

II-260 - OPERAÇÃO DE WETLANDS COSTRUÍDOS PARA TRATAMENTO DE LODO COM ALTA TAXA DE APLICAÇÃO E RECIRCULAÇÃO DO LÍQUIDO PERCOLADO

Silvana Cristina Käfer ⁽¹⁾

Bióloga e Engenheira Sanitarista e Ambiental pela Universidade do Oeste de Santa Catarina (UNOESC). Mestre em Engenharia Ambiental pelo Programa de Engenharia Ambiental da UFSC (PPGEA/UFSC).

Maria Elisa Magri ⁽²⁾

Engenheira Sanitarista e Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Mestre e Doutora em Engenharia Ambiental pelo Programa de Engenharia Ambiental da UFSC (PPGEA/UFSC). Pós-doutora pelo Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia e Biociências (PPGBiotec/UFSC). Professora do Depto de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFSC.

Joceli Gorrezen Zaguini Francisco

Formada em ciências contábeis pela Universidade do Vale do Itajaí (UNIVALE). Técnica Ambiental pelo Centro Educacional Professor Padre Quirino (POSITEC). Bolsista Apoio Técnico CNPq.

Camila Hamil

Engenheira Sanitarista e Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

Pablo Heleno Sezerino

Engenheiro Sanitarista e Ambiental pela UFSC. Mestre e Doutor em Engenharia Ambiental pelo Programa de Engenharia Ambiental da UFSC (PPGEA/UFSC). Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFSC.

Luiz Sérgio Philippi

Engenheiro Civil pela UFSC. Mestre em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Doutor em Saneamento Ambiental pela Université de Montpellier I (França). Pós-doutor pela Université de Montpellier II (França). Professor Voluntário do Depto de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFSC.

Endereço ^(1,2): Campus Universitário, Trindade - UFSC. Depto de Engenharia Sanitária e Ambiental - Florianópolis - SC – CEP: 88040-970. Brasil. E-mail: sckafer@gmail.com; mariaelisamagri@yahoo.com.br.

RESUMO

Com o objetivo de avaliar a eficiência dos *wetlands* construídos para o tratamento de lodo foi realizada a operação e monitoramento de um experimento com um *wetland* piloto plantado com *Typha domingensis* (WT). O tratamento foi baseado nos processos de desaguamento de lodo proveniente de um tanque séptico. O WT foi operado em duas fases distintas (Fase 1 e Fase 2) com aplicações de taxas de 150 e 300 Kg ST.m⁻².ano⁻¹, respectivamente. As aplicações eram intercaladas com a recirculação do líquido percolado na própria unidade. Foram avaliadas as características físico-químicas do lodo do tanque séptico (lodo de alimentação), do líquido percolado 1 (LP₁) de cada *wetland*, bem como do líquido percolado 2 (proveniente da recirculação do LP₁). Entre os resultados encontrados com a avaliação do LP₁ destaca-se a remoção de 99% da carga de DQO nas Fases 1 e 2 e, respectivamente, 94 e 99% de Sólidos Totais e 92 e 96% da carga de nitrogênio amoniacal total. Quanto à recirculação do LP₁ no próprio WT (como forma de pós-tratamento ao mesmo), obteve-se também um bom percentual de redução da carga poluidora, destacando-se 63 e 53% de remoção da carga de DQO nas Fases 1 e 2, respectivamente, e 59 e 72% de remoção da carga de nitrogênio amoniacal total. Também se destaca a remoção de 80% da carga de fósforo na Fase 2. Verificou-se que a maior redução das frações voláteis ocorreu durante o desaguamento do lodo (98% em média) nas duas fases. Pôde-se concluir que, a aplicação da maior taxa (300 Kg ST.m⁻².ano⁻¹) e a operação otimizada (recirculação do LP₁ promovendo seu tratamento no próprio *wetland*) associadas a condições de temperatura favoráveis, possibilitaram um processo efetivo com o desaguamento do lodo e tratamento do líquido percolado gerado.

PALAVRAS-CHAVE: Lodo anaeróbio, Tanque séptico, *Wetlands* construídos, Desaguamento, Recirculação, Macrófitas.

