



REDUÇÃO DE LODO DIGERIDO GERADO EM LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO COM UTILIZAÇÃO DE LEITO DE DRENAGEM

Antonio Osmar Fontana⁽¹⁾

Cia Saneamento Básico do Estado de São Paulo – SABESP – Engenheiro Civil Especialista; Mestre em Engenharia Urbana na área de Gerenciamento de Sistemas de Saneamento pela Universidade Federal de São Carlos – UFSCar.

Antonio Carlos de Oliveira

Cia Saneamento Básico do Estado de São Paulo – SABESP – Engenheiro Eletricista e Gerente de Divisão – Fernandópolis.

Oscar Agide Arvati Neto

Cia Saneamento Básico do Estado de São Paulo – SABESP – Engenheiro Mecânico e Gerente de Setor – Fernandópolis.

Edmilson Claret A. Granello

Cia Saneamento Básico do Estado de São Paulo – SABESP – Técnico Químico e Encarregado do Laboratório de Análises de Água e Esgoto – Fernandópolis.

Prof. Dr. João Sergio Cordeiro

Universidade Federal de São Carlos – UFSCar. Departamento de Engenharia Civil - Doutor em Engenharia Hidráulica e Sanitária – EESC/USP (1993); Professor de Pós Graduação em Engenharia Urbana da UFSCar; Professor convidado do Programa de Pós Graduação em Hidráulica e Saneamento da EESC/USP; Coordenador do Comitê de Ensino, Pesquisa e Desenvolvimento da ABES-DN; Presidente da Associação Brasileira de Ensino de Engenharia – ABENGE.

Endereço⁽¹⁾: Av. Anísio Haddad, 7700 – Cond. Village Sta. Helena – CEP 15093-000 São José do Rio Preto, Estado de São Paulo, Brasil – fone/fax 55 (0xx17) 3226.2199, cel 55 (0xx17) 9774.1999 – E-mail: ofontana@terra.com.br

RESUMO

Este trabalho foi desenvolvido na ETE São João das Duas Pontes, SP pela necessidade de remoção do lodo acumulado ao longo de 17 anos de operação. Adotou-se um plano de remoção regular com lançamento em Leito de Drenagem para redução do volume e estudo do ciclo operacional para manejo dos sólidos. A avaliação da condição de manejo dos sólidos se deu em dois ciclos com tempo de 30 dias. A redução de volume foi de cerca de 94% com taxa de aplicação superficial de 14 a 17kgss/m². O lodo no bombeamento apresentou taxa de sólidos de 2,0% a 2,5%. A dosagem de polímero para melhor desaguamento foi de 28kg/tss. O Leito de Drenagem mostrou-se eficiente na redução do volume de lodo e de fácil operação sendo indicado para realização de planos de remoção regular de lodo dos sistemas de tratamento com lagoas de estabilização.

PALAVRAS CHAVE: leito de drenagem, secagem, ETE, lodo, gestão.

INTRODUÇÃO

Nos sistemas de tratamento de esgotos por lagoas de estabilização, o lodo tem origem na decomposição do material orgânico presente no esgoto e na reprodução de bactérias responsáveis pela digestão. O manejo desses lodos tem se demonstrado de grande importância, em função dos problemas que podem apresentar para a disposição ou utilização dos mesmos. Os teores de sólidos nos lodos podem variar em função do projeto das lagoas, de questões operacionais e de manutenção. Esse tem sido um dos maiores problemas enfrentados pelos gestores de ETEs que não podem, por força de lei, dispor ou utilizar esse material, sem critérios. No estado de São Paulo, existe um grande número de sistemas de lagoas de estabilização em funcionamento que estão em período final de projeto e que já mostram necessidade de remoção do lodo gerado. Segundo Cavinatto & Paganini (2007), a retenção do lodo por grandes períodos nas lagoas acumulam e potencializam os problemas com a remoção e destinação sob os aspectos ambientais e sanitários.



Conforme a NBR 10.004/2004 esses lodos são definidos como resíduos sólidos e dessa forma, devem ser analisados sob aspectos ambientais mais rígidos para que os responsáveis pelos sistemas não sejam enquadrados na Lei 9.605/98 (Crimes Ambientais).

