

INFLUÊNCIA DA RECIRCULAÇÃO DO EFLUENTE EM SISTEMAS DE ALAGADOS CONSTRUÍDOS

OLIVEIRA, Eduardo L.* – PEREIRA, Ricardo M.** – CONCEIÇÃO, Augusto de A. – GALHARDO, Emílio C.***

* Dep. de Engenharia Civil – Fac. de Engenharia -Av. Luiz Edmundo Carrijo Coube, s/n - Cx. Postal 473 - Cep. 17033-360 - Bauru – SP - Fone: 55 14 3103-6112 – eduoliv@feb.unesp.br

** Dep. de Engenharia Civil – Fac. de Engenharia -Av. Luiz Edmundo Carrijo Coube, s/n - Cx. Postal 473 - Cep. 17033-360 - Bauru – SP - Fone: 55 14 3103-6112 – molto@feb.unesp.br

*** Departamento de Água e Esgoto de Bauru – DAE –Rua Padre João 11-25 - Cep. 17043-120 - Bauru – SP - Fone: 55 14 3235-6100 – egalhardo@hotmail.com

Resumo: Em estudos feitos desde outubro de 2004, com apoio da FAPESP e CAPES, que vêm sendo realizados no LAR (Laboratório de Águas Residuárias) da UNESP, Campus de Bauru – SP – Brasil, procura-se quantificar e qualificar o efeito da recirculação do efluente, em sistemas de alagados construídos, com o objetivo de melhorar sua eficiência e conseqüentemente o aumento da taxa de aplicação superficial, visando a redução do custo energético.

Através da aplicação do método respirométrico, para a determinação de parâmetros cinéticos, durante ensaios já desenvolvidos e em desenvolvimento, com diferentes meios suportes, métodos de oxigenação e vazões de recirculação, pode-se, de forma comparativa, analisar a eficiência e influencia da recirculação nestes diferentes sistemas.

Resultados obtidos até o momento confirmam que, comparando-se dados da literatura, há reduções expressivas na área “per capita” necessária ao funcionamento adequado do sistema quando se utiliza a recirculação do efluente, em sistemas de alagados construídos.

Palavras-chave: Alagados construídos; águas residuárias; recirculação de efluentes; respirometria

Abstract: In studies that have been done in the Laboratory of Residuary Waters located at UNESP, campus of Bauru – SP – Brasil, since October 2004, with the support of FAPESP and CAPES, we seek to quantify and qualify the effect of the recirculation of the effluent in built wetlands' systems in order to improve its efficiency and consequentially raise the superficial application tax with the aim of reducing the energetic cost.

Through the application of the respirometry method to determine the kinetic parameters during the tests that were already developed and the ones being developed with different ways of standing, oxygenation methods and recirculation outputs, we can in a comparative way analyze the efficiency and influence of the recirculation in these different systems.

The obtained results up to this moment confirm that comparing the literature data there are expressive reductions in the “per capita” area necessary to the adequate functioning of the system when the built wetlands' effluent recirculation is used.

Keywords: wetland; wastewater; recirculation of effluent ; respirometry

Introdução

Os recursos pedológicos, atmosféricos e hídricos são fundamentais para que se garanta a vida dos seres vivos que retiram destes recursos naturais os elementos químicos necessários para alimentação, reprodução e respiração da vida terrestre. Porém, estes elementos, quando absorvidos pelos seres vivos, nem sempre voltam ao meio ambiente com a mesma estrutura química do que quando foi absorvido.

A vida somente se difundiu ao longo do tempo, pois a própria natureza é capaz de re-equilibrar, através dos organismos consumidores e produtores, estes elementos. Além disso, existem também, os recursos armazenados nas mais diversas formas, que em muitas vezes, também precisam passar por algum tipo de modificação para serem consumidos pelos seres vivos. Estes processos de

modificação envolvem outros elementos que, por sua vez, também devem ser modificados, além da dependência energética a qual é demandada na maioria dos casos.

