



REVISTA AIDIS

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

PRODUÇÃO DE BIOSÓLIDO AGRÍCOLA POR MEIO DA COMPOSTAGEM DE LODO DE ESGOTO

Ísis Danielle Sousa¹
* Davi Santiago Aquino²

PRODUCTION OF AGRICULTURAL BIOSOLID BY COMPOSTING SEWAGE SLUDGE

Recibido el 4 de mayo de 2020. Aceptado el 4 de junio de 2021

Abstract

Less than half of the Brazilian population has access to some type of domestic sewage collection and treatment. Sewage sludge is a costly and often neglected by-product of the effluent treatment processes, and its final disposal can be problematic. Composting is an option for sludge management and treatment, where the product (biosolid) can potentially be used in agriculture. The objective of this work was to verify the feasibility of composting sewage sludge from anaerobic ponds at Rio Verde, State of Goiás, Brazil, and to evaluate the efficiency of this technique in the production of biosolid. The open environment composting process lasted for 60 days, and the resulting compost showed 48% removal of organic matter, in addition to an improvement in its physical-chemical quality. However, the final concentration of thermotolerant coliforms was not in line with the requirements of Brazilian legislation, therefore requiring an hygienization additional step before agricultural use.

Keywords: anaerobic pond, domestic sewage, stabilization.

¹ BRK Ambiental. Rio Verde, Goiás, Brasil.

² Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia, campus Eunápolis, Brasil.

* Autor correspondente: Laboratório de Hidráulica, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia, campus Eunápolis, Av. David Jonas Fadini, s/n - Juca Rosa, Eunápolis - Bahia, Brasil, zip code: 45823-431. Email: davi.aquino@ifba.edu.br

Resumo

A proporção da população brasileira com acesso a coleta e a algum tipo de tratamento de esgotos domésticos é abaixo da metade. O lodo, subproduto de maior volume gerado durante os processos de tratamento de efluentes, apresenta gerenciamento e disposição final onerosos e frequentemente negligenciados, comprometendo parcialmente os efeitos benéficos dos sistemas de esgotamento sanitário. Uma das opções de gerenciamento e tratamento do lodo é a técnica de compostagem, cujo produto tem potencial de utilização agrícola e é chamado de biossólido. Objetivou-se, com este trabalho, verificar a viabilidade da compostagem do lodo de esgoto doméstico produzido nas lagoas anaeróbias da cidade de Rio Verde, Goiás, Brasil, e avaliar a eficiência dessa técnica na produção de biossólido. O processo de compostagem teve duração de 60 dias em ambiente aberto e o composto produzido apresentou 48% de remoção de matéria orgânica, além de melhoria na sua qualidade físico-química. Entretanto, a concentração final de coliformes termotolerantes apresentou inconformidade com a exigência da legislação brasileira, requerendo, portanto, uma etapa adicional de higienização com vistas à sua utilização agrícola.

Palavras chave: esgoto doméstico, estabilização, lagoa anaeróbia.

Introdução

O Brasil tem sua população estimada em mais de 220 milhões de pessoas, no tempo base de abril de 2020, que vivem em 5,570 municípios (IBGE, 2020). Entretanto, apenas 43% dessa população possui seus esgotos domésticos coletados e que passam por algum tipo de tratamento (ANA, 2020), não necessariamente atendendo aos padrões nacionais de lançamento de efluentes em cursos d'água (Brasil, 2011). Ainda em relação à população nacional, 12% possuem solução individual de esgotamento sanitário, como as fossas; 18% têm seus esgotos coletados, porém não tratados e 27% não possuem acesso nem a coleta nem a tratamento de esgotos (ANA, 2020).