A redução do volume do lodo se torna fundamental nesse processo e pode ser realizada por meios mecânicos, como centrífugas, prensas, secadores térmicos, etc, que normalmente apresentam grandes custos de implantação e operação complexa ou por meios naturais como leitos de secagem ou lagoas de lodo. O Leito de Drenagem (Cordeiro, 1999 e Fontana, 2004), em comparação aos demais sistemas naturais, privilegia o processo de drenagem das águas livres presentes no lodo, levando os sólidos desaguados a um maior tempo de exposição às condições naturais de insolação, reduzindo o ciclo de utilização do leito. O uso desse sistema apresenta melhor viabilidade técnico-econômica, especialmente com a mudança da forma de gestão operacional da fase sólida das Lagoas de Estabilização com remoção regular do lodo. Assim, o presente estudo tem por objetivo avaliar o desempenho de Leito de Drenagem, na redução do volume do lodo gerado na ETE (Estação de Tratamento de Esgotos por Lagoa de Estabilização) de São João das Duas Pontes / SP, operada pela SABESP.

MATERIAIS E MÉTODOS

• Caracterização do sistema

A comunidade de São João das Duas Pontes/SP se encontra na Bacia Hidrográfica São José do Dourados – UGRHI.18 com população urbana estimada em 2.137 habitantes (SEADE, 2006). Os esgotos coletados (100%) são destinados para um sistema de tratamento através de 01 Lagoa de Estabilização Facultativa implantada em 1989 com dimensões de lâmina líquida de 52,7 x 44,4m e 1,5m de profundidade. A população de início de plano foi de 1.578 habitantes. Os efluentes tratados são encaminhados para o Córrego da Lingüiça e o lodo resultante do processo foi acumulado ao longo do tempo no interior da lagoa.

• Quantificação do lodo acumulado

O lodo acumulado foi quantificado com o uso de equipamento de disco e plotagem da camada para cálculo do volume. Com o volume calculado pela batimetria foi possível avaliar a contribuição ‘per capita’ ao longo dos anos de funcionamento do sistema adotando-se a média aritmética da população contribuinte e comparado com dados da literatura.

• Método de remoção do lodo

Foi elaborado um plano de limpeza adotando-se o método de remoção regular do lodo por meio de dragagem com encaminhamento para os módulos de Leito de Drenagem. O plano teve como base as características dimensionais da área remanescente e o volume de lodo retido na lagoa. O equipamento utilizado se constitui de uma balsa (Foto 1), com comando remoto, equipada com bomba de eixo prolongado com vazão nominal de 100m³/h e motor de 20 cv, trifásico. Os comandos de movimento horizontal da draga e de nível de bombeamento do lodo são acionados por motores hidráulicos com bomba central movida por motor de 10 cv, trifásico. O fornecimento de energia para os motores se deu por um grupo gerador de 75 kVA com motor a diesel. A aplicação de polímero foi através de bomba com eixo helicoidal com capacidade nominal de 1000L/hora com comando equipado com freqüencímetro para variação da dosagem.



Foto 1. Equipamento de remoção do lodo (draga)

• Dimensionais e características do Leito de Drenagem



Foram implantados dois módulos de Leito de Drenagem em alvenaria, com dimensões úteis de 17,30 x 15,15 x 0,50m cada e volume útil total de 262,00m³ (Foto 2). O módulo I tem como material drenante a manta geotecida de polipropileno com densidade de 160g/m² e o Módulo II a manta não tecida de poliéster com densidade de 400g/m² sobre camadas de brita nº 1 de 10 cm de altura. O drenado é coletado por canaletas internas e encaminhado para um poço de sucção de 2,0m de diâmetro e 1,5m de profundidade e bombeado para a entrada da lagoa por bomba submersível com vazão de 20m³/hora. O Leito de Drenagem foi implantado em cota inferior em relação à cota da lagoa.



Foto 2. Módulos de Leito de Drenagem em carga – ETE São João das Duas Pontes

- **Avaliação do tempo de ciclo de utilização do leito**

O trabalho compreendeu o período de 18/10 a 22/11/2006 (1º ciclo) e 01/02 a 08/03/2007 (2º ciclo) nos quais foram coletados, diariamente, os dados de temperatura ambiente, do lodo e os dados pluviométricos. A redução de volume do leito foi calculada pela relação entre os Sólidos Totais (ST) no lançamento em relação aos ST na condição de retirada e os volumes lançados. Para cálculo do peso de sólido seco foram retiradas amostras em 1m² de cada módulo e pesada em balança de precisão. As mesmas amostras foram encaminhadas para laboratório para análise de teor de Sólidos Totais (ST). Com os resultados das análises foram calculadas as taxas de aplicação superficial no Leito de Drenagem.

