

## COLUNAS DE LIXIVIAÇÃO COM SOLOS DE TEXTURAS ARENOSA E ARGILOSA E APLICAÇÃO DE BIOSSÓLIDOS

Ana Maria Conte<sup>1\*</sup>; Rodrigo Domiciano Marques<sup>2</sup>; Amanda Silveira Reis<sup>2</sup>; Thiago Henrique Arruda Vieceli<sup>2</sup>

SAP 15292 Data envio: 11/10/2016 Data do aceite: 07/11/2016  
Sci. Agrar. Parana., Marechal Cândido Rondon, v. 16, n. 3, jul./set., p. 302-307, 2017

**RESUMO** - O objetivo desta pesquisa foi avaliar o potencial contaminante do lixiviado proveniente de solos tratados com doses crescentes de biossólido. O experimento foi instalado em cultivo protegido em solos de textura argilosa (LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico) e textura arenosa (LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico). O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, com cinco tratamentos, seis repetições e dois tipos de solo: T1 - ausência de biossólido, T2 a T6, respectivamente 0, 15, 30, 45 e 60 t ha<sup>-1</sup> de biossólido. Os vasos (colunas de lixiviação) foram compostos por tubos de PVC de 50 cm de altura e 10 cm de diâmetro, em sua base foi adaptado um cap de PVC perfurado, para coleta do material lixiviado. Cada coluna foi preenchida com 3.141,6 cm<sup>3</sup> de solo (arenoso ou argiloso), nas quais foram aplicadas as doses de biossólido. Após esta etapa, as parcelas foram levadas a 70% da capacidade de campo e incubadas por 60 dias e, após esse período, foi coletado o lixiviado e avaliado quanto: pH, condutividade elétrica e teores de K, Ca e Mg. Os resultados indicaram que o aumento das doses de biossólido ocasiona elevação do pH. Conclui-se que o solo argiloso suportou maiores doses de biossólidos em relação ao solo arenoso, apresentando lixiviados com menor potencial poluente.

**Palavras-chave:** biofertilização, granulometria, lixiviação, lodo de esgoto, percolação.

### *LEACHING COLUMNS WITH SANDY AND CLAY TEXTURE SOILS AND APPLICATION OF BIOSOLIDS*

**ABSTRACT** - The objective of this research was to evaluate the contaminant potential of the leachate from soils treated with increasing doses of biosolids. The experiment was carried out in protected cultivation in clayey (Eutrophic RED LATOSOL) and sandy texture (Dystrophic YELLOW RED LATOSOL) soils. The experimental design was completely randomized with five treatments, six repetitions and two soil types: T1 - absence of biosolids, T2-T6, respectively 0, 15, 30, 45 and 60 ton ha<sup>-1</sup> of biosolids. The vessels (leaching column) were made by PVC tubes 0.50 m high and 0.10 m in diameter at its base is adapted a perforated PVC cap for collecting the leached material. Each column was filled with 3,141.6 cm<sup>3</sup> soil (sandy or clayey), of which the amounts of biosolid. After this stage, the plots were taken to 70% of the field capacity incubated for 60 days and after that period the leachate was collected and evaluated as: pH, electrical conductivity and contents of K, Ca and Mg. The results indicated that increased doses of biosolids lead to elevated pH. It was concluded that the clay soil supported higher doses of biosolids in relation to the sandy soil, presenting leachates with lower pollutant potential.

**Key words:** biofertilization, texture, leaching, sewage sludge, percolation.

### INTRODUÇÃO

O Brasil produz grande quantidade de biossólidos nas estações de tratamento de esgoto. Assim, faz-se necessário o uso de práticas para melhor destino desses resíduos, e uma das soluções é a aplicação em solos (LAMBAIS; CARMO, 2008). Esse modelo de manejo do biossólido serve como reposição de nutrientes ao solo e destino adequado dos resíduos. Para este tipo de uso, devem ser respeitadas, principalmente, as condições ambientais, características dos solos e necessidades culturais (PEREIRA et al., 2013).

