



You are free: to copy, distribute and transmit the work; to adapt the work.
You must attribute the work in the manner specified by the author or licensor

CONSIDERANDO A EVAPOTRANSPIRAÇÃO NO CÁLCULO DE EFICIÊNCIA DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO COM PLANTAS

Rogério de Araújo Almeida¹; Fernando Ernesto Ucker²

RESUMO

Surgindo como alternativa aos sistemas convencionais de tratamento de esgoto atualmente conhecidos, a utilização de sistemas que imitam processos naturais torna-se alvo de novas pesquisas a cada dia. Comprovado por diversos pesquisadores, o tratamento de esgoto com plantas tem se mostrado eficiente, principalmente na remoção de matéria orgânica e nutrientes. Entretanto, no cálculo de sua eficiência têm sido utilizadas as mesmas fórmulas adotadas nos demais sistemas, o que leva a uma subestimação nos valores de eficiência, uma vez que as plantas reduzem significativamente o volume do efluente. Assim, este trabalho objetivou propor que o cálculo de eficiência dos sistemas de tratamento de esgoto com plantas considere a remoção da carga poluidora (concentração vezes volume), e não apenas da concentração, de determinado poluente. Utilizando resultados de pesquisas da área, foram simuladas eficiências com taxas de evapotranspiração de 20%, 40% e 60% do volume de esgoto. As simulações comprovaram a necessidade de se considerar a perda de água por evapotranspiração nos cálculos de eficiência dos sistemas de tratamento de esgoto com plantas, uma vez que houve aumento superior a 30 pontos percentuais em seus valores, como no caso da remoção de fósforo total, cujo valor de eficiência aumentou de 48% para 79,2%.

Palavras-chaves: alagados construídos, zona de raízes, carga poluidora.

CONSIDERING THE EVAPOTRANSPIRATION ON THE SEWAGE TREATMENT STATIONS WITH PLANTS EFFICIENCY CALCULATION

ABSTRACT

Emerging as an alternative to currently known conventional sewage treatment systems, the use of systems that imitate natural processes becomes the target of new researches every day. Proved by several researchers, the sewage treatment systems with plants have been shown effective, especially on organic matter and nutrients removal. However, for its efficiency calculation has been used the same formulas adopted in other systems, which leads to an underestimation in the efficiency values, since the plants significantly reduce the effluent volume. So, this study proposed to calculate the efficiency of sewage treatment systems that use plants, considering the removal of the pollutant load (concentration multiplied by volume), and not only the concentration of the pollutant. Research findings in the area were used on efficiencies simulating with evapotranspiration rates of 20%, 40% and 60% of sewage volume. The simulations demonstrated the requirement to consider the evapotranspiration water loss when calculating the efficiency of sewage treatment systems with plants, since there was an increase upper than 30 percentage points in their values, as in the case of total phosphorus removal, whose efficiency value increased from 48% to 79.2%.

Keywords: constructed wetlands, rootzone system, pollutant load.

Trabalho recebido em 25/05/2011 e aceito para publicação em 12/12/2011.

¹ Professor, Doutor, Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Goiás, e-mail: raa@agro.ufg.br; Endereço: C.P. 131, CEP 74.001-970, Goiânia, GO.

² Engenheiro Ambiental; Mestrando em Engenharia do Meio Ambiente pela Universidade Federal de Goiás, e-mail: ferucker@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

Uma alternativa de minimização dos impactos ambientais gerados principalmente pelo crescimento desordenado da população mundial é o uso de estações de tratamento de esgoto (ETEs), que possuem a principal função de, por meio de processos físicos, químicos e biológicos, remover os poluentes presentes no esgoto, devolvendo ao ambiente um efluente em conformidade com os padrões exigidos pela legislação.

Os diversos sistemas de tratamento de esgoto existentes trazem diferenças básicas como custos de implantação e de manutenção, e processo de tratamento utilizado. Além destas, os sistemas diferenciam-se principalmente pela eficiência alcançada na remoção de poluentes.

De acordo com Dacach (1991) e Solano *et al.* (2004), a eficiência do tratamento de esgoto é a percentagem removida de um determinado atributo, que pode ser determinada pela Equação 1.

$$Ef \% = 100 \frac{Co - Ce}{Co} \quad (\text{Equação 1})$$

Em que:

Ef % = eficiência percentual de remoção de determinado atributo;

Co = concentração afluente do atributo e;

Ce = concentração efluente do atributo.

Assim, se a concentração de um determinado atributo for reduzida de 100 mg L⁻¹ para 50 mg L⁻¹, a eficiência será de 50%. Se ocorrer o contrário, e houver um aumento na concentração do referido atributo, a eficiência assumirá valor negativo (ALMEIDA, 2005).

