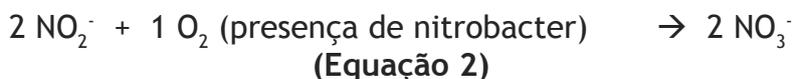
Os mecanismos de assimilação dos poluentes nos alagados dependem principalmente do suprimento de oxigênio propiciado aos microorganismos e das condições químicas do meio suporte (Haberl *et al.*, 1995).

Para uma remoção do fósforo, deve-se ter atenção de um meio suporte que crie condições para que ocorram os processos de adsorção. Deste modo, a adoção de materiais ricos em ferro, alumínio, carbonato de cálcio e argilas especialmente preparadas poderiam ser empregados tendo-se em vista a remoção deste composto químico (Cooper, 1990; Kadlec e Knight, 1996).

Quanto ao nitrogênio, os principais processos de transformação química ocorridos nos sistemas de alagados são (Mansor, 1998): amonificação; nitrificação; desnitrificação; fixação biológica e assimilação.

A amonificação é a transformação biológica de nitrogênio orgânico a amônia, com liberação de energia. As bactérias heterotróficas responsáveis por esta decomposição são mais eficientes em condições aeróbias, porém também agem em ambiente anaeróbio; elas são encontradas associadas especialmente às raízes das macrófitas. Este complexo processo de mineralização ocorre mais rápido que a nitrificação; sua temperatura ótima está entre 40° e 60°C e seu pH entre 6,5 e 8,5.

A nitrificação é processo de oxidação microbiológica da amônia, sendo o principal mecanismo de transformação da amônia em alagados. Ocorre mesmo em ambientes com baixas concentrações de oxigênio ($0,3 \text{ mgO}_2\text{L}^{-1}$). Consiste dos dois estágios:



A desnitrificação é o processo de redução do nitrato ou nitrito, com produção de gás nitrogênio, óxido nitroso ou óxido nítrico.

A desnitrificação é um processo essencial, complementar ao metabolismo heterotrófico, que ocorre na ausência de oxigênio dissolvido ou livre (ambiente anóxico), sendo mais comumente realizado por bactérias heterotróficas dos grupos *bacillus*, *enterobacter*, *micrococcus*, *pseudomonas* e *spirillum*.

A fixação biológica é o processo de redução de gás nitrogênio (difundido no meio aquático) a amônia, realizada por bactérias autotróficas ou heterotróficas, algas e plantas mais evoluídas, sob condições anaeróbias.

A assimilação consiste de vários processos biológicos de conversão de nitrogênio inorgânico a compostos orgânicos (formadores de células e tecidos nas plantas superiores, algas e microorganismos). Na maioria das vezes, a absorção de nitrato pelas plantas de alagados é menos favorecida que a absorção de íons amônio, porém ela pode ser favorecida quando as águas residuárias são ricas em nitrato.

As macrofitas utilizam enzimas para converter o nitrogênio oxidado a formas utilizáveis; a produção destas enzimas decresce quando íon amônio está presente.

Na maioria das vezes, a absorção de nitrato pelas plantas presentes nos alagados é menos favorecida que a absorção de íons amônio, porém ela pode ser favorecida caso existe uma alta concentração do composto mais oxidado nas águas residuárias.

O nitrato é a forma de nitrogênio de maior estado de oxidação presente nos sistemas de alagados. Este composto é um nutriente essencial para muitos organismos autótrofos fotossintéticos, porém em excesso conduz as águas superficiais à eutrofização. Em águas residuárias domésticas, o nitrato ocorre em pequenas concentrações (Trotter; Thomson; Coleman; 1994).

A necessidade do desenvolvimento de sistemas de tratamento de esgoto doméstico eficientes e economicamente viáveis levaram Juwarkar *et al.* (1995) a utilizarem na Índia pesquisas com alagados construídos de macrofitas emergentes. Os autores empregaram no estudo alagados, em escala piloto, compostos de tubos de cimento de 400 mm de diâmetro e 800 mm de altura, contendo uma mistura de 30% de argila calcária e 70% de areia.

O sistema de escoamento adotado foi o subsuperficial vertical utilizando as macrofitas *Typha latifolia* e *Phragmites carca*. Quatro semanas após o plantio das macrofitas nos alagados, águas residuárias provenientes de tratamento primário foram introduzidas nos alagados, a uma carga hidráulica de $50\text{mm}^3/\text{mm}^2/\text{dia}$.

Quanto aos resultados encontrados, a remoção de nitrato para os alagados com a *Typha latifolia* e *Phragmites carca* foi de 65% a 73% respectivamente. Para a remoção de fósforo total foi de 28% a 41% e para redução de DBO de 78% a 91% respectivamente.

No Brasil Souza e Bernardes (1996) desenvolveu em Brasília um sistema de alagados para tratar os esgotos de uma comunidade de 800 pessoas. O projeto possuía um sistema de pré-tratamento por gradeamento e reator anaeróbio de fluxo ascendente.

O sistema foi projetado utilizando 3 alagados escavados no solo e sem revestimento, os quais foram conectados em série com aplicação do efluente em regime de escoamento subsuperficial horizontal. A dimensão dos alagados era de 45,0 m de comprimento; 3,4 m de largura e 0,8 m de profundidade cada, possuindo assim um volume de 122,4 m³. O meio suporte escolhido foi brita (diâmetro efetivo de 10 - 50 mm) e a espécie cultivada utilizada foi a *Typha latifolia*.

O experimento monitorou os efluentes de setembro de 1995 a março de 1996, sendo a vazão média de entrada de 128 m³/dia (5,3 m³/h). No estudo a remoção média de nitrato e fósforo total foi de 54,3% e 40,0% respectivamente.

Destaca-se que existe uma grande quantidade de trabalhos científicos que cada vez mais são realizados nessa área de tratamento e reaproveitamento dos recursos hídricos. Deste modo, o objetivo deste trabalho foi avaliar a dinâmica horária da remoção de fósforo total e nitrato em sistemas de alagados para tratamento de efluentes.

