

II-258 - MONITORAMENTO DO LIXIVIADO OBTIDO APÓS PERCOLAÇÃO DE ÁGUA EM MISTURA DE SOLO DEGRADADO E LODO ANAERÓBIO – ESTUDO EM ESCALA PILOTO

Márcia Regina Pereira Lima⁽¹⁾

Engenheira Civil pela Universidade Federal do Espírito Santo. Mestrado em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal do Espírito Santo. Doutorado em Hidráulica e Saneamento na EESC/USP. Professora do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental do Instituto Federal do Espírito Santo.

Aurélio Azevedo Barreto Neto

Engenheiro de Minas pela Universidade Federal da Bahia. Mestrado em Geociências pela Universidade Estadual de Campinas. Doutorado em Ciências pela Universidade Estadual de Campinas. Professora do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental do Instituto Federal do Espírito Santo.

Roberta Arlêu Teixeira

Engenheira Sanitarista e Ambiental pelo Instituto Federal do Espírito Santo. Mestranda em Tecnologias Sustentáveis pelo Instituto Federal do Espírito Santo.

Endereço⁽¹⁾: Av. Vitória, 1729 - Jucutuquara - Vitória - ES - CEP: 29.010-490 - Brasil - Tel: (27) 3331-2188 - e-mail: marcia.lima@gmail.com

RESUMO

Dentre as alternativas para destinação final do lodo gerado em ETE, o uso na recuperação de áreas degradadas tem se demonstrando muito atrativo, por promover o reaproveitamento deste resíduo, evitando a disposição em aterros, além de contribuir para a melhoria das características do solo, influenciando positivamente nos processos de recuperação. Porém, apesar dos benefícios para o solo, o lodo pode apresentar contaminantes, devendo-se gerenciar o seu uso com cuidado. Assim, o objetivo da pesquisa foi avaliar a presença dos metais pesados (Cu e Zn) e coliformes termotolerantes no lixiviado proveniente da mistura entre diferentes dosagens de lodo ao solo e inferir sobre a dosagem de lodo mais adequada a ser utilizada na recuperação de áreas degradadas. O lodo foi coletado em uma ETE, localizada no município de Serra, ES, que realiza o tratamento dos esgotos por UASB + Sistema Australiano. O lodo foi retirado da ETE após descarte do UASB em leito de secagem, possuindo um teor de sólidos de 17%, e encaminhado para a secagem. Já o solo é proveniente de uma área que se encontra em acelerado processo de degradação, a área está localizada na mesma cidade da ETE, com coordenadas 372.604.19 m E / 7.764.754.72 N UTM. O experimento desenvolvido foi composto por uma bancada, para disposição de 8 tubetes (volume de 3,8 L), onde foi colocada a mistura (solo + lodo) com diferentes dosagens de lodo ao solo (0%, 10%, 30%, 50% de lodo em massa seca). Foram realizadas 3 campanhas, com intervalo de 3 meses entre elas, para obtenção do lixiviado, sendo lançados 3 litros de água destilada em cada tubete, que foram coletados em recipientes plásticos e encaminhados para caracterização físico-química e microbiológica. A partir da avaliação dos parâmetros de interesse do solo, lodo e lixiviado obtido verificou-se que as dosagens T1 e T2 podem ser utilizadas com fins de condicionar solos degradados, produzindo-se lixiviados com concentrações adequadas de metais pesados segundo a Resolução Conama nº 420/2009.

PALAVRAS-CHAVE: Lodo de esgoto, áreas degradadas, lixiviado.

INTRODUÇÃO

O tratamento do esgoto provê um grande benefício ambiental. Por meio de operações físicas, químicas e biológicas, promove a redução da carga poluidora do esgoto, fornecendo um efluente final com qualidade adequada para o fim desejado, seja este lançamento em corpos d'água ou reuso (JORDÃO; PESSÔA, 1995).