Ao longo dos períodos foram coletadas amostras nos módulos do leito para análises, conforme Standard Methods (1998), de Sólidos Totais (ST), Sólidos Totais Fixos (STF) e Sólidos Totais Voláteis (STV). Foram, ainda, coletadas amostras iniciais do lodo e do drenado para análises dos parâmetros: pH, Turbidez, ST, STF, STV; DBO, Coliformes Termotolerantes.

- **Remoção dos sólidos e destinação**

A remoção dos sólidos ao final de cada ciclo foi realizada manualmente com utilização de ferramentas plásticas e carrinhos de pneus e colocados em baias para posterior destinação. Com vistas à destinação benéfica do lodo residual foram coletadas amostras em 07/12/2006 e 12/03/2007 e enviadas para o laboratório de Depto. de Patologia Básica – Laboratório de Parasitologia Molecular da UFPR para determinação de indicadores microbiológicos e patogênicos obedecendo às recomendações de classificação da Resolução CONAMA 375/2006.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A quantificação do lodo acumulado na lagoa foi realizada em 25/05/2006 por meio de batimetria com aparelho de disco e plotagem da camada (Figura 1) para determinação do volume. A altura média da camada de lodo foi de 0,80m e área média da lagoa de 2.052m² totalizando um volume de 1.621m³. Conforme recomendação de Silva & Mara (1979), a limpeza é necessária quando a altura da camada de lodo supera a metade lamina líquida (1/2 H). Em estudos mais recentes já é recomendado que a camada de lodo não ultrapasse 1/3 da lâmina líquida.

A avaliação da contribuição 'per capita' ao longo dos anos de funcionamento (1989 a 2006) para uma população média de 1.858 habitantes em relação ao volume totalizado de 1.621m³ corresponde a 0,05m³/hab.ano. A contribuição 'per capita', segundo Mendonça (1990), varia de 0,03 a 0,04m³/hab.ano. Comparando a avaliação da ETE São João das Duas Pontes, SP com os valores da literatura, é observado um



valor 25% maior. Esse valor pode estar associado ao fato de que a ETE está recebendo os efluentes de águas de lavagem de filtros e de decantadores da Estação de Tratamento de Água da comunidade desde 2003.