2 MATERIAL E MÉTODO

A pesquisa foi realizada na Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI) da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas, SP, Brasil.

O local encontra-se na latitude S22°53'20" e longitude W47°04'40". O clima é tropical de altitude com inverno seco e verão úmido, de acordo com a classificação Köppen (Lucarelli, 1997).

A FEAGRI possui um sistema piloto de alagados construídos para tratamento do esgoto doméstico da própria instituição.

Os alagados possuem macrofitas aquáticas emergentes de fluxo subsuperficial horizontal. A estrutura que forma os alagados possui 06 células, sendo três com área superficial quadrada (2x2m) e três retangulares (4x1m), com altura em relação ao solo de 0,70 m. Assim, possuindo um volume individual de 2,8 m³.

O material suporte utilizado nos alagados foi à brita número 2 (diâmetro efetivo de 55-99 mm). Dois alagados possuem macrofitas emergentes da espécie *Typha sp*, cultivada em 01 alagado quadrado e em 01 retangular. Em outros dois alagados a espécie adotada foi a *Eleocharis sp*, cultivada em 01 alagado quadrado e outro retangular.

As macrofitas estão dispostas em nove mudas equidistantes dentro de cada parcela do alagado construído. Pode-se observar que as plantas na região central têm um menor desenvolvimento foliar, chegando a ter seu crescimento inibido pelas plantas dispostas na região perimetral, isso devido ao efeito do sombreamento.

Os dois alagados restantes, 01 quadrado e 01 retangular contêm apenas material suporte (brita), buscando avaliar o grau de remoção de nutrientes sem a presença de macrofitas (figura 2).

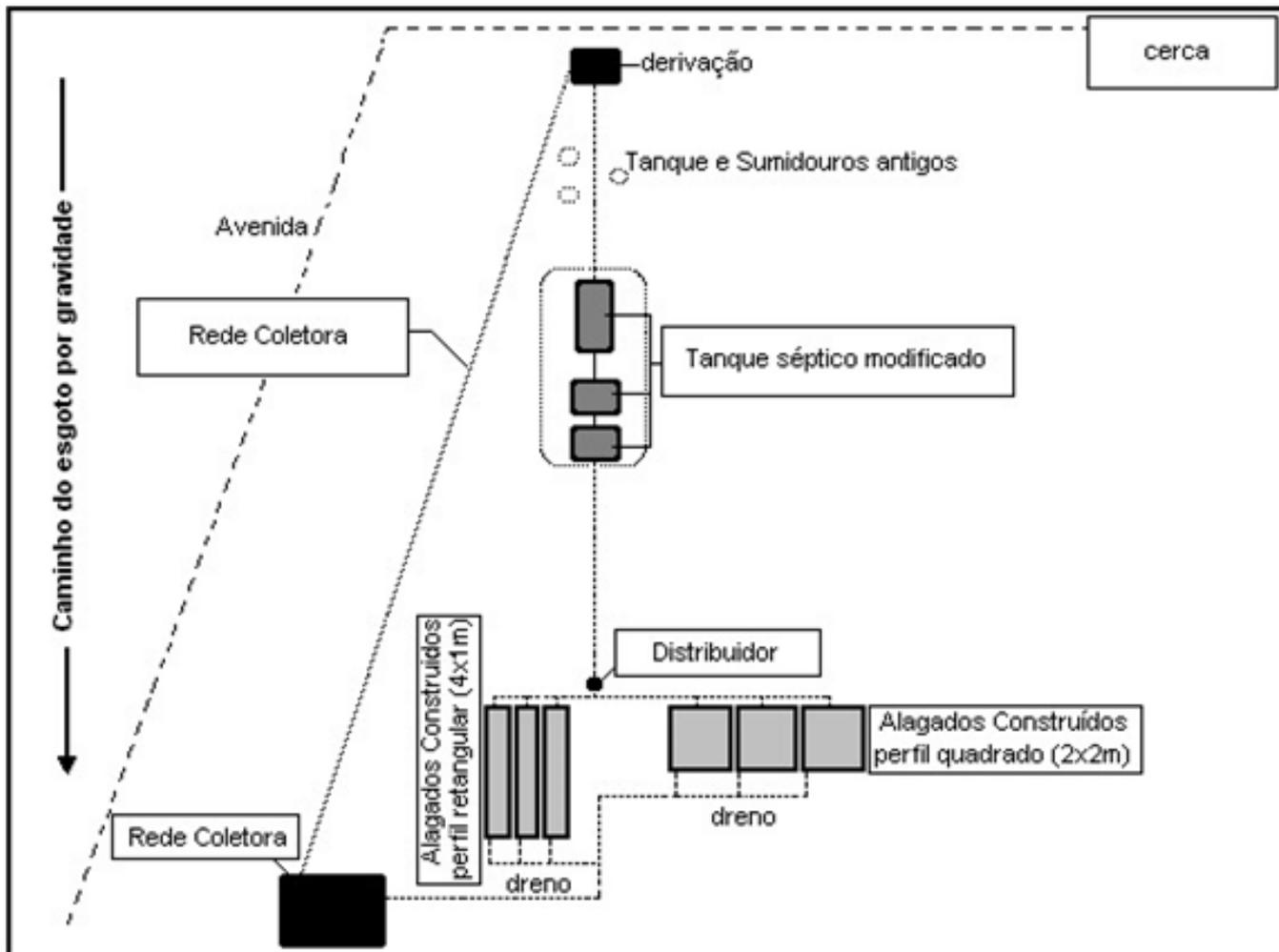


Figura 2. Planta baixa da estação piloto do local.

Na estrutura de tratamento de esgoto da FEAGRI foi utilizado numa etapa anterior aos alagados o conceito de reator anaeróbio compartimentado, com entrada do afluente junto ao fundo dos compartimentos.

O sistema possui um tanque séptico modificado composto por três câmaras em série, com volumes respectivos: 1.000 L; 500 L e 500 L (figura 3).