A eficiência também pode ser expressa por índices. Almeida *et al.* (2007) utilizaram o quociente da concentração afluente do atributo pela sua concentração efluente (Equação 2).

$$Ef = \frac{Co}{Ce} \quad (\text{Equação 2})$$

Em que:

Ef = índice de eficiência;

Co = concentração afluente do atributo e;

Ce = concentração efluente do atributo.

A interpretação deste índice é menos simplificada que da eficiência percentual, todavia, sempre resulta em valores positivos. Uma eficiência nula terá o valor unitário do índice. Eficiências negativas assumirão valores compreendidos entre um e zero e eficiências positivas assumirão valores maiores que um. Se a diferença entre os valores de entrada e saída forem muito grandes, o valor do índice tenderá a zero ou ao infinito. Não há índice para eficiência total, ou seja, concentração efluente com valor zero.

Mais recentemente têm sido pesquisados e utilizados sistemas de

tratamento de esgoto baseados na presença de vegetais vivos. São denominados *wetlands* (TONIATO, 2005) e se caracterizam por serem de boa eficiência e de baixo custo. Segundo Brix (1993) e Solano *et al.* (2004), estes sistemas podem ser operados por pessoas de baixa escolaridade, com baixo gasto energético, são mais flexíveis e menos susceptíveis a variações nas taxas de aplicação de esgoto.

São conhecidos, em português, pelas denominações de trincheiras filtrantes, lagoas ou leitos de macrófitas, alagados construídos, fito-lagunagem, fito-ETARs (estações de tratamento de águas residuais através de plantas) ou, ainda, sistema de zona de raízes (DIAS *et al.*, 2011).

De acordo com Valentim (2003), as plantas têm grande importância no equilíbrio do ambiente e trazem grandes benefícios ao servirem de abrigo, refúgio e alimento a várias espécies. Já no tratamento de esgoto as plantas promovem um tratamento, simultaneamente aeróbio e anaeróbio, retirando sólidos suspensos e microrganismos patogênicos e, conseqüentemente, diminuindo a carga orgânica. Um segundo benefício é a redução de odor, promovida pelas plantas conjuntamente com o substrato, que limita o odor e possibilita a instalação do sistema próximo à comunidade que irá servir. E um terceiro benefício da vegetação é a estética

e o apelo ecológico. Há plantas que embelezam o ambiente com flores e perfuma-o com seus aromas.

Além dessas vantagens, as plantas absorvem água do esgoto e a liberam para a atmosfera, num processo denominado transpiração, que somado à água evaporada da superfície do solo constituem a evapotranspiração. O processo ocorre nas estações de tratamento de esgoto com plantas, eliminando ou reduzindo o volume do esgoto (TRUONG *et al.*, 2008).

A evapotranspiração requer suprimento de energia, proveniente da radiação solar. A evapotranspiração, portanto, é mais elevada no verão, quando os dias são mais longos e a radiação solar é maior. Nos trópicos a energia solar e a evapotranspiração, no curso do ano, são significativamente mais elevadas que em regiões de clima temperado (CAMARGO; CAMARGO, 2000).

A redução do volume efluente do esgoto numa estação de tratamento faz com que os cálculos de eficiência resultem em valores subestimados, uma vez que utilizam apenas os dados de concentração de determinado atributo. Todavia, no cálculo de eficiência dos sistemas de tratamento de esgoto com plantas têm sido utilizadas as mesmas fórmulas adotadas nos demais sistemas, em que a evapotranspiração praticamente inexistente. Assim fizeram Knowlton *et al.* (2006),

Haberl *et al.* (2007), Olleda *et al.* (2008), Almeida *et al.* (2010), dentre outros.

Considerando que a subestimação de eficiência de sistemas de tratamento de esgoto, em que haja o efeito da evapotranspiração, pode levar a conclusões equivocadas, este trabalho propõe que o cálculo de eficiência seja realizado com base na remoção da carga poluidora, definida por Sperling (2005) como sendo a concentração de determinado atributo multiplicada pela vazão do esgoto.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Utilizando resultados de pesquisas da área, foram simuladas eficiências com taxas de evapotranspiração de 20% (ETP₂₀), 40% (ETP₄₀) e 60% (ETP₆₀) do volume de esgoto. A simulação foi realizada para a demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), nitrogênio amoniacal (N) e fósforo total (P). Os valores calculados foram comparados com as eficiências originalmente apresentadas nos trabalhos pesquisados, que representaram a taxa de evapotranspiração nula (ETP₀).

A simulação das eficiências na remoção da carga poluidora foi realizada subtraindo-se a carga poluidora efluente da carga poluidora afluenta e dividindo-se o resultado pela carga poluidora efluente (Equação 3).

$$Ef \% = 100 \frac{(Co \times Qo) - (Ce \times Qe)}{(Co \times Qo)}$$

(Equação 3)

Em que:

Ef = eficiência percentual de remoção da carga poluidora de determinado atributo;

Co = concentração afluenta do atributo;

Ce = Concentração efluente do atributo;

Qo = vazão afluenta do esgoto e;

Qe = vazão efluente do esgoto.

