

Remoção de lodo de Lagoa Facultativa - “Estudo de caso ETE-Gália”

J. T. L. França ^{*}, B. Corauci Filho ^{**}, R. Stefanutti ^{***}, C. K. V. Makyama ^{****}, R. F. Figueiredo ^{*****}

^{*} Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo, Avenida Padre Antonio Brunetti, 1234, CEP 18208-080, Itapetininga, SP, Brasil (e-mail: jleitefr@sabesp.com.br)

^{**} Departamento de Saneamento e Ambiente, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Avenida Albert Einstein, 951, Cidade Universitária “Zeferino Vaz”, Caixa Postal 6021, CEP 13083-852, Campinas, São Paulo, Brasil (e-mail: bruno@fec.unicamp.br)

^{***} Departamento de Saneamento e Ambiente, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Avenida Albert Einstein, 951, Cidade Universitária “Zeferino Vaz”, Caixa Postal 6021, CEP 13083-852, Campinas, São Paulo, Brasil (e-mail: ronaldos@fec.unicamp.br)

^{****} Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo, Avenida Padre Antonio Brunetti, 1234, CEP 18208-080, Itapetininga, SP, Brasil (e-mail: cmakyama@sabesp.com.br)

^{*****} Departamento de Saneamento e Ambiente, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Avenida Albert Einstein, 951, Cidade Universitária “Zeferino Vaz”, Caixa Postal 6021, CEP 13083-852, Campinas, São Paulo, Brasil (e-mail: nsfigueiredo@uol.com.br)

Resumo Nos municípios operados pela SABESP no Estado de São Paulo - Brasil, a maioria dos sistemas de tratamento de esgotos são Lagoas de Estabilização operam há anos sem remoção do lodo e areia, comprometendo sua eficiência. A remoção e disposição adequada do material tornam-se imprescindíveis, sendo um desafio premente a busca de boas alternativas que contemplem a legislação durante a operação, cuidados com o manuseio e custos envolvidos. O trabalho relata uma experiência na lagoa facultativa primária de Gália, onde realizou-se: batimetria, quantificação do lodo, porcentagem de sólidos, remoção por dragagem, adensamento com polímero e desidratação lenta em BAGs. O material removido foi enviado para um tanque de homogeneização, onde recebeu polímero, e posteriormente para os BAG's. Após o término de acondicionamento do lodo, iniciou-se o monitoramento para avaliar a redução da viabilidade dos ovos de helmintos, indicador para disposição em aterro sanitário ou agricultura, e constatou-se decaimento acentuado nos primeiros 6 meses de desaguamento, de 138.99 para 29.03 ovos/g de lodo. A concentração de sólidos do lodo no tanque de homogeneização variou de 0.51% a 2.65%, enquanto do lodo sedimentado na lagoa variou de 8% a 10%. O acúmulo médio per capita foi de 0.033 m³ lodo/hab.ano e o custo de limpeza, USD 13.08/hab.

Palavra chave acondicionamento; bag; desidratação; limpeza de lagoa; polímero

Introdução

Em virtude das características geográficas e físicas da Unidade de Negócio do Alto Paranapanema, a maioria dos sistemas de tratamento de esgotos implantados nos municípios são constituídos de Lagoas de Estabilização. Considerando-se os critérios de eficiência e o tempo de operação das estações, foi constatada uma grande demanda para remoção de lodo em unidades com idade de operação superior a 15 anos e, dentre elas, foi iniciada a operação de remoção do lodo e areia que ocorreu na Lagoa Facultativa Primária do município de Gália, em 2005.

O município de Gália possui uma área de 355.79 Km², 19.44 habitantes/Km² e uma população de 6916 habitantes (SEADE, 2008). Localiza-se a uma latitude de 22°17'29" Sul e a uma longitude 49°33'10" Oeste, com altitude de 561 metros.

A topografia é relativamente plana. O clima local, considerado subtropical, ameno, sujeito a ventos sul e sudeste, com geadas fracas. A temperatura média anual é de 21.5°C, sendo a média das temperaturas máximas 28°C e a média das temperaturas mínimas 15.1°C (Tabela 1). A taxa de mortalidade infantil=21.74 por mil nascidos vivos (SEADE, 2007); o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) = 0.745 (SEADE, 2000); a renda per capita USD 132.34 (SEADE, 2000).