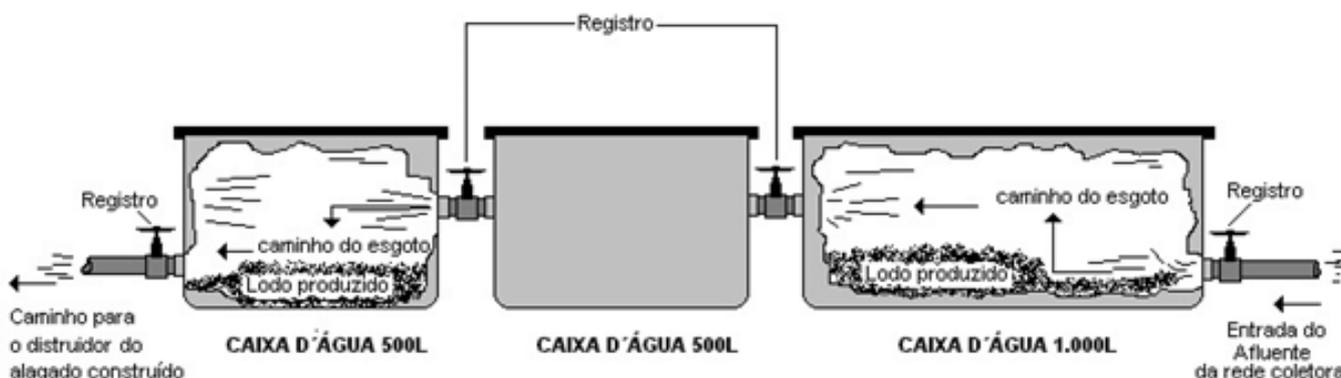


Figura 3. Corte do tanque séptico modificado formado por três câmaras de estabilização do lodo.

O efluente do tanque séptico chega por gravidade até a caixa de distribuição que é responsável pela repartição do fluxo de efluente nos alagados construídos, de maneira a garantir a mesma vazão em todos os alagados.

Os alagados construídos foram produzidos em alvenaria de blocos de cimento (40x20cm), com base em concreto armado, além de revestimento interno com argamassa e impermeabilizante. Em cada alagado a entrada é realizada com tubo de PVC de 2", com furos de 10 mm de diâmetro espaçados de 10 cm em 10 cm, localizados na parte superior e nas laterais do tubo, permitindo uma entrada de água homogênea nos alagados. O efluente dos alagados é captado na parte inferior oposta a entrada de cada alagado, utilizando um tubo de PVC de 2" (Valentim, 1999).

A pesquisa utilizou apenas um único alagado construído de dimensão retangular com macrófita da espécie *Typha sp*, analisando-se duas semanas de períodos distintos: julho de 2015 (dias 15/07; 16/07; 17/07; 18/07 e 19/07) e outubro de 2015 (dias 30/09; 01/10; 02/10; 03/10 e 04/10). Esses períodos corresponderam às condições climáticas de inverno (julho) e de primavera (outubro).

A temperatura média para julho foi de 19,93°C, enquanto que para o mês de outubro foi de 25,36°C.

As amostras de água residuária coletadas foram analisadas no laboratório de Ciências de Alimentos da Faculdade de Engenharia de Alimentos (FEA) da UNICAMP, onde se determinou as concentrações de fósforo e nitrato.

O método utilizado para a determinação de fósforo foi o AOAC *Official Method 973.55 - Phosphorus in water*. Este método permite a identificação de todo fósforo presente independentemente da forma, medido por digestão de persulfato.

As amostras devidamente preparadas são medidas no espectrofotômetro com o uso do software PERKIN ELMER acoplado ao computador que fornece a curva de calibração e as leituras de concentração de fósforo. Às amostras para análise da concentração de nitrato foram inicialmente digeridas em sulfato de amônio e posteriormente medidas com o aparelho ANALYSER PH/ION 450M.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 VAZÃO DO SISTEMA

Para avaliar a eficiência desta pesquisa foram escolhidos dentre os dez dias de medidas, os dias 18/07/2015 e 03/10/2015, por representarem condições típicas para cada período climático escolhido (inverno e primavera).

No dia 18/07 a vazão de entrada e saída teve uma maior variação no período total de estudo (8 h até às 20 h) em função da operação do sistema (figura 4).

Isso ocorreu devido O tempo médio de detenção hidráulica para o sistema foi de 4,5 dias, o que produz atenuação importante nas condições das águas de entrada e saída.

A vazão mínima e máxima de entrada foi de 65 L/h e 150 L/h, respectivamente, enquanto a vazão mínima e máxima de saída os valores foram de 50 L/h e 60 L/h, respectivamente (figura 4).

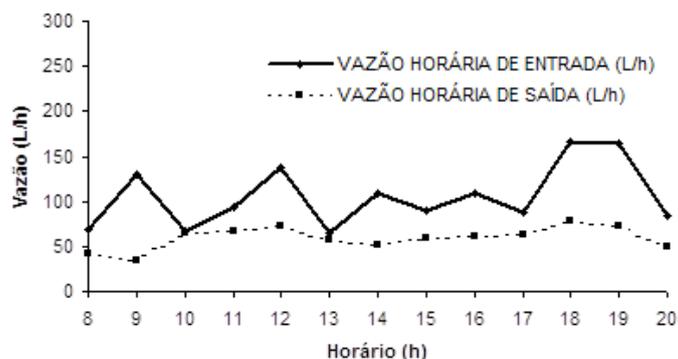


Figura 4. Dinâmica das vazões (L/h) de entrada e saída do leito cultivado no dia 18/07/2015.

Ao verificar esses valores pode-se perceber o efeito do armazenamento das águas no leito, em função do tempo de detenção hidráulico.

A vazão média de entrada e saída do leito, no período das 8 h às 20 h, foi de 105 L/h e 59 L/h, respectivamente. A diferença percentual de vazão média de entrada e saída para o dia foi de 43,8% (figura 4). O volume de entrada e saída no período das 8 h às 20 h foi 1370 L e 774 L, respectivamente.