INTRODUÇÃO

A implantação de um sistema de tratamento de esgotos tem por objetivo reduzir a concentração dos principais poluentes presentes nas águas residuárias com o propósito de não alterar a qualidade do corpo d'água ao esgotá-las. A escolha do tratamento ideal depende das condições mínimas estabelecidas (sejam elas ambientais, econômicas ou sociais), que culminam na adoção de sistemas centralizados ou descentralizados.

O tanque séptico (TS) é o mais antigo e conhecido sistema descentralizado de tratamento primário de esgoto. Por sua simplicidade construtiva e operacional, é o sistema *on site* normatizado mais utilizado em áreas não servidas de rede de esgoto (IBGE, 2012). Salienta-se, porém, que proporcionar um acesso adequado a instalações sanitárias não termina quando as tecnologias *on site* são construídas. A promoção dessas tecnologias reduziu muito a defecação a céu aberto, mas sem soluções ou financiamento para manter a sua funcionalidade através da gestão do lodo gerado nesses sistemas, estes podem gerar impactos significativos na saúde humana e ambiental.

A gestão do lodo de esgoto não é um assunto relativamente novo, no entanto, está em pleno desenvolvimento e ganhando cada vez mais reconhecimento em âmbito global. Uma alternativa que vem se destacando para o tratamento de lodo de esgoto de sistemas descentralizados são os *wetlands* construídos. Estes são um tipo de filtro vertical que têm a função de reduzir o volume de lodo por desaguamento e também o teor de matéria orgânica por meio da mineralização (VINCENT *et al.*, 2012).

Wetlands construídos (WC) são uma tecnologia que tem sido usada em diversos países desde o final de 1980, no entanto, o número de unidades em operação ainda é muito baixo em comparação com tecnologias convencionais (UGGETTI *et al.*, 2010). No Brasil, além de sistemas piloto implantados para pesquisa, existem alguns sistemas operando em escala real implantados por empresas de iniciativa privada.

Não existe um critério padrão de projeto para construção e operação de *wetlands* construídos para o tratamento de lodo (WCL). O usual é adotar-se uma taxa de aplicação em termos de sólidos totais ($\text{Kg ST.m}^{-2}\text{.ano}^{-1}$). Comumente as taxas utilizadas variam de 50 a 250 $\text{Kg ST.m}^{-2}\text{.ano}^{-1}$ (UGGETTI *et al.*, 2010). No entanto, é necessário determinar se com uma operação utilizando alta taxa de aplicação ($300 \text{ Kg ST.m}^{-2}\text{.ano}^{-1}$) associada a condições ambientais favoráveis (como temperaturas médias $> 20^\circ\text{C}$), consegue-se um tratamento efetivo para o lodo em uma área e estrutura construída reduzida, o que reflete na diminuição dos custos, uma das principais condicionantes para tornar a tecnologia acessível a todos.

É necessário, também, compreender melhor os processos que poderiam aumentar a qualidade do líquido percolado gerado nesses sistemas de tratamento de lodo de esgoto - um aspecto que tem sido pouco estudado e pode levar à otimização desta tecnologia.

Neste contexto, esta pesquisa teve como objetivo comparar qualitativamente os efluentes produzidos a partir do desaguamento de lodo anaeróbio em um *wetland* construído plantado com *Typha domingensis*, operado com diferentes taxas de aplicação e com a recirculação do líquido percolado gerado.

MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada no sul do Brasil - em Santa Catarina na cidade de Florianópolis. A região tem condições de clima sub-tropical, com alta umidade relativa do ar e temperaturas médias de 15°C durante o inverno e 25°C durante o verão.

O *wetland* construído plantado com *Typha domingensis* avaliado neste trabalho (chamado aqui de WT) foi confeccionado em reservatório circular de fibra de vidro de 1000 L, com uma borda livre de 0,50 m projetada para permitir a acumulação de lodo, totalizando 1,10 m de altura e $1,6 \text{ m}^2$ de área superficial. O meio suporte tinha 0,60 m de altura e era composto por uma camada superficial de 0,10 m de areia grossa, 0,15 m de brita nº ¾ e 0,35 m de brita nº 2.