As operações que envolvem o tratamento do esgoto retiram as substâncias indesejáveis contidas no mesmo, formando os subprodutos do tratamento do esgoto. Estes subprodutos devem ter gerenciamento adequado tendo em vista a conservação da qualidade do meio ambiente, por isso, esta etapa é essencial para o tratamento dos esgotos. Dentre os principais subprodutos estão: material gradeado, areia, espuma e lodo (ANDREOLI; VON SPERLING; FERNANDES, 2001).

Apesar do gerenciamento de todos os subprodutos serem essenciais, o lodo de esgoto merece destaque devido à quantidade de gerada e a maior complexidade de tratamento e disposição final, sendo um desafio para a administração das ETE (CESAR et al., 2008).

As formas de disposição final do lodo consideradas mais interessantes dos pontos de vista ambiental, técnico e econômico são a compostagem, o uso como fertilizante, na recuperação de áreas degradadas e como fonte de energia (ANTONIOUS et al., 2011).

O lodo é um concentrador de todas as substâncias que se encontravam presentes no esgoto, e não foram transformadas em outros subprodutos, como nutrientes e matéria orgânica. Estas substâncias são responsáveis por o tornar um excelente adubo orgânico e condicionador de solo, que atua melhorando as propriedades do solo, influenciando a disponibilidade de nutrientes, a capacidade de troca de cátions do solo, a complexação de elementos tóxicos e micronutrientes, a agregação, a infiltração e a retenção de água, a aeração e a atividade e biomassa microbiana (CARVALHO et al., 2015).

Assim, o uso do lodo na recuperação de áreas degradadas vem sendo considerado muito benéfico e interessante, pois promove uma destinação final sustentável para o resíduo, e auxilia na recuperação de áreas degradadas, diminuindo os gastos com fertilizantes, e tornando o processo mais sustentável.

Entretanto, pelo fato do lodo possuir características indesejáveis, como a presença de poluentes como metais pesados, patógenos e compostos orgânicos persistentes, a disposição deste no solo deve ser controlada, por haver o risco de contaminação pela lixiviação dessas substâncias (PAULA; CORRÊA; COTTA, 2011).

Devido a importância de se evitar a lixiviação de compostos tóxicos presentes no lodo, esta pesquisa tem o objetivo avaliar as características do lixiviado extraído da mistura de diferentes dosagens de solo e lodo anaeróbio gerado em Estação de Tratamento de Esgoto Doméstico, visando determinar os parâmetros pH, metais pesados (Cobre e Zinco), coliformes termotolerantes e o volume de lixiviado produzido, para assim, inferir sobre a viabilidade de uso deste lodo em processos de recuperação de áreas degradadas.

METODOLOGIA

O lodo utilizado no experimento é proveniente da ETE Feu Rosa, localizada no município de Serra/ES, tratando esgoto doméstico com características médias. Esta ETE foi instalada em 1984, com escopo de projeto que abrangia uma população de 17.115 habitantes, sendo ampliada em 2006, para atender uma nova população de projeto de 23.700 habitantes. Os tratamentos a quais são submetidas as fases líquida e sólida na ETE encontra-se apresentado na figura 1.

