

II-316 - PROPOSTA DE DIMENSIONAMENTO DE PÁTIOS DE HIGIENIZAÇÃO DE LODO DE ESGOTO, POR ESTABILIZAÇÃO ALCALINA PROLONGADA, COM BASE EM PARÂMETROS OPERACIONAIS

Pedro L. W. Cerqueira⁽¹⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Positivo. Mestrando no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental (UFPR). Profissional da Companhia de Saneamento de Goiás – SANEAGO.

Simone Bittencourt

Engenheira Agrônoma e Mestre em Agronomia pela Universidade Federal do Paraná. Doutora em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental (UFPR). Professora da Fael.

Miguel Mansur Aisse

Engenheiro Civil. Doutor em Engenharia Civil pela Universidade de São Paulo (USP). Professor Permanente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental na Universidade Federal do Paraná (UFPR).

Endereço⁽¹⁾: Av. Fued José Sebba, 1245, Jardim Goiás, Goiânia-GO. CEP: 74805-100. Tel: (62) 3243-3646 - e-mail: pedrolwc@saneago.com.br

RESUMO

Apesar do notório conhecimento sobre os benefícios ambientais provenientes da disposição de lodo de esgoto na agricultura, esta prática ainda é incipiente no Brasil. No estado do Paraná, com a consolidação do processo de Estabilização Alcalina Prolongada (EAP), na Portaria SEMA 21/09, a Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR) tem viabilizado a destinação de lodo à agricultura, destacando-se no cenário nacional. Entretanto, por se tratar de um processo cujo reconhecimento é relativamente recente, com pouca difusão geográfica, é limitada literatura sobre a EAP. Neste sentido, no presente trabalho objetivou-se desenvolver uma metodologia de dimensionamento dos pátios de higienização por EAP, a partir de informações da literatura, mas, principalmente, da experiência prática da SANEPAR, considerando-se, ainda, os requisitos legais vigentes quanto à aplicação agrícola de lodo de esgoto. Foi possível estabelecer um método de dimensionamento análogo ao dos leitos de secagem, definindo-se uma taxa de aplicação de sólidos por metro quadrado e um tempo de ciclo, para se encontrar a área necessária de pátios em função da quantidade de lodo prevista para ser higienizada em uma Unidade de Gerenciamento de Lodo (UGL).

PALAVRAS-CHAVE: Biossólidos, estudos de concepção, Resolução CONAMA 375/06, tratamento de lodo.

INTRODUÇÃO

A destinação de lodo de esgoto sanitário à agricultura é uma prática que traz benefícios ambientais, sociais e econômicos à sociedade em geral. Auxilia na manutenção dos ciclos naturais dos nutrientes como nitrogênio, potássio e, especialmente, o fósforo, cuja única fonte natural acessível são as rochas fosfáticas, que vêm sendo consumidas pela indústria de fertilizantes em ritmos preocupantes (SAMPAIO, 2013). Além disso, enriquece o solo com matéria orgânica e nutrientes essenciais ao crescimento das plantas, aumentando a produtividade agrícola e reduzindo a necessidade de uso de fertilizantes (BITTENCOURT, 2014).

Entretanto, atualmente, esta prática tem sido pouco explorada no Brasil, predominando a disposição do lodo em aterros sanitários, o que aumenta os riscos de contaminação de lençóis freáticos, a produção de chorume e as emissões de gás metano para a atmosfera, além de trazer outros inconvenientes, como a competição com a disposição de Resíduos Sólidos Urbanos, podendo reduzir a vida útil dos aterros sanitários (LUDUVICE; FERNANDES, 2014).

Dentre os motivos da destinação agrícola do lodo ainda ser incipiente no Brasil, destaca-se a complexidade logística associada ao processo, resultado de uma série de fatores como restrições legais excessivamente rigorosas, necessidade de profissionais qualificados e indisponibilidade de área agrícola para recebimento do lodo. Isso tudo torna o processo oneroso, dificilmente sendo competitivo com a disposição em aterro sanitário, de forma que as empresas que o fazem geralmente têm um propósito de sustentabilidade ambiental, e não de ordem econômica (SAMPAIO, 2013).

