

REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:
Investigación, desarrollo y práctica.

DESTINAÇÃO FINAL DE LODO DE ESGOTO: PROPOSIÇÃO PARA AUXÍLIO EM TOMADAS DE DECISÃO A PARTIR DE UMA REVISÃO DE LITERATURA

Dayane Batista Gonçalves ¹

* Marcos Paulo Gomes Mol ²

FINAL DESTINATION OF BIOSOLIDS: PROPOSITION FOR SUPPORT IN DECISION MAKES FROM A LITERATURE REVIEW

Recibido el 11 de junio de 2019; Aceptado el 4 de abril de 2020

Abstract

The choice of good alternatives for the final disposal for life cycle in wastewater treatment plants (WWTP) is a complex and conflicting decision. It involves technical, economic, environmental and leisure modalities, which are the boundaries of the treatment plant and which knowledge is of extreme importance for an appropriate and feasible decision. The objective of this work is to present a proposal of questionnaire that aims to diagnose the situation of WWTP, from a literature review, as well as approach the main criteria for evaluating alternatives for the final disposal of biosolids. It is expected to enable a previous analysis of more appropriate solutions, compatible with the expectations and objectives of managers of public or private sanitation companies, assisting them in decision making. The questionnaire was submitted to three sanitation technical professionals to test its comprehension, to test its explicitness and functionality. According to the analysis done by the professionals, improvements were implemented in the questionnaire, making it more appropriate to meet the proposed objective.

Keywords: *sewage sludge, final destination, decision-making, evaluation of alternatives.*

¹ Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil.

² Diretoria de Pesquisa e Desenvolvimento, Fundação Ezequiel Dias. Belo Horizonte, Brasil.

**Autor correspondente:* Diretoria de Pesquisa e Desenvolvimento, Fundação Ezequiel Dias – FUNED. Rua Conde Pereira Carneiro, 80. Bairro Gameleira. Cidade Belo Horizonte. Estado Minas Gerais. Código Postal (CEP) 30510-010. Brasil.

Email: marcos.mol@funed.mg.gov.br

Resumo

A escolha da melhor alternativa para destinação final do lodo gerado em estações de tratamento de esgoto (ETE) é uma decisão complexa e conflitante. As variáveis que envolvem os processos abrangem aspectos técnicos, econômicos, ambientais e legais, que ultrapassam os limites da estação de tratamento e cujo conhecimento é de extrema relevância para uma decisão adequada e viável. Este trabalho pretende apresentar uma proposta de questionário que objetiva diagnosticar a situação de ETEs, a partir de uma revisão de literatura, e abordar os principais critérios de avaliação de alternativas para a destinação final do lodo de esgoto. Espera-se possibilitar uma análise prévia de soluções mais adequadas, compatíveis com as expectativas e objetivos de gestores em empresas públicas ou privadas de saneamento, auxiliando-os nas tomadas de decisão. O questionário elaborado foi submetido a três profissionais técnicos da área de saneamento, para testar sua compreensão e funcionalidade. De acordo com a análise destes técnicos, foram implementadas melhorias no questionário, tornando-o apropriado para o objetivo proposto.

Palavras chave: biossólidos, destinação final, tomada de decisão, avaliação de alternativas.

Introdução

Os esgotos domésticos necessitam ser coletados e tratados antes de serem lançados na natureza, com a finalidade de assegurar a qualidade das águas e, conseqüentemente, atender aos padrões legais de lançamento no corpo receptor, eliminando ou reduzindo os índices de doenças de veiculação hídrica (Von Sperling, 2014; FEAM, 2015).

São várias as tecnologias utilizadas para tratar os esgotos sanitários em estações de tratamento de esgoto (ETE), seja por processos físico-químicos ou biológicos, tendo este último maior destaque no Brasil. A escolha da tecnologia mais adequada para um determinado local depende de diversos fatores, sendo os principais as condições locais, as características dos esgotos, disponibilidade de área, aspectos econômicos, a eficiência requerida do tratamento em conformidade com a classe de enquadramento do corpo hídrico receptor, dentre outros (Von Sperling, 2014; FEAM, 2015; Mendonça; Mendonça, 2016; ANA, 2017).

Como resultado, o tratamento de esgoto gera o efluente tratado, que é lançado nos rios, além de gerar outros subprodutos como espuma, gases e lodo de esgoto (LE). O LE necessita de tratamento e destinação final adequada para evitar a geração de impactos ambientais ou até mesmo comprometer os benefícios do sistema de coleta e tratamento de esgotos, conforme alertam Andreoli *et al.* (2014). Observa-se uma tendência mundial para a valorização de alguns subprodutos, favorecendo a sustentabilidade das ETEs e gerando soluções ambientais em tempos de escassez de recursos naturais e forte apelo à conservação ambiental.

Os índices de coleta e tratamento de esgoto no Brasil são muito baixos (ANA, 2017). As redes coletoras de esgotos alcançam 61.4% da população urbana brasileira, o que não significa que todo esgoto coletado é conduzido a uma ETE, restando 65 milhões de pessoas que não dispõem de sistema coletivo para afastamento dos esgotos sanitários. A parcela atendida com coleta e tratamento dos esgotos representa apenas 42.6% da população urbana total (ANA, 2017). As conseqüências desse fato são apontadas pela Pesquisa de Informações Básicas

Municipais - MUNIC 2017, cujos resultados indicam que 36.5% dos impactos ambientais ocorridos nos 5,570 municípios do país foram resultantes da destinação inadequada de esgoto doméstico (IBGE, 2017).

A situação evidencia que há necessidade de um aumento significativo no número de ETEs no país, mas esta perspectiva aponta outro grave problema, a produção de lodo de esgoto, que também precisa ser solucionado (Lee, 2011; Silva *et al.*, 2017). Segundo Batista (2015), a gestão adequada do LE constitui-se em um desafio para os projetistas e operadores dos sistemas, em função de sua composição variável e grandes volumes gerados.