O município foi emancipado em 20 de Dezembro de 1927, tendo como atividades principais a agropecuária e a indústria da seda.

Tabela 1. Temperaturas máximas, mínimas e média na região de Gália coletadas nos últimos sete anos

Período	Temperatura Máxima Absoluta (°C)	Temperatura Mínima Absoluta (°C)	Média das Temperaturas Máximas (°C)	Média das Temperaturas Mínimas (°C)	Temperatura Média (°C)
2002	31.8	12.8	29.8	14.6	22.2
2003	29.7	12.9	28.0	14.3	21.2
2004	29.3	13.3	27.5	14.8	21.1
2005	29.8	14.4	28.1	16.0	22.0
2006	30.1	13.8	28.5	15.2	21.8
2007	30.2	14.1	28.6	15.4	22.0
2008	28.9	13.3	27.4	14.6	21.0
Média	29.7	13.6	28.0	15.1	21.5

Fonte: CIIAGRO, 2008

Material e Métodos

A metodologia do experimento constituiu-se inicialmente na definição e priorização das ETE's a serem reabilitadas, adotando os seguintes critérios: tempo de operação e eficiência do tratamento. Elegeu-se a estação de tratamento de esgotos do município de Gália – SP como unidade piloto para operação de remoção de lodo devido aos critérios mencionados anteriormente aliado a demanda ambiental e jurídica existente com relação ao não atendimento aos parâmetros de coliformes no corpo receptor.

A ETE - Gália é constituída de uma lagoa facultativa primária construída em 23/09/1990, com início de operação regular em Janeiro de 1991, com características e parâmetros de projeto apresentados nas Tabelas 2 e 3.

Tabela 2. Características ETE Gália, com sistema de lagoa facultativa primária.

Dimensões superficiais do espelho d'água (m)	Área superficial (m ²)	Volume (m ³)
111 x 112 x 1.50	12432	17405

Tabela 3. Parâmetros utilizados para o projeto da ETE Gália

Ano	Número de economias (un)	Número de habitantes/domicílio	Carga orgânica per capita (kg DBO/hab.dia)	Taxa de aplicação superficial (kg DBO/ha.dia)
2006	1735	***3.49	0.054*	**200

*Valor estimado; ** Dado de projeto; ***SEADE

Foram realizadas coletas de amostras do efluente e do lodo da ETE - Gália e realizadas as determinações físico-químicas e parasitológicas segundo Eaton, et al., (2005).

Decidiu-se por realizar um levantamento da quantidade de lodo existente na lagoa por batimetria.

A quantidade de lodo foi calculada pela batimetria com seções de 10 em 10 metros no sentido longitudinal e transversal, utilizando-se o programa AUTO DESK CIVIL 3D.

Ao lado da lagoa, o solo foi nivelado com declividade de 1%, impermeabilizando-se com lona plástica para evitar infiltração no solo do líquido resultante do deságüe. Sobre a área

impermeabilizada foi colocada uma camada de 0.10m de brita 1 e instalou-se dois BAGs, dispositivo de armazenamento e deságüe de lodo, construído em PEAD poroso. Optou-se por dois BAGs para dar maior flexibilidade ao sistema, uma vez que enquanto um BAG estivesse em operação de desaguamento, o outro era mantido na operação de bombeamento e enchimento (Figura 1.).

Foram realizados ensaios em laboratório com o lodo da ETE para determinação do tipo de polímero e quantidades mais adequadas para o processo.