Segundo Sampaio (2013), no Brasil, os estados de São Paulo, Rio Grande do Sul, Paraná e Distrito Federal são os que mais destinam o lodo à agricultura. No Paraná, consolidou-se, com a Resolução SEMA 21/09, a Estabilização Alcalina Prolongada (EAP) como um processo de higienização eficiente para a obtenção de lodo Classe A - conforme a classificação da Resolução CONAMA 375/06 (BRASIL, 2006) - viabilizando tecnicamente a aplicação do lodo na agricultura. O processo consiste na aplicação de cal ao lodo, elevando-se o pH a 12 e mantendo-o nesta condição por um período de 30 dias (PARANÁ, 2009).

Com isto, a Companhia de Saneamento do Paraná – SANEPAR tem destinado parte do lodo gerado em suas ETES para a agricultura, após realização da EAP nas Unidades de Gerenciamento de Lodo (UGLs), que geralmente são implantadas em ETES localizadas em pontos estratégicos, para o recebimento e destinação do lodo, e com área disponível para o armazenamento deste, durante a EAP. Segundo Bittencourt et al. (2017), além dos 30 dias necessários para a inativação dos patógenos, deve-se aguardar, no mínimo, mais 30 dias pelo recebimento das análises de ovos viáveis de helmintos, um dos parâmetros exigidos pela Resolução CONAMA 375/06, para então este ser destinado à agricultura. Porém, devido à diversos fatores, tais como a complexidade no gerenciamento deste processo, por vezes o lodo é acumulado em pátios por períodos bastante superiores que 60 dias (BITTENCOURT et al., 2017).

Por se tratar de um processo que, apesar de vir sendo estudado desde a década de 90 (THOMAZ-SOCCOL et al., 1997 apud BITTENCOURT, 2014), tem ganhado espaço apenas recentemente e não se encontram, na literatura, informações suficientes para o dimensionamento dos pátios de cura para higienização por EAP. Encontram-se algumas informações, como o tempo mínimo de estocagem e a quantidade de cal aplicada (PINTO, 2014), que permitem uma análise preliminar do processo; porém, a quantidade de lodo por metro quadrado de pátio, por exemplo, que seria um parâmetro concreto de dimensionamento, já não é encontrada com facilidade na literatura técnica.

Sendo assim, tendo-se verificado esta lacuna na literatura, e considerando-se que a estimativa da área necessária de pátios para a higienização por EAP é uma das principais informações para a análise de viabilidade desta prática, no presente trabalho objetivou-se elaborar uma proposta de dimensionamento de pátios de higienização de lodo de esgoto, com base em parâmetros advindos da experiência operacional da SANEPAR e nos aspectos legais atualmente vigentes e técnicos já consolidados.

OBJETIVO

Elaborar uma proposta de dimensionamento de pátios de higienização de lodo por EAP, visando à aplicação agrícola, com base em parâmetros operacionais e respeitando-se os critérios técnicos e legais.

METODOLOGIA

A metodologia do presente trabalho consistiu no levantamento de informações sobre a Estabilização Alcalina Prolongada, quanto à disposição do lodo nos pátios de cura, por meio de entrevistas semi-estruturadas (em que há um roteiro pré-estabelecido, porém com flexibilidade para discussões) realizadas com gestores de Unidades de Gerenciamento de Lodo da Companhia de Saneamento do Paraná.

Com base nas informações obtidas nas entrevistas (inclusive fotos recebidas), e também em dados constantes na literatura técnica, foi estimada a quantidade máxima de lodo, em massa seca, massa úmida e volume, que pode ser disposta por m² de pátio, sem se perder a operacionalidade e a eficiência do processo. Ou seja, mantendo-se espaço para a circulação de máquinas e pessoas e permitindo o acúmulo do lodo caído pelo tempo necessário para o processo de EAP.

Foram selecionadas três UGLs para o estudo, nas quais utilizam-se diferentes métodos de mistura da cal ao lodo. Essas UGLs, cujos gestores foram entrevistados, possuem pátios impermeabilizados e cobertos para a higienização por EAP. Na Tabela 1 apresentam-se as UGLs selecionadas, bem como as ETES cujo lodo é destinado a essas, suas respectivas vazões e o método de mistura da cal ao lodo em cada UGL.