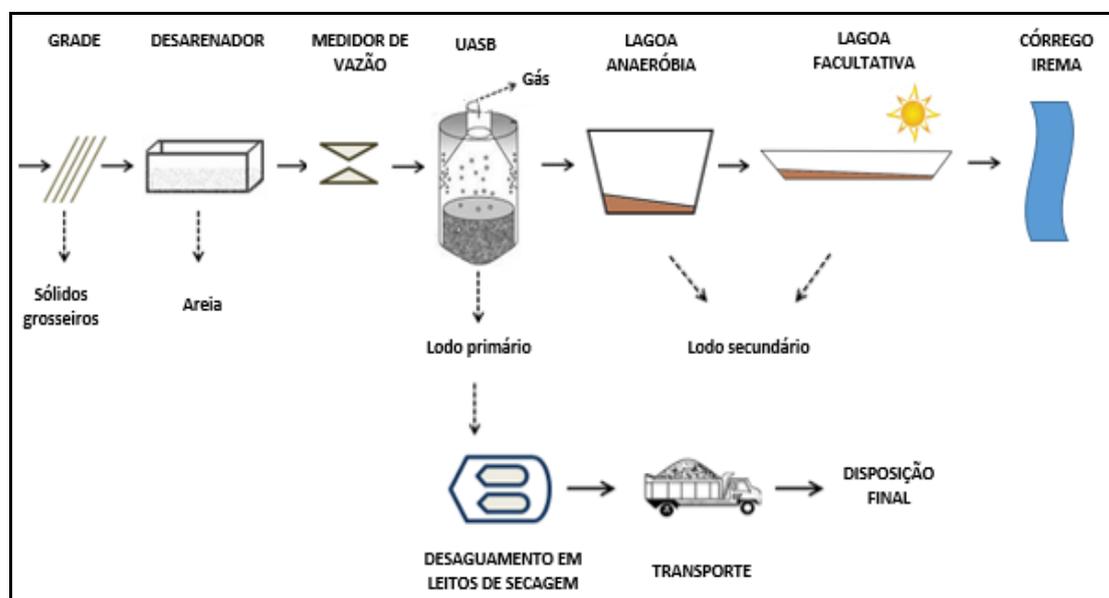


Figura 1 - Fluxograma de tratamento das fases líquida e sólida na ETE

O lodo gerado no UASB é desaguado em leitos de secagem, até atingir 17% de ST, para posterior destinação final em aterro sanitário (figura 1). No próprio reator, o lodo passa pelas etapas de adensamento e digestão, possuindo excelentes características para desaguamento. Quando descartado do UASB, o lodo possui de 3 a 4% de ST, com uma relação SV/ST menor que 0,7, caracterizando um lodo estabilizado.

A amostra composta de lodo coletado no leito de secagem para o desenvolvimento da pesquisa foi espalhado sobre uma superfície plana coberta por material plástico, em local protegido das intempéries, por cerca de 15 dias, até que atingisse umidade de 10% - ST de 90%. O material era diariamente revolvido e macerado a fim de que fosse reduzida sua granulometria para a montagem do aparato experimental e desenvolvimento da pesquisa (figura 2).



Figura 2 – Secagem e maceração do lodo até atingir 10% de umidade

Já o solo utilizado no experimento foi proveniente de uma área degradada, com coordenadas 372.604.19 m E / 7.764.754.72 N UTM, situada na mesma cidade onde se localiza a ETE Feu Rosa. Esta área foi escolhida devido aos impactos causados na região e a proximidade com a ETE.

O solo da área degradada foi coletado em diferentes pontos, em ziguezague, até uma profundidade aproximada de 50 cm. Realizou-se o quarteamento até a obtenção do volume desejado, caracterizando uma amostra composta representativa.

O aparato experimental era composto por uma bancada de madeira com 8 tubetes (3,4 litros) acoplados a um recipiente plástico, montado em ambiente protegido de intempéries. Em cada tubete foi colocada uma mistura de lodo e solo em quatro diferentes dosagens, assim denominadas: T0 (apenas Solo-testemunha); T1 (solo + 10% de lodo em massa seca); T2 (solo + 30% de lodo em massa seca) e T3 (solo + 50% de lodo em massa seca). O experimento foi realizado em duplicatas (figura 3).



