

Ciência e Natura

ISSN: 0100-8307

cienciaenaturarevista@gmail.com

Universidade Federal de Santa Maria

Brasil

Júnior Secchi, Fábio; Konrad, Odorico; Tonetto, Jaqueline  
Avaliação do balanço hídrico e da eficiência de um alagado construído como alternativa  
de tratamento para efluente doméstico  
Ciência e Natura, vol. 38, núm. 1, enero-abril, 2016, pp. 453-461  
Universidade Federal de Santa Maria  
Santa Maria, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=467546196042>

## Avaliação do balanço hídrico e da eficiência de um alagado construído como alternativa de tratamento para efluente doméstico

*Evaluation of water balance and efficiency of a constructed wetland as an alternative treatment for domestic wastewater*

Fábio Júnior Secchi<sup>1</sup>, Odorico Konrad<sup>2</sup> e Jaqueline Tonetto<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Graduando, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Centro Universitário Univates, Brasil  
fabiojrsecchi@gmail.com

<sup>2</sup>Doutor, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Centro Universitário Univates, Brasil  
okonrad@univates.br

<sup>3</sup>Mestranda, Pós-Graduação em Ambiente e Desenvolvimento, Centro Universitário Univates, Brasil  
jaquetonetto@gmail.com

### Resumo

O presente trabalho teve o objetivo de avaliar como a precipitação pluviométrica e a evapotranspiração interferem na eficiência de um alagado construído do tipo subsuperficial, com fluxo horizontal, para o tratamento de esgoto doméstico. O estudo foi desenvolvido em duas fases de seis meses, a primeira avaliou-se sem a influência da precipitação pluviométrica (SIPP) e a segunda com a influência da precipitação pluviométrica (IPP). Os equipamentos utilizados para as medições do balanço hídrico foram um pluviômetro analógico e hidrômetros, enquanto que para avaliar a eficiência de tratamento, as análises de DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), NTK (Nitrogênio Total Kjeldahl) e Pt (Fósforo total) foram realizadas em laboratório. Os resultados mostraram que na fase IPP o balanço hídrico sofreu variações significativas por decorrência dos volumes pluviométricos e de evapotranspiração. As eficiências médias de remoção nas fases SIPP e IPP foram de 67,3% e 66,8% para DBO, 40% e 21% para NTK, e 38,4% e 17,6% para Pt respectivamente. O estudo mostrou que a precipitação pluviométrica e as taxas de evapotranspiração influenciam no balanço hídrico de um alagado construído, proporcionando variações no tempo de retenção hidráulica do efluente, o que consequentemente interfere na eficiência de remoção de cargas poluidoras.

**Palavras-chave:** Wetlands construídos. Influência pluviométrica. Remoção de poluentes. Evapotranspiração.

### Abstract

This study aimed to evaluate how pluviometric precipitation and evapotranspiration interfere with the efficiency of a horizontal subsurface flow constructed wetland used for domestic wastewater treatment. The study was developed in two phases of six months, the first evaluated without the influence of pluviometric precipitation (SIPP) and the second exposed to pluviometric precipitation (IPP). The constructed wetland is subsurface, with horizontal flow, it is vegetated with macrophytes and occupied with stone chips ("rachão"), gravel and sand. The equipments used for the measurement of water balance were an analogical rain gauge and two water meters, while to evaluate the treatment efficacy, the analysis of OBD (Oxygen Biochemical Demand), NTK (Nitrogen Total Kjeldal) and Pt (Phosphorus total) were realized in laboratory. The results showed that in the phase IPP the water balance faced significant changes due to the pluviometric volumes and evapotranspiration. The average removal efficiencies in the phases SIPP and IPP were 67,3% e 66,8% for DBO, 40% and 21% for NTK and 34,8% and 17,6% for Pt, respectively. The study showed that pluviometric precipitation and evapotranspiration rates influence the water balance of a constructed wetland, providing variations in hydraulic retention time of the effluent, what, as a consequence, interferes with the efficiency of removal of polluting loads.

**Keywords:** Constructed wetland. Pluviometric influence, Removal of pollutants. Evapotranspiration.

## 1 Introdução

O crescimento populacional e a utilização dos recursos hídricos de forma demasiada intensificam as contaminações dos corpos hídricos com elevadas cargas de esgotos domésticos, efluentes industriais, resíduos sólidos e agrotóxicos. Esses poluentes somados às baixas vazões diminuem a capacidade de recuperação e equilíbrio natural do meio ambiente (KOBAYAMA et al., 2008; MA et al., 2009).