De acordo com Andreoli *et al.* (2014), não há dados consistentes referentes à produção e disposição final de lodo no Brasil e, portanto, tem-se que trabalhar com estimativas a partir das informações sobre a população beneficiada com serviços de coleta e tratamento de esgoto e o volume per capita de lodo desaguado (seco) a ser disposto, que os autores consideram ser da ordem de 0.1 a 0.15 L.hab⁻¹.dia⁻¹. Sendo assim, para se ter uma noção da dimensão do problema, se todo volume de esgoto coletado no país fosse tratado, considerando que 61.4% da população brasileira é atendida com coleta de esgotos, a estimativa de geração de lodos no país atualmente seria de 10 a 15.5 mil toneladas por dia de lodo desaguado a ser disposto. Estes autores ressaltam que o destino final adequado do LE é um fator fundamental para o sucesso de um sistema de saneamento.

Dentre as alternativas ambientalmente corretas, a disposição em aterros sanitários é a mais comum no Brasil. Porém resulta em elevados gastos com transporte, além do desperdício do potencial energético do LE (Rosa *et al.*, 2015). Entretanto, Andreoli *et al.* (2014) ressaltam o crescente interesse pela reciclagem agrícola de lodo no país como potencial alternativa de reuso deste resíduo, com destaque para algumas cidades dos estados do Paraná, São Paulo e Distrito Federal.

Assim, como reflexo das crescentes exigências da sociedade e das agências ambientais por melhores padrões de qualidade ambiental, os gestores públicos e privados dos serviços de saneamento se veem obrigados a assumir práticas mais sustentáveis (Martins, 2016). Contudo, de acordo com Andreoli *et al.* (2014), o tratamento e a disposição final do LE geralmente são negligenciados na concepção das estações de tratamento de esgoto.

De fato, a escolha da destinação final mais adequada para um determinado sistema é uma decisão difícil, uma vez que essa avaliação é complexa e deve considerar o maior número de variáveis intrínsecas ao processamento do lodo, que nem sempre são mensuráveis e que muitas vezes são conflitantes. Essas variáveis envolvem aspectos técnicos, econômicos, ambientais e legais, que ultrapassam os limites da estação de tratamento e cujo conhecimento é de extrema relevância para uma decisão mais assertiva e menos subjetiva possível (Frasson, 2011; Andreoli *et al.*, 2014).

A relevância do tema deste trabalho na atualidade e para o futuro do saneamento em nosso país foi a principal motivação para sua escolha. O avanço lento tanto da legislação nacional

quanto de investimento das empresas de saneamento em tecnologias e processos ambientalmente adequados para a destinação final de resíduos sólidos no Brasil gera prejuízos em todas as dimensões (social, ambiental, econômica e técnica).

Nesse contexto, os objetivos deste trabalho foram realizar uma revisão da literatura sobre o tratamento e destinação de lodos de esgotos no Brasil e propor um modelo de questionário como primeiro passo no complexo processo de avaliação de alternativas para destinação final do LE, visando auxiliar aos gestores na tomada de decisão e, conseqüentemente, contribuir para o desenvolvimento do saneamento.

Método

O trabalho consistiu em uma revisão bibliográfica e a proposição de um questionário para análise prévia de alternativas de destinação final para o lodo de esgoto.

A consulta à literatura teve a finalidade de identificar o conhecimento do atual cenário nacional com relação ao esgotamento sanitário, com foco nas práticas de tratamento e destinação final do LE. Foram realizadas buscas por publicações técnico-científicas no Google Acadêmico, a partir do ano de 2012, utilizando os principais descritores: “lodo de esgoto”, “reaproveitamento do lodo de esgoto no Brasil”, “potencial do lodo de esgoto”, “valorização do lodo de esgoto”, “análise de alternativas”, “viabilidade no uso do lodo de esgoto”. Predominaram as publicações sobre o aproveitamento do LE em áreas agrícolas e em áreas degradadas. Especificamente sobre a comparação de alternativas para destinação final do LE, alguns autores enfatizam a importância de se identificar os principais critérios para avaliação e escolha da alternativa mais viável em cada contexto.

Também foram acessadas fontes literárias e cartilhas, estudos de órgãos federais e estaduais, como da Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM MG), da Agência Nacional de Águas (ANA) e do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Para elaboração do questionário proposto neste trabalho baseou-se principalmente no livro “Lodo de esgotos: tratamento e disposição final”, dos especialistas Andreoli et al. (2014), e a dissertação de mestrado da autora Vanzeto (2012), visto que os mesmos abordam sobre a importância de um diagnóstico preliminar da ETE e a consideração de alguns critérios de avaliação de alternativas, aspectos estes imprescindíveis para possibilitar uma análise prévia de soluções mais adequadas para a destinação do LE.

O questionário foi constituído por 26 questões, ordenadas da seguinte forma: as primeiras questões sobre as condições locais e regionais, sobre o sistema de esgotamento sanitário existente e sobre o tratamento de esgoto adotado; na sequência, as questões abordaram a geração de lodo, seu tratamento e disposição final existentes; e, por fim, buscou-se identificar as possibilidades locais, as potencialidades e expectativas dos gestores quanto às melhorias na implementação de processos, necessários para propiciar a escolha mais adequada para a destinação final do LE. Ressalta-se que estas informações são importantes para a tomada de

decisão, pois possibilitam identificar os inúmeros fatores técnicos, econômicos, ambientais e sociais que envolvem os processos.

O questionário elaborado foi submetido a avaliação prévia de técnicos da área de saneamento, para testar sua compreensão e funcionalidade. O encaminhamento ocorreu no período de fevereiro a março de 2019. Com o retorno dos questionários, avaliou-se a sua aplicabilidade e eficácia para o objetivo proposto, que era conhecer a realidade e as possibilidades de cada ETE, relativas ao tratamento e destinação final do LE, com o propósito de contribuir para uma decisão consciente e apropriada. As recomendações dos profissionais foram incorporadas visando melhorar o questionário e torná-lo mais adequado à prática.

Resultados e discussão

O lodo de esgoto: revisão sobre o tratamento e a destinação final

Segundo a literatura especializada, existem dois conceitos para o resíduo sólido oriundo do tratamento de esgotos, lodo de esgoto e biossólido. Especialistas consideram que lodo de esgoto é o termo usado para os sólidos antes do tratamento adequado para a disposição final, enquanto que biossólido se trata da valorização desse subproduto, após o tratamento adequado, podendo ser reaproveitado devido ao seu elevado teor em matéria orgânica e nutrientes, implicando em diversos benefícios para o solo, por exemplo (Vanzetto, 2012; Von Sperling, 2014; Batista, 2015; Martins, 2016).