Por variar em sua composição de acordo com a origem, é ideal que os resíduos biossólidos sejam

analisados quanto aos teores de nutrientes, como nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg). Alguns estudos verificaram quanto a caracterização do lodo de esgoto, que o pH pode variar entre 5,1 e 6,4, o N entre 22,5 e 29,1 g kg<sup>-1</sup>; P entre 4,7 e 45 g kg<sup>-1</sup>; K entre 1,3 e 2,03 g kg<sup>-1</sup>; Ca entre 9,4 e 22,26 g kg<sup>-1</sup>; e Mg entre 1,2 e 3,5 g kg<sup>-1</sup> (NASCIMENTO et al., 2004; GOMES et al., 2007).

A aplicação de biossólido é capaz de alterar características químicas do solo, e em virtude do alto teor de sais em sua composição, pode aumentar a condutividade elétrica (CE) no solo (ANJOS, 1999).

<sup>1</sup>Universidade Estadual do Norte do Paraná, UENP, campus Luiz Meneghel, Rodovia BR-369 Km 54, Vila Maria, Caixa Postal 261, CEP 86360-000, Bandeirantes, Paraná, Brasil. E-mail: [acaastro@uenp.edu.br](mailto:acaastro@uenp.edu.br). \*Autor para correspondência

<sup>2</sup>Programa de Pós-Graduação em Agronomia, UENP. E-mail: [rodrigo.domiciano@uenp.edu.br](mailto:rodrigo.domiciano@uenp.edu.br); [amanda.reis@uenp.edu.br](mailto:amanda.reis@uenp.edu.br); [thגיעלי@hotmail.com](mailto:thגיעלי@hotmail.com)

O pH, após tratamento com resíduos biossólidos, pode variar sob dependência das características do solo, a dose e frequência das aplicações e o tipo de tratamento prévio recebido pelo resíduo. Há relatos tanto de efeito alcalinizante quanto acidificante em solos após o tratamento com lodo de esgoto (OLIVEIRA et al., 1997).

Um fato importante a se considerar é redução em valores de condutividade elétrica em função do tempo após aplicação do lodo de esgoto. Estudos atribuem esse fato à lixiviação dos íons para as camadas mais inferiores do solo e lençóis freáticos (OLIVEIRA et al., 2002). Os íons fornecidos na solução do solo além de serem absorvidos pelas plantas ou adsorvidos ao solo, podem ser lixiviados das camadas mais subsuperficiais (COSTA et al., 1999).

O uso de colunas indeformadas de solo para a avaliação do comportamento sortivo de elementos em condições de não equilíbrio é muito empregada como técnica de análise da lixiviação de elementos em solos agrícolas. Estudos de transporte de elementos em colunas de solo possibilitam a obtenção de dados em laboratório com grande aplicação em campo, uma vez que as colunas são preenchidas com as camadas de solo o mais próximo possível da condição original em campo (densidade e umidade semelhantes), propiciando a lixiviação dos elementos estudados a partir da aplicação de quantidades de água semelhantes à pluviosidade natural (BOEIRA; SOUZA, 2005).

Os processos utilizados nas estações de tratamento de esgoto sanitário resultam na geração do lodo de esgoto, rico em matéria orgânica e nutrientes, cuja disposição final deve ser adequada visando evitar impactos ambientais. Entretanto, é de extrema importância a existência de um monitoramento tanto no lodo a ser utilizado na agricultura, como no solo onde ele foi aplicado, devido à presença de metais, compostos persistentes e organismos patogênicos (BETTIOL; CAMARGO, 2006; PAREDES FILHO, 2011).

Antes da aplicação no solo, o lodo deve passar por um processo de higienização, passando a ser chamado biossólido. A alternativa de higienização de lodos de esgotos utilizando produtos alcalinos, aliada ao fato dos solos brasileiros serem predominantemente ácidos, faz com que a prática do uso do biossólido como corretivo agrícola seja de grande interesse (ANDREOLI, 2001).