Além do desafio de universalização de coleta e de tratamento dos esgotos domésticos, o Brasil precisa de adequado planejamento e ajuste de políticas públicas para gerenciamento do lodo gerado nas estações de tratamento de esgotos (ETE). O gerenciamento desse lodo é uma atividade de grande complexidade e de alto custo, que, se for mal executada, pode comprometer os benefícios sanitários e ambientais esperados. Devido aos baixos índices de cobertura de esgotamento sanitário, com adequadas etapas de coleta e de tratamento de esgotos no Brasil, há uma perspectiva de aumento significativo da quantidade de ETEs no país, com a decorrente maior produção de lodo (von Sperling e Andreoli, 2014).

Por sua vez, o esperado aumento da produção de lodo em território nacional propicia uma oportunidade a um dos potenciais destinos do lodo de esgoto, que é a agricultura, uma vez que na atividade agrícola há cada vez mais necessidade de se buscar fontes alternativas de fertilizantes que diminuam os custos de cultivos agrícolas e que tragam maiores opções aos produtores, adequando a exploração dos recursos naturais (von Sperling, 2014). A comunidade científica tem estudado os impactos da aplicação de lodos de esgotos em cultivos agrícolas e em áreas degradadas que precisam

de recuperação, visto que o lodo fornece nutrientes às plantas e ao solo, além de propiciar benefícios às propriedades físicas do solo (Afáz *et al.*, 2017; Barbosa *et al.*, 2017; Bittencourt, 2018; Dalpisol *et al.*, 2017; Knopik *et al.*, 2018; Kulikowska, 2016; Zhang *et al.*, 2018).

Pereira *et al.* (2020) objetivaram utilizar o lodo de esgoto doméstico advindo de um reator anaeróbio de fluxo ascendente como substrato para produção de mudas de Ipê roxo, mas embora o lodo fresco tivesse concentrações adequadas de macros e micronutrientes, este apresentou inconformidade microbiológica, em relação a ovos de helmintos e a coliformes termotolerantes, sendo necessária portanto uma etapa de higienização.

Diversos são os processos de higienização de lodos de esgotos, sendo os principais: compostagem, digestão aeróbia autotérmica, caleação ou estabilização alcalina, secagem térmica, pasteurização e incineração (Pinto, 2014; von Sperling, 2014).

A compostagem é um processo aeróbio de decomposição da matéria orgânica efetuada por intermédio de condições controladas de temperatura, umidade, teor de oxigênio e nutrientes, de forma que o produto da compostagem de lodo de esgoto produz o biossólido, que é um composto de elevado valor agrônômico como condicionador de solos. Tanto o lodo bruto quanto o lodo digerido podem ser compostados. Ademais, materiais como cavacos de madeira, folhas, resíduos verdes, palhas, serragem ou outros agentes estruturantes precisam ser adicionados ao lodo para equilibrar a relação entre carbono e nitrogênio (C/N), aumentar a porosidade e melhor reter a umidade (Pinto, 2014).

Para assegurar a qualidade físico-química e a conformidade microbiológica de biossólidos no Brasil, o Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) publicou em 30 de agosto de 2006 a Resolução 375/06, a qual “Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências” (Brasil, 2006).

Nesta conjuntura, o presente trabalho objetivou avaliar a viabilidade da produção de biossólido pela compostagem de lodos advindos de lagoas anaeróbias de uma estação de tratamento de esgotos domésticos no estado de Goiás, Brasil.

Material e métodos

Localização e caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido entre início de junho e final de agosto de 2015 na Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Sapo, localizada no município de Rio Verde, no sudoeste do estado de Goiás, Brasil. A entrada dessa ETE localiza-se nas coordenadas 17°49'41.83" de Latitude Sul e 50°54'37.32" de

Longitude Oeste. Essa estação recebe exclusivamente esgotos domésticos e é operada desde o ano de 2001. O processo de tratamento é inicialmente constituído pela sua fase preliminar, composta por gradeamento fino e desarenador retangular. Na sequência do tratamento, conforme se apresenta na Figura 1, a ETE é composta por dois sistemas paralelos de lagoas de estabilização, denotados no presente trabalho por sistema 1 e sistema 2, S1 e S2, respectivamente.