O WT possui uma coluna de ventilação (45 mm de diâmetro) acoplada verticalmente sobre a tubulação de drenagem de fundo, estendendo-se 1,0 m acima da superfície. Na Figura 1 é apresentado um esquema representativo do *wetland* estudado.

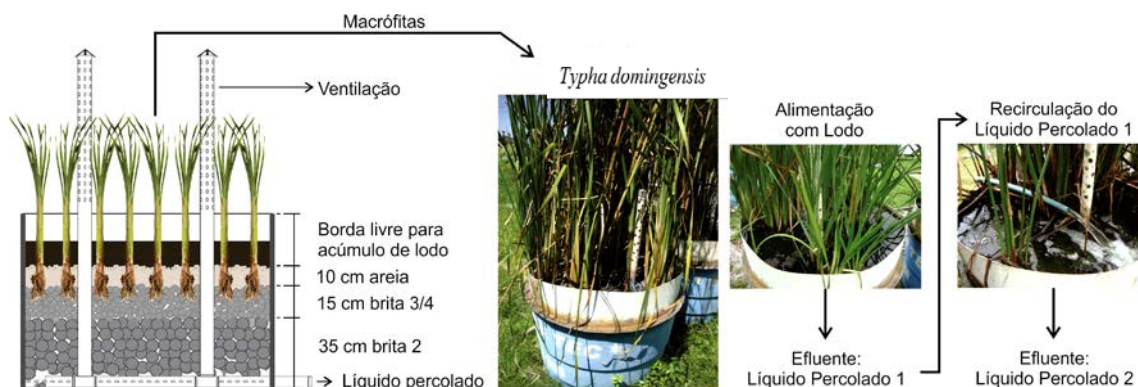


Figura1: Esquema do wetland construído utilizado neste estudo.

A aplicação de lodo no WT era realizada por bombeamento com acionamento manual. No WT foi instalado um sistema para saída do líquido percolado, por meio de tubulações conectadas em caixa de concreto impermeabilizada (com 0,35 m³ de capacidade) para coleta do efluente. Esta caixa permanecia coberta para evitar interferências de animais e da chuva.

O regime hidráulico de funcionamento do WT era por batelada. As rotinas semanais de aplicação de lodo no sistema ocorriam da seguinte forma: o lodo do tanque séptico era sucionado por uma bomba submersa localizada na região de sedimentação do tanque, a qual bombeava o lodo para um tanque de armazenamento (TA) de 5000 L fazendo a homogeneização do mesmo. O lodo era posteriormente bombeado do TA para o WT, onde era desaguado em um período de operação por batelada de seis dias. Após esses seis dias de detenção hidráulica no WT o efluente líquido resultante do desaguamento do lodo (líquido percolado 1 – LP₁) era coletado e recirculado por bombeamento para a superfície do filtro. Após mais seis dias de detenção hidráulica, o WT era aberto e coletava-se então o efluente da recirculação (líquido percolado 2 – LP₂). O LP₂ era o efluente final do processo de tratamento do lodo. Todo o período compreendido entre a aplicação de lodo, a coleta e recirculação do LP₁ e a coleta final do LP₂ foi chamado de ciclo de alimentação.

O experimento foi realizado em duas fases. Na primeira fase foi aplicado no WT, lodo em uma taxa de 150 Kg ST.m⁻².ano⁻¹ e, na segunda fase, foi aplicada no mesmo uma taxa de 300 Kg ST.m⁻².ano⁻¹. No total, foram quatorze ciclos de alimentação, totalizando sete ciclos com aplicação da menor taxa e sete com a maior taxa.

Para avaliar o desempenho do WT foram analisadas quinzenalmente características físico-químicas do lodo utilizado para alimentação do sistema e dos líquidos percolados (LP₁ e LP₂), ou seja, as entradas e saídas de cada batelada. Os seguintes parâmetros foram avaliados: potencial hidrogeniônico (pH), demanda química de oxigênio (DQO), nitrogênio amoniacal total (N-NH₄⁺), nitrogênio nitrato (N-NO₃⁻), fósforo ortofostato (P-PO₄³⁻), sólidos totais (ST), fixos (STF) e voláteis (STV) e sólidos em suspensão (SS). As análises foram realizadas segundo recomendações da APHA (2005), com exceção do nitrogênio amoniacal que foi realizado conforme Vogel (1981).