Além disso, a rápida oxidação da matéria orgânica dos solos tropicais é mais uma evidência da grande vantagem do uso de biossólidos como condicionadores capazes de melhorar as características físicas, químicas e biológicas do solo com grandes reflexos na produtividade agrícola. O biossólido, assim como a matéria orgânica, eleva a retenção de umidade em solos arenosos e melhora a permeabilidade e infiltração nos solos argilosos, e pode manter uma boa estrutura e estabilidade dos agregados na superfície (PAREDES FILHO, 2011).

A resolução CONAMA 375/2006 apresenta importantes critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário, como limites máximos de parâmetros

importantes, culturas aptas a receberem o lodo, restrições quanto a locais, entre outros (BRASIL, 2006).

Para Santos et al. (2002), a lixiviação de íons vai variar com os atributos físicos do solo, como porosidade, estrutura, profundidade do perfil e, principalmente, textura. Entre os atributos químicos que afetam a lixiviação, estão o pH e a capacidade de retenção de íons.

Os solos ácidos apresentam baixas concentrações de bases, especialmente cálcio e magnésio, apesar da ocorrência generalizada destes elementos em diversos materiais de origem do solo. O principal processo de retirada destes elementos do perfil do solo é a lixiviação, através da água de percolação, que substitui as bases por hidrogênio e alumínio, intensificando a acidificação. Para as plantas, a falta de cálcio, o aumento da acidez e o excesso de alumínio resultam em baixo crescimento do sistema radicular, com consequente exploração de pequenos volumes de solo, levando a baixa captação de nutrientes e água, tornando as culturas sujeitas a deficiências minerais e susceptíveis a déficits hídricos (MATOS et al., 2007).

A condutividade elétrica de solos tratados com lodo de esgoto aumenta consideravelmente, pois esse tipo de resíduo é especialmente rico em  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{Cl}^-$  (EPSTEIN et al., 1976). Também, verificou-se que ocorre diminuição da CE na medida em que se distancia do período inicial de aplicação do lodo de esgoto. Estudos atribuem esse fato a lixiviação dos íons para as camadas mais inferiores do solo e lençóis freáticos (ANJOS, 1999; OLIVEIRA et al., 2002).

Em suma, o lodo de esgoto aumenta a CE de solos após o tratamento pela alta concentração de sais como  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{Cl}^-$ , e por consequência, pode tornar o solo salino. É possível, então, determinar o efeito desse resíduo no solo através da análise da CE do lixiviado (OLIVEIRA et al., 2002).

O objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial contaminante do lixiviado, em solos com textura argilosa e arenosa, tratados com doses crescentes de biossólido.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em cultivo protegido, na Fazenda Escola Prof. Dr. Eduardo Meneghel Rando da Universidade Estadual do Norte do Paraná - UENP, no município de Bandeirantes, PR.

Os solos utilizados no experimento foram de textura argilosa (LATOSSOLO VERMELHO Eutroférrico) e textura arenosa (LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico), conforme Embrapa (2013).

As colunas de lixiviação foram feitas de PVC rígido e tinham 50 cm de altura e 10 cm de diâmetro, formando assim os vasos. Em sua base foi adaptado um cap de PVC perfurado, para coleta do material lixiviado. Cada coluna foi preenchida com total de 3.141,6 cm<sup>3</sup> de solo (arenoso ou argiloso). As caracterizações químicas e granulométricas dos solos estão nas Tabelas 1 e 2. A camada superior nas colunas, correspondente a 20 cm de solo, foi homogeneizada com doses de biossólido (Figura 1).