Figura 1. Sistemas de lagoas de estabilização da ETE Sapo.

Fonte: Elaboração dos autores.

Os sistemas S1 e S2 são idênticos quanto à sua geometria e cada um deles é composto por uma lagoa anaeróbia, uma lagoa facultativa e duas lagoas de maturação. A estação foi projetada para uma vazão média de 256 L s^{-1} de esgotos.

As dimensões em planta das lagoas, relativas ao nível d'água para a vazão de projeto, e outras informações inerentes, tais como profundidade, volume útil e tempo de detenção hidráulica estão apresentadas na Tabela 1. Desde sua operação, iniciada no ano de 2001, conforme já abordado, até a realização do experimento, objeto do presente trabalho, nunca houve qualquer remoção de lodo das lagoas de estabilização. Em 2014, a empresa responsável pela operação da estação realizou um estudo batimétrico para se estimar o volume de lodo acumulado nas lagoas. Verificou-se que as alturas de lodo nas lagoas anaeróbias eram de 2.57 m para o sistema 1 e de 2.31 m para o sistema 2, equivalente a aproximadamente $18,000 \text{ m}^3$ de lodo em cada lagoa. Von

Sperling (2017) recomenda que a remoção de lodo em lagoas anaeróbias seja de tal forma que a camada de lodo não ocupe mais que um terço da sua profundidade útil. No caso das lagoas anaeróbias da ETE Sapo, isso equivale a aproximadamente 1.7 m, ou seja: devido ao elevado tempo de operação sem remoção de lodo, essas lagoas já tinham seu volume útil comprometido em relação aos critérios de projeto.

Tabela 1. Dados de projeto da ETE Sapo.

| Lagoa | Comprimento (m) | Largura (m) | Profundidade (m) | Volume útil (m ³) | Tempo de detenção hidráulica (dias) |
|-------------|-----------------|-------------|------------------|-------------------------------|-------------------------------------|
| Anaeróbia | 115.3 | 52.1 | 5.0 | 22,246 | 3.0 |
| Facultativa | 316.5 | 77.0 | 1.7 | 45,636 | 8.4 |
| Maturação | 136.0 | 77.0 | 1.5 | 14,775 | 4.0 |

Fonte: Medeiros et al., (2019).

Coleta e secagem do lodo

Coletaram-se amostras compostas em ambos os sistemas e não se procedeu à mistura das amostras entre os sistemas, visto que cada sistema foi delineado como um tratamento estatístico. Em cada lagoa anaeróbia coletou-se um volume de aproximadamente 180 L de lodo, por intermédio de uma retroescavadeira, cuja concha possui 60 L de capacidade. As coletas do lodo ocorreram em locais próximos à borda das lagoas, devido a uma limitação operacional referente à extensão do braço da retroescavadeira (Figura 2A).

O lodo fresco coletado em cada lagoa foi homogeneizado e disposto para secagem natural. Esta secagem ocorreu em caçamba metálica para drenagem e remoção natural do excesso de umidade (Figura 2B). O método de drenagem consistiu em colocar uma manta permeável tipo Bidim[®] nos drenos do tubo de ferro fundido, para que todo o material sólido ficasse retido e a água intersticial escoasse de volta às respectivas (Figura 2C).

O método de secagem natural, que consiste em deixar o lodo à céu aberto, com influência do clima e de ações ambientais, é mais lento do que os mecanizados, como centrífugas, filtros à vácuo, filtros prensa, prensas desaguadoras ou secagem térmica. Todavia, a secagem natural não apresenta elevados custos operacionais e é operacionalmente simples, pois utiliza os processos de evaporação e de percolação como principais mecanismos de remoção da água em excesso no lodo (Gonçalves et al., 2014). O processo de secagem do lodo fresco durou 15 dias, embasado nas considerações de Jordão e Pessôa (2014) mediante as quais, nas condições brasileiras, têm-se observado remoções do excesso da umidade do lodo em secagem natural em períodos que variam de 12 a 20 dias.