Com o crescente populacional mundial, já se tem conhecimento do déficit de muitos destes recursos que apresentem qualidade para ser usufruído. O solo é explorado há um bom tempo e muitas vezes não se têm o re-equilíbrio de seus nutrientes, dentre eles, o nitrogênio, o fósforo e o potássio. Com isso, áreas produtivas tornam-se improdutivas, já que estes nutrientes são absorvidos pela biota para o crescimento da biomassa. Os recursos hídricos são essenciais para garantir o desenvolvimento da biomassa contida na biota, e devem ter qualidade e disponibilidade compatível com o seu uso.

Os sistemas de Wetlands vêm sendo desenvolvidos para auxiliar a natureza, uma vez que o processo de uso dos recursos no mundo é maior que a capacidade da natureza se auto-recuperar. Os Alagados Construídos não são somente sistemas de tratamento de águas, eles auxiliam também, na re-organização de nutrientes no ecossistema. No entanto os alagados construídos demandam áreas relativamente grandes e com o intuito de reduzir estas áreas a presente pesquisa se propôs a aplicar sistema de batelada munido de recirculação do efluente dentro do reator.

Materiais e Métodos

O reator onde foram realizados os testes foi desenvolvido pelo Grupo de Pesquisas em Alagados Construídos (GEAC), figura 1. Este, foi projetado de forma a se garantir temperatura interna uniforme igual a 20,0°C, para este controle foi elaborado uma parede oca na qual recircula água resfriada ou aquecida por banhos termostáticos. O reator desenvolvido conta com 3 locais de controle de temperatura, um na parte superior, outro na parte inferior e outro localizado entre estas duas sondas.



Figura 1: Elevação e vista em planta do reator vazio.

O reator foi concebido para trabalhar com fluxo vertical descendente, munido recirculação do efluente em sistemas de batelada, com meio suporte para fixação da biomassa ativa. O meio suporte utilizado foi um sistema misto formado por uma camada superior de 14 cm de areia, seguida por outra camada localizada sob esta de 18 cm de pedrisco, abaixo do pedrisco foi lançada uma camada de 20 cm de brita 01, e na parte inferior do reator uma ultima camada de 11 cm de brita 02. A planta utilizada foi o *Cyperus Papyrus* localizado em uma área de 201,1 cm². A aeração do sistema foi efetuada por sopradores comuns utilizados em aquários e pedra difusora de ar circular, conforme ilustrado na figura 2.

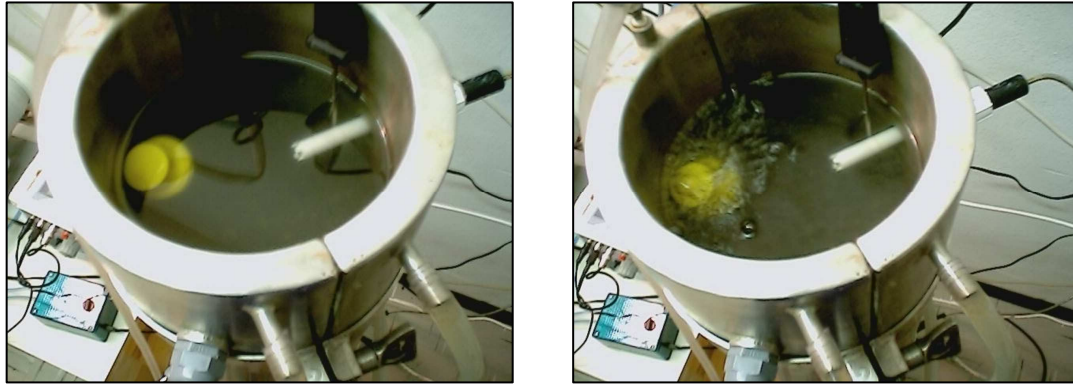


Figura 02: Sistema de aeração artificial.

Para avaliação do processo aplicou-se o método respirométrico o qual consiste em uma técnica de determinação de parâmetros cinéticos de monitoramento e dimensionamento que tem como base dos cálculos o consumo de oxigênio para a degradação da matéria orgânica.