**TABELA 1.** Análise química dos solos utilizados no experimento. Bandeirantes, PR. 2015.

Classe textural	pH	M.O.	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	CTC	V	m
	CaCl <sub>2</sub>	g dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	----- cmolc dm <sup>-3</sup> -----				-----			---- % ----	
Arenoso	4,7	20,1	12,9	0,45	1,30	1,20	0,2	7,90	2,95	10,85	27,2	6,3
Argiloso	5,7	6,7	3,0	0,07	5,00	2,20	0,0	3,05	7,27	10,32	70,4	0,0

**TABELA 2.** Granulometria dos solos utilizados no experimento. Bandeirantes, PR. 2015.

Textura do Solo	Areia (g kg <sup>-1</sup> )	Silte (g kg <sup>-1</sup> )	Argila (g kg <sup>-1</sup> )
Arenoso	670	90	240
Argiloso	140	200	660

**FIGURA 1** - Homogeneização do biossólido com o solo.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, com cinco tratamentos e seis repetições, sendo as seguintes doses de biossólido: 0, 15, 30, 45 e 60 ton ha<sup>-1</sup>. A maior dose corresponde ao limite permitido pela Resolução n° 375 (CONAMA, 2006). As características do biossólido estão presentes na Tabela 3.

As colunas foram fixadas verticalmente em estrutura apropriada para facilitar a lixiviação. O solo recebeu aplicação de água para atingir 70% da capacidade de campo (Figura 2). Em seguida, as colunas foram incubadas por 60 dias, sendo vedadas com plástico para evitar contaminações e evaporação da água.

**TABELA 3.** Composição química do biossólido utilizado no experimento. Cornélio Procópio, PR. 2014.

C	N	P	K	Ca	Mg	Mn	Fe	Zn	Pb
----- g kg <sup>-1</sup> -----						----- mg kg <sup>-1</sup> -----			
347,83	36,54	17,15	1,62	26,95	3,68	248,29	20.294,45	2.716,96	219

**FIGURA 2** - Vasos tubos de PVC constituindo as colunas de lixiviação.

Após o período de incubação, foi simulada uma chuva de 76 mm para os tubos contendo solo arenoso e de 127 mm para o argiloso, sendo o lixiviado coletado em seguida para posterior análises de pH, condutividade elétrica, teores de Ca, Mg e K.

Os resultados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Foi feita correlação e

regressão dos resultados em função das doses de biossólido.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As equações de regressão, coeficientes de variação e determinação e o grau de significância por teste F para as variáveis analisadas estão apresentados nas Tabelas 4 e 5, para os lixiviados de solo arenoso e argiloso, respectivamente.

**TABELA 4.** Componentes estatísticos para lixiviados do solo arenoso.

	Equação de regressão	r <sup>2</sup>	CV (%)	Significância
pH	$y = 0,0002x^2 - 0,0075x + 4,761$	0,8236	3,88	ns
EC	$y = 9,9389x + 1258,7$	0,8387	19,16	0,01
K	$y = 0,0199x + 9,6893$	0,5665	12,69	ns
Ca	$y = 2,3272x + 179,8$	0,9140	16,75	0,01
Mg	$y = 0,0171x^2 - 0,5669x + 56,71$	0,9624	25,27	0,05

Em que: ns: não significativo pelo teste t; r<sup>2</sup>: coeficiente de determinação; CV: coeficiente de variação.

**TABELA 5.** Componentes estatísticos para lixiviados do solo argiloso.

	Equação de regressão	r <sup>2</sup>	CV (%)	Significância
pH	$y = 0,0004x^2 - 0,0237x + 6,3116$	0,8327	1,92	0,01
EC	$y = 0,0242x^3 - 2,5684x^2 + 75,78x + 272,82$	0,7861	20,50	0,01
K	$y = 9E-06x^3 - 0,0008x^2 + 0,0205x + 0,14$	0,8484	39,26	0,05
Ca	$y = 0,0055x^3 - 0,5764x^2 + 16,956x + 53$	0,7123	23,45	0,01
Mg	$y = -0,0076x^2 + 0,2629x + 48,123$	0,8520	26,98	ns

Em que: ns: não significativo pelo teste t; r<sup>2</sup>: coeficiente de determinação; CV: coeficiente de variação.