Os resultados do monitoramento analítico estão apresentados como as médias das bateladas em termos de carga aplicada e carga remanescente nos efluentes por aplicação, expressas em “g.m⁻²”. As cargas foram obtidas pela multiplicação das concentrações pelos volumes do lodo aplicado e dos efluentes produzidos em relação à área do WT.

RESULTADOS

Nas Tabelas 1 e 2 são apresentados os resultados referentes às análises qualitativas do lodo bruto aplicado e dos efluentes (LP₁ e LP₂) gerados no desaguamento em ambas as fases de alimentação. Na Tabela 1 estão os resultados da Fase 1 (taxa de 150 Kg ST.m⁻².ano⁻¹), e na Tabela 2 os resultados da Fase 2 (taxa de 300 Kg ST.m⁻².ano⁻¹).

Comparando-se os efluentes gerados pode-se fazer uma avaliação de ambas as fases de operação no que se refere à eficiência do WT frente às diferentes taxas de aplicação.

Tabela 1: Cargas médias, desvios padrão (DP), e eficiências médias de remoção das cargas aplicadas no desaguamento (E.D.) e na recirculação (E.R.) - Fase 1.

Parâmetro*	Lodo		LP ₁		LP ₂		E.D.	E.R.
	Média	DP	Média	DP	Média	DP	(%)	(%)
pH	7,1	0,3	5,8	0,1	5,6	0,3	n.a.	n.a.
DQO	5326	3188	38	12	16	6,9	99	63
ST	2936	1959	97	12	41	21	94	58
STV	1507	961	37	13	19	8,7	96	54
STF	1429	1002	59	8,8	22	11	92	87
SS	n.r.	n.a.	11	6,6	3,0	1,8	n.a.	67
N-NH ₄ ⁺	25	9,2	1,9	1,0	0,9	0,5	92	59
N-NO ₃ ⁻	n.r.	n.a.	4,7	3,5	2,0	0,8	0	41
P-PO ₄ ³⁻	21	1,9	0,0	0,0	0,2	0,5	99,9	0

*Com exceção do pH, os demais parâmetros são expressos em g.m⁻². aplicação⁻¹; n.a. não aplicável; n.r. não realizado.

Tabela 2: Cargas médias, desvios padrão (DP), e eficiências médias de remoção das cargas aplicadas no desaguamento (E.D.) e na recirculação (E.R.) - Fase 2.

Parâmetro*	Lodo		LP ₁		LP ₂		E.D.	E.R.
	Média	DP	Média	DP	Média	DP	(%)	(%)
pH	7,1	0,2	6,1	0,3	6,0	0,4	n.a.	n.a.
DQO	12731	8209	31	57	5,8	8,1	99	53
ST	11574	5378	61	33	26	15	99	44
STV	6719	3238	46	27	19	11	99	41
STF	5347	2671	15	7,6	6,3	4,7	99	50
SS	n.r.	n.a.	1,7	2,0	0,4	0,2	n.a.	58
N-NH ₄ ⁺	8,5	4,3	0,2	0,2	0,1	0,03	96	72
N-NO ₃ ⁻	n.r.	n.a.	1,2	0,8	0,5	0,6	n.a.	31
P-PO ₄ ³⁻	20,5	1,9	0,2	0,1	0,05	0,04	99	80

*Com exceção do pH, os demais parâmetros são expressos em g.m⁻². aplicação⁻¹; n.a. não aplicável; n.r. não realizado.

Em relação ao pH, houve uma ligeira acidificação em LP₁, provavelmente decorrente da liberação de hidrogênio (H⁺) durante o processo de nitrificação. A recirculação não influenciou no pH nas duas fases.

A matéria carbonácea, representada pela carga de DQO, teve uma redução de 99% em ambas as fases durante o desaguamento do lodo. Conforme é possível visualizar nos gráficos apresentados na Figura 2, a carga desse poluente no lodo afluente nas Fases 1 e 2 era de 5326 e 12731 g.m⁻². aplicação⁻¹ e, após o desaguamento em WT, este valor passou a 38 e 31 g.m⁻². aplicação⁻¹ em LP₁. A recirculação contribuiu na redução de 63 e 53% para a primeira e segunda fase, gerando um valor médio de efluente final com 16,5 e 8,1 g.m⁻² de DQO, equivalentes a 258,5 e 94 mg.L⁻¹.