Nas estações de tratamento de esgoto convencionais, isto é, baseadas nos sistemas a lodos ativados, se fazem cada vez mais uso de métodos respirométricos para a determinação, seja das características de biodegradabilidade dos influentes, que da atividade biológica do sistema. Para a aplicação de tal técnica nos sistemas a lodos ativados existe de fato uma ampla literatura técnico-científica. No entanto a aplicação de tal técnica a tratamentos naturais de águas residuárias (fitodepuração), apresenta-se atualmente numa quase total ausência de experiências aplicativas e de protocolos experimentais.

Os primeiros a se ocuparem da técnica respirométrica foram Jenkins (1960) e Montgomery (1967), tendo como base seus próprios estudos experimentais sobre a quantificação do consumo de oxigênio dissolvido em tratamentos de lodos ativados. O procedimento para estimar-se a TCO é de extrema simplicidade e o campo de aplicação vastíssimo; não obstante seja uma metodologia utilizável em grande escala, não se conseguiu uma larga difusão nas operações de gestão das estações de tratamento de esgoto.

O teste de TCO considera as variações na taxa de respiração do lodo em consequência do tipo de substrato acrescentado e da velocidade de degradação da parte da biomassa.

A absorção do oxigênio se desenvolve através de duas fases principais:

- 1) respiração endógena do lodo: é o oxigênio necessário para a respiração do lodo ativado, ou seja, a energia requerida para manter as funções das células; realiza-se a fase endógena da taxa de absorção de oxigênio;
- 2) degradação do substrato: representa o consumo de oxigênio da parte dos microrganismos para a degradação dos substratos presentes no líquido alimentado, neste caso se realiza a fase exógena da taxa de absorção de oxigênio e se distingue como:
 - 2a) substratos rapidamente biodegradáveis, que fornece uma elevada velocidade de consumo de oxigênio;
 - 2b) substratos lentamente biodegradáveis, que fornecem uma velocidade de utilização do oxigênio inferior aquela precedente, mas todavia, superior aquela endógena.

Em condições endógenas a respiração do lodo comporta uma contínua utilização do oxigênio a uma velocidade aproximadamente constante e de modesta relevância: isto é demonstrado pela pendência uniforme da reta a-b-c, vista na Figura 3.

Acrescentando-se no instante b uma pequena quantidade de substrato, isento de substâncias tóxicas para os organismos presentes, provoca-se um momentâneo incremento na velocidade de absorção do oxigênio, representado pela distância b-d. Somente quando o substrato foi totalmente degradado, a situação no interior do sistema retorna as condições endógenas iniciais, assumindo após o ponto d, uma pendência similar àquela originária (distância d-e).

No instante d o valor da concentração de oxigênio presente é inferior aquela que seria encontrada sem o acréscimo do substrato. A diferença, isto é, à distância d-f, representa a demanda de oxigênio em um breve tempo, devido a introdução do substrato.

Através dos tipos de compostos preponderantes nas águas residuárias, adicionados ao reator de lodos, obtém-se diversos andamentos da curva de respiração. Podem-se notar as seguintes tipologias:

Tipo A - é o caso simples. Representa uma intensa queda na taxa de respiração, coincidindo com a adição do substrato, seguido de um rápido retorno à pendência da fase endógena inicial. É o caso que se verifica com um substrato puro, rapidamente biodegradável (por exemplo, ácido acético).

Tipo B - representa a combinação de mais substratos. Com a adição destes, a velocidade de espiração cresce fortemente mantendo valores uniformes no primeiro momento, para depois assumirem valores gradualmente mais modestos, antes de retornar a pendência anterior.

Tipo C - se observa freqüentemente na presença de substâncias complexas. Inicia com um forte decremento, sucede uma variação gradual a valores mais baixos da velocidade de respiração.