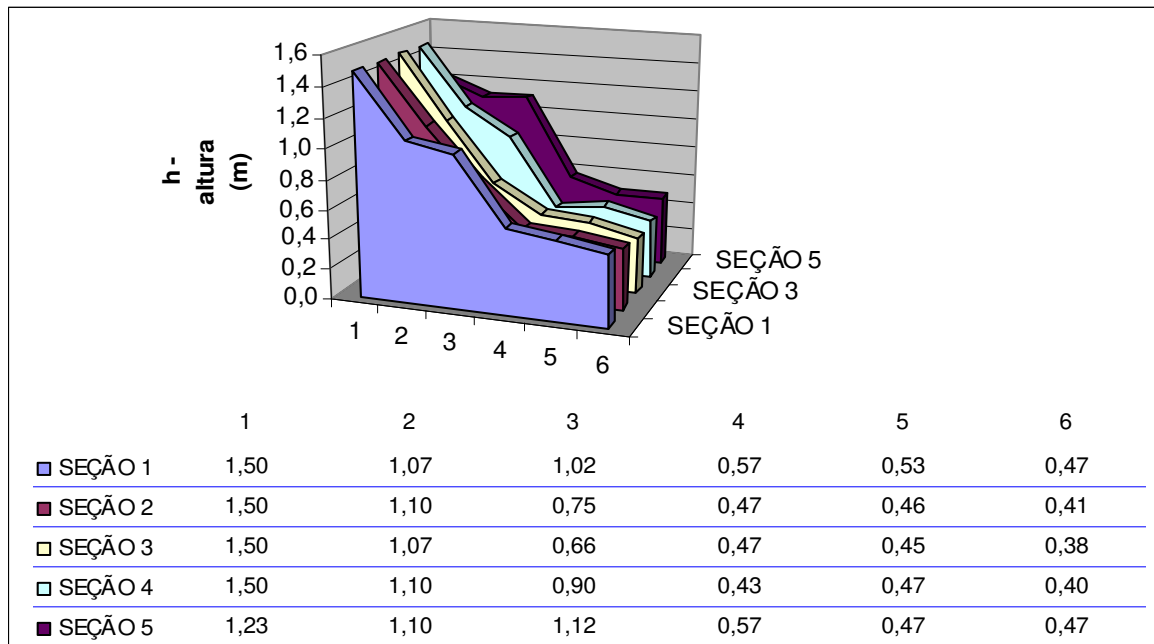


Figura 1. Camada de lodo – ETE São João das Duas Pontes, SP – 25/05/2006

A Tabela 1 apresenta os resultados dos cálculos do volume do lodo em função da contribuição ‘per capita’ e consequentes valores de sólidos totais secos, número de ciclos e dimensionais do Leito de Drenagem.

Tabela 1. Dimensionamento do Leito de Drenagem em função do volume de lodo e do nº de ciclos

| | Ano base | POPULAÇÃO | | Vol. Lodo (hab/ano) | % SÓLIDOS | | Tx aplic (kgss/m ²) | Relação L/C | |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-----------------------------|--------------|--------------|---------------------------------|--------------|--------------|
| | | | | | LFAC | | | L (m) | C (m) |
| | 2006 | | | 0,05 | 5 % | | 0,02 | 1,3 | |
| Data Impl. | T (anos) | 1989 | SEADE 2006 | Vol. Lodo (m ³) | STseco (ton) | Nº de ciclos | Área (m ²): Pseco | L (m) | C (m) |
| 1989 | 17 | 1578 | 2137 | 1621 | 81,1 | 7 | 579 | 17,51 | 31,28 |

Considerando o método de remoção regular do lodo em ciclos, a área requerida para o Leito de Drenagem é de 579m² para 7 (sete) ciclos. A área efetiva construída foi de 524m².

Segundo Franci (2000) os lodos extraídos de lagoas primárias com tempo de retenção superiores a cinco anos apresentam importante adensamento e digestão anaeróbia extensiva com elevados teores de sólidos totais ST > 5% e baixos teores de sólidos voláteis SV < 50% ST. Para o caso foi adotado 5% de ST no lodo retido o que corresponde à cerca de 81,1 toneladas de sólidos secos.

Para melhoria do desaguamento do lodo foi aplicado polímero catiônico com especificação técnica *Copolímero aquoso de acrilamida e derivado de ácido acrílico em emulsão de hidrocarbonetos alifáticos* fornecido em embalagens de 50kg com concentração de 450g/L. A mistura para aplicação foi de 50kg de polímero diluídos em 950L de água resultando em uma concentração de 22,5kg/m³. A aplicação da solução de polímero se deu por bomba helicoidal com vazão variando de 176L/h para 10MHz a 1.126L/h para 60MHz. A melhor dosagem encontrada em função das condições de drenagem observadas correspondeu a 28kg de polímero por tonelada de sólidos secos com a bomba dosadora a 50MHz e vazão de 900L/h. A mistura rápida se deu em chicana metálica, desenvolvida para o caso, e se mostrou bastante eficiente.



As Figuras 2 e 3 apresentam os resultados de redução da altura do lodo lançado nos módulos, ao longo do tempo, e a curva de pluviometria para os períodos de 18/10/2006 a 22/11/2006 e 01/02/2007 a 08/03/2007, respectivamente.