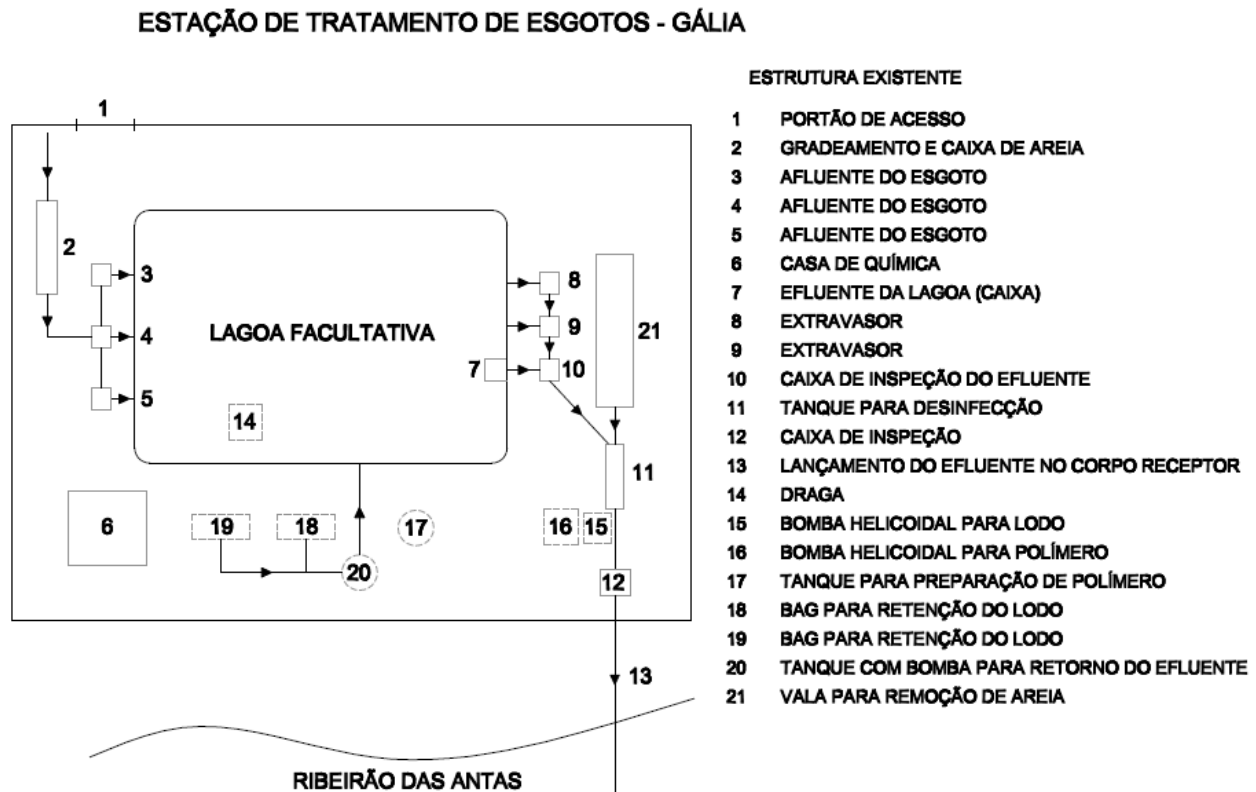


Figura 1. Layout das instalações da ETE-Gália, disposição dos BAGs e equipamentos para dragagem do lodo.

Remoção do lodo

A operação da remoção do lodo da lagoa foi estabelecida com os equipamentos de dragagem instalados conforme a Figura 1. Para a remoção do material depositado na lagoa de estabilização, optou-se pela dragagem por sucção por tratar-se de um equipamento flutuante equipado com bomba que não causa danos na camada impermeável do fundo e que possibilita a operação de limpeza com a unidade em operação.

O líquido drenado através dos poros do BAG retornava para a lagoa através de um sistema de coleta e canalização.

Todo o processo desenvolvido foi executado com a lagoa em operação, adequando a vazão de retirada de lodo com a vazão de entrada de esgoto no tratamento, ou seja, a vazão de retirada sempre menor que a vazão de tratamento.

Os perfis batimétricos foram utilizados para orientar os serviços de sucção do lodo pela draga, cujo material era encaminhado para um tanque de homogeneização através de uma tubulação previamente dimensionada para a vazão de trabalho do equipamento.

O sistema foi dimensionado prevendo-se um teor de sólidos do lodo dragado mínimo de 2% o que não se confirmou uma vez que os teores de sólidos durante a operação de limpeza variaram de 0.51 a 2.65%, antes da adição do polímero.