No trecho final atinge uma pendência constante, se bem que, nestes casos, dificilmente venha restaurada a pendência endógena inicial. É este o caso das águas residuárias municipais, na qual se tem a presença de mais substâncias, de cuja algumas rapidamente biodegradáveis e outras lentamente biodegradáveis que não podem ser completamente biodegradadas durante a breve duração da prova, e que são responsáveis pelo fato que a pendência do trecho final é maior do que a pendência endógena inicial.

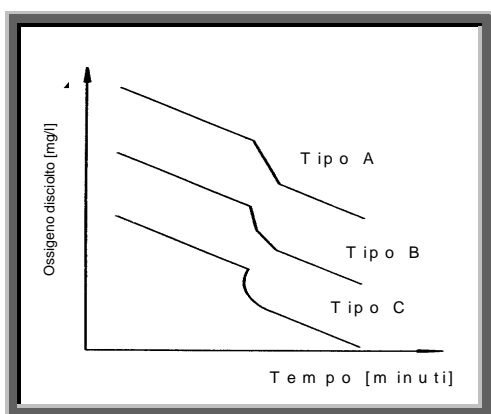


Figura 3. Tipo de curva de respiração comumente observada. (Andreottola et al., 2002)

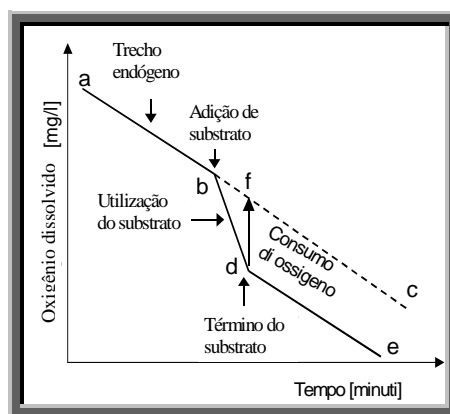


Figura 4. Efeito sobre a concentração de oxigênio dissolvido após adição ao lodo ativado de uma limitada quantidade de substrato. (Andreottola et al., 2002)

A tal consideração verifica-se que para os processos convencionais a lodos ativados são disponíveis hoje modelos de simulação bastante avançados (p. es. ASM dell'IAWQ), ao passo que não são disponíveis análogos modelos para simular os tratamentos a fitodepuração. Para os processos de fitodepuração são disponíveis em literatura somente alguns modelos que envolvem os parâmetros cinéticos e estequiométricos das principais reações bactérias ligadas a remoções da substância

orgânica e a nitrificação, porém se trata geralmente de modelos ainda muito simplificados.

Os critérios de projeto comumente utilizados para o dimensionamento de tratamento de fitodepuração são baseados em expressões cinéticas muito simples, em geral de tipo linear. Os processos biológicos que se realizam em tratamento de fitodepuração não podem, porém, ser sempre considerados de tipo linear, como de fato se pode facilmente imaginar, considerando que os processos biológicos em geral são regulados das expressões de Monod ou da cinética de ordem 1 ou $\frac{1}{2}$, como por exemplo nos biofilmes. Desta complexibilidade nasce a necessidade de dispor de testes adaptados a medidas de parâmetros cinéticos da parte do solo envolvido nos processos de fitodepuração. As pesquisas respirométricas sobre solos podem representar uma promissora alternativa para fornecerem informações inerentes à atividade biológica e as velocidades com que se desenvolvem as reações biológicas.

Os testes respirométricos permitem o monitoramento a intervalos de tempo, a concentrações de oxigênio (em ar ou dissolvido em água) no interior de ambiente onde está presente a amostra de terreno (ar ou água); em base a variação da concentração de oxigênio calcula-se o valor da TCO (Taxa de Consumo de Oxigênio), através do cálculo da pendência da reta de regressão estatística entre os dados (freqüentemente linear ou aproximadamente como traçado linear) (Andreottola et al, 2002).