Figura 3 – Aparato experimental utilizado para o desenvolvimento da pesquisa

Para a geração e posterior avaliação do lixiviado proveniente da mistura de solo e lodo, a quantidade de água a ser lançada em cada tubete foi definida a partir de dados meteorológicos do município, simulando, assim, a contribuição de água no solo em razão das chuvas locais. Neste caso, foi utilizado um volume de 3 litros de água destilada em cada tubete. Foram realizadas 3 campanhas de lançamento de água, com o intervalo de 90 dias entre elas, sendo a 1ª Campanha realizada em 07/11/2013, a 2ª Campanha em 17/02/2014 e a 3ª Campanha em 26/05/2014

Para a caracterização do solo e do lodo e monitoramento do lixiviado os parâmetros utilizados foram:

- solo: pH, matéria orgânica, CTC efetiva, zinco, cobre e coliformes termotolerantes.
- lodo: pH, cobre total, zinco total, coliformes termotolerantes e SV/ST.
- lixiviado: volume de lixiviado (líquido recuperado), pH, cobre, zinco e coliformes termotolerantes.

A determinação dos parâmetros utilizados seguiu os procedimentos e técnicas apresentadas na Resolução nº 375 (BRASIL, 2006). Dentre os diversos metais encontrados no lodo, Cu e Zn foram escolhidos devidos ao fato de serem os metais pesados com maior concentração no lodo e, também, em razão de serem micronutrientes de importância para as plantas, indicativos da fertilidade dos solos. Além disso, estes metais podem gerar riscos à saúde humana quando encontrados em excesso em solos e cursos d'água.

RESULTADOS OBTIDOS E ANÁLISE

Caracterização do solo

Os resultados obtidos na caracterização do solo estão apresentados na tabela 1.

Tabela 1: Caracterização do solo utilizado na pesquisa

Parâmetro	Resultado	Classificação
pH	7,8	Alto
Matéria Orgânica	0,9 dag/kg	Baixa
CTC efetiva	5,9 cmol _c /dm ³	Bom/Muito Bom
Zinco	4,1 mg/dm ³	Bom/Muito Bom
Cobre	0,6 mg/dm ³	Muito Baixo/Baixo
Coliforme Termotolerante	Negativo	-

Nota: 1- dag/kg: unidade utilizada para quantificação da matéria orgânica; 1kg x 10⁻³ de matéria orgânica/kg de solo; 2- Classificação definida por EPAMIG (2012).

Na avaliação quanto à textura, o solo foi classificado como argiloso (segundo o laudo do INCAPER), significando que possui 40% a 60% de argila, 0% a 40% de silte e de 0% a 55% de areia (EPAMIG, 2012). Estas condições indicam que o solo possui baixa permeabilidade e alta capacidade de retenção de água devido à elevada coesão entre as partículas, o que dificulta perdas de seus elementos por lixiviação (MORAES NETO, 2009).

Caracterização do lodo

Com relação à caracterização do lodo, os resultados obtidos são apresentados na tabela 2, bem como os limites definidos na Resolução nº 375 (BRASIL, 2006).

Os valores encontrados de coliformes termotolerantes no lodo foram superiores aos estabelecidos para um lodo Classe A, sendo este então, classificado como Classe B. Ressalta-se que, a referida resolução cita que decorridos 5 anos de sua publicação só poderão ser utilizados na agricultura lodos Classe A, e o uso de lodos classe B só será possível mediante comprovação técnica de sua segurança (BRASIL, 2006). Assim, neste caso, como o objetivo da pesquisa é a utilização do lodo em processos de recuperação de áreas degradadas, entende-se que o seu uso para este fim não compromete a segurança já que, sua função será agregar elementos ao solo não tendo a intenção de seu uso para cultivo de alimentos. Analisando os outros parâmetros de interesse, percebe-se que todos estão abaixo dos limites estabelecidos por esta resolução.

Tabela 2 - Caracterização do lodo anaeróbio utilizado na pesquisa

Parâmetro	Resultado	Padrão - Resolução nº 375 de 2006 ⁽¹⁾
pH	5,68	Mistura Final Solo+ Lodo menor ou igual a 7,0
Cobre Total (mg/kg MS)	74,10	1.500,00
Zinco Total (mg/kg MS)	411,00	2.800,00
Coliforme Termotolerante (NMP/100 mL)	Acima de $1,6 \times 10^5$	Classe A ou Classe B ⁽²⁾
SV/ST	0,37	Relação entre sólidos voláteis e sólidos totais deve ser menor do que 0,70

Nota: (1) BRASIL (2006); (2) De acordo com a Resolução CONAMA nº 375 de 2006 o lodo é Classe A quando Coliformes Termotolerantes $<10^3$ NMP/g de ST, e Classe B quando Coliformes Termotolerantes $<10^6$ NMP/g de ST.