Os volumes de entrada foram superiores aos volumes de saída e a diferença de volumes de entrada e saída resulta da perda de evapotranspiração do sistema.

Para o dia 03/10 a vazão de entrada e saída não teve grandes variações no período total de estudo (8 às 20 h) em função da operação do sistema. A vazão mínima e máxima de entrada foi de 51,8 L/h e 96,5 L/h, respectivamente (figura 5).

À vazão mínima e máxima de saída teve valores de 79,2 L/h e 30,3 L/h, respectivamente. A vazão média de entrada e saída, no período foi de 130,4 L/h e 81,6 L/h, respectivamente, com redução percentual na vazão média de entrada e saída de 37,4% (conforme a figura 5).

O volume de entrada e saída no período foi 1694,9 L e 1061,7 L, respectivamente.

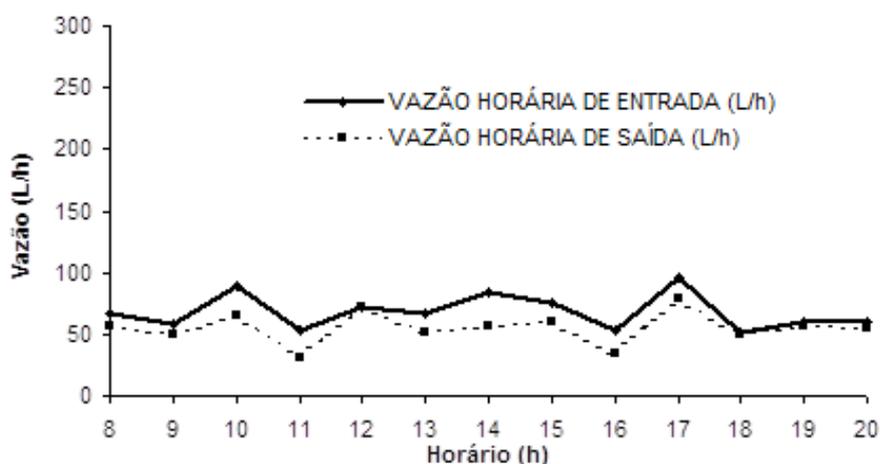


Figura 5. Dinâmica das vazões (L/h) de entrada e saída do leito cultivado no dia 03/10/2015.

3.2 FÓSFORO

A figura 6 apresenta a dinâmica da concentração de fósforo na entrada e saída do leito para o dia 18/07. Nesse dia observou-se que a máxima concentração na entrada ocorreu às 12 h, atingindo o valor de 3,5 mg/L, na saída o valor máximo foi de 1,5 mg/L (figura 6).

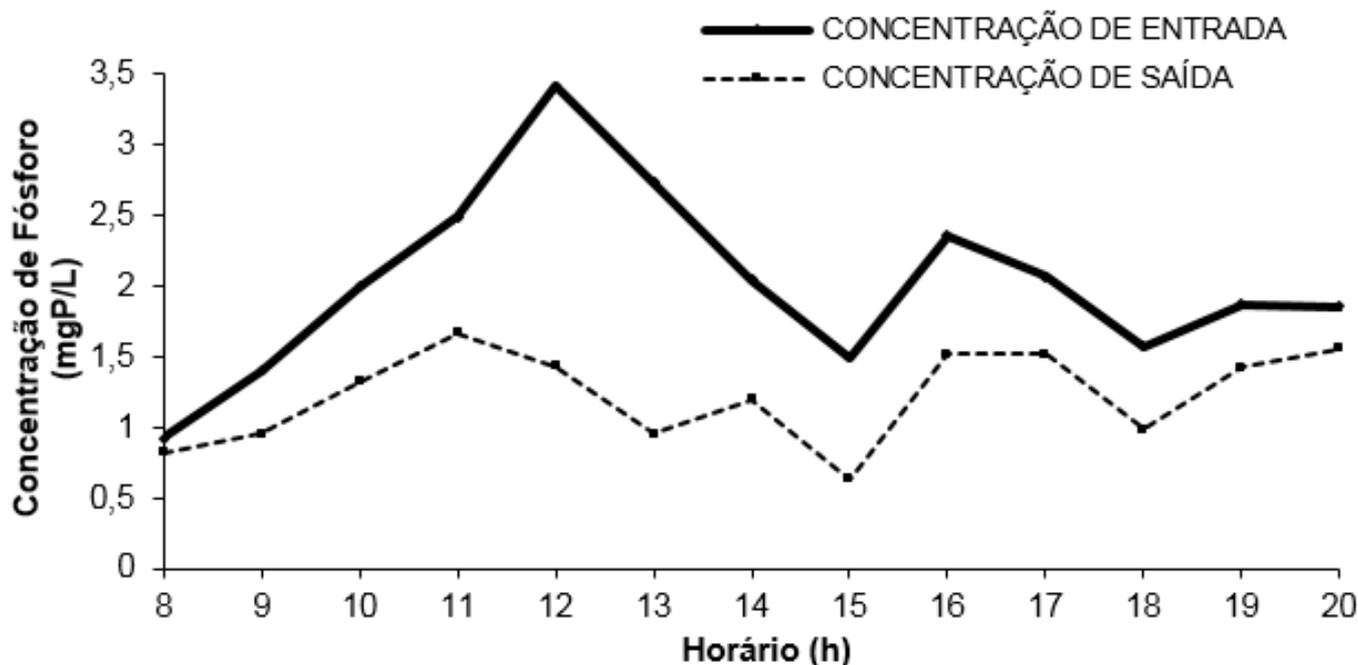


Figura 6. Concentração de fósforo (mgP/L) presente na entrada e saída do leito no dia 18/07/2015.

O valor mínimo de concentração de fósforo na entrada do leito foi observado no início do monitoramento - 8 h, atingindo valor próximo a 1,0 mg/L, enquanto o mínimo valor para a saída foi de 0,5 mg/L, observado às 15 h (figura 6).