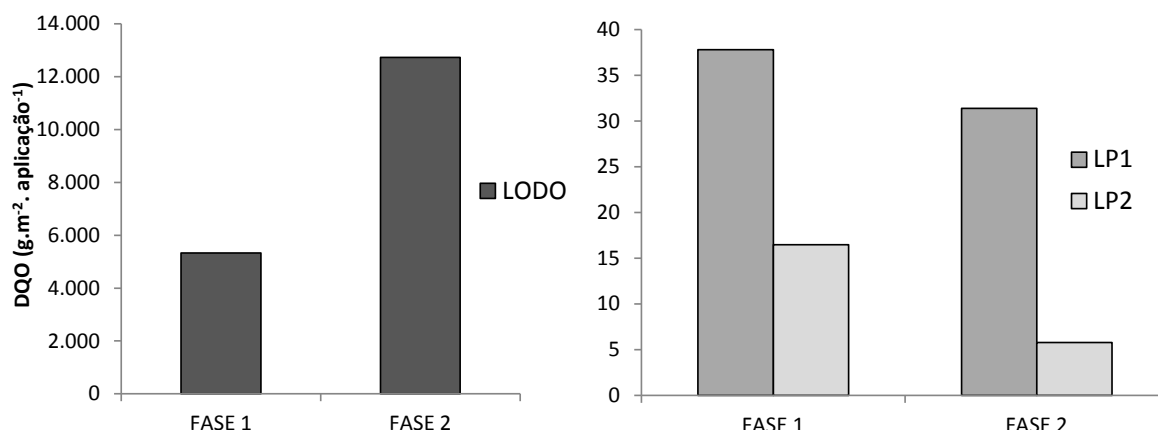


Figura 2: Cargas médias de DQO encontradas no lodo afluente, no LP₁ e LP₂ durante as Fases 1 e 2.

Estes resultados fornecem um indicativo do bom desempenho do sistema na remoção de matéria orgânica nas duas fases. Diversos estudos demonstram valores relativamente baixos de DQO no líquido percolado, da ordem de 100 mg.L⁻¹. Uggetti *et al.* (2009) encontraram valores médios de 60-95 mg.L⁻¹. Magri *et al.* (2011), nos WCL alimentados com a taxa de 200 Kg ST.m⁻².ano⁻¹ verificaram respectivamente, 154, 263 e 163 mg.L⁻¹ de DQO nos LP1 de WCL plantados com *Zizaniopsis*, *Papyrus* e *Typha*. Entretanto, valores mais elevados (entre 500 e 6000 mg.L⁻¹) também são relatados na literatura (KENGNE *et al.*, 2008; VINCENT *et al.*, 2011; TROESCH *et al.*, 2009). Provavelmente estas variações ocorrem devido à carga orgânica aplicada, aspectos construtivos, operacionais e condições climáticas.

Com relação à redução da matéria nitrogenada, verifica-se uma redução média de amônia de 92 e 96% durante o desaguamento do lodo e 59 e 72% durante a recirculação gerando um valor médio de efluente final com 0,9 e 0,1 g.m⁻² de N-NH₄⁺ equivalentes a 8,3 e 1,9 mg.L⁻¹ para a operação com menor e maior taxa, respectivamente. Conforme pode ser visualizado na Figura 3, a concentração de amônia em LP₁ foi bem maior do que a concentração de amônia em LP₂, o que sugere a ocorrência do processo de nitrificação tanto no desaguamento como na recirculação.