O efluente doméstico é gerado a partir da água de abastecimento, portanto, o índice de produção resulta na quantidade de água consumida, a qual é definida pela taxa de consumo per capita. Essa taxa apresenta variações conforme hábitos e costumes de cada região. Usualmente, a taxa é de 200 L hab<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>, embora que em grandes cidades de outros países esse número chega a ser três a quatro vezes maior (NUVOLARI, 2011).

A matéria orgânica e os nutrientes (nitrogênio e fósforo) contidos em excesso em efluentes domésticos implicam no consumo de oxigênio causando toxicidade aos peixes e outros organismos, além de contaminar águas subterrâneas utilizadas para consumo humano (COSTA et al., 2003; MOTA; VON SPERLING, 2009). De acordo com Jordão e Pessoa (2011), o efluente doméstico apresenta potencial poluidor relevante, pois as concentrações para esgotos com características físico-químicas médias possuem aproximadamente 200 mg L<sup>-1</sup>, 20 mg L<sup>-1</sup>, 10 mg L<sup>-1</sup> de matéria orgânica biológica, nitrogênio e fósforo, respectivamente.

Diante disso, como qualquer outro efluente, o esgoto doméstico também necessita de tratamento adequado para que não comprometa a fauna, a flora e a qualidade de vida humana. Os sistemas de tratamento são divididos em duas classes: os centralizados que são utilizados para tratar esgoto sanitário de grandes áreas urbanas ou locais com alta densidade populacional (SURIYACHAN et al., 2012); e os sistemas descentralizados que tratam efluentes sanitários provenientes de um domicílio ou um conjunto de residências.

Em média no Brasil, apenas 67,1% da população possui rede coletora de efluente doméstico nos sistemas centralizados de tratamento, no entanto, em locais afastados como

em zonas rurais, apenas 22% dos habitantes indicaram possuir tratamento (IBGE, 2010). Por consequência, a condição de vida da população está intrinsecamente relacionada à abrangência dos serviços de tratamento de água e esgoto, ou seja, a contaminação representa um dos principais riscos à saúde pública (LIBÂNIO et al., 2005).

Para Kadlec e Wallace (2009), apesar de tratamentos primários e secundários acompanharem muitas vezes os tratamentos domiciliares de forma eficiente, esses sistemas não controlam o lançamento de nutrientes contidos nos esgotos, onde geralmente são despejados nos corpos hídricos. Diante disso, torna-se fundamental o desenvolvimento de tecnologias que possam atender a demanda de esgoto tanto nas grandes cidades, como também em locais descentralizados. (ARIAS; BRIX, 2003).

Portanto, para buscar melhorias sanitárias em tratamento final de águas residuais é necessário a implantação de tecnologias viáveis em termos operacionais, econômicos e ecológicos.

Nesse sentido, uma tecnologia ambiental de tratamento de efluentes surge para a remoção de matéria orgânica e reciclagem de nutrientes, a qual é conhecida por alagado construído (*wetland*). Esse sistema é composto por uma área escavada e impermeabilizada com geomembrana de polietileno, a qual é ocupada com brita, areia e plantas aquáticas. Tem como princípio básico a formação de biofilme sobre o substrato e nas raízes das plantas, servindo de meio filtrante para a imobilização de microrganismos no sistema, e depuração dos poluentes (PHILIPPI; SEZERINO, 2004; SEZERINO et al., 2007).

Os alagados construídos são implantados com a finalidade de tratar diversos tipos de efluentes em grandes escalas (de indústrias, mineração, agricultura, chorume, escoamento de águas pluviais, e esgoto sanitários municipais) (ALMEIDA et al., 2010; COSTA et al., 2003; VYMAZAL, 2011; SOUZA et al., 2015), inclusive para tratamentos de efluente doméstico em locais descentralizados como em áreas rurais (YE et al., 2012).

De qualquer forma, alagados construídos têm alcançado parâmetros de qualidade equivalente para o lançamento em corpos d'água ou para reutilização do efluente em usos alternativos.

Os alagados construídos possuem diversos modelos e configurações onde são classificados

por meio de suas características construtivas, fixação da vegetação e substrato; hidrologia do sistema e direção do fluxo do efluente (VYMAZAL, 2010).