As entrevistas com os gestores foram realizadas via telefone e e-mail, e tiveram como delineamento as seguintes perguntas:

Tabela 1 – UGLs da SANEPAR selecionadas para o estudo e respectivas ETEs contribuintes

UGL	ETEs Contribuintes* (Vazão em L/s)	Mistura Cal/Lodo
ETE Tibagi (17)	ETE Arapoti (15), ETE Bandeirantes (3,5), ETE Cândido de Abreu (19), ETE Embaú (5), ETE Limeira (20), ETE Marinha (15), ETE Ortigueira (7), ETE Pirai (8), ETE Reserva (19), ETE São Silvestre (10), ETE Sengés (20), ETE Uvaranal (8) e ETE Ventania (14).	Manual (Betoneira)
ETE Ronda (140)	ETE Verde (280), ETE Olarias (70), ETE Cristo Rei (5), ETE Gertrudes (30), ETE Congonhas (30), ETE Cará-Cará (30), ETE Tibagi** (30), ETE Bárbara (10)	Mecanizada (Retroescavadeira)
ETE CIC Xisto (612)	ETE Cachoeira (100); ETE São Jorge (134); ETE Cambuí (85); Outras (esporadicamente).	Mecanizada (Retroescavadeira)

NOTAS: *As ETEs, em sua maioria, são dotadas de tratamento por reatores UASB, com ou sem pós-tratamento aeróbio.

**Nome coincidente com a UGL ETE Tibagi, não sendo a mesma unidade.

- Qual o método de desaguamento de lodo nas ETEs contribuintes e na ETE UGL?
- Qual a quantidade de cal aplicada por ST (Sólidos Totais) de lodo?
- Quais os teores de sólidos do lodo antes e depois da higienização por EAP?
- Qual o procedimento de mistura da cal ao lodo?
- Qual a altura média dos montes de lodo formados após a adição da cal, e a forma desses?

Buscou-se, com as informações obtidas nas entrevistas, elaborar um croqui, denominado como “corte esquemático”, da disposição do lodo nos pátios, para que, com esse, pudessem ser estimadas as quantidades de lodo dispostas por m² de pátio. Além disso, para o dimensionamento foi definido o tempo necessário desde o início da formação do lote até a remoção deste do pátio. A este período deu-se o nome de tempo de ciclo, e o mesmo foi definido com base nas informações obtidas nas entrevistas, na literatura e nas exigências legais de frequência de amostragem, existentes na Resolução CONAMA 375/06.

Desta forma, definindo-se um tempo de ciclo e uma taxa de aplicação de sólidos por m² de pátio, tornou-se possível o cálculo da área total necessária, analogamente ao método de dimensionamento de leitos de secagem apresentado por van Haandel (1994).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Dados Operacionais Obtidos

A UGL ETE Tibagi recebe lodo desaguado em leitos de secagem, com teores de sólidos da ordem de 35 %. O lodo que chega é disposto no pátio, para então ser misturado à cal, utilizando-se uma betoneira. A quantidade de cal aplicada é de 50 % em relação aos ST do lodo. O lodo caleado é disposto, utilizando-se retroescavadeira, em montes piramidais de até 3 m de altura. Nestes, o teor de sólidos do lodo chega a atingir 50 % de ST, devido ao tempo de estocagem e à adição da cal, que proporcionam a evaporação de parte da água do lodo. Na Figura 1 é apresentado o pátio de cura da UGL ETE Tibagi.



Figura 1 – Pátio de higienização por EAP na UGL ETE Tibagi

A UGL ETE Ronda também recebe lodo proveniente de leitos de secagem, com cerca de 35 % de ST. A cal é adicionada manualmente sobre o lodo, na proporção de 35 a 40 % dos ST, para posteriormente ser misturada ao lodo com o uso de retroescavadeira. Além de realizar a mistura, com o mesmo equipamento são formados os montes, que podem chegar a mais de 3 m de altura, em formato piramidal. O teor de sólidos também sobe a cerca de 50 % durante o período de estocagem, até que os lotes sejam destinados à agricultura. Na Figura 2 é apresentado o pátio de cura da UGL ETE Ronda.



Figura 2 – Pátio de higienização por EAP na UGL ETE Ronda

A UGL ETE CIC Xisto possui um sistema de desagüamento por centrífugas, a partir do qual o lodo é descarregado em baias para então ser transportado aos pátios de cura, por meio de pá-carregadeira. Além do lodo gerado na própria ETE, a UGL recebe lodo úmido (3 % de ST) de outras ETEs, em um tanque de equalização, para ser centrifugado e higienizado na mesma. A taxa de aplicação de cal é de 30 a 40 % dos ST. Nos pátios, o transporte, a mistura da cal e o empilhamento do lodo são feitos com pá-carregadeira e retroescavadeira, porém, devido a maior umidade do lodo (em relação às outras UGLs), os montes são formados com 1,3 a 2 m de altura, sendo maiores quando escorados em paredes laterais e podendo serem elevados conforme a redução do teor de umidade. Na Figura 3 é apresentado o pátio de cura da UGL ETE CIC Xisto.