Os principais componentes do LE são, além da matéria orgânica, agentes patogênicos, metais tóxicos e contaminantes orgânicos variados, cujas quantidades variam conforme as características do esgoto afluente e do processo de tratamento adotado (Vanzetto, 2012; Andreoli *et al.*, 2014; Batista, 2015).

Embora seja considerado um resíduo sólido, o LE caracteriza-se por possuir grande umidade, geralmente mais de 95% de água. Portanto, a redução do seu volume propicia uma disposição mais adequada, a redução do custo de transporte e de disposição final, além de minimizar os riscos de poluição ao meio ambiente. Assim, segundo Batista (2015), o lodo removido nas diferentes etapas do tratamento de esgoto, devido ao volume gerado e à composição variável, constitui-se um problema particularmente complexo.

Nesse contexto, é imprescindível o conhecimento dos requisitos necessários à aplicação das técnicas de tratamento de esgoto disponíveis, das características do lodo e seu comportamento nas diversas etapas de tratamento, bem como da quantidade de LE gerada, com vistas a melhor orientar as decisões quanto ao seu processamento e alcançar a qualidade desejável para sua correta utilização ou destinação (Andreoli *et al.*, 2014; Batista, 2015). Essa inter-relação deve ser analisada antes da avaliação de alternativas de processamento e destinação final do LE, visto que nem todo sistema de tratamento de esgoto gera quantidade de lodo suficiente ou mesmo com qualidade aceitável, que justifique o investimento em tecnologias de processamento complexas e caras. Além disso, existem concepções de ETE que não necessitam de descarte contínuo do lodo gerado, como é o caso das lagoas facultativas.

O conjunto de ações destinadas ao tratamento e destinação final do LE compõem o gerenciamento do lodo, conforme a Tabela 1.

Tabela 1. Principais etapas do gerenciamento do lodo e seus respectivos objetivos.

| Etapa | Objetivos | Processos utilizados |
|------------------|---|--|
| Adensamento | Remoção de umidade (redução de volume) | * Adensamento por gravidade * Flotação * Centrífuga * Filtro prensa de esteiras |
| Estabilização | Remoção da matéria orgânica (redução de sólidos voláteis) | * Digestão anaeróbia * Digestão aeróbia * Tratamento térmico * Estabilização química |
| Condicionamento | Preparação para desidratação (principalmente mecânica) | * Condicionamento químico * Condicionamento térmico |
| Desaguamento | Remoção de umidade (redução de volume) | * Leitões de secagem * Lagoas de lodo * Filtro prensa * Centrífuga * Filtro prensa de esteiras * Filtro a vácuo * Secagem térmica |
| Higienização | Remoção de organismos patogênicos | * Adição de cal (caleação) * Tratamento térmico * Compostagem * Oxidação úmida * Outros (radiação gama, solarização, etc) |
| Disposição final | Destinação final dos subprodutos | * Reciclagem agrícola * Recuperação de áreas degradadas * Landfarming * Uso não agrícola (fabricação de lajotas, combustível, etc) * Incineração * Oxidação úmida * Aterro Sanitário |

Fonte: adaptado de Andreoli et al. (2014).

A etapa de higienização do LE é indispensável quando a destinação final adotada for a reciclagem agrícola, para reduzir a patogenicidade a níveis que não venham causar riscos à saúde da população, aos trabalhadores que vão manuseá-lo e impactos negativos ao meio ambiente (Andreoli et al., 2014).

Observou-se que os processos de tratamento do LE apresentam complexidade variada, desde a ação da própria gravidade para decantação do lodo, até a utilização de polímeros ou equipamentos de desidratação mecânica, resultando em teores de umidade cada vez menores, além de implicar em custos também variados. Vanzetto (2012) aborda que os leitões de secagem, por exemplo, são uma das técnicas mais antigas utilizadas, que apresenta simplicidade operacional e baixo custo de implantação, mas em contrapartida, requerem áreas extensas de implantação e clima propício. Enquanto que a utilização de centrífugas

constitui um processo tecnicamente mais complexo e com maiores custos de manutenção e operação, elevado consumo de energia, mas independem das condições climáticas e disposição de área, além de agilizar o processo de desidratação do lodo.

Já com relação à destinação final para o LE, atualmente, estudos e experiências internacionais têm apontado para várias alternativas com foco no seu reaproveitamento. A realidade nacional, no entanto, ainda está aquém do ideal em termos de sustentabilidade. De acordo com Andreoli *et al.* (2014), não há dados consistentes referentes à produção e disposição final de lodo no Brasil. A disposição em aterros sanitários é a alternativa mais utilizada no Brasil, mais ainda é comum no país o lançamento do LE em corpos receptores, comprometendo os benefícios do investimento realizado nos sistemas de coleta e tratamento de esgotos (Andreoli *et al.*, 2014), ou mesmo a sua disposição em valas na área da própria ETE ou aterros controlados, sem a mínima preocupação com a contaminação do solo e lençóis freáticos, além de propiciar transtornos à população do entorno das ETES.

Esta prática está em desacordo com a Lei nº 12305/2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, e a Resolução CONAMA 375/2006, que preconizam como alternativas ambientalmente corretas à destinação final do lodo a sua disposição em aterro sanitário ou a aplicação no solo, esta última com critérios mais rigorosos.

A disposição em aterros sanitários e a incineração são alternativas ambientalmente corretas, mas que desperdiçam o potencial do LE (Frasson, 2011; Andreoli *et al.*, 2014; Rosa *et al.*, 2015; Scalize *et al.*, 2015; Vieira, 2015).

Scalize *et al.* (2015) realizou um mapeamento das principais tendências do uso e disposição do LE no Brasil entre os anos de 2004 e 2014, concluindo que 91.7% das 301 publicações técnico-científicas encontradas, apontam para a aplicação em solo, seja para produção vegetal ou para recomposição de áreas degradadas. E ainda aponta um discreto avanço em pesquisas (8.3% dos artigos) voltadas para outros tipos de reciclagem desse lodo, como na produção de artefatos cerâmicos, na construção civil e geração de energia. Há também estudos sobre a pirólise do lodo (degradação térmica), para produção de biocombustíveis para utilização industrial, como a pesquisa de Pedroza *et al.* (2017) na ETE Vila União, em Palmas/TO.