A tecnologia do alagado construído é um processo aberto que sofre interferências climáticas e meteorológicas, portanto, torna-se necessário avaliar a implantação de um telhado com material translúcido para evitar a influência da precipitação pluviométrica (GALLINA, 2010; GALLINA et al., 2012). No entanto, as eficiências de remoção de poluentes por alagados construídos devem ser calculadas com base na carga (vazão x concentração), e não apenas com a diferença da concentração de entrada em relação à saída, pois devido às perdas do volume de efluente pela evapotranspiração os poluentes de saída tendem a se concentrar (DORNELAS et al., 2009).

Nesse sentido, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o comportamento do balanço hídrico e a eficiência de remoção de poluentes de acordo com as cargas hidráulicas de um alagado construído para o tratamento de efluente doméstico, utilizando períodos distintos com e sem a influência pluviométrica.

## 2 Materiais e métodos

Este estudo foi realizado em uma estação experimental de tratamento de efluentes, gerados por um domicílio de propriedade unifamiliar de quatro habitantes, no interior do município de Doutor Ricardo. O local pertence à região alta do Vale do Taquari, no Estado do Rio Grande do Sul (RS), a 950 m da rodovia RS 332, km 21, a uma altitude de 512 metros do nível do mar, com latitude 29°04'23.16" Sul e longitude 52°00'56.91" Oeste.

O sistema utilizado recebe águas residuárias provenientes das atividades domésticas, fisiológicas, e de hábitos higiênicos, e logo encaminhado por ação da gravidade para dois processos que antecedem o polimento por alagado construído, sendo uma fossa séptica de 1.582 L, seguido por dois filtros anaeróbios ascendentes em série de 200 L cada (Figura 1).

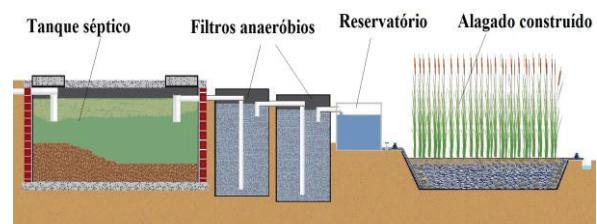


Figura 1 - Desenho esquemático do sistema de tratamento domiciliar (imagem sem escala)

A presente pesquisa iniciou no mês de julho de 2014 e finalizou no mês de junho de 2015, totalizando 12 meses divididos em duas fases de 6 meses. Na primeira fase, as avaliações foram realizadas sem a influência de precipitação pluviométrica (SIPP) através de uma estrutura de madeira revestida por material transparente que foi fixada sobre o alagado construído. Na segunda fase, as avaliações foram realizadas com a ausência da cobertura, ou seja, com a influência da precipitação pluviométrica (IPP).

O alagado construído (Figura 2) é do tipo subsuperficial, com fluxo horizontal, vegetado com taboa (*Typha sp.*) como macrófita dominante, copo de leite (*Zantedeschia aethiopica Spreng*) e tiririca false (*Cyperus strigosus*) introduzidas nas bordas da célula. As mesmas foram podadas no início do estudo e posteriormente a cada 3 (três) meses. A célula possui área de 13 m<sup>2</sup> de superfície de leito, 15 m<sup>2</sup> de captação pluviométrica, com dimensionamento de 5 m de comprimento e 2,6 m de largura. O *wetland* foi impermeabilizado com sete lonas de polietileno de 200 micras e ocupado com colunas de 0,20 m de espessura de rachão nas laterais, uma camada de 0,50 m de brita nº 03, e com cobertura de 0,10 m de areia grossa, onde as plantas foram fixadas, totalizando 0,60 m de profundidade. As dimensões do telhado foram de 2,5 m de altura; 1 m de aba; e laterais livres para circulação de ar com altura de 1,8 m.



Figura 2 - Alagado construído: A) macrófitas recentemente podadas abaixas do telhado; B) macrófitas sem o revestimento do telhado

## 2.1 Balanço hídrico

O balanço hídrico do alagado construído foi monitorado de forma controlada com vazão de fluxo intermitente (batelada) através de um reservatório de 0,55 m<sup>3</sup> e dois hidrômetros da marca SAGA®, modelo MS-3,0, vazão máxima de 1,5 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup> e mínima de 0,030 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>, instalados um em cada extremidade do *wetland*. Enquanto que as precipitações pluviométricas durante a fase IPP foram registradas por um pluviômetro analógico localizado ao lado do local de pesquisa.

As coletas de informações ocorreram posteriormente a cada evento de descarga do reservatório, em tempos relativos a quantidade de água residuária gerada na residência. No entanto, os índices pluviométricos foram registrados toda vez que este fato ocorria durante a fase IPP.