O valor do pH situa-se em faixa moderadamente ácida, mas considerando que o solo tem um pH alcalino, espera-se que a mistura entre solo e lodo contribua para a neutralidade do pH.

Quanto à estabilização do lodo, o valor obtido ($SV/ST = 0,37$) se encontra bem abaixo do valor máximo estabelecido pela resolução que é de 0,70. Neste caso, o lodo apresenta alto grau de estabilização da matéria orgânica não possibilitando, principalmente, a liberação de odor desagradável e a atratividade de vetores.

Monitoramento do lixiviado

Os volumes médios de lixiviado (líquido recuperado) obtidos nas 3 campanhas para as dosagens analisadas são apresentados na figura 4.

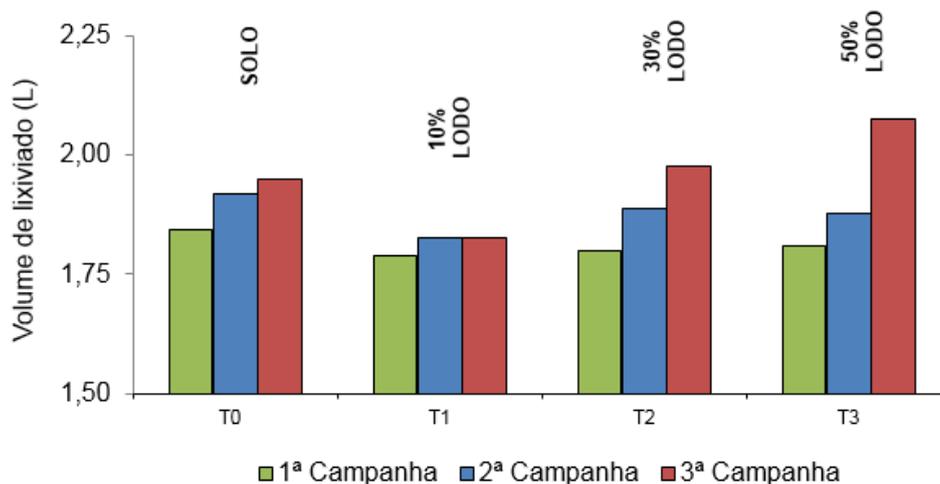


Figura 4: Volumes dos lixiviados obtidos em cada campanha

Percebe-se que as diferentes dosagens produziram quantidades semelhantes de lixiviado. Sendo importante ressaltar que a dosagem T1 (solo + 10% lodo MS) foi a que reteve mais água, principalmente nas 2ª e 3ª campanhas.

Considerando os volumes dos lixiviados provenientes das dosagens de lodo (T1, T2 e T3), percebe-se que nas 1ª e 2ª campanhas estas dosagens apresentaram maior retenção de água do que T0 (0% de lodo), com a percolação de menores quantidades de lixiviado.

Pode-se verificar durante o experimento que matéria orgânica presente no lodo teve forte influência sobre as propriedades físicas do solo, como melhoria da agregação das partículas, aeração, retenção de umidade, aumento da porosidade e permeabilidade, tornando o solo menos compacto, e mais propício ao desenvolvimento de uma cobertura vegetal.

Com relação ao pH, percebeu-se que a adição de lodo reduziu o pH dos lixiviados. Isto já era esperado uma vez que o lodo possuía pH inferior ao solo. Além disso, a decomposição da matéria orgânica presente no lodo

favorece a produção de ácidos orgânicos, que contribuem para a redução do pH da mistura (MAAS, 2011). Observou-se ainda que quanto maior a dosagem de lodo maior o efeito sobre o pH, sendo a dosagem T3 (50% de lodo em peso seco) responsável pelo menor valor de pH obtido no lixiviado.