O andamento da TCO no tempo pode depender de diversos fatores, entre os quais se encontram: a temperatura, a concentração de oxigênio, a quantidade de substância orgânica adsorvida sobre as partículas, a presença de nitrogênio nitrificante, a granulométrica do material que influencia a superfície específica e, portanto a atividade do leito. Os principais termos que contribuem com o valor final de TCO são os seguintes:

- **consumo endógeno de oxigênio (TCOendógeno):** este termo se mede em ausência de substrato e é ligado a respiração celular da qual deriva a energia necessária para garantir as funções das células;
- **consumo de oxigênio para a oxidação do substrato carbônico (TCO COD):** consumo de oxigênio necessário para a oxidação orgânica biodegradável presente no líquido alimentado e para a síntese de novos materiais celulares;
- **consumo de oxigênio para a nitrificação (TCO nitrificação):** consumo de oxigênio necessário para a oxidação dos compostos nitrogenosos (NH_4 , NO_2);

A velocidade de consumo de oxigênio durante o processo de degradação dos substratos e das sínteses celulares é muito mais alta em relação àquela relativa somente a respiração. Os substratos rapidamente biodegradáveis presentes nas águas residuárias apresentam uma elevada demanda de oxigênio em um curto espaço de tempo; diminuindo o substrato, a velocidade de consumo de oxigênio progressivamente diminui, atingindo o valor da velocidade endógena depois do desaparecimento do substrato. No caso da oxidação de compostos lentamente biodegradáveis se mede uma baixa velocidade de consumo de oxigênio, que resulta pouco diversa daquela endógena.

Na avaliação do balanço de oxigênio para um leito de fitodepuração devem-se computar também fluxos de ingresso de oxigênio oriundo de fontes externas ao leito: estes são reconduzidos pelas seguintes contribuições:

- **transferência de oxigênio do ar a fase líquida:** esta contribuição é maior em processos de fitodepuração a fluxos verticais não submersos (isto é operando a percolação) em respeito aqueles submersos;
- **transferência de oxigênio do ar das raízes a fase líquida:** esta contribuição é função das características e da distribuição das raízes das plantas; de algumas experiências da literatura

parece surgir que a contribuição de oxigênio do aparato radicular ao leito, pode ser considerado sem importância;

- **oxigênio presente no afluente:** se este é presente em quantidade elevada pode contribuir significativamente, com a introdução de oxigênio no leito. Geralmente, no entanto os afluentes chegam a uma estação de tratamento de fitodepuração em condições fortemente cépticas, com concentrações de oxigênio próximas a zero. É o caso, por exemplo, de líquidos provenientes de fossas Imhoff no qual o sistema de fitodepuração desenvolve um papel de pós-tratamento da substância orgânica e/ou nitrificação. Certa contribuição de oxigênio ao leito pode ser fornecida no caso em que se alimentam a fitodepuração com um esgoto secundário já tratado (por exemplo, derivado de um tratamento a lodos ativados); neste caso o tratamento de fitodepuração tem um papel de afinamento do esgoto.

A medida do consumo de oxigênio da parte de um terreno em tratamentos de fitodepuração pode ser efetuada através de respirômetros “in-situ” ou respirômetros de laboratório. No primeiro caso se mede o consumo de oxigênio, diretamente no campo, sobre uma porção do leito de enchimento, ao passo que no segundo caso se trata de amostrar uma parte do solo e submetê-lo a teste respirométrico em laboratório.

Resultados e Discussões

No sistema operado com vazão de recirculação de 15 L.h^{-1} , quando adicionado $7,5 \text{ L}$ a uma concentração de $131,58 \text{ mgDBO.L}^{-1}$ foi consumido $34,50 \text{ mgOD.L}^{-1}$. Esta diferença entre concentração de DBO adicionada e de oxigênio consumida se deve ao fato de ter sido utilizado o acetato de sódio para simular a remoção de DBO, porém quando o acetato é inserido ao sistema existe apenas a remoção da DBO rapidamente biodegradável (RDBO). Esta relação foi calculada como sendo $0,2622 \text{ mgRDBO.mgDBO}^{-1}$, que segue o mesmo valor encontrado por Adreottola (2005).

Tabela 1: Parâmetros cinéticos para a degradação da matéria orgânica biodegradável.