Para o dia 03/10 a máxima concentração na entrada ocorreu às 11 h, com o valor de 2,2 mg/L. Na saída o valor máximo foi de 1,9 mg/L (20 h), tendo ocorrido uma queda brusca nos valores de entrada e saída às 15h (figura 7).

A mínima concentração de fósforo na entrada ocorreu às 15h com valor de 1,2 mg/L, já a mínima redução de fósforo na saída foi de 0,3 mg/L às 15 h (figura 7).

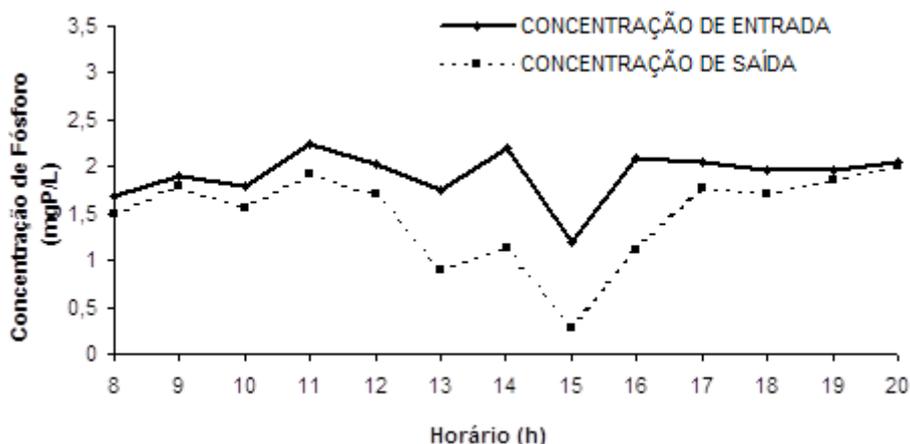


Figura 7. Concentração de fósforo (mgP/L) presente na entrada e saída do leito no dia 03/10/2015.

A figura 8 apresenta a diferença de concentrações de entrada e saída. A quantidade de fósforo retida no dia 18/07 teve uma maior faixa de retirada entre 12 h e 15 h, com valores de 1,9 mg/L a 0,9 mg/L respectivamente, com a maior retirada de fósforo ocorrida às 12 h com o valor de 1,9 mg/L (figura 8).

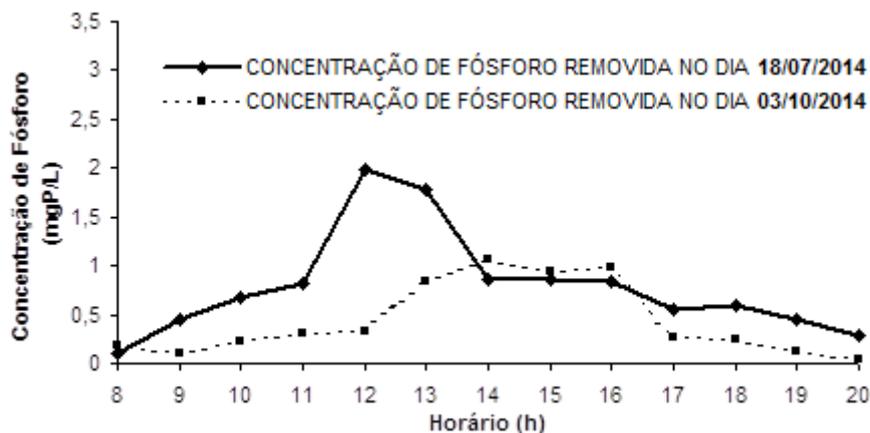


Figura 8. Retirada efetiva de fósforo (mgP/L) no leito para os dias 18/07/2015 e 03/10/2015.

A figura 8 também mostra as diferenças das concentrações de fósforo para o dia 03/10. A quantidade de fósforo retida variou de 1,1 mg/L a 0,9 mg/L no período entre das 14 h e 16 h respectivamente, tendo que a maior remoção de fósforo ocorreu às 14 h com o valor de 1,1 mg/L (figura 8).

3.3 NITRATO

A dinâmica da concentração de nitrato foi analisada da mesma maneira que as concentrações de fósforo foram efetuadas para os dias 18/07 e 03/10.

No dia 18/07 a variação da concentração de nitrato na entrada e saída está apresentada na figura 9. Essa figura mostra que a máxima concentração de entrada ocorreu às 12 h, com valor de 32 mg/L, e a saída o valor máximo foi de 27 mg/L, ocorrendo às 16 h.