Figura 2. Coleta de lodo em lagoa anaeróbia (2A) e sua disposição (2B) em caçamba metálica (2C) para remoção do excesso de umidade.

Compostagem do lodo

O processo de compostagem realizou-se ao solo e foi feito sem cobertura ou estufa. Para impermeabilização da área, a fim de se evitar possível contaminação do solo, utilizaram-se lonas de polietileno com 4.0 X 5.0 m de dimensões.

O lodo fresco ou bruto de esgoto apresenta geralmente granulometria muito fina e assim o processo de compostagem seria difícil de realizar somente com esse material, pois fatalmente apresentaria problemas relativos à aeração devido à falta de espaços intersticiais entre as partículas. Esta é uma das principais razões para se combinar o lodo com outro resíduo de granulometria mais grossa, o que confere estrutura porosa à mistura a ser compostada (Prosab, 2001).

Desta forma, para estruturar as pilhas da compostagem, misturou-se a grama tipo *Zoysia japônica*, popularmente conhecida grama esmeralda, três dias depois de podada e já seca. A proporção utilizada foi de 1 parte de lodo para 3 partes de material estruturante, em volume. Após secagem do lodo, procedeu-se à sua mistura com a grama na área impermeabilizada e sem ocorrência de sombreamento. Formaram-se duas pilhas para compostagem, uma relativa ao lodo do sistema 1 e outra do sistema 2. As pilhas tiveram dimensões de 1.0 X 1.5 X 1.5 m e a compostagem teve duração de 60 dias. O revolvimento manual foi realizado três vezes por semana, com controle de umidade conforme recomendações de Prosab (2001).

Análises laboratoriais e estatísticas

De cada uma das duas pilhas de compostagem, foram realizadas análises semanais de série de sólidos (totais, fixos e voláteis), temperatura e umidade. Ademais, mensalmente, procedeu-se às análises de coliformes termotolerantes, ovos viáveis de helmintos, pH, carbono orgânico total e nitrogênio Kjeldahl total. As análises semanais foram realizadas no Laboratório de Águas e Efluentes do Instituto Federal Goiano campus Rio Verde (à exceção da temperatura amostral, que se realizou em campo) e as mensais em laboratório externo contratado para tal finalidade, com sede em Uberlândia, Minas Gerais.

Os procedimentos de coleta e preservação de amostras seguiram o que estabelece Cetesb (2011). As análises laboratoriais seguiram os métodos analíticos, conforme recomendações de APHA *et al.* (2012) e de Embrapa (2011). Apresentam-se na Tabela 2 informações sobre a periodicidade das amostras e os métodos analíticos das análises realizadas para os parâmetros de monitoramento.

Tabela 2. Parâmetros, número de amostras e métodos analíticos utilizados na caracterização do bio sólido.

| Parâmetro | Periodicidade | Quantidade de amostras | Método analítico |
|----------------------------|---------------|------------------------|-------------------------|
| Sólidos totais | semanal | 30 | SMWW 2540 |
| Sólidos fixos | semanal | 30 | SMWW 2540 |
| Sólidos voláteis | semanal | 30 | SMWW 2540 |
| Coliformes termotolerantes | mensal | 03 | SMWW 9223 |
| Umidade | semanal | 30 | SMWW 2540 |
| Ovos viáveis de helmintos | mensal | 03 | Sedimentação espontânea |
| pH | mensal | 03 | Água 1:2,5 |
| Carbono total | mensal | 03 | Walkley e Black |
| Nitrogênio Kjeldahl total | mensal | 03 | Arraste de vapor |

Com as análises físico-químicas e microbiológicas da compostagem concluídas, os dados coletados passaram por uma avaliação estatística para melhor interpretação dos resultados. A análise por meio da estatística descritiva consistiu na obtenção dos valores máximos e mínimos, média, mediana, desvio padrão e variância por intermédio do uso de função específica do programa computacional Microsoft Excel®.