Sobre a aplicação do LE no solo, que se destaca como maior tendência, alguns estados já desenvolvem trabalhos consistentes há algum tempo, com destaque para o estado do Paraná, além de algumas propostas em São Paulo e no Distrito Federal.

A SANEPAR, Companhia de Saneamento do Paraná, se destaca como referência no gerenciamento do lodo, com a agricultura como destinação final prioritária, atendendo aos parâmetros de qualidade exigidos pela Resolução CONAMA 375/2006 (Brasil, 2006) e gerando um adubo Classe A, que é doado aos agricultores sem custo algum, principalmente da região metropolitana de Curitiba, a uma distância máxima de 140 km e média de 65 km, contribuindo para a recuperação de solos e reduzindo custos com disposição em aterros sanitários (Bittencourt *et al.*, 2017).

Recentemente, em 2018, a Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP) recebeu autorização do Ministério da Agricultura para produzir e comercializar adubo natural a partir do LE, produto chamado de Sabesfértil. A produção ocorrerá inicialmente na ETE Lageado, em Botucatu, onde ao lado foi construída uma estufa de secagem e compostagem do lodo para transformação em adubo. O estudo que levou à criação do Sabesfértil começou no final de 2014, em parceria com a UNESP (Universidade Estadual Paulista) e a FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo). O produto gerado passou por pesquisas na Fazenda Experimental da UNESP, sob a coordenação da Faculdade de Ciências Agrônômicas (FCA), com resultados muito positivos, que garantem a segurança do produto sem qualquer tipo de risco a quem for utilizá-lo, conforme divulgado pela SABESP. O fertilizante orgânico pode ser aplicado por fazendeiros em diversos cultivos, como cana-de-açúcar, café, maçã, laranja, milho, soja. De posse do registro no MAPA (Ministério da Agricultura), resta à companhia definir como será feita a comercialização do fertilizante aos agricultores (SABESP, 2018).

Os benefícios da aplicação do LE no solo vão além de uma solução para o problema de saneamento no país, uma vez que também promove redução da exploração de recursos naturais, como minérios utilizados na fabricação de adubos químicos, na redução de utilização de áreas para construção de aterros sanitários e prolongamento da vida útil dos existentes, além de redução de custos para produtores agrícolas e empresas de saneamento (Rodrigues, 2018). Vieira (2015) destaca que “o reuso do lodo de esgoto com a disposição em solos atende aos requisitos da busca por uma alternativa que traga vantagens agrônômicas, ambientais e econômicas”, além de ser uma alternativa ambiental e socialmente saudável se devidamente atendidas as legislações. Contudo, a autora ressalta a necessidade de mais estudos na área para revisão e atualização das legislações que tratam do tema no Brasil, levando-se em consideração as condições de solos e clima do país, haja vista que foram baseadas em legislações estrangeiras.

Em seu estudo sobre a viabilidade econômica do uso do lodo na agricultura, Rodrigues (2018) comprova que existe rentabilidade econômica para o produtor rural com a substituição de fertilizantes químicos nitrogenados por LE, em algumas culturas específicas, mesmo com o custo de frete para utilizar o LE. Já Martins (2016) avaliou economicamente a produção do lodo de esgoto compostado com e sem material estruturante para fins de uso agrícola, demonstrando que os processos de compostagem e de revolvimento do lodo seco representam 38% e 27% do custo para disposição em aterro, respectivamente, concluindo que qualquer um dos processos adotados será economicamente mais viável do que a disposição em aterro.

Em um trabalho mais recente, Visentin *et al.* (2020) também avaliaram a viabilidade econômica da compostagem do LE produzido na ETE localizada na Fazenda Experimental Lageado, no município de Botucatu, misturado com bagaço de cana-de-açúcar ou casca de eucalipto, em seis cenários. Além do acompanhamento do processo e coleta de dados, os autores elaboram fluxos de caixa representados pela diferença entre o investimento em instalações e equipamentos, custos da operação de compostagem e as receitas de

comercialização do fertilizante orgânico e da economia de custos com transporte e disposição do lodo de esgoto em aterro sanitário. O estudo demonstrou a viabilidade econômica do projeto para a combinação do LE com o bagaço de cana-de-açúcar, tomando-se como receita a comercialização do fertilizante orgânico e a economia de custos com o transporte e a disposição do lodo de esgoto em aterro sanitário, cujos resultados dos cálculos dos indicadores foram: Valor presente líquido (VPL) de R\$ 3,669,997, Taxa interna de retorno (TIR) igual a 84%, Payback descontado (PBD) de 1.3 anos e Relação benefício custo (B/C) de 2.83.

Outra alternativa que visa a sustentabilidade para as ETEs é a geração de energia térmica ou elétrica, através do LE, associado ao aproveitamento também do biogás. A SANEPAR tem apostado nesta tecnologia, através da empresa CS BIOENERGIA, criada em sociedade com a empresa CATALINI em 2014, cujo objetivo é a geração de energia a partir da biodigestão do lodo, adicionado de compostos orgânicos dos resíduos coletados de grandes geradores como shoppings, restaurantes ou CEASA (Centrais de Abastecimento). A usina foi instalada às margens da ETE Belém, em São José dos Pinhais, e está em fase de pré-operação desde 2018. Segundo a empresa, quando estiver em pleno funcionamento, a usina de biodigestão terá em sua primeira fase capacidade instalada de 2.8 MW de energia elétrica, o suficiente para abastecer 2,100 unidades consumidoras ou 8,400 pessoas (SANEPAR, 2018).

Rosa *et al.* (2015) ressalta que estas alternativas se tratam de tecnologias avançadas, com altos custos de instalação e operação, tornando-se inviáveis para ETEs de pequeno e médio porte. De acordo com Matos; Paternostro (2018), o Brasil ainda não consegue realizar esse aproveitamento e se encontra numa fase de adaptação das tecnologias estrangeiras nas estações de tratamento já existentes e que não foram concebidas para tal finalidade. A Tabela 2 relaciona os principais pontos positivos e negativos associados a cada uma das modalidades de destinação final mais comuns, de acordo com Andreoli *et al.* (2014) e Batista (2015). Percebe-se que são muitas as variáveis e os aspectos que devem ser considerados no tratamento e destinação do LE. Contudo, especialistas da área afirmam que estes processos geralmente são negligenciados na concepção das ETEs na maioria dos casos, apesar de representar um percentual de 20 a 60% do custo de operação das mesmas e de implicar em dificuldades operacionais, altos custos emergenciais e geração de impactos ambientais (Andreoli *et al.*, 2014; Vieira, 2015).