Conforme as Figuras 3A e 4A, o aumento das doses de biossólido ocasiona elevação do pH, causando efeito alcalinizante a partir da dose 0 e dose 15.

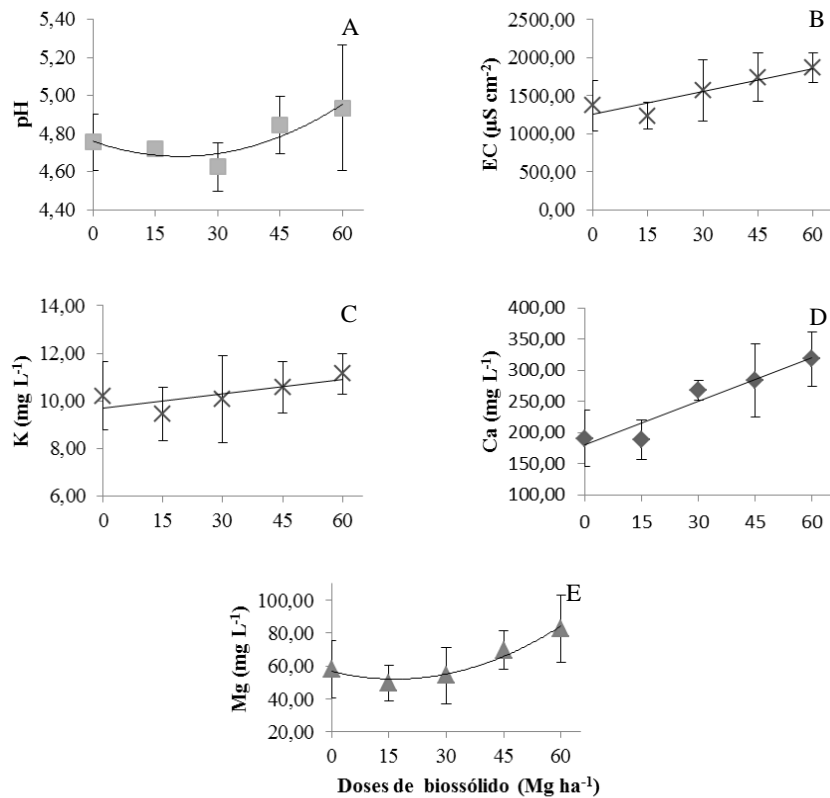
No lixiviado de solo arenoso os valores de pH e K não diferiram significativamente, o que evidencia o alto potencial de lixiviação dos íons K<sup>+</sup> e H<sup>+</sup> de forma homogênea no solo arenoso (Figuras 3A e 3C). O pH do lixiviado de solo argiloso, na dose de 60 mg ha<sup>-1</sup>, foi correspondente à testemunha, e maiores que as doses de 15, 30, 45 mg ha<sup>-1</sup>, as quais apresentaram resultados semelhantes entre si (Figura 3A), essas variações estão de acordo com os relatos de Oliveira et al. (2002).

Os valores de condutividade elétrica (EC) apresentaram aumento linear em função das doses de biossólido em solo arenoso, sendo a menor dose equivalente à testemunha (Figura 3B), salientando que a maioria dos vegetais tem limitações a sua produtividade em CE superiores a 2µS cm<sup>2</sup>. Houve aumento também na lixiviação de Ca e K em função das doses de biossólido em solos arenoso, sendo a dose de 15 mg ha<sup>-1</sup> semelhante à