No final do processo da compostagem, os dados dos parâmetros analisados foram comparados com os valores de referência da Resolução 375/2006 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (Brasil, 2006), para se avaliar a viabilidade do uso agrícola do bio sólido obtido.

Resultados e discussão

Apresenta-se na Tabela 3 a síntese dos valores dos parâmetros de avaliação durante a compostagem das amostras do lodo das lagoas anaeróbias dos sistemas 1 e 2 da ETE Sapo, utilizando grama esmeralda como material estruturante.

Tabela 3. Caracterização das amostras coletadas da compostagem.

| Parâmetro | Sistema | Inicial | Final |
|---|---------|----------------------|----------------------|
| pH | S1 | 6.90 | 4.84 |
| | S2 | 6.23 | 4.64 |
| Umidade (%) | S1 | 18.7 | 39.2 |
| | S2 | 16.4 | 35.0 |
| Relação C/N | S1 | 25.51 | 3.59 |
| | S2 | 30.28 | 2.89 |
| Temperatura amostral (° C) | S1 | 21.8 | 44.20 |
| | S2 | 23.00 | 42.00 |
| Sólidos totais (g/kg) | S1 | 0.81 | 0.61 |
| | S2 | 0.84 | 0.65 |
| Sólidos fixos (g/kg) | S1 | 0.17 | 0.28 |
| | S2 | 0.15 | 0.28 |
| Sólidos voláteis (g/kg) | S1 | 0.64 | 0.33 |
| | S2 | 0.69 | 0.37 |
| Sólidos voláteis / Sólidos totais | S1 | 0.79 | 0.54 |
| | S2 | 0.83 | 0.57 |
| Coliformes Termotolerantes (NMP/g de ST) | S1 | 8.68x10 ⁹ | 1.86x10 ⁴ |
| | S2 | 1.86x10 ⁸ | 1.17x10 ⁵ |

C/N: carbono/nitrogênio; NMP número mais provável; ST: sólidos totais.

O laboratório responsável pelas análises de ovos viáveis de helmintos não as executou de maneira quantitativa como exige a Resolução CONAMA 375/06, mas qualitativa. Dessa forma, esses resultados só se mostraram como “presente” e em nenhum dos 3 tempos (0, 30 e 60 dias) constou como “ausente”. Desta forma, não é possível enquadrar os compostos finais dos sistemas S1 e S2 quanto a este parâmetro, o qual para ser classificado como classe A precisa apresentar valor menor que 0.25 ovo por grama de sólidos totais (ST), entre outros requisitos (Brasil, 2006).

Todavia, ainda em alusão à esta Resolução, ambos os compostos obtidos apresentaram valores em conformidade para coliformes termotolerantes para a classe B de biossólidos, visto que foram menores que 10³ número mais provável por grama de ST (NMP/g ST). De toda forma, de acordo com as disposições da legislação nacional, os compostos obtidos não apresentaram conformidade microbiológica para sua utilização agrícola (Brasil, 2006).

Para se atingir os valores de conformidade quanto a patógenos, o biossólido necessitaria de uma etapa posterior de higienização. Os mecanismos para redução da patogenicidade do lodo a níveis que não venham a causar riscos à saúde da população ocorrem por vias térmica, química, biológica ou de radiação (Pinto, 2014). Dentre as opções por via química, poderia ser utilizada para o composto obtido no presente estudo a caleação pelo uso de cal virgem ou cal hidratada, pelo seu baixo custo e simplicidade operacional (Jordão e Pessôa, 2014). Entretanto, ao utilizar cal virgem a 30%, Pereira *et al.* (2020) observaram que a caleação prejudicou o crescimento das mudas de mudas de Ypê roxo, que tinham lodo de esgoto anaeróbio como substrato, em diferentes proporções. Barros *et al.* (2011) também utilizaram caleação do biossólido a 30% e observaram diminuição dos teores de nutrientes do biossólido.