Goffi (2017) ressalta que “a limitação de recursos financeiros, a problemática de hierarquia, a necessidade de transparência na decisão, critérios de decisão conflitantes, de naturezas diferentes, e múltiplos objetivos” são alguns dos problemas envolvidos na priorização de projetos na área sanitária. No entanto, a sociedade e as agências ambientais têm sido mais exigentes, cobrando por melhores padrões de qualidade ambiental e forçando os gestores públicos e privados dos serviços de saneamento a tomar posturas mais sustentáveis (Martins, 2016; Silva *et al.*, 2017). Goffi (2017) afirma que toda avaliação neste nível precisa ser feita considerando múltiplos critérios. Estes critérios dizem respeito à aspectos de ordem técnica, econômica, ambiental e social. Desta forma, alguns critérios de viabilidade para avaliação de alternativas de destinação final para o LE, de acordo com a revisão bibliográfica, foram elencados na Tabela 3.

Tabela 2. Vantagens e desvantagens das alternativas de destinação de lodo comumente adotadas

| Alternativa de disposição | Vantagens | Desvantagens | Análise preliminar |
|--|--|---|--|
| Incineração | <ul style="list-style-type: none"> * Redução drástica de volume * Esterilização | <ul style="list-style-type: none"> * Custos elevados * Disposição das cinzas * Poluição atmosférica | É objeto de tratado internacional com o objetivo de diminuir o seu emprego (Convenção Estocolmo 2001) |
| Aterro Sanitário | <ul style="list-style-type: none"> * Baixo custo * Não necessita estabilização | <ul style="list-style-type: none"> * Exigência de teor de sólidos entre 35 e 40%, para reduzir o volume de lodo e a produção de lixiviado * Necessidade de grandes áreas * Localização próxima a centros urbanos * Características especiais de solo * Isolamento ambiental * Produção de gases e percolado * Dificuldade de reintegração da área após desativação * Risco de contaminação do solo e águas subterrâneas, se não operado adequadamente | <p>Alternativa pode ser aplicada nos casos em que as características do lodo não se enquadrem nos requisitos de usos benéficos do resíduo.</p> <p>Pode ser utilizada codisposição em aterro sanitário de resíduos sólidos urbanos.</p> |
| Landfarming - disposição superficial no solo | <ul style="list-style-type: none"> * Degradação microbiana de baixo custo * Disposição de grandes volumes por unidade de área * Não exige estabilização prévia do lodo | <ul style="list-style-type: none"> * Exige grandes áreas * Acúmulo de metais pesados e elementos de difícil decomposição no solo * Possibilidade de contaminação do lençol freático * Liberação de odores e atração de vetores * Dificuldade de reintegração da área após desativação | Não há aproveitamento dos nutrientes do lodo |
| Recuperação de áreas degradadas | <ul style="list-style-type: none"> * Taxas elevadas de aplicação * Resultados positivos sobre a reconstituição do solo e flora | <ul style="list-style-type: none"> * Odores * Limitações de composição e uso * Contaminação do lençol freático, fauna e flora | Muitas áreas de exploração poderiam ser recuperadas e o uso do lodo poderia favorecer a execução dos Planos de Recuperação de Áreas Degradadas - PRADs |
| Reciclagem agrícola | <ul style="list-style-type: none"> * Grande disponibilidade de áreas * Efeitos positivos sobre o solo * Solução a longo prazo * Potencial como fertilizante * Resposta positiva das culturas ao uso | <ul style="list-style-type: none"> * Limitações referentes a composição e taxas de aplicação * Contaminação do solo com metais * Contaminação de alimentos com elementos tóxicos e organismos patogênicos * Odores | O uso do lodo pode minimizar a aplicação de fertilizantes e aumentar a produtividade de várias culturas. |
| Produção de substrato vegetal | <ul style="list-style-type: none"> * Promove o uso integrado de resíduos (lodo de ETE, lodo de ETA, resíduos de poda) * Reduz custo com o uso de fertilizantes minerais * Alta capacidade de retenção de água | <ul style="list-style-type: none"> * Necessidade de grandes quantidades de resíduos estruturantes | Pode ser utilizado na manutenção de grandes jardins e parques. Solução como destinação adequada para os resíduos de poda. |
| Matéria-prima na fabricação de cerâmica vermelha | <ul style="list-style-type: none"> * Alternativa de disposição para lodos cujas características apresentem limitação de aplicação no solo | <ul style="list-style-type: none"> * Exigência de técnicas e maquinários para fabricação * Risco de contaminação, no caso de manejo manual * Exigência de baixo teor de matéria orgânica * Teor de umidade como fator limitante | Possibilidade de uso em olarias para atender o mercado local. |
| Uso na indústria cimenteira | <ul style="list-style-type: none"> * Alternativa de disposição para lodos cujas características apresentem limitação de aplicação no solo | <ul style="list-style-type: none"> * Necessidade de coprocessamento, a altas temperaturas, promovendo poluição atmosférica, caso não operado adequadamente | Assim como a incineração de resíduos, essa alternativa deve ser evitada sempre que possível, devido aos riscos de poluição atmosférica |

Fonte: adaptado de Andreoli et al., 2014 e Batista, 2015.