A partir dos dados levantados, aplicou-se a seguinte fórmula (1) para obter os valores percentuais de evapotranspiração.

$$EV \% = \left[ 1 - \frac{(Q_{sf} - Q_{si})}{(Q_{ef} - Q_{ei}) + P} \right] \times 100 \quad (1)$$

onde:

EV = evapotranspiração (%)

Qsf = Vazão de saída no final do período (m<sup>3</sup>)

Qsi = Vazão de saída no início do período (m<sup>3</sup>)

Qef = Vazão de entrada no final do período (m<sup>3</sup>)

Qei = Vazão de entrada no início do período (m<sup>3</sup>)

P = precipitação (m<sup>3</sup>)

## 2.2 Análises físico-químicas

As amostras de efluente foram coletadas com periodicidade mensal nos pontos de entrada e saída do alagado construído, e refrigeradas com temperatura aproximada a 15°C em uma caixa de isopor. A metodologia de coleta e preservação das amostras em relação as análises físico-químicas foram de acordo com a *American Public Health Association, American Water Works Association e Water Environment Federation* (2005).

As análises laboratoriais foram realizadas no Laboratório de Sistemas de Tratamento de

Águas e Efluentes do curso de Engenharia Ambiental do Centro Universitário UNIVATES. Os parâmetros físico-químicos analisados e respectivas metodologias ou modelos de equipamentos usados foram: Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), usando Oxitop, método IS6, modelo TWT; Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK), por meio de um digestor e destilador de acordo com *Standard Methods* 22 st – 4500 A; e fósforo total (Pt), conforme *Standard Methods* 22 st – 4500 B e E.

Os resultados dos parâmetros físico-químicos e das vazões do alagado construído foram submetidos a seguinte fórmula (2) para obter-se valores de eficiência baseados na carga poluidora.

$$Ef \% = 100 \left[ \frac{(Co \times Qo) - (Ce \times Qe)}{(Co - Qo)} \right] \quad (2)$$

onde:

Ef = eficiência percentual de remoção da carga poluidora (%)

Co = concentração afluente (kg L<sup>-1</sup>)

Ce = concentração efluente (kg L<sup>-1</sup>)

Qo = vazão afluente (L)

Qe = vazão efluente (L)

Posteriormente, os dados de volumes pluviométricos e as taxas de evapotranspiração foram relacionados com os percentuais de eficiência.

## 3 Resultados e Discussões

### 3.1 Evapotranspiração e influência pluviométrica

Durante o período de estudo, foram realizadas 73 bateladas sem a influência pluviométrica e 92 com a interferência do volume de precipitação. A Figura 3 apresenta os resultados das vazões e precipitação, comparando-as com as variações do volume de evapotranspiração do efluente.

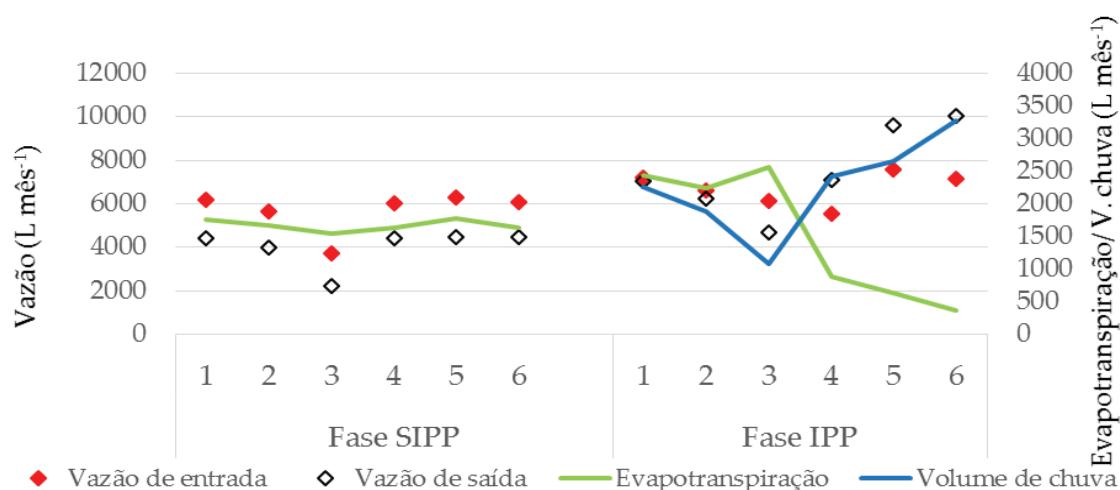


Figura 3 - Valores de vazão de entrada, vazão de saída e evapotranspiração, nas duas fases dos experimentos (SIPP= sem a influência de precipitação pluviométrica; IPP= com influência de precipitação pluviométrica); 1-6 = tempo em meses