Figura 3 – Pátio de higienização por EAP na UGL ETE CIC Xisto

Tempo de Ciclo dos Lotes de Lodo

Conforme mencionado na introdução, para a higienização por EAP necessita-se de, no mínimo, 60 dias, mas há uma série de fatores que podem aumentar este período. Conforme apresentado por Bittencourt et al. (2017), após a caracterização de um lote de lodo deve-se aguardar a liberação deste por meio de Autorização Ambiental emitida pelo órgão ambiental competente, o que deve acontecer em consonância com uma série de processos no âmbito agrícola, como o cadastro de agricultores, o levantamento de áreas aptas a receberem o lodo e a elaboração de um projeto agrônomo por profissional capacitado, que, se não ocorrerem em prazo adequado, impedem o transporte do lodo para a agricultura. Verificou-se, nas entrevistas realizadas, que a emissão da Autorização Ambiental pode levar em torno de 30 dias.

Bittencourt et al. (2017) relataram, também, eventos como a inconsistência ou a reprovação de laudos de caracterização do lodo, que podem aumentar o tempo necessário de estocagem, necessitando-se, por exemplo, da repetição do processo de higienização. Outro aspecto mencionado é a necessidade de planejamento para a liberação dos lotes em períodos próximos à demanda agrícola, o que não é tarefa simples já que há outras variáveis interferentes, como o clima.

Outra etapa fundamental, que, na realidade, é a primeira delas, é o tempo de formação dos lotes. Este tempo está associado ao número de lotes formados por ano, que por sua vez é resultado da frequência de monitoramento, estipulada na Licença de Operação da UGL, com base na Resolução CONAMA 375/06. Nesta, a frequência de monitoramento é determinada em função da quantidade de lodo, em base seca, destinado anualmente à agricultura (BRASIL, 2006), conforme apresenta-se na Tabela 2.

Tabela 2 – Frequência de Monitoramento de Lotes de Lodo Segundo a Resolução CONAMA 375/06

Quantidade de lodo destinada à agricultura (t ST/ano)	Frequência de Amostragem
até 60	Anual
de 60 a 240	Semestral
de 240 a 1.500	Trimestral
de 1.500 a 15.000	Bimestral
acima de 15.000	Mensal

Fonte: BRASIL, 2006.

Bittencourt (2014) menciona casos de formação anual, trimestral e mensal de lotes. A formação mensal ocorreu excepcionalmente pela necessidade de otimização do uso dos pátios, permitindo maior celeridade no processo, porém, aumentando-se o custo com análises laboratoriais. Por outro lado, nota-se que, para quantidades de lodo inferiores a 60 t ST/ano, a frequência anual de monitoramento implica no armazenamento por períodos superiores a 12 meses, já que após a amostragem ainda são necessárias as etapas subsequentes.

Em resumo, o tempo de ciclo total (T_c) pode ser estimado pelo somatório dos seguintes períodos de tempo:

- P1: Período de formação do lote: 1, 2, 3, 6 ou 12 meses, a depender da frequência de amostragem;
- P2: Período de higienização: mínimo de 60 dias;
- P3: Período de tramitação da Autorização Ambiental: média de 30 dias no Paraná;
- P4: Período adicional devido às dificuldades logísticas: variável.

Pode-se perceber que, dependendo do tempo de formação do lote, é possível se definirem tempos de ciclo inferiores a 6 meses, sem considerar o P4. Entretanto, verificou-se que, pela experiência da SANEPAR, o P4 pode ser bastante representativo. Um P4 mínimo de 3 meses poderia ser indicado, representando uma situação em que o lote é liberado 3 meses antes da época de aplicação do lodo. Porém, com base na experiência da SANEPAR, é mais conveniente, para fins de dimensionamento, a consideração de 1 ano para o tempo total de ciclo. Isto é, o P4 passa a variar de 3 a 8 meses, a depender do tempo de formação do lote (exceto no caso de amostragem anual, que apenas o P1 já levaria 12 meses).