Ademais, a resolução CONAMA nº 375/06 exige que a compostagem atinja uma temperatura mínima de 40 °C, durante pelo menos cinco dias, com a ocorrência de um pico de 55°C, ao longo de quatro horas sucessivas durante este período (Brasil, 2006). A temperatura amostral das pilhas de compostagem do presente trabalho apresentou-se acima dos 40 °C do 21º ao 30º dia para o biossólido do sistema 1 e o foi do 22º ao 30º dia de compostagem para o sistema 2, atendendo, portanto, ao preconizado pela referida resolução. Todavia, não se obtiveram temperaturas da ordem de 55 °C, visto que os máximos valores observados desse parâmetro foram 46.7 °C para o sistema 1 e 47.9 °C para o sistema 2. Desta forma, o insucesso na obtenção do pico de temperatura pode ter interferido na eficiência do processo de inativação dos microrganismos patogênicos.

Quanto ao comportamento dos parâmetros físico-químicos do composto, observa-se pela análise da Tabela 3 que a concentração de sólidos voláteis (SV) foi diminuída em 48% para o biossólido advindo do sistema 1 e em 46% para o do sistema 2, fato que está em consonância com o Anexo I da Resolução CONAMA 375/2006, o qual especifica que esta redução deve ser de no mínimo 38% para verificar se o processo de tratamento adotado para o lodo de esgoto reduz o potencial de disseminação de doenças por meio de vetores, como moscas, roedores e mosquitos (Brasil, 2006).

É importante observar a significativa diminuição da relação C/N na compostagem de ambas as amostras, diminuição essa que foi de 25.51 para 3.59 (sistema 1) e de 30.28 para 2.89 para o sistema 2, implicando numa redução média de 88%. Percentuais semelhantes de diminuição desta relação foram observados por Siebielska e Sidelko (2015), ao realizarem compostagem de lodo de esgoto doméstico com resíduo sólido urbano. Esses autores atribuíram o grande decréscimo ao fato da maior biodegradabilidade do carbono em relação ao nitrogênio durante a compostagem.

A relação final de C/N de 3.59 para o composto do sistema 1 e de 2.89 para o sistema 2 foram valores sobremaneira baixos, uma vez que a faixa ótima situa-se entre 20 e 30, de acordo com a maior ou menor biodegradabilidade do substrato (Epstein, 2003). Tal fato pode ter influenciado negativamente no processo de compostagem, uma vez que tanto a falta de nitrogênio quanto a falta de carbono limitam a atividade microbiológica (Pinto, 2014).

Outros estudos que obtiveram conformidade perante à legislação nacional do uso do bio sólido por compostagem observaram relação C/N ao final do processo próxima à faixa ótima supramencionada (Barros, *et al.*, 2011; Corrêa *et al.*, 2007; da Silva *et al.*, 2008; Lima *et al.*, 2018). No estudo realizado por Moretti *et al.* (2015), a relação C/N decresceu de 25:1 para 12:1 ao final de 60 dias de compostagem e houve diminuição dos coliformes termotolerantes de 10^7 para 10^3 NMP/g ST.

Por sua vez, quanto à relação de sólidos voláteis por sólidos totais, a qual expressa a quantidade de matéria orgânica no composto (von Sperling, 2014), esta apresentou reduções de 32% para o sistema 1 e de 31% para o sistema 2, resultando ao final da compostagem nos respectivos valores de 0.54 e 0.57, valores estes em conformidade com a exigência nacional que especifica que para fins de utilização agrícola, o bio sólido é considerado estável quando a relação entre sólidos voláteis e sólidos totais é inferior a 0.70 (Brasil, 2006).

Conclusões

A partir do processo de compostagem, foi possível obter melhorias em relação a parâmetros físico-químicos e microbiológicos do lodo de esgoto doméstico acumulado em lagoas anaeróbias. Embora a redução da relação SV/ST tenha sido em consonância com as exigências da legislação nacional, o composto obtido não apresentou conformidade microbiológica a ponto de ter viabilidade de seu uso agrícola. Para tal, uma fase adicional de higienização seria necessária. Desta forma, o processo natural de secagem e de compostagem do lodo, embora apresente baixo custo e grande simplicidade operacional, não se mostrou viável para produção de bio sólido sem uma etapa posterior de higienização.