A partir do monitoramento realizado, pôde-se perceber que na fase SIPP, as vazões de entrada e saída mantiveram-se parcialmente constantes, obtendo uma média de 1.667 L de evapotranspiração (30,2%) em relação ao efluente de entrada. No entanto, no terceiro mês nota-se que a evapotranspiração foi mais alta, com 1538 L (41%), devido a permanência de um menor número de habitantes na residência, o que consequentemente contribuiu com menos volume de esgoto de entrada e maior Tempo de Retenção Hidráulica (TRH).

O balanço hídrico na fase IPP mostrou que embora a carga hidráulica de entrada tenha sido maior que a da fase SIPP, houve uma variação significativa nas vazões de saída, e principalmente no volume da evapotranspiração de esgoto, o qual variou de 369 L (3,54%) para 2563 L (35,4%). No terceiro mês, as precipitações pluviométricas tiveram volumes mais baixos, o que contribuiu para maior TRH, e consequentemente, maiores perdas de efluente por evapotranspiração. Contudo, nos últimos três meses da fase IPP, observa-se que a vazão de saída foi maior do que a da entrada, sendo justificável devido às precipitações mais elevadas.

Evidentemente que fatores como a variação do clima também possuem influência direta no

volume de efluente evapotranspirado, no entanto, oscilações significativas nas taxas de evapotranspiração em alagados construídos com a influência da precipitação pluviométrica também foram relatadas por Gallina et al., (2012), os resultados obtidos variaram de 4,67% a 67,5% e média de 23,08% durante um período de 20 dias. Inclusive, os mesmos autores registraram períodos em que a vazão de saída foi superior à vazão de entrada em virtude da carga pluviométrica.

Diante disso, a presente pesquisa destaca que em média o TRH durante a fase SIPP foi de aproximadamente 10 dias, e durante a fase IPP apenas 6 dias. Isso demonstra que a precipitação pluviométrica possui influência significativa no balanço hídrico do sistema, o que pode proporcionar variações nos volumes de evapotranspiração e sobrecargas hidráulicas em alagados construídos.

### 3.2 Eficiências de remoção de carga poluidora

Baseando-se nas vazões medidas durante o experimento, a Tabela 1 apresenta as eficiências médias, e as porcentagens obtidas pela unidade de tratamento para a remoção em termos de carga para cada fase.

Tabela 1 - Valores médios e porcentagem de remoção dos parâmetros analisados em cada fase

Mês	Fase SIPP						Fase IPP					
	Carga afl. (Kg)			Carga efl. (Kg)			Carga afl. (Kg)			Carga efl. (Kg)		
	DBO	NTK	Pt	DBO	NTK	Pt	DBO	NTK	Pt	DBO	NTK	Pt
1	1,54	1,25	0,07	0,49	0,79	0,03	1,87	1,93	0,18	0,63	1,41	0,15
2	1,36	1,04	0,11	0,48	0,76	0,08	1,52	1,72	0,19	0,44	1,28	0,12
3	1,09	0,57	0,08	0,32	0,28	0,05	1,66	1,70	0,16	0,28	0,93	0,09
4	1,41	1,40	0,18	0,44	0,80	0,08	1,53	1,60	0,13	0,64	1,31	0,13
5	1,38	1,32	0,19	0,49	0,85	0,11	0,99	2,00	0,19	0,38	1,84	0,16
6	1,62	1,55	0,16	0,45	0,78	0,11	1,50	1,71	0,19	0,60	1,43	0,16
Média	1,41	1,16	0,13	0,46	0,69	0,08	1,54	1,78	0,17	0,51	1,40	0,14
Remoção média	DBO: 67,3%; NTK: 40%; Pt: 38,4%						DBO: 66,8%; NTK: 21%; Pt: 17,6%					

O esgoto doméstico de entrada do alagado construído (afluente) apresentou características físico-químicas fora de especificação, portanto, a tecnologia tem como alternativa o tratamento terciário do mesmo. O presente estudo não avaliou os processos de tratamentos anteriores ao do alagado construído, porém, pressupõe-se que a justificativa do afluente apresentar altas cargas de nutrientes, é decorrente da ineficiência de algum sistema de tratamento anterior (fossa/filtro anaeróbio).