	Misto		Misto
Concentração Adicionada [mgDBO.L ⁻¹]	131.58	Área do Reator [m ²]	0.0201
Relação RDBO por DBO [mgRDBO.mgDBO ⁻¹]	0.2622	Volume do Reator [L]	154.818
Oxigênio Consumido [mgOD.L ⁻¹]	34.50	Volume de Efluente [L]	7.5
Coefficiente de Decaimento Endógeno [h ⁻¹]	-0.0017	Capacidade Hidráulica [m ³ .efluente.m ⁻³ filtro]	0.4844
Biomassa Heterótrofa Ativa [mgSSV.L ⁻¹]	1230.94	Tempo de Detenção de Cada Ciclo [min]	28.96
Velocidade Máxima de Remoção [mgDBO.L ⁻¹ .h ⁻¹]	26.18	Tempo de Detenção Degradação [h]	9.967
Constante de Meia Velocidade [mgDBO.L ⁻¹ .h ⁻¹]	13.09	Velocidade Média de Remoção [mgDBO.h ⁻¹]	13.201
Velocidade Máxima de Remoção [mgDBO.h ⁻¹]	196.32	Taxa de Aplicação Volumétrica [gDBO.m ⁻³ .dia ⁻¹]	153.488
Constante de Meia Velocidade [mgDBO.h ⁻¹]	98.16	Taxa de Aplicação Superficial [gDBO.m ⁻² .dia ⁻¹]	118.186
Vazão de Recirculação [L.h ⁻¹]	15.00	Taxa de Aplicação Superficial [m ² .hab ⁻¹]	0.457

Os dados representados na tabela 1 demonstram a possibilidade da aplicação de 153,4338 gDBO. $\text{m}^{-3}.\text{dia}^{-1}$ o que resulta em uma área necessária por habitante de aproximadamente $0,5 \text{ m}^2.\text{hab}^{-1}$. Vale salientar que este teste não foi feito com o esgoto bruto e sim com acetato de sódio, ou seja, em uma situação real, haveria a necessidade de um acréscimo nesta área devido a degradação de outros elemento como, por exemplo, o processo de nitrificação.

Conclusões

Através deste trabalho pode-se concluir que há uma redução significativa de área per capita necessária em Alagados Construídos quando se utiliza um reator aeróbio de fluxo vertical descendente com recirculação interna. Os resultados obtidos foi de aproximadamente $0,5 \text{ m}^2.\text{hab}^{-1}$, valor inferior ao utilizado atualmente em projetos, aproximadamente $2,5 \text{ m}^2.\text{hab}^{-1}$. Porém esta área per capita foi obtida utilizando-se acetato de sódio, ou seja apenas remoção de DBO.

Novas pesquisas devem ser desenvolvidas utilizando-se efluente que apresentem características comuns aos esgotos domésticos ou outros efluentes, como por exemplo, industrial e universitário, que apresentem características particulares.

Bibliografia

ANDREOTTOLA G., FOLADORI P., FERRAI M., ZIGLIO G. *Respirometria applicata alla depurazione delle acque: principi e metodi*. Collana scientifico-divulgativa Monographia, n. 3. Dipartimento di Ingegneria Civile ed Ambientale, Università degli Studi di Trento. 2002.

ALEM SOBRINHO, P. ; FERREIRA FILHO, S. S. . Considerações sobre o tratamento de depejos líquidos gerados em estações de tratamento de água. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, São Paulo, v. 3, n. 3/4, p. 128-136, 1998.

BARBAGALLOS, S. et al. La fitodepurazione di acque reflue urbane per il riuso a scopo irriguo: un caso studio Siciliano, *Ingegneria Ambientale*, Milano, IT, v. XXXIX, n° 1 p. 34-40; 2003.

BAYLEY, S.E. The effect of natural hydroperiodic fluctuations on freshwater receiving added nutrients. In: Godfrey, P.J. et al (eds.) *Ecological Considerations in Wetlands Treatment of Municipal Wastewaters*. New York: Van Nostrand Reinhold, 1985. p.180.