Agradecimentos

Os autores agradecem à empresa Odebrecht Ambiental Goiás S.A. e ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano campus Rio Verde pelos suportes a este trabalho.

Referências bibliográficas

- Afáz, D.C.S., Bertolazi, K.B., Viani, R.A.G., Souza, C.F. (2017) Composto de lodo de esgoto para o cultivo inicial de eucalipto. *Revista Ambiente & Água*, **12**(1), 112-123. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1965>
- ANA, Agência Nacional de Águas (2020) *Atlas Esgotos Despoluição de Bacias Hidrográficas*. Acesso em 23 abr. 2020, disponível em: <http://atlasesgotos.ana.gov.br>
- APHA - American Public Health Association, AWWA - American Water Works Association, WEF - Water Environment Federation (2012) *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 22^a ed., American Public Health Association, Washington, DC, 1360 pp.
- Barbosa, J.Z., Poggere, G.C., Dalpisol, M., Serrat, B.M., Bittencourt, S., Motta, A.C.V. (2017) Alkalinized sewage sludge application improves fertility of acid soils. *Ciência e Agrotecnologia*, **41**(5), 483-493. <https://doi.org/10.1590/1413-70542017415006717>
- Barros, I.T., Andreoli, C.V., de Souza Junior, I.G., da Costa, A.C.S. (2011) Avaliação agrônômica de biossólidos tratados por diferentes métodos químicos para aplicação na cultura do milho. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, **15**(6), 630-638. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662011000600014>
- Bittencourt, S. (2018) Agricultural Use of Sewage Sludge in Paraná State, Brazil: A Decade of National Regulation. *Recycling*, **3**(4), 53-60. <https://doi.org/10.3390/recycling3040053>
- Brasil, Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente (2006) *Resolução N° 375* de 29 de agosto de 2006.
- Brasil, Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente (2011) *Resolução N° 430* de 13 de maio de 2011.
- CETESB, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (2011) Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos, ANA/CETESB, Brasília, Brasil, 326 pp.
- Corrêa, R.S., Fonseca, Y.M.F., Corrêa, A.S. (2007) Produção de biossólido agrícola por meio da compostagem e vermicompostagem de lodo de esgoto. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, **11**(4), 420-426. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662007000400012>
- Dalpisol, M., Serrat, B.M., Motta, A.C.V., Poggere, G.C., Bittencourt, S., Barbosa, J.Z. (2017) Zinc, copper and manganese availability in soils treated with alkaline sewage sludge from Paraná state (Brazil). *Ciência e Agrotecnologia*, **41**(1), 81-93. <https://doi.org/10.1590/1413-70542017411036916>
- Da Silva, A.G., Leite, V.D., da Silva, M.M.P., Prasad, S., Feitosa, W.B.S. (2008) Compostagem aeróbia conjugada de lodo de tanque séptico e resíduos sólidos vegetais. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, **13**(4), 371-379. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522008000400005>
- Embrapa, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2011) *Manual de Métodos de Análise de Solo*, 2^a ed., Embrapa Solos, Rio de Janeiro, Brasil, 230 pp.
- Epstein, E. (2003) *Land application of sewage sludge and biosolids*, CRC Press, Boca Raton, 220pp.
- Gonçalves, R.F., Ludovice, M., von Sperling, M. (2014) Remoção da umidade de lodos de esgotos. In Andreoli, C.V., von Sperling, M., Fernandes, F. (Eds.), *Lodo de esgotos: tratamento e disposição final*, UFMG/SANEPAR, Belo Horizonte, Brasil, 159-259.
- IBGE, Instituto Brasileiro De Geografia e Estatística (2020) *População do Brasil*. Acesso em 23 abr. 2020, disponível em: https://www.ibge.gov.br/apps/populacao/projecao/box_popclock.php
- Jordão, E.P., Pessôa, C.A. (2014) *Tratamento de esgotos domésticos*, 7^a ed., SEGRAC, Rio de Janeiro, Brasil, 1050 pp.
- Knopik, M.A., Rufine, R., Bittencourt, S., Gasparotto, F. (2018) Aporte de nutrientes em solos tratados com lodo de esgoto: estudo de caso da região de Campo Mourão, noroeste do Paraná. *Revista Brasileira de Planejamento e Desenvolvimento*, **7**(3), 379-389. <https://doi.org/10.3895/rbpd.v7n3.8597>
- Kulikowska, D. (2016) Kinetics of organic matter removal and humification progress during sewage sludge composting. *Waste Management*, **49**, 196-203. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.01.005>