Visando otimizar o sistema de desidratação por BAGs, processo escolhido por segregar o lodo na própria área por até 7 anos, período de garantia dos mesmos, foi incluído ao processo uma vala com 40 metros de comprimento, 4 metros de largura e 1 metro de profundidade, para acondicionamento da areia, pois a mesma dificultava a operação com polímeros e mantinha acúmulo no ponto de alimentação dos BAG's dificultando a operação. Toda vez que se constatava quantidade elevada de areia, o material arenoso dragado era encaminhado para a vala para acondicionamento e a parte líquida drenada para a ETE.

Para subsidiar as operações de limpeza das estações remanescentes, foi realizado um acompanhamento das características biológicas e físicas do lodo da unidade de Gália, a primeira a receber serviços, com estudos de: remoção, disposição, adensamento e acondicionamento de lodo, teor de sólidos em função do tempo, comportamento do efluente da estação durante a limpeza, dosagem de polímero, sistema de homogeneização do lodo retirado antes do encaminhamento para o BAG-dispositivo de armazenamento e deságüe, o decaimento da viabilidade dos ovos de helmintos após a conclusão dos trabalhos de remoção de lodo. A metodologia para determinação seguiu as indicações de Eaton et al., (2005).

A técnica utilizada para avaliar a viabilidade de helmintos nas amostras coletadas foi de Yanko (1987). Após o processamento, o material permaneceu em solução ácida a 0,1 N por 28 dias. Em seguida a este período, foi examinado em microscópio binocular com o intuito de avaliar através do grau de modificação das características morfológicas internas dos ovos existentes, cujas análises foram realizadas pelo Laboratório de Parasitologia Molecular do Departamento de Patologia Básica – Universidade Federal do Paraná. Os principais helmintos avaliados foram *Ascaris sp*, *Toxocara sp*, *Trichuris trichiura*, *Trichuris vulpis*, *Trichuroidea*, *Hymenolepis diminuta* e *Taenia sp*.

Resultados e discussão

De acordo com os resultados das análises físico-químicas realizadas no afluente da ETE- Gália, foi estimada a carga orgânica de 327 kg de DBO/dia.

De acordo com as características da lagoa e com os parâmetros de projetos apresentados, constatou-se que a capacidade de remoção de 80% da matéria orgânica carbonácea é viabilizada para uma carga orgânica máxima afluente de 249 kg DBO/dia, ou seja, a estação estava operando acima da capacidade nominal, com sobrecarga de 31.3 %.

Diante da constatação da sobrecarga, decidiu-se por realizar a remoção do excesso de lodo da lagoa. O levantamento da quantidade de lodo na lagoa por batimetria, estimado pelo programa AUTO DESK CIVIL 3D indicou 2976 m³ e o volume estimado quando adotou-se na média 1.5 cm/ano foi de 2797 m³ (Figuras 2 e 3), resultando uma taxa de acúmulo média per capita de 0.033 m³ lodo/hab.ano

Foi adotada a técnica de acondicionamento e deságüe em BAG's em virtude da existência de área disponível na ETE e da possibilidade de se manter por um período de até 7 anos em situação de deságüe, coincidindo com o tempo de garantia dos fabricantes, em função do elevado custo para a disposição imediata após desaguamento por métodos mais rápidos, em aterros sanitários, principalmente devido a longa distancia para transporte do lodo.