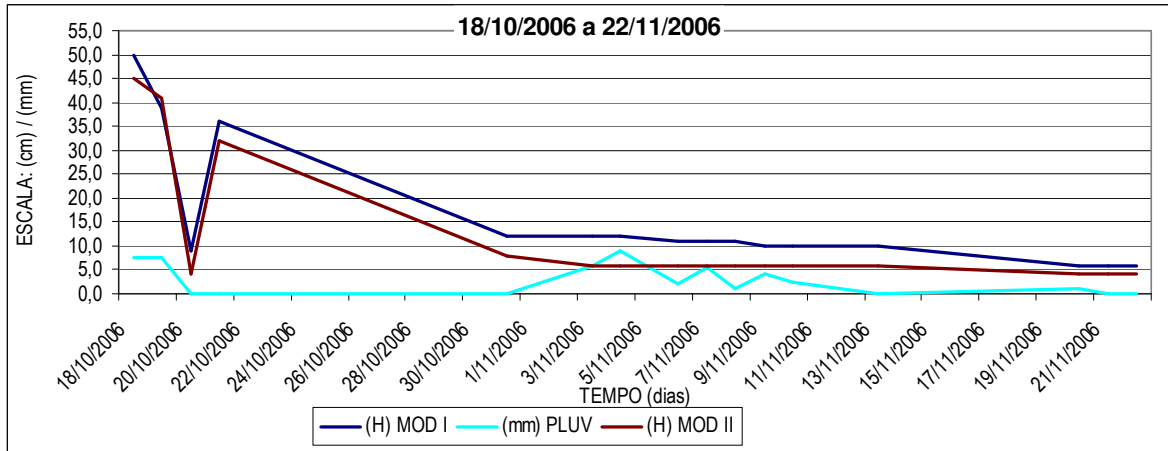


Figura 2. Redução de volume de lodo – ETE São João das Duas Pontes, SP – 18/10/2006 a 22/11/2006

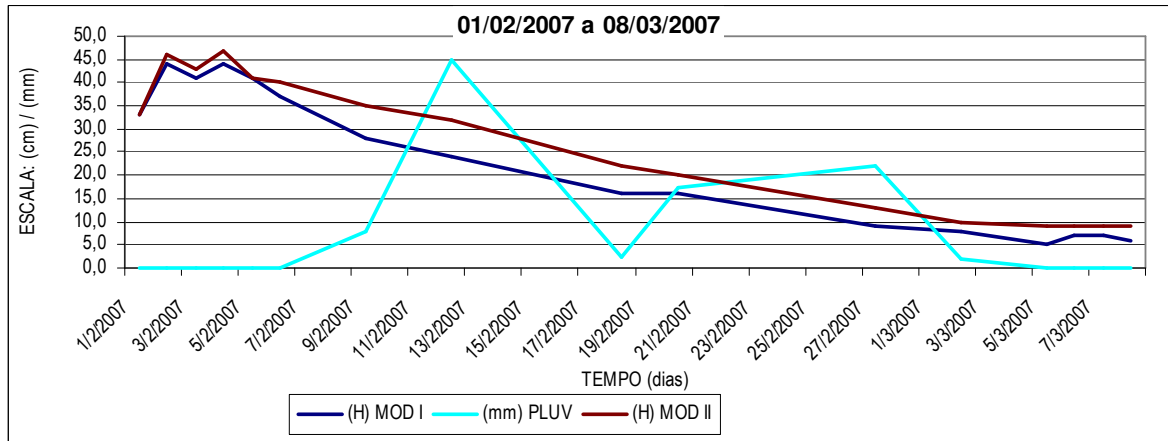


Figura 3. Redução de volume de lodo – ETE São João das Duas Pontes, SP – 01/02/2007 a 08/03/2007

Os resultados das análises de pH, série de sólidos e Coliformes inicial e da série de sólidos ao longo dos períodos estão apresentados nas Tabelas 2 e 3.

Tabela 2. Valores dos parâmetros pH e série de sólidos de amostras de lodo no período de 18/10/2006 a 18/12/2006.

| Parâmetros | Módulo I | | | | Módulo II | | | |
|------------------------|----------|-----|-----------|-------|-------------------|-----------|-------|-------|
| | data | | 18/10 (*) | 20/11 | 18/12 | 18/10 (*) | 20/11 | 18/12 |
| | Amostra | | 1 | 2 | 6 | 10 | 6 | 10 |
| pH | 6,7 | 6,8 | NR | | conforme módulo I | | | |
| ST (g/L) | 55 | 64 | 349 | 742 | | 386 | 607 | |
| STF (g/L) | 33 | 39 | 298 | 527 | | 322 | 436 | |
| STV (g/L) | 22 | 25 | 51 | 215 | | 64 | 171 | |
| Col. Fecal (NMP/100ml) | 1,98E+06 | | NR | | | NR | | |
| E Coli (NMP/100ml) | 1,04E+06 | | NR | | | NR | | |

(*) amostra inicial

NR - não realizada

Tabela 3. Valores dos parâmetros pH e série de sólidos de amostras de lodo no período de



01/02/2007 a 12/04/2007.