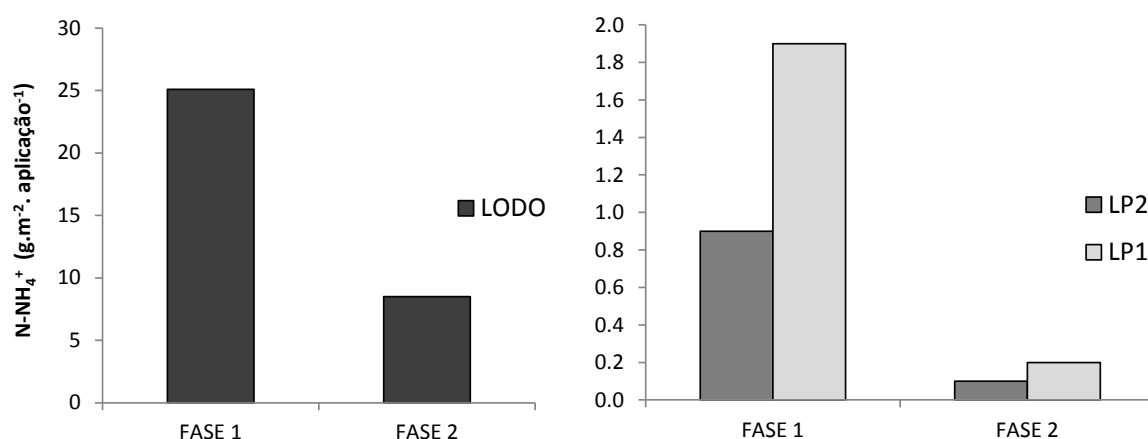


Figura 3: Cargas médias de N-NH₄⁺ encontradas no lodo afluente, no LP₁ e LP₂ durante as Fases 1 e 2.

Panuvatvanich, Koottatep e Koné (2009) constataram, a partir de um balanço de nitrogênio em WCL, que do nitrogênio total que entrou no sistema, 55% ficaram retidos no lodo acumulado, 8-13% saíram no percolado e as perdas por volatilização e assimilação pelas plantas foram insignificantes (0,01 e 0,2%, respectivamente). Os autores observaram, ainda, que 24-29% da amônia foram perdidos no sistema devido ao processo de nitrificação e desnitrificação.

Neste trabalho a recirculação, nas duas fases, também possibilitou a redução de 41 e 31% de nitrato, gerando

um valor médio de 2,0 e 0,5 g.m⁻² de N-NO₃⁻ correspondentes a 18 e 17 mg.L⁻¹ no efluente final respectivo às Fases 1 e 2. Koottatep *et al.* (2001) observaram que a concentração de nitrato no líquido percolado se mostrou dependente do TDH, sendo que o WCL que operou com TDH de 6 dias apresentou a menor concentração de nitrato (20 mg.L⁻¹), contra 53 e 120 mg.L⁻¹, para os TDH de 2 e 0 dias, respectivamente. Segundo os autores, esta diferença é devido à ocorrência da desnitrificação favorecida pelo tempo de detenção hidráulica mais elevado.

Em relação aos sólidos totais verifica-se que houve uma eficiência considerável no desaguamento, tendo alcançado, respectivamente 94 e 99% de remoção. Este poluente foi reduzido então de 2936,5 e 11574 g.m⁻². aplicação⁻¹ do lodo afluente para 96,6 e 61 g.m⁻². aplicação⁻¹ em LP₁. Já a recirculação proporcionou uma redução de 58 e 44%, o que gerou um efluente final com 40,7 e 26 g.m⁻² de ST.

Cofie *et al.* (2006) argumentam que as excelentes remoções de sólidos no lodo tratado em WCL revelam a capacidade do meio filtrante em separar os sólidos presentes no lodo do líquido. Nesse estudo foi possível constatar que a areia e o próprio lodo acumulado desempenharam um importante papel na retenção dos sólidos presentes no lodo, por meio do processo de filtração.

Em suma e com base nos dados de eficiência de remoção dos parâmetros analisados neste trabalho, observa-se que a operação do WT com a maior taxa de aplicação não interferiu expressivamente na eficiência do mesmo no que se refere à qualidade do LP₁, sendo que o desaguamento permitiu a redução de todos os parâmetros, exceto nitrato, que teve a concentração elevada em função da nitrificação. A recirculação colaborou para uma significativa redução em todos os parâmetros analisados nas duas fases, destacando-se, na primeira fase a redução de DQO em 63% e, na segunda fase, destacando-se a redução de 80% de P-PO₄³⁻, 72% de N-NH₄⁺.