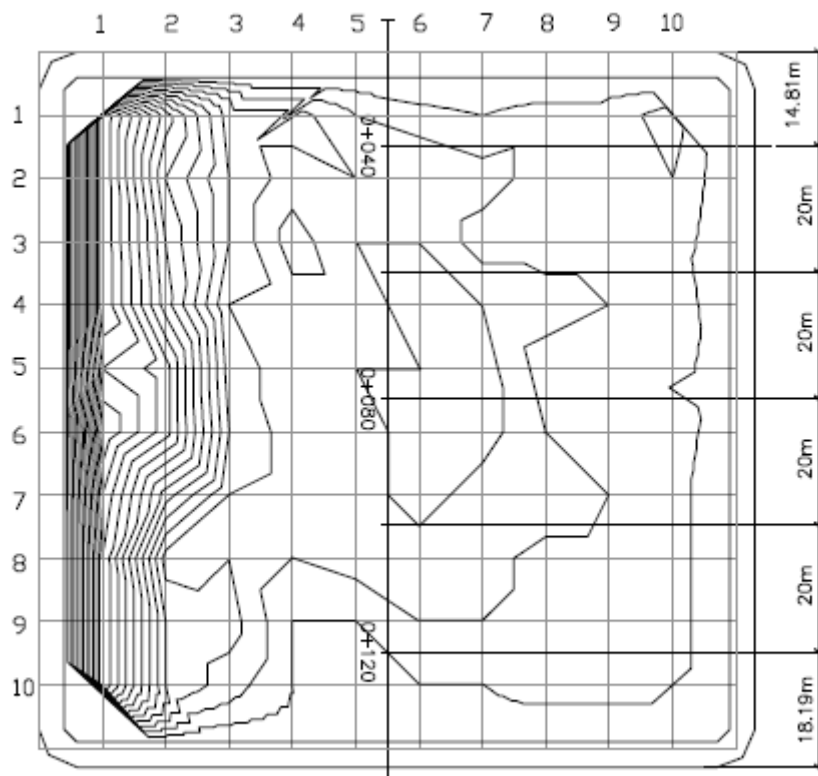


Figura 2: Seções longitudinais e transversais resultantes da batimetria realizada na ETE Gália.

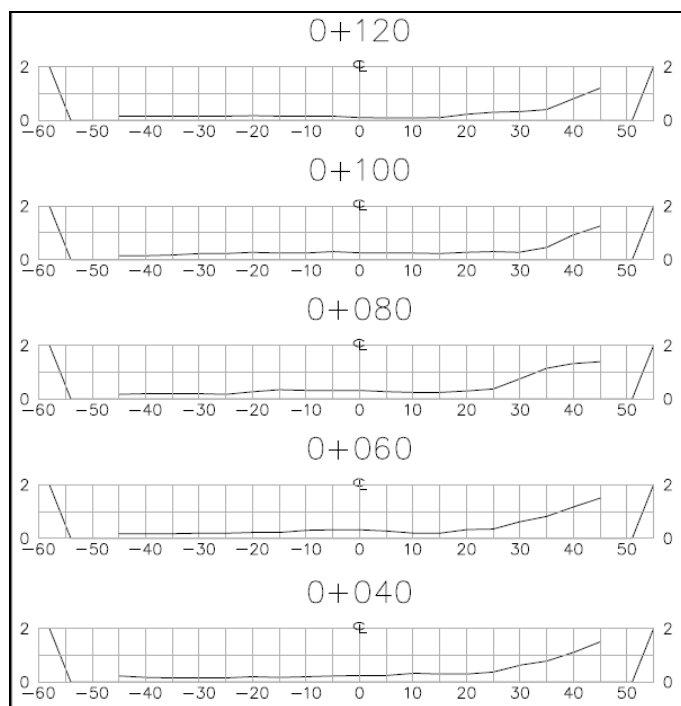


Figura 3: Perfil batimétrico realizado na ETE-Gália em maio de 2005 antes da dragagem

Durante o período de monitoramento do lodo no BAG, haverá tempo para avaliar a melhor forma de disposição, sem comprometimento ao meio ambiente e levando em consideração o custo/benefício. Também poderão ser efetuadas eventuais correções visando melhorar o

custo/benefício e aplicar os procedimentos em outras estações da Unidade de Negócio do Alto Paranapanema com características semelhantes.

Foram constatados visualmente bancos de areia localizados próximos das caixas de entrada da estação, uma vez que a lagoa só possui gradeamento. As amostras coletadas apresentaram teor de areia próximo a 57% (62.55% de sólidos totais), indicador de problemas operacionais e/ou construtivos do sistema de esgotamento sanitário da comunidade.