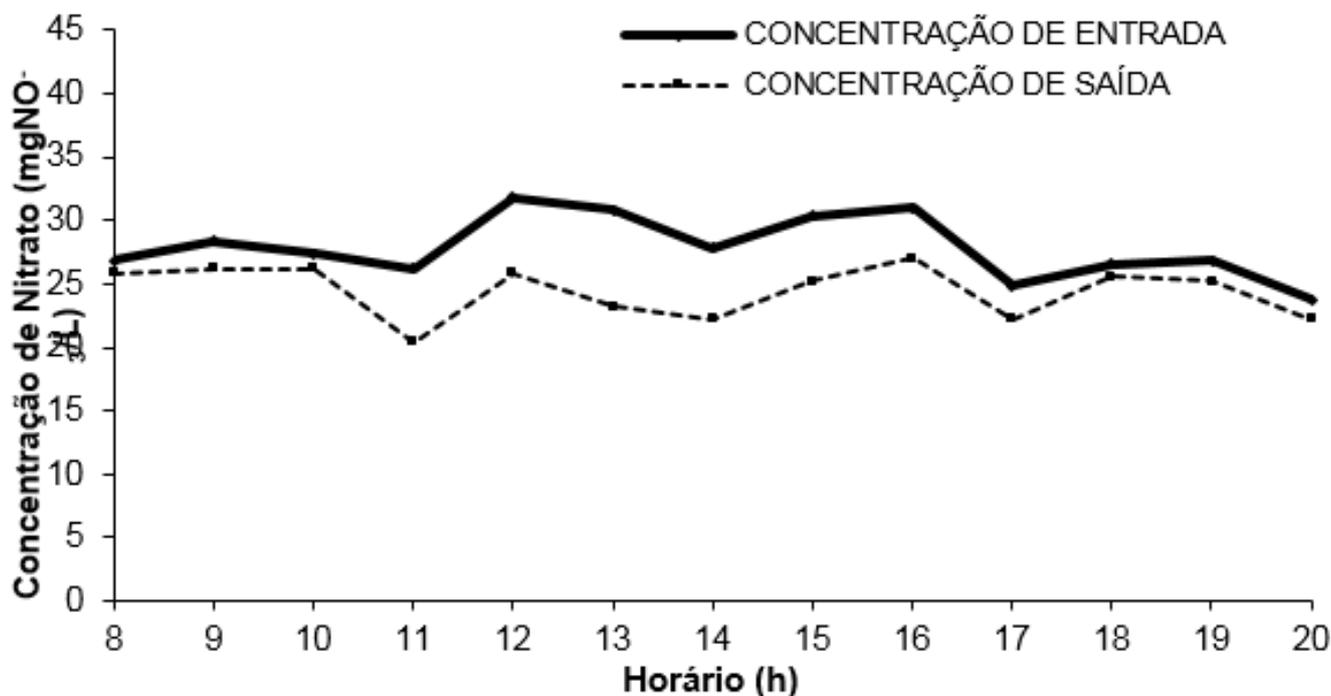


Figura 9. Concentração de nitrato (mgNO₃⁻/L) na entrada e saída do leito para o dia 18/07/2015.

O dia 03/10 revelou que na variação da concentração de nitrato de entrada e saída, a máxima concentração de entrada ocorreu às 16 h com valor de 40 mg/L. Enquanto que para a saída, o valor máximo também de 40 mg/L, ocorrendo no mesmo horário - 16 h (figura 10).

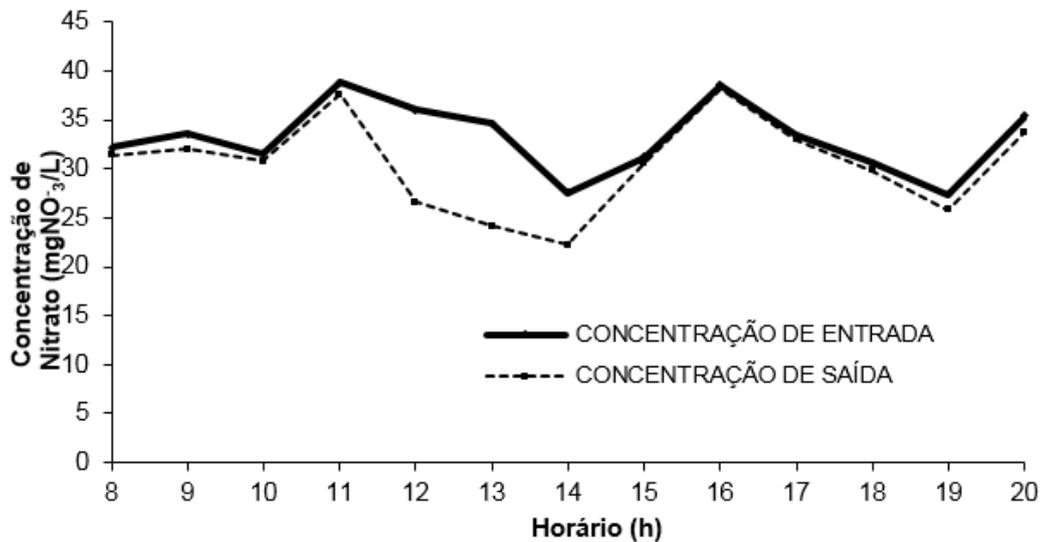


Figura 10. Concentração de nitrato (mgNO₃⁻/L) na entrada e saída do leito para o dia 03/10/2015.

A figura 11 mostra a diferença de concentração de nitrato de entrada e saída. Nessa figura observa-se que no dia 18/07 a faixa de máxima retirada ocorreu no intervalo de 12 às 14 h com valores respectivos de 6,0 mg/L e 5,6 mg/L, ocorrendo uma retenção máxima às 13 h com valor de 7,6 mg/L.

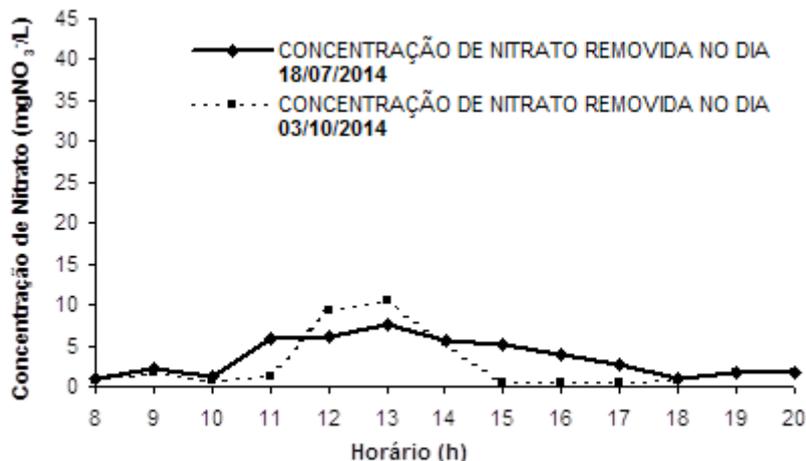


Figura 11. Concentração de nitrato (mgNO₃⁻/L) retirada no leito para os dias 18/07/2015 e 03/10/2015.

Para o dia 03/10 a maior quantidade retida de nitrato ocorreu no horário das 12 às 13 h com valores respectivos de 9,4 mg/L e 10,4 mg/L, tendo a máxima retirada de nitrato ocorrido às 13 h (figura 11).