Proposta de Dimensionamento de Pátios de Higienização por EAP

A partir das informações relativas à disposição dos montes de lodo nos pátios das UGLs, foi desenhado um “Corte Esquemático” de um monte de lodo, para se estimar o volume máximo possível (com base na experiência prática) de se dispor o lodo por unidade de área. Para tanto, algumas premissas foram adotadas:

- O lodo é destinado ao pátio com teores de sólidos acima de 20 %;
- Os montes de lodo podem atingir cerca de 3,50 m de altura quando utilizado maquinário;
- Paredes laterais podem ser utilizadas para otimização do uso dos pátios.

Sendo assim, foi elaborado um Corte Esquemático do monte de lodo, conforme é apresentado na Figura 4.

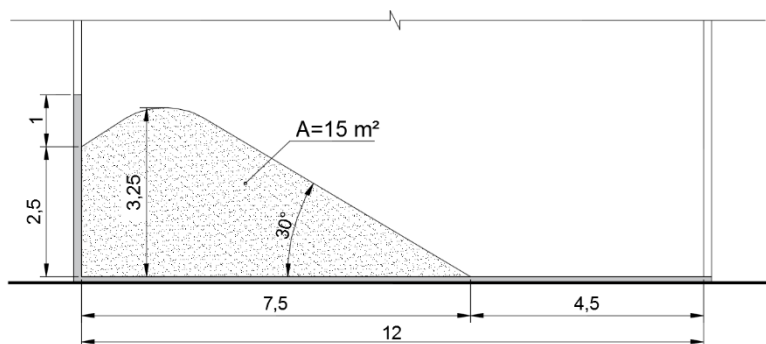


Figura 4 – Corte esquemático de monte de lodo caleadado

Verifica-se (Figura 4), que foi considerada uma parede lateral para escoramento do monte de lodo, visando aumentar o volume de lodo disposto por m² de pátio. No corte estão representados os pilares laterais de um pátio industrial teórico, com largura total de 12 m, sendo 4,50 m para deslocamento de pessoal e equipamentos. Multiplicando-se a área da seção do monte de lodo (15 m²) pelo comprimento de 1 m de pátio, e dividindo-se o resultado pela área de 12 m², obtendo-se uma relação de 1,25 m³ de lodo caleadado por m² de pátio.

Com a relação obtida de 1,25 m³/m² foi possível estimar a taxa de aplicação de sólidos por m², realizando-se o cálculo inverso da quantidade de sólidos contida em 1,25 m³ de lodo. Para tanto, considerou-se a massa específica do lodo caleadado de 850 kg/m³, uma vez que esta torna-se reduzida a medida em que se aumenta o teor de sólidos do lodo (MORETTO et al., 2011). Consideraram-se, também, o teor de umidade de 50 % e uma taxa de aplicação de cal de 50 % em relação aos sólidos totais do lodo. Na Equação 1 apresenta-se o cálculo da quantidade de sólidos por m² de pátio.

$$Ts = 1,25 \frac{m^3_{\text{Lodo}}}{m^2_{\text{Pátio}}} \cdot 0,50 \frac{kgST}{kg_{\text{Lodo}}} \cdot 850 \frac{kg_{\text{Lodo}}}{m^3_{\text{Lodo}}} = 531 \frac{kgST}{m^2_{\text{Pátio}}} \quad (1)$$

Como o lodo considerado possui 50 % de cal em relação aos sólidos de lodo, calculou-se que, dos 531 kgST, 354 kgST são referentes ao lodo e 177 kgST provenientes da adição de cal. Desta forma, visando-se estabelecer um parâmetro mais prático de dimensionamento, optou-se por considerar a taxa de aplicação de sólidos de 350 kgST/m², que deve ser utilizada sem se considerar os sólidos advindos da caleação.

Considerando-se o tempo de ciclo de 12 meses, com base na discussão realizada, a taxa mencionada passa a ser de 350 kgST/m².ano.

Para uma análise de sensibilidade, verificaram-se também as taxas anuais de sólidos praticadas nas UGLs selecionadas neste estudo, que resultaram em 362 kgST/m².ano, 250 kgST/m² e 173,7 kgST/m².ano, respectivamente, para as ETEs Tibagi, ETE Ronda e ETE CIC Xisto. Logo, a taxa calculada neste trabalho apresenta-se dentro da faixa efetivamente praticada, mais próxima do limite superior. Observa-se que, segundo os gestores das ETEs Ronda e CIC Xisto, os espaços encontram-se bem dimensionados para as quantidades de lodo que recebem, o que indica que a taxa de 350 kgST/m².ano pode ser relativamente alta.