Para analisar os resultados obtidos com relação aos parâmetros metais pesados (Cu e Zn) no lixiviado, foi realizada a conversão de unidades, tendo em vista que na caracterização do material foram utilizadas como base as unidades mg/kg em massa seca e no lixiviado, mg/L. Para o lodo e o solo utilizou-se as informações relativas as massas dispostas nos tubetes e no lixiviado o volume de líquido recuperado. Para o metal cobre, os resultados obtidos na mistura (solo + lodo) e no lixiviados encontram-se apresentados na figura 5.

De acordo com os valores obtidos, percebe-se que, apesar de T0 (0% de lodo) ser a dosagem que apresentava menor quantidade de cobre, esta foi a que proporcionou maior lixiviação deste metal, sendo lixiviado na 1ª campanha 0,79 mg de cobre, que representa cerca 41,76% do total de cobre contido no tubete desta dosagem. Das dosagens que continham lodo, a maior massa de cobre no lixiviado foi obtida em T3 (0,2 mg no total de 3 campanhas – tabela 17), correspondendo a apenas 0,12% do total de cobre na mistura para esta dosagem.

Desta forma, percebe-se que o lodo atuou de forma a reter o cobre no solo, podendo-se inferir sobre a influência do resíduo na adsorção deste metal no solo. Resultados semelhantes foram obtidos por outros autores, como Williams et al. (1980) e Taylor et al. (1995) apud Oliveira e Mattiazzo (2001), que atribuem este fato à influência da matéria orgânica sobre a adsorção do cobre, uma vez que, a decomposição da matéria orgânica promove a liberação dos compostos orgânicos, como ácidos fúlvicos e húmicos, que tem forte afinidade pelo cobre, formando complexos estáveis, e evitando assim, a lixiviação do metal. Outro fator que também tem grande influência na mobilidade do cobre no solo é o pH (MARTINS, 2011).

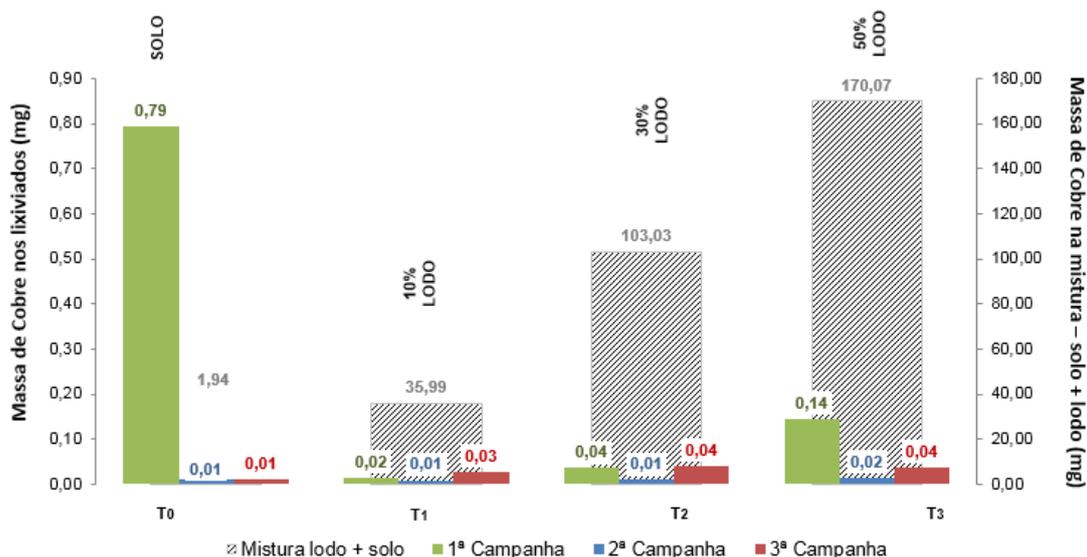


Figura 5: Massa de cobre na mistura e no lixiviado em cada campanha

Todas as dosagens apresentaram lixiviados com concentrações de cobre bem inferiores aos limites estabelecidos na Resolução nº 420/2009 do CONAMA (BRASIL, 2009).