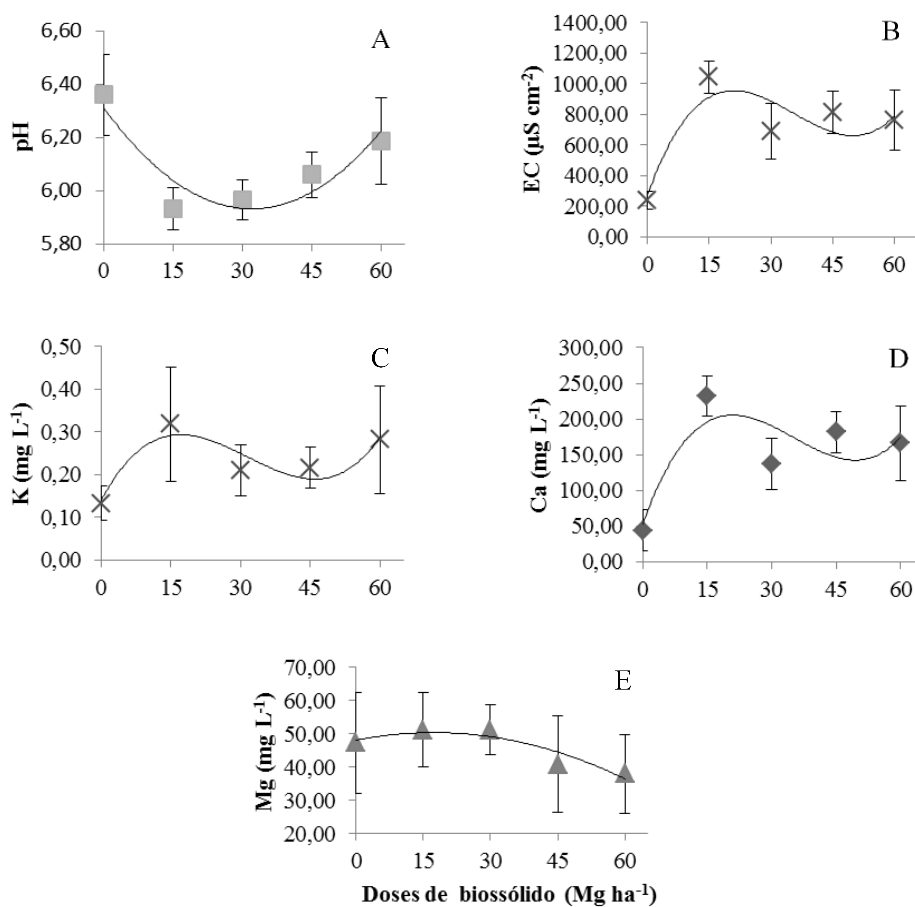
testemunha para esses nutrientes (Figuras 3C e 3D), esses resultados corroboram com Anjos (1999).

No solo arenoso, a lixiviação de Mg foi homogênea até 30 mg ha<sup>-1</sup> (Figura 3E), acima dessa dose, ocorreu o aumento da lixiviação, entretanto, em solo argiloso a lixiviação de Mg foi semelhante (Figura 4E).

Em solo argiloso, houve maior lixiviação de Ca na dose 15 mg ha<sup>-1</sup> com estabilização dos teores desse nutriente a partir da dose 30 mg ha<sup>-1</sup> (Figura 4D). Isto pode ser possivelmente explicado devido ao aumento do teor de matéria orgânica no solo nas doses mais altas de biossólido, proporcionando maior poder de adsorção de cátions. O mesmo fenômeno foi observado para K e CE (Figura 4C). A maior lixiviação destes íons ocorreu pelo fornecimento de elementos a dose de 15 mg ha<sup>-1</sup>, contudo, os teores de matéria orgânica nesta dose não foram suficientes para causar o mesmo efeito de adsorção de íons de doses mais elevadas.



**FIGURA 3** - Solo arenoso. Média de pH (A), condutividade elétrica - EC (B), potássio - K (C), cálcio - Ca (D) e magnésio - Mg (E) de lixiviado de solos sob doses de biossólido.



**FIGURA 4** - Solo argiloso. Média de pH (A), condutividade elétrica - EC (B), potássio - K (C), cálcio - Ca (D) e magnésio - Mg (E) de lixiviado de solos sob doses de biossólido.