Tabela 3. Principais critérios para análise de alternativas para destinação final de lodo de esgoto

| Dimensão | Crítérios | Descrição | Autor |
|-----------|--|---|---|
| Econômica | Custo de implantação | Refere-se aos custos de investimento em obras civis, áreas necessárias, mão de obra, equipamentos, material de manuseio ou movimentação do lodo na ETE, instalações elétricas, hidráulicas, licenciamentos. | Vanzetto (2012) e Andreoli et al (2014) |
| | Custo de operação | Refere-se aos custos de amortização e operação de obras civis e equipamentos, manutenções, consumo de energia, consumo de matérias primas, transporte e manuseio, mão de obra, gestão e controle. | |
| Ambiental | Impactos negativos na implantação Impactos negativos na operação Potencial poluidor do lodo Contaminação do lençol freático | Refere-se aos transtornos à população do entorno, geração de odor, ruídos, alterações do tráfego, valorização ou desvalorização imobiliária, atração de insetos, alterações do ambiente (desmatamento, terraplenagem), riscos de contaminação do ar, do solo e da água. | Vanzetto (2012) e Andreoli et al (2014) |
| Social | Aceitabilidade do processo Proteção à segurança e à saúde no trabalho Eliminação de organismos patogênicos Emanação de gases e outros subprodutos tóxicos | Reflete o desempenho operacional e a segurança da alternativa adotada, inferidos pela aceitabilidade da população e dos empregados, aplicação de normas de operação e uso de EPI, pelo controle dos parâmetros microbiológicos do lodo, identificação e tratamento dos gases e subprodutos tóxicos que possam ser problemáticos. | Vanzetto (2012) |
| Técnica | Complexidade de construção e instalação Complexidade operacional Atendimento aos parâmetros exigidos pela legislação Demanda por energia elétrica Demanda por área Consumo de produtos químicos Susceptibilidade ao clima Demanda de estocagem Flexibilidade do processo Características hidrogeológicas da região Presença de áreas agrícolas licenciadas na região Existência de mercado consumidor Presença de grandes geradores de resíduo orgânico na região (supermercados, Ceasa, outros) | Refere-se às implicações hidráulicas, climáticas, às instalações existentes e adequações necessárias, estruturas de projeto; ao desempenho operacional, como tempo de operação, manutenção e eficiência do processo de tratamento; ao monitoramento e controle; ao nível de especialização de mão de obra, ao grau de automação e emprego de tecnologias; à necessidade de áreas para processamento, armazenagem e aplicação; à capacidade do processo em absorver variações de quantidade e qualidade do lodo; à logística e transporte, à identificação de potenciais consumidores do produto final, dentre outros. | Vanzetto (2012), Godoy (2013), Andreoli et al (2014) e Batista (2015) |

Proposta de questionário para avaliação de alternativas de destinação final de LE

O questionário constitui uma ferramenta muito utilizada na pesquisa científica. Seu principal objetivo é subsidiar as informações relevantes para a análise de determinada situação, para a qual se exige uma decisão coerente e assertiva (Melo; Bianchi, 2015).

Conforme já mencionado, são muitas as variáveis e os aspectos que devem ser considerados no tratamento e destinação do LE. Daí a importância de se fazer um levantamento sobre a real situação da ETE e as possibilidades de implementação.

Através de um questionário, os gestores dos serviços de saneamento podem levantar esses dados para avaliar e definir os projetos que sejam tecnicamente viáveis para cada ETE, visando encontrar alternativas com os melhores compromissos, que considerem critérios relacionados às características do ambiente e às preferências do grupo envolvido no processo. De posse destas informações, pode-se elaborar uma matriz de avaliação, que permite visualizar quais os fatores que possuem maior peso dentre as alternativas de destinação final para o LE e assim auxiliar na tomada de decisão. Contudo, o presente trabalho visa apenas a proposição do questionário, como primeira etapa do complexo processo de avaliação de alternativas, ficando a matriz de avaliação como sugestão para trabalhos futuros.

Vanzetto (2012) desenvolveu um complexo trabalho de elaboração de uma metodologia para análise tecnológica das alternativas de desaguamento do lodo de esgoto, e elencou alguns critérios essenciais para tal avaliação. Em função da inter-relação destinação final – processamento do lodo, pode-se inferir, através do trabalho desta autora, que tal correlação se estende para os critérios de avaliação de alternativas, tanto para o tratamento quanto para a destinação final do LE. Assim, foram considerados no questionário 22 critérios, importantes segundo vários autores, apresentados na Tabela 3.

Tais critérios dizem respeito às principais dimensões que o gerenciamento do LE abrange. São aspectos técnicos, ambientais, sociais e econômicos intrínsecos aos processos. Nas dimensões ambientais e sociais, exige-se o cumprimento das legislações vigentes e exigências da sociedade, que prezam pela preservação ambiental, o bem estar e a segurança da população. Já as dimensões técnicas e econômicas estão mais associadas à escolha da estratégia mais compatível com a realidade, pois a escolha de uma tecnologia avançada ou a adoção de uma alternativa de forma generalizada nem sempre significa a alternativa mais adequada para determinada situação. A complexidade, os custos e benefícios das alternativas devem ser avaliadas com propriedade, para não incorrer em ineficiência dos processos e desperdício de recursos, que já são limitados (Vanzetto, 2012; Andreoli *et al.*, 2014).

O fator econômico não deve ser preponderante na tomada de decisões, como é comum se observar nas experiências de países em desenvolvimento, pois muitas vezes ela induz os gestores

Tabela 4. Proposta de questionário para avaliação das alternativas de destinação final de LE (continuação).