Os dados expostos acima, estão em concordância com Dornelas et al., (2009), os quais apresentaram valores mais expressivos quando dispostos em relação as vazões de cargas (Kg x vazão), principalmente as eficiências com remoções reduzidas em termos de concentração (mg L<sup>-1</sup>) ou negativas em termos de porcentagem.

As porcentagens negativas de eficiência do alagado construído são decorrentes da concentração do efluente de saída, devido a redução do volume de água por evapotranspiração, tal comportamento também foi descrito por Konrad et al., (2015). Por outro lado, eficiências favoráveis são subestimadas quando volumes de chuvas significativos diluem as concentrações dos poluentes. Tais fatos ocorrem quando as vazões de entrada e saída do *wetland* não são consideradas no cálculo, ou que volumes de precipitação e de evapotranspiração não são relacionados na avaliação.

O presente experimento demonstra resultados de redução média de DBO nas fases SIPP e IPP na ordem de 67,3% e 66,8% respectivamente, os quais mostraram-se muito próximos, mesmo com diferentes volumes de vazão. Presume-se de acordo com Dornelas (2008), que os mecanismos de filtração e sedimentação são os principais processos físicos que removem os contaminantes do efluente em alagado construído de fluxo subsuperficial. Nesse sentido, a proximidade das porcentagens médias de DBO pode ser justificada por esses mecanismos serem menos influenciados pela variação de vazão, e possuir eficácia semelhante mesmo com menor TRH.

Com relação à eficiência de remoção dos nutrientes (nitrogênio e fósforo) os resultados médios percentuais mostraram-se maiores na fase SIPP comparados com a IPP, apresentando médias de 40% e 38,4% para 21% e 17,6%, respectivamente. Em conformidade com os valores percentuais médios de eficiência estarem superiores durante a fase SIPP e inferiores na fase IPP, pode-se afirmar que a primeira foi influenciada pela maior taxa de evapotranspiração, o qual foi em média de 31%, e a segunda pela interferência do volume pluviométrico, o qual diminuiu o TRH.

Para fundamentar o estudo, a Figura 4 relaciona as variações de volume das precipitações pluviométricas e as porcentagens de evapotranspiração com as taxas de remoção de poluentes em cada mês das fases.

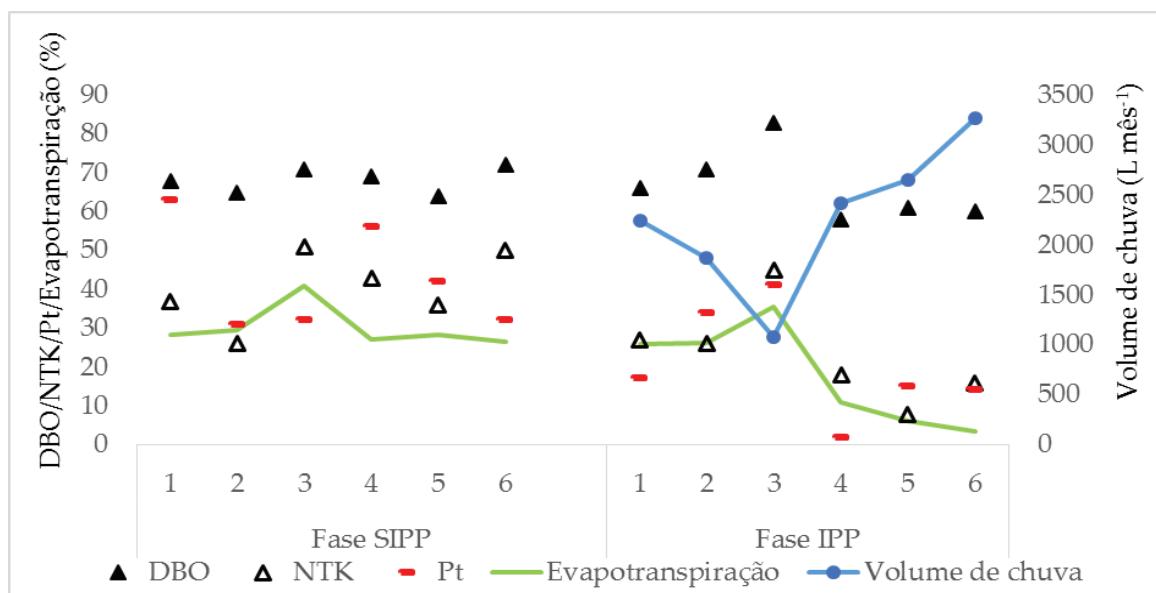


Figura 4 - Remoções percentuais de cargas de poluentes e evapotranspiração relacionados com volumes de precipitação nas duas fases dos experimentos (SIPP = sem a influência de precipitação pluviométrica; IPP = com influência de precipitação pluviométrica; 1-6 = tempo em meses)