| Parâmetros | Módulo I | | | | Módulo II | | | |
|------------------------|----------|---------|-------|------|-------------------|------|------|------|
| | data | 1/2 (*) | | 12/3 | 12/4 | 1/2 | 12/3 | 12/4 |
| Amostra | 1 | 2 | 3 | 4 | conforme módulo I | 3 | 4 | |
| pH | 6,7 | 6,8 | NR | | | NR | | |
| ST (mg/L) | 79 | 45 | 522,6 | 956 | | 319 | 959 | |
| STF (mg/L) | 47 | 22 | 391 | 737 | | 221 | 773 | |
| STV (mg/L) | 32 | 23 | 131,6 | 219 | | 98,3 | 186 | |
| Col. Fecal (NMP/100ml) | NR | | NR | | | NR | | |
| E Coli (NMP/100ml) | NR | | NR | | | NR | | |

(*) amostra inicial

NR - não realizada

Na Tabela 4, estão apresentados os resultados das análises realizadas de pH, turbidez, série de sólidos, Coliformes e DBO de amostras do drenado, coletadas junto as canaletas de drenagem.

Tabela 4. Resultados das análises de amostra do drenado

| data | 18/10 | | data | 18/10 | |
|------------------------|-------|------|----------------------------|-------|-------|
| parâmetros | M.I | M.II | Parâmetros | M.I | M.II |
| pH | 7,1 | 7,1 | DBO _{5,20} (mg/L) | 66 | 99 |
| Turbidez (NTu) | 31 | 39 | SS (ml) | < 0,1 | < 0,1 |
| Col. Fecal (NMP/100ml) | ND | ND | ST (mg/L) | 5 | 5 |
| E Coli (NMP/100ml) | ND | ND | STF (mg/L) | 4 | 4 |
| | | | STV (mg/L) | 1 | 1 |

ND - não detectado

A condição de manejo para retirada dos sólidos se deu a partir da observação da altura constante dos sólidos no leito. Para o período de 18/10/2006 s 18/12/2006 os sólidos estavam em condição de serem retirados a partir de 22/11/2006 com teor de sólido de 349mg/L (M.I) e 386mg/L (M.II). No período de 01/02/2007 a 12/04/2007 os sólidos apresentaram condição de manejo a partir de 08/04/2007 apresentando um teor de sólido de 522,6 mg/L (M.I) e 319mg/L (M.II).

A redução de volume no período de 18/10/2006 a 22/11/2006 foi de 94,6% em relação ao volume lançado. Para o período de 02/02/2007 a 08/03/2007 a redução foi de 94,0%.

A caracterização do lodo para classificação quanto à presença de agentes patogênicos e indicadores bacteriológicos obedeceu à recomendação da Resolução CONAMA 375/2006 apresentando resultados conforme Tabelas 5 e 6.

Tabela 5. Caracterização quanto a agentes patogênicos e indicadores bacteriológicos – 07/12/2006

| Parâmetro ⁽¹⁾ | Un | Valor | CONAMA 375/2006 | |
|-----------------------------------|-------------------------|-----------------------------|--------------------------|-----------------------|
| | | Ovos viáveis | Classe A | Classe B |
| Helmintos ⁽²⁾ | ovo/gST | 0,05 | 0,25 | 10,0 |
| . <i>Ascaris sp.</i> | ovo/gST | 0,0 | | |
| . <i>Toxocara sp.</i> | ovo/gST | 0,0 | | |
| . <i>Trichuris trichiura</i> | ovo/gST | 0,0 | | |
| . <i>Trichuris vulpis</i> | ovo/gST | 0,0 | | |
| . <i>Hynenolepis diminuta</i> | ovo/gST | 0,05 | | |
| . <i>Taenia sp.</i> | ovo/gST | 0,0 | | |
| . <i>Trematoda</i> | ovo/gST | 0,0 | | |
| Protozoários | | 0,05 | - | - |
| Coliformes Termotolerantes | NMP/gST | 9,3 x 10² | 10³ | 10⁶ |
| <i>Salmonella sp.</i> | Ausente em 10gST | | Ausência em 10gST | - |

(1) Análises realizadas em triplicatas; (2) Helmintos: Percentual de viabilidade = 4,55%;