3.4 VAZÃO

A tabela 1 apresenta os volumes e vazões de entrada e saída no leito, para o período de medidas correspondentes aos meses de julho e outubro.

Os volumes e as vazões de entrada e saída apresentam uma alta variabilidade ao longo dos dias.

Tabela 1.

Vazões e volumes de entrada e saída no leito: meses de julho e outubro de 2015.

Data	Volume de entrada (L)	Volume de saída (L)	Vazão Média de entrada (L/h)	Vazão Média de saída (L/h)
15/07/15	695,1	891,8	53,5	68,6
16/07/15	1117,8	897,1	85,9	69,0
17/07/15	1098,7	838,8	84,5	64,5
18/07/15	1370,0	774,0	105,0	59,0
19/07/15	1199,5	781,9	92,3	60,1
30/09/15	957,6	767,5	73,7	59,0
01/10/15	924,5	741,6	71,1	57,0
02/10/15	949,0	763,2	73,0	58,7
03/10/15	1694,9	1061,7	130,4	81,7
04/10/15	1075,7	816,5	82,7	62,8

Durante o período de julho o volume de entrada no leito variou de 695,1 a 1370 L e o de saída, de 774 a 891 L. Neste período, a vazão média de entrada variou de 53,50 a 105 L/h e a de saída, de 59 a 69 L/h (tabela 1).

Nos cinco dias de medidas na primavera, período de outubro, o volume de entrada variou de 924,48 a 1694,94 L e o de saída, de 741,60 a 1061,71 L, enquanto que a vazão média de entrada variou de 71,1 a 130,4 L/h e a de saída, de 57,05 a 81,67 L/h (tabela 1).

A tabela 2 apresenta os valores referentes à análise de fósforo no leito. As reduções em massa para o período variaram de 65,0% a 18,6% para julho e de 47,4% a 29,5% para outubro. Em julho a redução mínima ocorreu no dia 15/07/15, em função principalmente da operação do sistema. Já para outubro a redução mínima ocorreu no dia 01/10/15.

Tabela 2.

Balço de fósforo no leito: meses de julho e outubro de 2015.

Data	Vazão Mássica Média de entrada (mg/h)	Vazão Mássica Média de saída (mg/h)	Carga Diária de entrada (mg)	Carga Diária de saída (mg)	Redução (%)
15/07/15	115,1	93,6	1496,0	1217,0	18,6
16/07/15	152,6	89,9	1984,4	1169,6	37,9
17/07/15	138,1	80,0	1794,8	1040,2	42,0
18/07/15	213,3	74,7	2773,0	971,0	65,0
19/07/15	124,7	53,7	1620,6	698,6	56,9
30/09/15	137,2	81,8	1783,5	1063,1	40,4
01/10/15	132,0	93,0	1716,1	1209,3	29,5
02/10/15	136,0	71,5	1767,9	929,6	47,4
03/10/15	130,4	81,7	1695,0	1061,7	37,4
04/10/15	172,5	103,5	2242,9	1346,1	40,0

A tabela 3 apresenta os valores referentes à análise de nitrato para o sistema de tratamento de esgoto. As reduções em massa de nitrato para o período de julho variaram de 88,5% a 49,2%.

No dia 15/07/15 não houve retenção de nitrato pelo leito e sim, liberação deste nutriente, fato observado pelo valor negativo de redução (tabela 3).

Isto pode ser atribuído a uma descarga anormal de detergente de limpeza no esgoto da Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI).

Tabela 3.

Balanco de nitrato no leito: meses de julho e outubro de 2015.

Data	Vazão Mássica Média de entrada (mg/h)	Vazão Mássica Média de saída (mg/h)	Carga Diária de entrada (mg)	Carga Diária de saída (mg)	Redução (%)
15/07/15	1901,3	3584,1	24716,2	46593,5	-88,5
16/07/15	2387,3	1790,9	31035,4	23281,9	25,0
17/07/15	6228,3	4202,6	80967,8	54633,6	32,5
18/07/15	8037,4	4086,7	104486,7	53127,5	49,2
19/07/15	6167,5	3660,4	80177,9	47585,2	40,6
30/09/15	2216,3	1495,0	28811,5	19435,1	32,5
01/10/15	2144,7	1507,7	27881,6	19599,5	29,7
02/10/15	2327,3	1650,5	30254,7	21456,3	29,1
03/10/15	2253,1	1654,6	29290,2	21510,4	26,6
04/10/15	2794,8	1797,8	36332,9	23371,2	35,7

No período de outubro a variação da carga diária de nitrato ficou na faixa percentual de 26,6% a 35,7%.

A faixa percentual de redução apresentada para os dois períodos encontra-se acima dos valores observados por VALENTIM (1999), que encontrou valores de 13 a 29% de remoção. Isso se deve ao problema de adaptação das plantas, bem como a coleta de amostras, uma vez que o autor não coletou amostras de hora em hora como foi realizado neste trabalho.

As tabelas 2 e 3 mostram que a redução média de fósforo foi de 44,1% e para nitrato, uma redução de 36,8%, durante o mês de julho. No mês de outubro a redução média de fósforo e nitrato foi de 38,9% e 30,7%, respectivamente.

Dessa forma, os valores de redução de nutrientes encontrados neste trabalho demonstram o potencial da utilização do sistema de leitos no tratamento de efluentes, quanto a sua carga de nutrientes em sistemas terciários de tratamento.