Por fim, formalizando-se o método proposto de dimensionamento, procurou-se estabelecer uma analogia com a fórmula convencional de dimensionamento de leitos de secagem, conforme apresenta-se a seguir:

$$A = \frac{P_{\text{Lodo}} \cdot Tc}{Tx} \quad (2)$$

Em que:

A = Área necessária de pátio (m²);

P_{lodo} = Produção de lodo referente à todas as ETEs contribuintes à UGL (kgST/d);

Tc = Tempo de ciclo, recomendado de 1 ano (dias);

Tx = Taxa de aplicação de sólidos, recomendada de até 350 kgST/m².ano.

CONCLUSÕES

A Estabilização Alcalina Prolongada vem ganhando mais importância na medida em que a aplicação de lodo na agricultura é reconhecida como uma solução ambientalmente sustentável. Entretanto, atualmente há uma lacuna na literatura no que se refere ao dimensionamento de pátios de higienização de lodo.

No presente estudo apresentou-se uma metodologia de dimensionamento de pátios de higienização por EAP, considerando-se aspectos operacionais, técnicos e legais. A metodologia proposta é análoga à do dimensionamento de leitos de secagem, já consolidada na literatura.

Obtiveram-se parâmetros como o tempo de ciclo de um ano e a taxa de aplicação de sólidos de 350 kgST/m², mas que devem ser utilizados com cautela e observando-se as premissas consideradas neste estudo: a) O lodo é destinado aos pátios com teores de sólidos acima de 20 %; b) Utilização de maquinário para elevação dos montes de lodo em até 3,50 m de altura; c) Utilização de paredes laterais para otimização do uso dos pátios.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos profissionais entrevistados da SANEPAR, que se dispuseram a contribuir com informações úteis e fotos dos pátios de higienização.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS

1. BITTENCOURT, S. Gestão de processo de uso agrícola de lodo de esgoto no estado do Paraná: aplicabilidade da Resolução CONAMA 357/06. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Universidade Federal do Paraná. 2014.
2. BITTENCOURT, S.; AISSE, M. M.; SERRAT, B. M. Gestão do uso agrícola do lodo de esgoto: estudo de caso do Paraná, Brasil. Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental, v.22, n.6. Rio de Janeiro: ABES, 2017. p. 1129-1139
3. BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução Conama n.375, de 29 de agosto de 2006. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 30 ago. 2006.
4. LUDUVICE, M.; FERNANDES, F. Principais tipos de transformação e descarte do lodo. In: ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M. FERNANDES, F. (Ed.). Lodo de esgotos: tratamento e disposição final. 2ª Ed. Belo Horizonte: Editora UFMG; Curitiba: SANEPAR, 2014. p.397-420 (Cap. 9).
5. MORETTO, S.R.O.; PUPPI, R.F.K.; PEGORINI, E.S.; INOUE, P.S.; OLIVEIRA, G.G. de. Medidas da densidade do lodo proveniente de digestão anaeróbia. 2011. Artigo em Hypertexto. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2011_1/DensidadeLodo/index.htm>. Acesso em: 26/03/2019.
6. PARANÁ. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Resolução SEMA 21 de 22 de abril de 2009. Dispõe sobre licenciamento ambiental, estabelece condições e padrões ambientais e dá outras providências, para empreendimentos de saneamento. 22 de abril de 2009.
7. PINTO, M. T. Higienização de Lodos. In: ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M. FERNANDES, F. (Ed.). Lodo de esgotos: tratamento e disposição final. 2ª Ed. Belo Horizonte: Editora UFMG; Curitiba: SANEPAR, 2014. p.259-296 (Cap. 6).
8. SAMPAIO, A. O. Afinal, queremos ou não viabilizar o uso agrícola do lodo produzido em estações de esgoto sanitário? Uma avaliação crítica da Resolução CONAMA 375. Nota técnica. São Paulo: Revista DAE, nº 193, set/dez 2013.
9. VAN HAANDEL, A. C.; LETTINGA, G. Tratamento anaeróbico de esgotos: um manual para regiões de clima quente. Campinas Grande: Epgraf, 1994.