BRASIL, M. S., MATOS, A. T. Avaliação de aspectos hidráulicos e hidrológicos de sistemas de alagados construídos de fluxo subsuperficial, *Eng. Sanit. Ambiental*, pag 323-328 vol. 13 n° 3, 2008

BREEN, P.F. A mass balance method for assessing the potential of artificial wetlands for wastewater treatment. *Water Res.*, v.24, p.689, 1990.

BRIX, H. Wasterwater treatment in Constructed Wetlands: System Design, Removal Processes, and Treatment Performance. In: Moshiri, G.^a (ed.) *Constructed Wetlands for Water Quality Improvement*. Boca Raton: Lewis Publishers, 1993

BRIX, H., SCHIERUP, H.H. The use of aquatic macrophytes in water pollution control. *Ambio*, v.18, p.100, 1989.

COOPER, P.F., JOB, G.D., GREEN, M.B., SHUTES, R.B.E. Reed beds and constructed Wetlands for Wastewater Treatment WRc Publications, p.206,1996.

DINGES, R. Upgrading stabilization pond effluent by water hyacinth culture. J. Water Pollut. Control Fed., v.5, p.833, 1978.

EIGHMY, T.T., BISHOP, P.L. Distribution and rate of bacterial nitrifying populations in nitrogen removal in aquatic treatment systems. Water Res., v.23, p.947, 1989.

GERSBERG, R.M., ELKINS, B.V., GOLDMAN, C.R. Nitrogen removal in artificial wetlands. Water Res., v.17, p.1009, 1983.

GERSBERG, R.M., LYON, S.R., BRENNER, R., ELKINS, B.V. Fate of viruses in artificial wetlands. Appl. Environ. Microbiol., v.53, p.731, 1987.

GREEN, M.B. Experience with establishment and operation of reed bed treatment for small communities in the Uk. Wetlands Ecology and Management. V.4, p.147-158, 1997.

JEDICKE, A, FURCH, B., SAINT-PAUL, U., SCHLUTER, U.B. Increase in the oxygen concentration in Amazon waters resulting from the root exudation of two notorious water plants, Eichhornia crassipes (Pontederiaceae) and Pistia stratiotes (Araceae). Amazonia, v.11, p.53, 1989.

KELLY, J.R., HARWELL, M.A. Comparisons of the processing of elements by ecosystems. I. Nutrients in: Godfrey, P.J. et al (eds.) Ecological Considerations in Wetlands Treatment of Municipal Wastewaters. New York: Van Nostrand Reinhold, 1985. p.137.

LANCE, J.C., GERBA, C.P., MELNICK, J.L. Virus movement in soil columns flooded with secondary sewage effluent. Appl. Environ. Microbiol., v.32, p.520, 1976.

METCALF & EDDY, Inc., "Wastewater Engineering", Tata McGraw-Hill, New York, 4^a ed., 2003.

MOORHEAD, K.K., REDDY, K.R. Carbon and nitrogen transformations in wastewater during treatment with Hydrocotyle umbellata L. Aquat. Bot., v.37, p.153, 1990.

REDDY, K.R. D'ANGELO, E.M., DEBUSK, T.^a Oxygen transport through aquatic macrophytes: the role in wastewater treatment. J. Environ. Qual., v.19, p.261, 1989 (a).

REDDY, K.R., DEBUSK, W.F. Nutrient removal potential of selected aquatic macrophytes. NJ. Environ. Qual., v.14, p.459, 1985.

REDDY, K.R., PATRICK Jr., W.H., LINDAU, C.W. Nitrification-denitrification at the plant root-sediment interface in wetlands. Limnol. Oceanogr., v.34, p.1004, 1989. (b)

REED, S.C., MIDDLEBROOKS, E.J., CRITES, R.W. Natural Systems for Waste Management and Treatment. New York: McGraw-Hill, 1988.

ZIGLIO G., ANDREOTTOLA G., FOLADORI P., RAGAZZI M. Experimental validation of a single-OUR method for wastewater RBCOD characterisation. Water Science and Technology, 43 (11), 119-126. 2001.