## CONCLUSÕES

O solo argiloso suportou maiores doses de biossólidos em relação ao solo arenoso, apresentando lixiviados com menor potencial poluente.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDREOLI, C.V. (Coord.) **Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final**. Projeto PROSAB. Rio de Janeiro: RIMA, ABES, 2001. 282p.
- ANJOS, A.R.M. **Lixiviação de espécies químicas em Latossolos sucessivamente tratados com biossólido e disponibilidade de metais pesados para plantas de milho**. 1999. 191p. Tese de Doutorado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 1999.
- BETTIOL, W.; CAMARGO, O.A.de (Coord.) **Lodo de esgoto: impactos ambientais na agricultura**. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, 2006.
- BOEIRA, R.C.; SOUZA, M.D. **Movimento do herbicida Tebutiurum no perfil de três tipos de solo através de colunas de lixiviação**. Jaguariúna, Comunicado Técnico 25, EMBRAPA, 2005.
- BRASIL. Resolução CONAMA 375 de 30 de agosto de 2006. Define critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. Resolução n.375, de 29 Agosto de 2006.
- COSTA, S.N.; MARTINEZ, M.A.; MATOS, A.T.; RAMOS, V.B.N. Mobilidade do nitrato em colunas de solo sob condições de escoamento não permanente. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.3, p.190-194, 1999.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. EMBRAPA Solos, Rio de Janeiro, 2013. 356p.
- EPSTEIN, E.L.; TAYLOR, J.M.; CHANCY, R.L. Effects of sewage sludge and sludge compost applied to soil on some soil physical and chemical properties. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v.5, n.4, p.422-426, 1976.
- GOMES, S.B.V.; NASCIMENTO, C.W.A.; BIONDI, C.M. Produtividade e composição mineral de plantas de milho em solo adubado com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.11, p.459-465, 2007.
- LAMBAIS, M.R.; CARMO, J.B.do. Impactos da aplicação de biossólidos na microbiota de solos tropicais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n.3, p.1129-1138, jun. 2008.
- MATOS, T.S.; CIRQUEIRA, A.O.; DONAGEMMA, G.K.; POLIDORO, J.C. Lixiviação de cálcio, magnésio e potássio em colunas de um Latossolo Vermelho Distrófico argiloso de Rio Verde - GO em resposta a doses de óxido de magnésio combinadas com gesso. In: XXXI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2007, Gramado, RS. **Anais**..Gramado, RS, 2007.
- NASCIMENTO, C.W.A.; BARROS, D.A.S.; MELO, E.E.C.; OLIVEIRA, A.B. Alterações químicas em solos e crescimento de milho e feijoeiro após aplicação de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n.1, p.385-392, 2004.
- OLIVEIRA, F.C.; MATTIAZZO, M.E.; MARCIANO, C.R.; ROSSETTO, R. Efeitos de aplicações sucessivas de lodo de esgoto em um Latossolo Amarelo distrófico cultivado com cana-de-açúcar: carbono orgânico, condutividade elétrica, pH e CTC. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v.26, n.2, p.505-519, 2002.
- OLIVEIRA, S. **Gestão dos resíduos sólidos urbanos na microrregião serra de Botucatu - caracterização física dos resíduos sólidos domésticos na cidade de Botucatu/SP**. 1997. 127f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Campus de Botucatu, Universidade Estadual Paulista Botucatu, 1997.
- PAREDES FILHO, M.V. Compostagem de lodo de esgoto para uso agrícola. **Revista Agroambiental**, Barreiras. v.3, n.3, p.73-80, 2011.
- PEREIRA, R.D.; TAKENAKA, E.M.M.; FLUMINHAN, A.J. Reciclagem agrícola de biossólidos: aspectos ambientais e aceitação pública. **Colloquium Humanarum**, Presidente Prudente, v.10, n.2, p.90-101, jul./dez. 2013.
- SANTOS, A.B.; FAGERIA, N.K.; ZIMMERMANN, F.J.P. Atributos químicos do solo afetado pelo manejo da água e do fertilizante potássico na cultura de arroz irrigado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.6, n.1, p.12-16, 2002.