Com relação ao metal Zinco, percebeu-se que as concentrações deste metal no lixiviado foram bem superiores as do cobre. Além disto, este foi o metal que mais lixiviou, sendo que, a dosagem T3, que apresentava 50% de lodo, propiciou nas 3 campanhas uma massa total de 18,46 mg de Zinco no lixiviado. Porém, este valor é apenas 1,9% do total de Zinco contido nos tubetes que receberam essa dosagem de lodo. A dosagem T3 foi a que promoveu concentrações de Zinco acima dos limites estabelecidos na Resolução nº 420/2009 do CONAMA (BRASIL, 2009), além disso, deve-se avaliar outras características intervenientes, como a profundidade do lençol freático.

Avaliando os coliformes termotolerantes no lixiviado, percebe-se que apenas nos tubetes que receberam lodo foi verificada sua presença, o que já era esperado uma vez que não foi identificado a presença destas bactérias no solo. A 1ª campanha foi a única que apresentou densidades de coliformes termotolerantes nos lixiviados (dosagens T1, T2, T3). Os valores obtidos se mostraram semelhantes entre si, inferindo-se que a diferença entre as dosagens não teve efeito sobre este parâmetro. Supõe-se que a não observância de densidades de coliformes termotolerantes na 2ª e 3ª campanha ocorreu pelo fato das condições experimentais não proporcionarem um ambiente adequado para a manutenção e proliferação desses micro-organismos.

A redução da densidade de coliformes termotolerantes no solo, em meio natural, ocorre principalmente devido ao aumento da temperatura, baixa umidade do solo, ou quando expostos a maior incidência de radiação solar. Porém, é importante que se avalie as condições de uso e acesso à área na qual é realizada a aplicação do lodo ao solo. Além disso, o local não deve ter lençol freático alto, plantio de culturas e não poderá ser próximo à áreas de captação de água.

CONCLUSÕES/RECOMENDAÇÕES

- O lodo promoveu o fornecimento de micronutrientes, como o Cobre, que se encontrava deficiente no solo, e a correção do pH do solo, que era muito alcalino, sendo prejudicial para o desenvolvimento de uma cobertura vegetal;
- A matéria orgânica presente em grande quantidade no lodo foi um fator preponderante para a complexação dos metais avaliados, que tiveram retenção acima de 98% para todas as dosagens de lodo consideradas;
- As dosagens T1 e T2 foram as que mais favoreceram a retenção de substâncias na mistura, evitando assim a disponibilidade dos metais pesados;
- A dosagem T3 foi considerada inadequada pois promoveu concentrações de Zinco acima dos limites estabelecidos na Resolução nº 420/2009 do CONAMA, ressaltando-se que estes limites são apenas de investigação e não padrões de qualidade, além disso, deve-se avaliar outras características intervenientes, como a profundidade do lençol freático;
- Não foi percebida a sobrevivência de micro-organismos patogênicos nos tubetes, tendo em vista que não foi identificada a presença dos mesmos nos lixiviados, inferindo-se assim que lodos sem higienização podem ser utilizados para melhorar as características dos solos, desde que observadas as condições de segurança de seu uso.