9. No caso de haver contaminação com efluentes não domésticos, a empresa tem interesse em melhorar a qualidade do esgoto, visando usos benéficos do lodo?
 Sim Não
10. Quais os processos de tratamento de esgoto sanitário existentes?
 Decantação primária Tratamento biológico anaeróbio
 Precipitação química por coagulantes de ferro ou alumínio outros _____
 Tratamento biológico aeróbio
11. Qual a tecnologia de tratamento de esgoto empregada?
 Lagoas facultativas Lodos ativados convencional
 Reator anaeróbio de manta de lodo (UASB) Lodos ativados aeração prolongada
 Reator UASB + pós tratamento Infiltração
 Tanques sépticos Capineiras
 Filtros anaeróbios Biorreator de membrana
 Filtro biológico percolador Wetlands
 Biofiltros aerados sumersos outros _____
12. Que tipo de lodo é produzido na ETE?
 Lodo primário ou bruto Lodo anaeróbio estabilizado
 Lodo digerido Lodo misto
 Lodo aeróbio não estabilizado Lodo químico
 Lodo aeróbio estabilizado
13. Qual a quantidade de lodo gerada na ETE?
 Alta Média Baixa
14. Existe processamento de lodo na ETE?
 Sim Não Parcialmente
15. Quais as unidades de processamento de lodo existentes na ETE?
 Adensamento Desaguamento
 Estabilização Higienização
 Condicionamento Compostagem
16. Caso exista, como é feita a desidratação do lodo?
 Leitões de secagem Filtros à vácuo
 Lagoas de lodos Prensas desaguadoras
 Centrífugas Filtros prensa
 outros _____
17. O lodo apresenta alguma característica extrema (metais tóxicos, compostos orgânicos persistentes), maior do que a considerada normal?
 Sim Não Não há dados
18. Existe algum processo de higienização do lodo? Qual?
 Compostagem (leiras) Calagem
 Compostagem (reator) Secagem térmica
 Digestão aeróbia autotérmica Incineração
 Pasteurização Não existe
19. Como o lodo é armazenado na ETE até a sua disposição final?
 Caçambas descobertas Contêiner
 Caçambas cobertas outros _____
20. Atualmente, qual a destinação final adotada para o lodo gerado na ETE?
 Aterro controlado na área da ETE Incineração
 Aterro sanitário na área da ETE Disposição no solo
 Aterro sanitário municipal outros _____
 Aterro sanitário privado
21. Qual o tipo de transporte utilizado para movimentação externa do lodo?
 Caçamba Contêiner
 Caminhão basculante outros _____
22. Alguns estados brasileiros já instituíram o Manifesto de Transporte de Resíduos (MTR), cujo objetivo é o controle e a gestão de resíduos pelos órgãos do Sistema Estadual de Meio Ambiente. Caso exista em seu estado, o mesmo está sendo preenchido?
 Sim Não

Tabela 4. Proposta de questionário para avaliação das alternativas de destinação final de LE (continuação).

23. A ETE possui área disponível para implantação de novas unidades de tratamento, caso necessário?
() Sim () Não
24. Existem áreas licenciadas disponíveis no entorno da ETE, como possibilidade de ampliação?
() Sim () Não
25. É necessária a incorporação de outros equipamentos para o gerenciamento adequado do lodo?
() Sim () Não
26. Qual o grau de automação da ETE?
() Nenhum () Médio
() Baixo () Alto
27. Já houve interesse de consumidores locais no reaproveitamento do lodo?
() Sim () Não
() Não há dados
28. Quais problemas mais relevantes envolvem o gerenciamento do lodo na ETE em questão?
() Baixo desempenho na desidratação do lodo
() Ausência de área para desidratação e acondicionamento do lodo
() Emissão de odor e atração de vetores
() Condições climáticas locais desfavoráveis para desidratação do lodo
() Mão-de-obra insuficiente ou desqualificada para o tratamento/manuseio do lodo
() Indisponibilidade financeira para implantação ou alteração de processos
() Baixa produção de lodo
() Produção de lodo maior que estimada em projeto
() Composição do lodo de diversas origens
() Ausência de controle laboratorial da qualidade do lodo
() Paralisações constantes devido manutenções dos equipamentos
() Rotina operacional de descarte de lodo insuficiente
() Dificuldade de remoção do lodo do processo de tratamento
() Altos custos com transporte do lodo
() Altos custos de destinação final do lodo
() Elevado consumo de energia elétrica
() Considerável consumo de produtos químicos
() Remoção e destinação inadequados
() Dificuldades operacionais (compactação do lodo, períodos chuvosos, colmatação do lodo em drenos internos, outros)

Conclusões

A revisão de literatura proporcionou o conhecimento das dificuldades que envolvem o gerenciamento e a destinação final do lodo de esgoto no Brasil, tornando tais decisões muito complexas e até conflitantes, e revelando que há necessidade de mais estudos na área, padronizações e atualização ou mesmo aprovação de legislações mais flexíveis e coerentes com a realidade nacional.

A proposta de questionário apresentada por este trabalho demonstrou ser uma ferramenta útil, objetiva e coerente para obtenção de informações que visam uma análise prévia dos processos envolvidos na escolha da destinação adequada para o lodo de esgoto, bem como dos critérios mais relevantes de acordo com os objetivos dos gestores, o que subsidiará uma avaliação mais completa para orientar uma decisão viável e satisfatória. Através desta análise prévia é possível elaborar uma matriz de avaliação de alternativas, que elencará quais as soluções mais viáveis para cada caso.