- Lima, B.C., Lima, L.M., Brandão, M.L., Zanta, V.M., Vich, D.V., Queiroz, L.M. (2018) Composting as an Alternative for Final Disposal of Digested Sludge from UASB Reactors: A Case Study in the Small Municipalities of the State of Bahia, Brazil. *Waste and Biomass Valorization*, **9**, 2275–2283. <https://doi.org/10.1007/s12649-018-0410-y>
- Pereira, G.P.A., Ribeiro, M.H.G., Albuquerque Júnior, E.C., Silva, V.P., Gonçalves, E.A.P. (2020) Utilização de lodo anaeróbico de estação de tratamento de esgoto na produção de mudas de ipê roxo (*Tabebuia avellanedae*). *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales*, **13**(1), 188-201. <http://dx.doi.org/10.22201/iingen.0718378xe.2020.13.1.64736>
- Pinto, M.T. (2014) Higienização de lodos. In Andreoli, C.V., von Sperling, M., Fernandes, F. (Eds.), *Lodo de esgotos: tratamento e disposição final*, UFMG/SANEPAR, Belo Horizonte, Brasil, 261-297.
- PROSAB, programa de Pesquisa em saneamento Básico. (2001) Manual prático para a compostagem de biossólidos, UEL, Londrina, Brasil, 91 pp.
- Siebielska, I., Siedłko, R. (2015) Polychlorinated biphenyl concentration changes in sewage sludge and organic municipal waste mixtures during composting and anaerobic digestion. *Chemosphere*, **126**, 88-95. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.12.051>
- Medeiros, V.S., Saleh, B.B., Aguiar, A.C.R., Furquim Filho, C.S., Alves, W.S., Miranda, R.A., Aquino, D.S. (2019) Verificação da conformidade da qualidade do efluente da estação de tratamento de esgotos de Rio Verde – GO. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, **8**(1), 814-831. <http://dx.doi.org/10.19177/rgsa.v8e12019814-831>
- Moretti, S.M.L., Bertocini, E.I., Abreu-Junior, C.H. (2015) Composting sewage sludge with green waste from tree pruning. *Scientia Agricola*, **72**(5), 432-439, <https://doi.org/10.1590/0103-9016-2014-0341>
- Von Sperling, M. (2014) *Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos*, 4a ed., Editora UFMG, Belo Horizonte, Brasil, 452 pp.
- Von Sperling, M. (2017) *Lagoas de Estabilização*, 3a ed., Editora UFMG, Belo Horizonte, Brasil, 196 pp.
- Von Sperling, M., Andreoli, C.V. (2014) Introdução. In Andreoli, C.V., von Sperling, M., Fernandes, F. (Eds.), *Lodo de esgotos: tratamento e disposição final*, UFMG/SANEPAR, Belo Horizonte, Brasil, 13-16.
- Zhang, D., Luo, W., Li, Y., Wang, G., Li, G. (2018) Performance of co-composting sewage sludge and organic fraction of municipal solid waste at different proportions. *Bioresour. Technology*, **250**, 853-859. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.08.136>