Como discutido anteriormente, os valores percentuais médios de remoção da DBO nas duas fases foram próximos, porém, ao relacionar a porcentagem de cada mês com o balanço hídrico, nota-se que no terceiro mês da fase IPP a remoção alcançou a máxima de 83% pois o volume pluviométrico foi apenas de 1.080 L e a evapotranspiração atingiu a máxima de 35,4%. Nos últimos três meses houve um decréscimo significativo na remoção devido ao acréscimo das precipitações pluviométricas, como pode ser visto no sexto mês, onde a margem percentual foi de 60% de remoção, com volume de chuva de 3.270 L e evapotranspiração de apenas 3,54%.

Em relação à remoção de nutrientes, ambos mostraram oscilações moderadas durante os 12 meses, as quais podem ser justificadas pelas podas das macrófitas e pelas variações de concentrações de entrada. Porém, é possível verificar que durante a fase IPP, as remoções percentuais de nitrogênio e fósforo foram maiores no terceiro mês, com 45% e 41%, respectivamente. No entanto, nos últimos três meses os percentuais de remoção dos mesmos despencaram de forma similar e pelas mesmas circunstâncias explicadas para a DBO.

#### 4 Conclusões

Em geral, pode-se dizer que o tratamento terciário de esgoto doméstico com o alagado

construído foi satisfatório para a remoção da matéria orgânica, porém, as eficiências de remoção de nutrientes foram moderadas em virtude da influência pluviométrica. No entanto, deve-se ressaltar que as remoções obtidas foram relevantes mesmo com altas cargas de poluentes. Nesse sentido, conclui-se que a tecnologia de tratamento de efluentes por alagado construído, é uma alternativa para a melhoria das condições de tratamento dos esgotos domésticos em locais descentralizados, especialmente como forma de complementação no pós-tratamento de fossas sépticas e filtros anaeróbios.

O trabalho realizado comprova que na avaliação do desempenho de um alagado construído, baseando-se apenas nos valores de concentração ( $\text{mg L}^{-1}$ ) dos poluentes de entrada e saída, há uma subestimação da eficiência. Portanto, sugere-se que durante a avaliação seja relacionado tanto o cálculo da redução do volume de efluente pela evapotranspiração quanto o incremento do volume pluviométrico no sistema. Inclusive, o cálculo de eficiência de remoção da carga poluidora deve considerar as vazões do sistema ( $\text{Kg L}^{-1} \times \text{volume}$ ).

Os volumes de precipitação pluviométrica e as taxas de evapotranspiração influenciam diretamente no balanço hídrico de um alagado construído, proporcionando variações no TRH do efluente, o que consequentemente interfere na eficiência de remoção de cargas poluidoras.

## Referências

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA; AMERICAM WATER WORKS ASSOCIATION - AWWA; WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION - WPCF. (2005) Standard methods for the examination of water and wastewater. 21. ed. Washington D.C.

ALMEIDA, R. A.; PITALUGA D. P. S.; REIS, R. P. A. Tratamento de esgoto doméstico por zona de raízes precedida de tanque séptico. (2010) Revista Biociência, Porto Alegre, v.16(1), pp. 1-9.

ARIAS, C. A.; BRIX, H. Humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales. (2003). Revista Ciência e Ingeniería Neogranadina, Bogotá, n. 13, pp. 17-24.

COSTA, L. L.; CEBALLOS, B. S. O.; MEIRA, C. M. B. S.; CAVALCANTI, M. L. F. Eficiência de wetlands construídos com dez dias de detenção hidráulica na remoção de colifago e bacteriófagos. (2003). Revista de Biologia e Ciência da Terra, Sergipe, v. 3, n. 1.

DORNELAS, F. L.; MACHADO, M. B.; VON SPERLING, M. Performance evaluation of planted and unplanted subsurface-flow constructed wetlands for the post-treatment of USB reactor effluents. (2009). Water Science and Technology, Londres, v. 60(12), pp. 3025-3033.