Referências bibliográficas

- ANA, Agência Nacional de Águas (2017) *Atlas esgotos: despoluição de bacias hidrográficas*, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, Brasília: Acesso em: 01 ago 2018, disponível em: http://arquivos.ana.gov.br/imprensa/publicacoes/ATLASESGOTOSDespoluicaoDeBaciasHidrograficas-ResumoExecutivo_livro.pdf
- Andreoli, C. V., Von Sperling, M., Fernandes, F. (2014) *Lodo de esgotos: tratamento e disposição final*, 2a ed., UFMG, Belo Horizonte, 444 pp.
- Batista, L. F. (2015) *Lodos gerados nas estações de tratamento de esgotos no Distrito Federal: um estudo de sua aptidão para o condicionamento, utilização e disposição final*, Dissertação (Mestrado), Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 197 pp. Acesso em: 18 maio 2018, disponível em: <http://repositorio.unb.br/handle/10482/18139>
- Bittencourt, S., Aisse, M. M., Serrat, B. M. (2017) *Gestão do uso agrícola do lodo de esgoto: estudo de caso do estado do Paraná*, *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, **22**(6), 1129-1139. Acesso em 09 jun 2018, disponível em: https://www.researchgate.net/publication/322362722_Gestao_do_uso_agricola_do_lodo_de_esgoto_estudo_de_caso_do_estado_do_Parana_Brasil
- CONAMA, Conselho Nacional do Meio Ambiente (2006) *Resolução CONAMA nº 375*, Diário Oficial da República Federativa do Brasil, 29 de agosto de 2006. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm
- Brasil (2010) *Lei nº 12.305*, Diário Oficial da República Federativa do Brasil, 02 de agosto de 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm
- SABESP, Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (2018) *Sabesp transforma lodo gerado no tratamento de esgoto em adubo*. Acesso em: 04 mar 2019, disponível em: <http://site.sabesp.com.br/site/imprensa/noticias-detalle.aspx?secaoid=65&id=7905>
- SANEPAR, Companhia de Saneamento do Paraná (2018) *Sanepar apresenta soluções sustentáveis no Smart City Expo*. Acesso em: 24 de março de 2019, disponível em: <http://site.sanepar.com.br/noticias/sanepar-apresenta-solucoes-sustentaveis-no-smart-city-expo>
- Frasson, A. C. (2011) *Escolha de alternativa tecnológica para tratamento e destino final de lodo gerado no tratamento de efluentes líquidos de agroindústrias com base no método AHP*, Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 70 pp. Acesso em: 15 ago 2018, disponível em: <http://www.bibliotecadigital.uel.br/document/?code=vtls000166569>
- FEAM, Fundação Estadual do Meio Ambiente (2018), *Orientações básicas para operação de estações de tratamento de Esgoto*, Belo Horizonte. Acesso em: 27 maio 2018, disponível em: <http://www.feam.br/images/stories/2015/Minas trata esgoto/Anexo 3 - Cartilha ETE final - Vers%C3%A3o 2015.pdf>
- Godoy, L. C. de (2013) *A logística na destinação do lodo de esgoto*, *Revista Científica On-line: Tecnologia, Gestão e Humanismo*, **2**(1), 79-90. Acesso em: 10 jun 2018, disponível em: <http://www.fatecguaratingueta.edu.br/revista/index.php/RCO-TGH/article/view/43>
- Goffi, A. dos S. (2017) *Uso da análise multicritério para a seleção de tecnologias de tratamento de efluentes*, Dissertação (Mestrado), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 113 pp. Acesso em: 15 ago. 2018, disponível em: http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/2433/1/PB_PPGEPS_M_Goffi_Andr%C3%A9ia%20dos%20Santos_2017.pdf
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2017) *Perfil dos municípios brasileiros: Coordenação de população e indicadores sociais*. Acesso em: 22 set. 2018, disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101595.pdf>

- Lee, E. S. H. (2011) Caracterização do lodo proveniente de estação de tratamento de esgoto (ETE) e estudo sobre seu potencial energético, *Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental*, Londrina, Brasil. Acesso em: 19 maio 2018, disponível em: <https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2011/X-001.pdf>
- Martins, S. F. (2016) *Análise econômica da produção de lodo de esgoto compostado para uso na agricultura*, Dissertação (Mestrado), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 60 pp. Acesso em: 23 jun 2018, disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/144598>
- Matos, M. D. D., Paternostro, A. G. (2018) *Pesquisa exploratória de tecnologias para geração de energia a partir do tratamento de efluente líquido*, *Cadernos de Prospecção*, **11**(1), 114-126. Acesso em: 20 maio 2018, disponível em: <https://portalseer.ufba.br/index.php/nit/article/view/23199>
- Melo, W. V. de, Bianchi, C. S. (2015) Discutindo estratégias para a construção de questionários como ferramenta de Pesquisa, *Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia*, **8**(3). Acesso em: 05 jan 2019, disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rbect/article/view/1946>
- Mendonça, S. R., Mendonça, L. C. (2016) *Sistemas sustentáveis de esgotos: orientações técnicas para projeto e dimensionamento de redes coletoras, emissários, canais, estações elevatórias, tratamento e reúso na agricultura*, 2a ed., Blucher, São Paulo, 364 pp.
- Pedroza, M. M., Pedrosa, A. L., Paz, E. C. S., Vieira, G. E. G., Souza, J. F. (2017) Pirólise de lodo de esgoto em cilindro rotativo para a produção de biocombustíveis, *Revista AIDIS*, **10**(2), 151-163. Acesso em: 07 jun 2018, disponível em: <http://revistas.unam.mx/index.php/aidis/article/view/56600>
- Rodrigues, J. S. B. (2018) *Viabilidade econômica da utilização de lodo de esgoto na substituição da adubação química Nitrogenada*, Dissertação (Mestrado), Universidade do Sagrado Coração, Bauru, 66 pp. Acesso em: 04 mar 2019, disponível em: <https://tede2.usc.br:8443/handle/tede/436>
- Rosa, A. P., Chernicharo, C. A. L., Melo, G. C. B. (2015) Contribuição para o aproveitamento energético do lodo de ETES em processos térmicos, *Revista DAE*, **63**(198), 55-62.
- Scalize, P. S., Castro, A. L. F. G., Silva, O. R. (2015) Cenário da disposição do lodo de esgoto: uma revisão das publicações ocorridas no Brasil de 2004 a 2014, *Multi-Science Journal*, **1**(2), 66-73. Acesso em: 19 maio 2018, disponível em: <https://repositorio.bc.ufg.br/xmlui/handle/ri/14570>
- Silva, A. L., Monção, S. H., Vianna, R., Nery, I. M. (2017) Análise de alternativas de processo e disposição de lodo de esgoto na agricultura: quando a atratividade econômica e a preservação ambiental caminham juntas, *Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental*, São Paulo, Brasil. Acesso em: 10 ago 2018, disponível em: <https://www.tratamentodeagua.com.br/wpcontent/uploads/2017/11/III-197.pdf>
- Vanzetto, A. S. (2012) *Análise das alternativas tecnológicas de desaguamento de lodos produzidos em estações de tratamento de esgoto*, Dissertação (Mestrado), Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 159 pp. Acesso em: 06 ago 2018, disponível em: <http://repositorio.unb.br/handle/10482/12062>
- Vieira, T. A. (2015) *Implicações da disposição de lodo de estação de tratamento de esgoto em solo no Brasil*, Monografia (Graduação), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 44 pp. Acesso em: 19 maio 2018, disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/132440>
- Visentin, R., Mateus, C., Esperancini, M., Villas Boas, R. (2020) *Viabilidade econômica da compostagem de lodo de esgoto para uso agrícola*, *Revista Holos Environment*, **20** (2), 152-167. Acesso em: 12 mar 2020, disponível em: <https://www.cea-unesp.org.br/holos/article/view/12372>
- Von Sperling, M. (2014) *Introdução à qualidade da água e ao tratamento de esgoto: Princípio do tratamento biológico de águas residuárias*, 4a ed., UFMG, Belo Horizonte, 452 pp.