Os ensaios em laboratório com o lodo e os polímeros indicaram melhores resultados para o bombeamento do lodo através de draga para o tanque de homogeneização com a dosagem de polímero catiônico na concentração de 50 a 100 mg/L, de acordo com o teor de sólidos e vazão de bombeamento.

O teor de sólidos na entrada do BAG, após adição de polímero variou em torno de 4.00% e o líquido drenado que retornava para a lagoa mantinha um teor de sólido em torno de 0.05%.

A concentração de sólidos do lodo encaminhado para o tanque de homogeneização variou de 0.51% a 2.65%, enquanto o teor de sólidos determinado no lodo sedimentado na lagoa antes do início da retirada variou de 8% a 10%. As análises efetuadas no material acondicionado (BAG com 1,00 m de lodo) após 4 meses apresentaram os seguintes resultados com relação ao teor de sólidos, conforme Tabela 4:

Tabela 4. Concentração de sólidos no lodo acondicionado em BAG após 4 meses de deságüe, ETE Gália.

Perfil do lodo	Teor de sólidos %
0.20 m	39.94
0.40 m	-----
0.60 m	38.72
0.80 m	33.50
1.00 m (fundo)	30.00

A variação constatada é função da drenagem do BAG que é lenta e a maior umidade na parte inferior do mesmo deve-se ao processo de deságüe. No entanto, o teor em torno de 30% foi bastante satisfatório uma vez que esta acima ou bem próxima de valores conseguidos por outros processos de desaguamento como centrífugas, filtros, esteiras entre outros. O processo de amostragem do BAG deve ser melhorado, para que a umidade que fica no fundo não venha comprometer os resultados analíticos, assim como, o ponto de coleta e o BAG deve ser protegido para que as variações climáticas não alterem o teor de umidade.

Foi constatado decaimento acentuado na viabilidade dos ovos de helmintos nos primeiros 6 meses de desaguamento do BAG conforme Tabela 5.

Tabela 5. Resultados das contagens de ovos de helmintos após o período de acondicionamento do lodo no BAG (ETE Gália).

Dias após acondicionamento	Média de ovos de helmintos /grama de lodo		Total de ovos de helmintos /grama de lodo
	Viáveis	Não Viáveis	
0	5.92	133.07	138.99
75	0.30	63.40	63.70
254	0.12	50.54	50.66
315	0.07	28.96	29.03

Dificuldades operacionais:

Por tratar-se de um método de limpeza pioneiro na SABESP, foram encontradas dificuldades tanto na contratação de empresa qualificada quanto durante a execução dos serviços. As principais dificuldades foram listadas a seguir:

- i. Problemas excessivos com o sistema de dragagem;
- ii. Variações bruscas da vazão de drenagem do BAG, elevadas no início e reduzidas após alguns dias de operação;
- iii. Manter a vazão de dragagem compatível com a vazão da bomba helicoidal instalada no tanque de homogeneização;
- iv. Falta de mão de obra especializada;
- v. Ajuste adequado (correto) da dosagem do polímero em função da variação do teor de sólidos na dragagem;
- vi. Ajustar o adensamento desejado em função do período do contrato de limpeza;

Custo da limpeza:

Foi previsto e executado no contrato do sistema de dragagem a remoção de 1500m³ de lodo e areia e os custos dos itens contemplados estão apresentados na tabela 4.

Tabela 4: Custos dos serviços de remoção de areia e lodo na ETE Gália (cotação dólar 30/06/2006)

Quantidade	Descrição	Custo total
1 un	BAG 27.0 m x 3.9 m x 9.1 m	USD 11805.56
1 un	BAG 30,0 m x 8,0 m x 18.3 m	USD 14467.59
1 gb	Contrato do equipamento de dragagem	USD 17939.81
4500 kg	Polímero Zetag 7878	USD 18541.67
1 gb	Fornecimento de energia elétrica	USD 896.76
1 gb	Fornecimento de água	USD 671.30
1 gb	Material e mão de obra contratada	USD 7276.56
1 un	Bomba helicoidal para sucção do lodo q=15 L/s	Não considerado
1 un	Bomba helicoidal para polímero q=3 L/s	Não considerado
1 un	Bomba submersível para retorno da fase líquida dos BAGs	Não considerado
1 gb	Mão de obra interna	USD 7589.45
	TOTAL	USD 79188.70