4 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos nesse trabalho permitiram concluir que:

- A variação na vazão volumétrica do sistema representa condições reais de utilização da água na FEAGRI, assim, o experimento reflete condições mais próximas da realidade;
- O desempenho do sistema no período de julho mostrou uma redução média de fósforo de 44,1% e para nitrato um valor de 36,8%, enquanto que para outubro a redução média de fósforo e nitrato foi de 38,9% e 30,7%, respectivamente;
- O sistema de leitos cultivados construídos para tratamento de efluentes pode ser uma alternativa para controle de nutrientes presentes no esgoto doméstico, assim, minimizando impactos ambientais aos recursos hídricos;

- O sistema controla as concentrações de nutrientes presentes no esgoto da FEAGRI, mas quando se compara as retenções mássicas, nota-se uma redução mais significativa dos nutrientes;
- O mês de julho a retenção em massa de fósforo variou de 18,6% a 65,0%, enquanto que para o nitrato variou entre 88,5% a 49,2%. Para o mês de outubro, a faixa de retenção de fósforo apresentou valores de 29,5% a 47,4% e nitrato variou de 26,6% a 35,7% no mês.
- Os valores menores na redução de nutrientes para o mês de outubro em comparação com o mês de julho refletem parâmetros ecofisiológicos da planta, como o grau de desenvolvimento da vegetação. Assim, considerando que no mês de outubro com maior demanda climática para evapotranspiração (com maiores taxas de transpiração média) as retenções foram maiores ao mês de julho (com menores taxas de transpiração). Não esquecendo que em julho o tamanho médio das folhas era de 2,93 m, sendo efetuado logo a seguir um corte das folhas (dia 21/07/15). Enquanto que no período de outubro as folhas tinham um tamanho médio de 2,25 m.
- A necessidade de estudos futuros que relacionem a redução de nutrientes com o comportamento ecofisiológicos da vegetação no sistema de cultivados construídos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALPHA, AWWA & WPCF. *Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Washington D.C.: American Public Health Association, 18ª edição, 1992. Pollution Control, editado por Universität für Bodenkultur Wien, Austria. Chapter VIII/2, 1996.

Brix, H. Wasterwater treatment in constructed wetlands: system design, removel processes and treatment perfomance. In: Moshiri, G. A. (Ed.) *Constructed wetlands for water quality improvement*. Boca Raton, FL: Lewis Publishers, 1993. p. 2-22.

Cooper, P. F. & Findlater, B.C. (Eds.). *Constructed Wetlands in Water Pollution Control*. Pergamon Press, Oxford, U.K., 1990.

Haberl et al. Constructed wetlands in Europe. *Water Science and Technology*. Great Britain, IAWQ, v.32, n.3, p.305-315, 1995.

Hammer, D.A., (Ed.) *Constructed Wetlands for Wastewater Treatment: Municipal, Industrial, and Agricultural Chelsea*, MI: Lewis Publishers, 1989.

Juwarkar, A. S. *et al.* Domestic wastewater treatment through constructed wetland in India. *Water Science and Technology*, IAWQ, v. 32, n. 3, p. 291-294, 1995.

Kadlec, R.H. & Knight, R.L. *Treatment Wetlands*. CRC Press/Lewis Publishers, Boca Raton, Florida, USA, 1996.

Kickuth, R. Degradation and incorporation of nutrients from rural wastewaters by plant rhizosphere under limnic conditions. In *Utilization of Manure by Land Spreading*, editado por Comm. Europ. Commun., EUR 5672e, London, pp. 335-343, 1977.

Lucarelli, J.R., Daniel, L.A., Espindola, C.R. & Maia, J.R. A mecanização e conservação do solo na FEAGRI/UNICAMP., *Seminário Ciência e Desenvolvimento Sustentável*, nº. 1, p.119-121, 1997.

Manfrinato, E.S.; Filho, E.S.; Salati, E. Water supply system utilizing the edaphic-phytodepuration technique. In: Moshiri, G.A. (Ed.) *Constructed wetlands for water quality improvement*. Boca Raton, fl.: Lewis Publishers, 1993, p.331-340.

- Mansor, M. T. C. Uso de leito de macrofitas no tratamento de águas residuárias. 106p. Tese (Mestrado em Engenharia Agrícola) - *Faculdade de Engenharia Agrícola*, Universidade Estadual de Campinas, 1998.
- Mitchell, D.S. et al. The use of wetlands for water pollution control in *Australia: an ecological perspective*. *Water Science and Technology*, Great Britain, IAWQ, v. 32, nº. 3, p. 365-373-29, 1995.
- Souza, L.E.L. & Bernardes, R.S. Avaliação do desempenho de um RAFA no tratamento de esgotos domésticos, com pós-tratamento através de leitos cultivados. In: *Simpósio Italo-Brasileiro de Engenharia Sanitaria-Ambientale*. 3, 1996, Gramado, RS, Anais, 1996, v. I, n. 9.
- Trotter, E.A., Thomson, B., Coleman, R. *Evaluation of a subsurface flow wetland processing sewage from the Sevilleta LTER field station*. Las Cruces: New Mexico Water Resources Research Institute, WRRRI Report nº. 287, 1994. 52 p.
- U.S.EPA. *Design manual on constructed wetlands and aquatic plant systems for municipal wastewater treatment*. EPA/625/1-88/022, CERL, Cincinnati - OH/USA, 1998. 83p.
- Von Sperling, M.; Chernicharo, C.A.L. Tendências no tratamento simplificado de águas residuárias. Tópicos de relevância. In: *Seminário Internacional Tendências no Tratamento Simplificado de Águas Residuárias Domésticas e Industriais*, 1996, Belo Horizonte, M.G. Anais. 1996. p.1-11.
- Valentim, Marcellus A. A. Uso de leitos cultivados no tratamento de efluente de tanque séptico modificado. 119p. Tese (Mestrado em Engenharia Agrícola) - *Faculdade de Engenharia Agrícola*, Universidade Estadual de Campinas, 1999.
- Wetzel, R.G. Constructed wetlands: scientific foundations are critical. In: Moshiri, G. A. (Ed.) *Constructed wetlands for water quality improvement*. Boca Raton, fl.: Lewis Publishers, 1993. p. 3-7.
- Wood, A. *Constructed wetlands in water pollution control: fundamentals to their understanding*. *Water Science and Technology*, Great Britain, IAWQ, v.32, n.3. p.21-29, 1995.