DORNELAS, F. L. Avaliação do Desempenho de Wetlands Horizontais Subsuperficiais como Pós-Tratamento de Efluentes de Reatores UASB. (2008). Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, pp. 150.

GALLINA, P. R. Cálculo de evapotranspiração através do sistema wetland construído: estudo de caso vinícola Gheller de Guaporé – RS. (2010). Dissertação (Graduação em Engenharia Ambiental) - Centro Universitário UNIVATES, Lajeado, pp. 90.

GALLINA, P. R.; SCHMITZ, M.; LANZARIN, D. R. A.; SECCHI, F. J.; KONRAD, O. Evapotranspiração através do sistema wetland construído: estudo de caso na vinícola Gheller de Guaporé – RS. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIAS PARA O MEIO AMBIENTE, 3. abr. 2012, Bento Gonçalvez. Anais... Proamb, 2012. pp. 25-27.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - Características da população e dos domicílios. Censo demográfico 2010. (2011). Rio de Janeiro: IBGE. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/censo2010/>>. Acesso em: 12 jun. 2015.

JORDÃO, E. P.; PESSOA, C. A. Tratamento de esgotos domésticos. (2011). 6. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2011. pp. 932.

KADLEC, R. H.; WALLACE, S. D. Treatment Wetlands. (2009). 2. ed., Boca Raton: CRC Press. pp. 1000.

KOBIYAMA, M.; MOTA, A. A.; CORSEUIL, C. W. Recursos hídricos e saneamento. (2008) 1. ed. Curitiba: Organic Trading, pp. 160.

KONRAD, O; TONETTO, F.J.; SIQUEIRA, L. M.; HASAN, C.; GALLINA, P. R. Avaliação da eficiência de wetland construído para tratamento de afluente proveniente de vinícola. (2015). Revista Brasileira de Viticultura Enologia, n.7, pp.10-17.

LIBÂNIO, A. C.; CHERNICHARO, C. A. L.; NASCIMENTO, N. O. A dimensão da qualidade de água: avaliação da relação entre indicadores sociais, de disponibilidade hídrica, de saneamento e de saúde pública. (2005) Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, v. 10(3), pp. 219-228.

MA, J.; DING, Z.; WEI, G.; ZHAO, H.; HUANG, T. Sources of water pollution and evolution of water quality in the Wuwei basin of Shiyang river, Northwest China. *Journal of Environmental Management*. (2009) v. 90(2), pp. 1168–1177.

MOTA, F. S. B.; VON SPERLING, M. Nutrientes de Esgoto Sanitário: utilização e Remoção. Programa de Pesquisa em Saneamento Básico – PROSAB. (2009). 5.ed. Rio de Janeiro: ABES, pp 428.

NUVOLARI, A. Esgoto Sanitário: coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola. 2 ed. São Paulo: Blucher. (2011). pp. 520.

PHILIPPI, L. S.; SEZERINO, P. H. Aplicação de sistemas tipo wetlands no tratamento de águas residuárias: utilização de filtros plantados com macrófitas. (2004). Florianópolis: Autor, pp. 144.

SEZERINO, P. H.; OLIJNYK, D. P.; BENTO, A. P.; PANCERI, B.; PHILIPPI, L. S. Tratamento de efluente doméstico combinado com efluente agroindustrial utilizando filtro plantado com macrófitas - constructed wetlands. (2007). Evidência, UNOESC, v. 6, pp. 229-236.

SOUZA, C. F.; BASTOS, R. G.; GOMES, M. P. de M.; PULSCHEN, A. A. Eficiência de estação de tratamento de esgoto doméstico visando reuso agrícola. (2015). *Revista Ambi-Água*, Taubaté, v. 10(3), pp. 587-597.

SURIYACHAN, C.; NITIVATTANANON, V.; AMIM, A.T.M. N. Potential of decentralized wastewater management for urban development: Case of Bangkok. (2012). *Habitat International*. v. 36, pp. 85-92.

VYMAZAL, J. Constructed Wetlands for Wastewater Treatment. (2010). *Water*. v. 2(3), pp. 530-549.

VYMAZAL, J. Constructed wetlands for wastewater treatment: five decades of experience. (2011). *Environmental Science & Technology*, v. 45, pp. 61-69.

YE, C.; LI, L.; ZHANG, J.; YANG, Y. Study on ABR stage-constructed wetland integrated system in treatment of rural sewage. (2012). *Procedia Environmental Science*, v. 12, pp. 687-692.