Os valores das concentrações afluentes dos atributos foram retirados de Jordão & Pessôa (2005), e referem-se aos valores máximos encontrados pelos autores em esgoto bruto. Os valores das concentrações efluentes de DQO (160 mg O₂ L⁻¹) e P (10,4 mg P L⁻¹) foram obtidos de Valentim (2003). A concentração efluente de DBO (120 mg O₂ L⁻¹) foi retirada de trabalho realizado por Knight *et al.* (1993) e a de N (10 mg P L⁻¹) foi retirada de Cunha (2006).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores das concentrações afluenta e efluente dos atributos demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), nitrogênio amoniacal (N) e fósforo total (P), assim como os resultados das eficiências originais (ETP₀) e simuladas, com taxas de evapotranspiração de 20% (ETP₂₀), 40% (ETP₄₀) e 60% (ETP₆₀) do volume de esgoto, são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Eficiência percentual de remoção da carga poluidora de atributos do esgoto sanitário, considerando taxas de evapotranspiração de 0%, 20%, 40% e 60%.

Atributo	Concentração Afluente	Concentração Efluente	Eficiência (%)			
			ETP ₀	ETP ₂₀	ETP ₄₀	ETP ₆₀
DBO (mg O ₂ L ⁻¹)	400	120	70,0	76,0	82,0	88,0
DQO (mg O ₂ L ⁻¹)	800	160	80,0	84,00	88,0	92,0
N (mg N L ⁻¹)	50	10	80,0	84,0	88,0	92,0
P (mg P L ⁻¹)	20	10,4	48,0	58,4	68,8	79,2

A eficiência na remoção da demanda bioquímica de oxigênio, considerando apenas as concentrações de entrada e saída (ETP₀), foi de 70%. O valor se aproxima dos 63% verificados por Sezerino *et al.* (2005), para um sistema de alagados construídos de fluxo sub-superficial horizontal, implantado em Florianópolis - SC, utilizando como substrato a areia, e vegetado com taboa (*Typha spp*).

Ao simular as eficiências considerando as taxas de evapotranspiração ETP₂₀, ETP₄₀ e ETP₆₀ verificou-se um acréscimo em seus valores, da ordem de seis pontos percentuais para cada vinte pontos percentuais de ETP. Assim, a diferença chegou a 18 pontos percentuais para a ETP₆₀.

A eficiência na remoção da demanda química de oxigênio foi de 80%. Tal valor é inferior ao verificado por Brasil *et al.* (2005) num sistema de fluxo sub-

superficial horizontal vegetado com taboa e preenchido com brita # 0, nas condições climáticas de Viçosa, MG, em que a eficiência foi de 90%.

Calculando a eficiência pela remoção da carga poluidora, verificou-se um acréscimo na remoção de DQO da ordem de 4,0 pontos percentuais para cada vinte pontos percentuais de ETP. Assim, a eficiência passou de 80% (ETP₀) para 92% (ETP₆₀), aumentando 12 pontos percentuais.

Meira *et al.* (2001) ao estudar leitões de fluxo sub-superficial cultivados com taboa obtiveram uma remoção de nitrogênio amoniacal de 78%, para um tempo de detenção hidráulica de 10 dias. No presente trabalho a eficiência simulada para ETP₀ foi de 80% e cresceu quatro pontos percentuais para cada vinte pontos percentuais de evapotranspiração, chegando a 92% para ETP₆₀, totalizando doze pontos percentuais de diferença.

No mesmo trabalho, Meira *et al.* (2001) verificaram uma redução na concentração de fósforo de 48,6%. Valor semelhante foi encontrado neste estudo para ETP₀, havendo acréscimo no valor da eficiência de 10,4 pontos percentuais para cada vinte pontos de acréscimo na evapotranspiração. Assim, a diferença entre as eficiências para ETP₀ e ETP₆₀ foi de 31,2 pontos percentuais.

4. CONCLUSÃO

A simulação realizada neste trabalho comprova uma subestimação da eficiência nos tratamentos de esgoto com plantas, quando em seu cálculo não é considerada a redução do volume do efluente pela evapotranspiração. Os resultados levam a concluir que, para tais sistemas, o cálculo de eficiência deve considerar a remoção da carga poluidora (concentração vezes volume), e não apenas da concentração, de determinado poluente.

5. REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, R. A. Substratos e plantas no tratamento de esgoto por zona de raízes. Goiânia, GO: Universidade Federal de Goiás, 2005. **Tese** de doutorado, Universidade Federal de Goiás - UFG, 2005. 108 p.
- ALMEIDA, R. A.; OLIVEIRA, L. F. C.; KLIEMANN, H. J. Eficiência de espécies vegetais na purificação de esgoto sanitário. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 37, n. 1, p. 1-9, 2007.
- ALMEIDA, R. A., PITALUGA, D. P. S., REIS, R. P. A. Tratamento de esgoto doméstico por zona de raízes precedida de tanque séptico. **Revista Biociências**, UNITAU. Volume 16, número 1, 2010. p. 73-81.
- CAMARGO, A. P.; CAMARGO, M. B. P. Revisão analítica da evapotranspiração potencial. **Bragantia**, Campinas, v. 59, n. 02, p. 125-137, 2000.
- BRASIL, M. S. et al. Qualidade do efluente de sistemas alagados construídos, utilizados no tratamento de esgoto doméstico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, (Suplemento), p.133-137, 2005.
- BRIX, H. Wastewater treatment in constructed wetlands: system design, removal processes, and treatment performance. In: MOSHIRI, G. A. (Ed.) **Constructed wetlands for water quality improvement**. Boca Raton: CRC Press, 1993. p. 9-23.
- CUNHA, C. A. G. (2006). **Análise da eficiência de um sistema combinado de alagados construídos na melhoria da qualidade das águas**. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.
- DACACH, N. G. **Tratamento primário de esgoto**. Rio de Janeiro: Editora Didática e Científica. 1991. 106 p.
- DIAS, V. N. et al. **Fito-ETARs**: pressupostos teóricos de funcionamento e tipos. Disponível em: <http://www.apesb.pt/Comunicacoes/9_PAPER_2.htm>. Acesso em: 14 set. 2011.
- HABERL, R.; GREGO, S.; LANGERGRABER, G.; KADLEC, R. H.; CICALINI, A. R.; DIAS, S. M.; NOVAIS, J. N.; AUBERT, S.;

- GERTH, A.; THOMAS, H.; HEBNER, A. Constructed wetlands for the treatment of organic pollutants. **J Soils & Sediments**. vol. 3, n. 2, p. 109-124. 2007.
- JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos**. 3 ed. Rio de Janeiro: ABES, 1995. 681 p.
- KNIGHT, R. L. et al. (1993). **Wetlands for wastewater treatment: performance database**. In: Monshiri, A. (Ed) *Constructed Wetlands for Water Quality Improvement*. Boca Raton: Lewis Publishers. Cap.4, p. 35-38.
- KNOWLTON, M. F.; CUVELLIER, C.; JONES, J. R. Initial performance of a high capacity surface-flow treatment wetland. **Wetlands**. Vol. 22, n. 3, p 522-527. 2006.
- MEIRA, C. et al. Wetlands vegetados no polimento de águas superficiais poluídas: primeiros resultados. In: XXI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2001, João Pessoa. **Anais...** Rio de Janeiro: ABES, p. 1-6, 2001.
- OLLEDA, P.; BLANCO, I.; ANSOLA, G.; LUIS, E. Removal of wastewater pathogen indicators in a constructed wetland in Leon, Spain. **Ecological Engineering**. vol. 33. p 252-257. 2008.
- SEZERINO, P. H. et al. Filtro plantado com *Typha spp* de fluxo horizontal (*constructed wetland*) aplicado como polimento de efluente de lagoa facultativa. 23º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2005, Campo Grande, MS. **Anais...** Campo Grande: ABES, II-348, CD-ROM, 2005.
- SOLANO, M. L.; SORIANO, P.; CIRIA, M. P. Constructed wetlands as a sustainable solution for wastewater treatment in small villages. **Biosystems Engineering**, London, v. 87, n. 1, p. 109-118, 2004.
- SPERLING, M. von. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos / Marcos von Sperling. 3 ed. v.1. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; UFMG. 2005. p. 110-111.
- TONIATO, J. V. **Avaliação de um wetlands construído no tratamento de efluentes sépticos – Estudo de caso Ilha Grande, Rio de Janeiro, Brasil**. Originalmente apresentada como dissertação de mestrado, Escola Nacional de Saúde Pública – Fundação Oswaldo Cruz, 2005. 95 p.
- TRUONG, P.; VAN, T. T.; PINNERS, E. Vetiver system for prevention and treatment of contaminated water and land. In: _____. **The vetiver system for improving water quality the prevention and treatment of contaminated water and land**. 1st Edition 2008. EUA: The Vetiver Network International, 2008. p. 33.
- VALENTIM, M. A. A. **Desempenho de leitões cultivados (“constructed wetland”) para tratamento de esgoto: contribuições para concepção e operação**. Campinas, SP: 2003. Originalmente apresentada como tese de doutorado, Faculdade de Engenharia Agrícola - UNICAMP, 2003. 210 p.