Conclusão

Visando otimizar os serviços de limpeza e remoção de lodo de lagoas de estabilização, concluiu-se que os visíveis bancos de areia devem ser succionados e acondicionados em tanques apropriados

para posterior tratamento e disposição final, utilizando-se o volume útil dos BAGs apenas para o acondicionamento do lodo biológico. Em virtude do BAG ter variações bruscas da vazão do drenado no início de operação e muito baixa drenagem após alguns dias, devem ser instalados pelo menos dois sistemas com operações intercaladas.

Para amostragem do lodo, é fundamental a utilização de equipamento adequado para que todas as camadas do material sedimentado no interior dos BAGs sejam contempladas, melhorando a representatividade da amostra.

Para o caso específico deste trabalho piloto, a retirada, desidratação e acondicionamento do lodo em BAGs na área da própria ETE mostrou-se mais viável economicamente e tecnicamente que os processos convencionais de retirada, desidratação e disposição final, devido a disponibilidade de área e distâncias impraticáveis de locais adequados para a disposição final, tais como aterros sanitários. O custo per capita da limpeza foi de USD 13.08/hab.

Quanto ao acúmulo per capita de lodo, concluiu-se que a taxa de 0.033 m³/hab.ano obtida no experimento está em conformidade com os valores de 0.030 a 0.080 m³/hab.ano citado na literatura. O decaimento de ovos de helmintos durante o desaguamento do lodo no BAG nos primeiros 6 meses foi de 138.99 para 29.03 ovos/g de lodo. A amostra coletada após 254 dias de acondicionamento e desaguamento apresentou resultado de 0.12 ovos viáveis/g de lodo, classificado como lodo ou produto derivado classe A, com relação a ovos de helmintos viáveis segundo a Resolução CONAMA 380/06, enquanto a análise segundo a Norma de resíduos sólidos ABNT/NBR 10004:2004 classificou como Classe II A – resíduo não inerte.

Optou-se em prosseguir com os procedimentos de coleta e análise do material, para assegurar maior confiabilidade devido eventuais interferentes na representatividade da amostra e no procedimento de análise.

Concluiu-se que a técnica de deságüe com uso do BAG foi eficiente no processo de tratamento dos resíduos sólidos da lagoa facultativa primária com relação a ovos de helmintos viáveis, pois o lodo de esgotos classe A obtido no processo está adequado para o uso agrícola, conforme estabelecido na CONAMA 380/06.

Referências bibliográficas

- i. Andreoli C. V., Lara A. L., Fernandes F. (1999). Reciclagem de biossólidos: transformando problemas em soluções. Sanepar. FINEP. Curitiba, Paraná, Brasil.
- ii. Andreoli C. V., Von Sperling, Marcos, Fernandes F. (2001). Lodo de esgotos: tratamento e disposição final. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; UFMG, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil; Companhia de Saneamento do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil.
- iii. Bettiol W., Camargo O. A. (2000). Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto. EMBRAPA Meio Ambiente. Jaguariúna, São Paulo, Brasil.
- iv. BRASIL. – Ministério do Meio Ambiente – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução 380/06, de 07/11/2006.
- v. EATON, A.D.; CLESCERI, L.S.; GRENNBERG, A., E. Standard methods for the examination of water and wastewater. 21 ed. Washington: APHA; AWWA; WEF, 2005. 1082p.
- vi. Metcalf&Eddy. Wastewater engineering: treatment, disposal and reuse. New York: Mac Graw Hill, 2005.
- vii. Von Sperling, Marcos. (1986). Lagoas de estabilização. 2º edição. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.
- viii. YANKO W. A., 1987. Occurrence of pathogens in distribution and marketing municipal sludges. In: Environmental regulation and technology: control of pathogens and vector attraction in sewage sludge. Rapport U.S. EPA 625/r-92/013, 149. Washington: EPA, 1992.