Tabela 6. Caracterização quanto a agentes patogênicos e indicadores bacteriológicos – 12/03/2007



| Parâmetro ⁽¹⁾ | Un | Valor | CONAMA 375/2006 | |
|-----------------------------------|-------------------------|-----------------------------|--------------------------|-----------------------|
| | | Ovos viáveis | Classe A | Classe B |
| Helminthos ⁽²⁾ | ovo/gST | 0,15 | 0,25 | 10,0 |
| . <i>Ascaris sp.</i> | ovo/gST | 0,04 | | |
| . <i>Toxocara sp.</i> | ovo/gST | 0,0 | | |
| . <i>Trichuris trichiura</i> | ovo/gST | 0,0 | | |
| . <i>Trichuris vulpis</i> | ovo/gST | 0,0 | | |
| . <i>Hymenolepis diminuta</i> | ovo/gST | 0,11 | | |
| . <i>Taenia sp.</i> | ovo/gST | 0,0 | | |
| . <i>Trematoda</i> | ovo/gST | 0,0 | | |
| Protozoários | | 0,07 | - | - |
| Coliformes Termotolerantes | NMP/gST | 6,5 x 10¹ | 10³ | 10⁶ |
| <i>Salmonella sp.</i> | Ausente em 10gST | | Ausência em 10gST | - |

⁽¹⁾ Análises realizadas em triplicatas; ⁽²⁾ Helminthos: Percentual de viabilidade = 4,07%;

CONCLUSÃO

O tempo de ciclo de utilização do Leito de Drenagem para os lodos estabilizados gerados em lagoas de estabilização independentemente do tipo de manta drenante é de cerca de 30 dias.

As mantas drenantes apresentam características semelhantes de drenagem da água livre, porém, para a condição de manejo dos sólidos residuais e manta geotecida de polipropileno se apresenta mais adequada por não apresentar impregnação de materiais graxos e oleosos presentes nos lodos.

A relação entre os Sólidos Voláteis (ST) e os Sólidos Totais (ST) foi reduzida de 42,8% para 23,4%, valores correspondentes às médias dos valores das análises do lodo bruto e em condição de manejo, respectivamente. Essa condição indica estabilização progressiva dos sólidos no Leito de Drenagem.

A caracterização do lodo para classificação quanto à presença de agentes patogênicos e indicadores bacteriológicos apresenta resultados que atendem, parcialmente, aos requisitos da Classe A, conforme Resolução CONAMA 375/2006. O parâmetro **Vírus** (adenovírus e gêneros enterovírus - poliovírus, echovírus e coxsackievírus) não foi analisado em tempo. Recomenda-se que além desse parâmetro, os demais parâmetros da Resolução sejam analisados para completa caracterização e avaliação das condições de disposição com uso benéfico na agricultura.

Assim, o Leito de Drenagem se apresenta como solução efetiva para gestão operacional da fase sólida de lagoas de estabilização com remoção regular de lodos permitindo redução de área de implantação de acordo com um plano de ciclos compatível com o acúmulo de lodo no reator.

Além disso, os custos de implantação e de operação podem ser muito reduzidos, quando o sistema possui área disponível. Nesse aspecto, os gestores podem ter uma opção natural e de operação reduzida para o manejo adequado dos rejeitos gerados em lagoas de estabilização.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA, AWWA & WPCF. (1998). *Standard Methods for examination of water and wastewater*. 19ª ed. New York, APHA.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2004). ABNT *NBR 10004 - Resíduos Sólidos*. São Paulo.
3. CAVINATTO, A. S; PAGANINI, W. S. (2007). Os microrganismos nas atividades de disposição de esgotos no solo – estudo de caso. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, vol 12, nº 1, ABES, RJ, p. 45-51.
4. CORDEIRO, J.S. (1999). Importância do tratamento e disposição adequada dos lodos de ETAs. In: REALI, M.A.P. et al. (1999). *Coord. Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água*. Rio de Janeiro: ABES. Projeto PROSAB.



5. FONTANA, A.O. (2004). Sistema de Leito de Drenagem e Sedimentador para redução de volume de lodo de decantadores e reuso da água de lavagem de filtros – Estudo de Caso – ETA Cardoso/SP. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – UFSCar, São Carlos.
6. MENDONÇA, S.R. (1990). Lagos de estabilização e aeradas mecanicamente: novos conceitos. João Pessoa, PB.
7. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (1998). *Lei da Vida - A lei dos Crimes Ambientais: lei 9605*, Brasília, DF.
8. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (2006). Resolução nº 375 do Conselho Nacional de Meio Ambiente. Brasília/DF.
9. SILVA, S.A; MARA, D.D. (1979). Tratamentos biológicos de águas residuárias: lagoas de estabilização. ABES, Rio de Janeiro, RJ.