CONCLUSÕES

Considerando os objetivos inicialmente propostos para esta pesquisa, com vistas a avaliar o desempenho de um *wetland* construído no desaguamento de lodo anaeróbico, pôde-se concluir que, a aplicação da maior taxa (300 Kg ST.m⁻².ano⁻¹) e a operação otimizada (recirculação do LP₁ promovendo seu tratamento no próprio *wetland*) associadas a condições de temperatura favoráveis (com condições subtropicais que atingem temperaturas de até 33 °C), possibilitaram um processo efetivo de desaguamento do lodo e tratamento do líquido percolado gerado. Estas condições operacionais permitem a construção de sistemas com menores áreas superficiais, o que reflete na diminuição dos custos, uma das principais condicionantes para aplicação de tecnologias de gestão do lodo, especialmente em países em via de desenvolvimento.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoas de Nível Superior (CAPES), pelas bolsas de estudos concedidas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 20th ed. Washington: APHA-AWWA-WEF, 1195 p., 2005.
2. COFIE, O. O. *et al.* Solid-liquid separation of faecal sludge using drying beds in Ghana: Implications for nutrient recycling in urban agriculture. **Water Research**, Ghana, v. 40, p. 75-82, 2006.
3. IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios – PNAD**, Rio de Janeiro, v. 32, p. 1-134, 2012.
4. KENGNE, I. M. *et al.* Effects of faecal sludge application on growth characteristics and chemical composition of *Echinochloa pyramidalis*. Hitch and Chase and *Cyperus papyrus* L. **Ecological Engineering**, Camarões, v. 34, p. 233-242, 2008.
5. KOOTTATEP, T., POLPRASERT C., OANH N. T. K., HEINSS U., MONTANGERO A., STRAUSS M. Potentials of Vertical- Flow Constructed Wetlands for Septage Treatment in Tropical Regions. In: MATSUO, T. *et al.* **Advances in Water and Wastewater Treatment Technology**. Molecular

- Technology, Nutrient Removal, Sludge Reduction and Environmental Health. ed. Elsevier ISBN: 0-444-50563-6, Thailand. p. 315-323, 2001.
6. MAGRI, M. E. *et al.* Desempenho de diferentes espécies de macrófitas no desaguamento de lodo anaeróbico em filtros plantados de fluxo vertical. **26º Congresso de Engenharia Sanitária e Ambiental**. Porto Alegre/RS. 9 p., 2011.
 7. PANUVATVANICH, A.; KOOTTATEP, T.; KONE, D. Influence of sand layer depth and percolate impounding regime on nitrogen transformation in vertical-flow constructed wetlands treating faecal sludge. **Water Research**, v. 43, p. 2623-2630, 2009.
 8. SUNTTI, C., MAGRI, M.E., PHILIPPI, L.S. Filtros plantados com macrófitas de fluxo vertical aplicados na mineralização e desaguamento de lodo de tanque séptico. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. Brasil. v.16, p. 63-72, 2011.
 9. TROESCH, S. *et al.* Sludge drying reed beds: a full and pilot-scales study for activated sludge treatment. **Water Science and Technology**, v. 60, p. 643-653, 2009.
 10. UGGETTI, E. *et al.* Sludge dewatering and stabilization in drying reed beds: characterization of three full-scale systems in Catalonia, Spain. **Bioresource Technology**, Espanha, v. 100, p. 3882-3890, 2009.
 11. UGGETTI, E.; FERRER I., LLORENS E., GARCIA J. Sludge treatment wetlands: A review on the state of the art. **Bioresource Technology**. Spain. v. 101, p. 2905-2912, 2010.
 12. VINCENT, J. *et al.* Sludge drying reed beds for septage treatment: Towards design and operation recommendation. **Bioresource Technology**, França, v. 102, p. 8327-8330, 2011.
 13. VINCENT, J., FORQUET N., MOLLE P., WISNIEWSKI C. Mechanical and hydraulic properties of sludge deposit on sludge drying reed beds (SDRBs): Influence of sludge characteristics and loading rates. **Bioresource Technology**. France. v.116, p. 161-169, 2012.
 14. VOGEL, A.I. **Química analítica qualitativa**. 5 ed, São Paulo: Mestre Jou, , 665 p., 1981.