Assim, é necessária a realização de estudos que determinem as condições de aplicação de lodo no solo, como o nível de profundidade do lençol freático, as culturas que podem ser inseridas na área de forma a capturar parte do nitrogênio disponível, fornecendo assim, um lixiviado com melhores características e que não promova a contaminação da água subterrânea.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANDREOLI, C.V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. Lodo de Esgotos: Tratamento e Disposição Final. Belo Horizonte: UFMG, p. 465-482, 2001.
2. ANTONIOUS G.F., DENNIS S.O., UNRINE J.M., SNYDER J.C. Heavy Metals Uptake in Plant Part of Sweet potato Grown in Soil Fertilized with Municipal Sewage Sludge. Int. J. Geol. v.5, n.1, p.14-20, 2011
3. BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução n. 375 do CONAMA que dispõe sobre a Regulamentação do Uso Agrícola do Lodo de Esgoto. Diário Oficial da União, Brasília, n.167, 30. ago. 2006, Seção 1, p. 141-146. 2006. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res06/res37506.pdf>>. Acesso em: 20 dez. 2016.
4. BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução n. 420, de 28 de dezembro de 2009. Diário Oficial da União, Brasília, n. 213, 07. nov. 2006, Seção 1, p. 59. 2006d. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res09/res42009.pdf>>. Acesso em: 20 dez. 2016.

5. CARVALHO, C.S.; RIBEIRINHO, V.S.; ANDRADE, C.A.; GRUTZMACHER, P.; PIRES, A.M.M. Composição química da matéria orgânica de lodos de esgoto. *Agrária* (Recife. Online), v. 10, p. 413-419, 2015.
6. CESAR, R.G.; EGLER, S.G.; ALAMINO, R.C.J.; POLIVANOV, H.; SILVA, R.C.; CASTILHOS, Z.C.; ARAÚJO, P. Avaliação do potencial tóxico de Latossolos e Chernossolos acrescidos de lodo de esgoto utilizando bioensaios com oligoquetas da espécie *Eisenia andrei*. *Anuário do Instituto de Geociências*, v. 31, n.2, p. 53-60. 2008.
7. EPAMIG - Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais. *Análise de Solo – Determinações, Cálculos e Interpretações*. FAPEMIG, 2012. Disponível em: <http://www.epamig.br/index.php?option=com_docman&task=cat_view&gid=13&Itemid=116>. Acesso em: 29 maio 2015.
8. JORDÃO, E.P; PESSÔA, C. A. *Tratamento de Esgotos Domésticos*. 7. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2014, 1050 p.
9. MAAS, G. C. B. Nutrientes e Metais Pesados em um Latossolo Vermelho em função de doses de Lodo de Esgoto. 2011. 62 p. Dissertação (Pós - Graduação em Ciências Florestais e Ambientais) - Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2011. Disponível em: <<http://www.ufmt.br/ufmt/unidade/userfiles/publicacoes/8fb884f2b6045a05ed43f0d128a99114.pdf>>. Acesso em: 16 jun. 2015.
10. MARTINS et al. A dinâmica de metais-traço no solo. *R. Bras. Agrociência*, Pelotas, v.17, n.3-4, p.383-391, jul-set, 2011.
11. MORAES NETO. S. P. *ADM - Acidez, alcalinidade e efeitos da calagem no solo*. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2009. Disponível em: <<http://www.cpac.embrapa.br/noticias/artigosmidia/publicados/112/>>. Acesso em: 23 out. 2015.
12. PAULA, R. A.; CORREA, R. S.; COTTA, T. P. Lixiviação de nitrato de um substrato minerado tratado com lodo de esgoto doméstico. *Bragantia* [online]. v.70, n.1, p.104-112, 2011
13. OLIVEIRA, F. C.; MATTIAZZO, M. E. Mobilidade De Metais Pesados em um Latossolo Amarelo Distrófico tratado com Lodo de Esgoto e cultivado com cana-de- açúcar. *Scientia Agricola*, v. 58, n. 4, p. 807-812, 2001. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/sa/v58n4/6302.pdf>>. Acesso em: 10 jun. 2015.
14. WILLIAMS, D.E.; VLAMIS, J.; PUKITE, A.H.; COREY, J.E. Trace element accumulation, movement, and distribution in the soil profile from massive applications of sewage sludge. *Soil Science*, v.129, p.119-132, 1980.