

DETERMINAÇÃO DO POTENCIAL AGRÍCOLA DO LODO DE ESGOTO POR MEIO DE ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS E MICROBIOLÓGICAS

Larissa Macedo dos Santos; Wellington Claiton Leite, Fabiano de Meira Moura Luz, Sérgio da Costa Saab

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Coordenação de Química, Pato Branco-PR *e-mail: larissasantos@utfpr.edu.br, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Departamento de Física, Ponta Grossa-PR.

Resumo - O presente trabalho teve como objetivo avaliar a potencialidade agrícola do lodo de esgoto gerado na Estação de Tratamento de Esgoto Rio das Antas operada pela Companhia de Saneamento do Paraná localizada no município de Irati-PR, por meio da determinação das características físico-químicas e microbiológicas. Os resultados obtidos mostraram que os teores de elementos potencialmente tóxicos e microrganismos patogênicos encontram-se abaixo dos limites estabelecidos pela legislação CONAMA no375. Apresentou ainda concentrações significativas de macro e micronutrientes. Portanto, a partir dos parâmetros analíticos, agronômicos e microbiológicos do lodo de esgoto proveniente da Estação de Tratamento de Esgoto Rio das Antas, operada pela Companhia de Saneamento do Paraná, podemos destacar que o mesmo pode ser disponibilizado no solo como fertilizando. Tal disposição parece ser a melhor opção sob o ponto de vista econômico e ambiental, uma vez que dentre as alternativas de disposição final desse resíduo é a que apresenta o menor custo, permite redução no uso de fertilizantes minerais e promove a reciclagem de matéria orgânica e nutrientes essenciais às plantas, tais como N, P, Cu, Fe, Mn, Mo e Zn, desempenhando importante papel na produção agrícola e na manutenção da fertilidade do solo.

Palavras-Chave: lodo de esgoto, elementos potencialmente tóxicos, reciclagem agrícola.

DETERMINATION OF THE AGRICULTURAL POTENTIAL FROM SEWAGE SLUDGE BY PHYSICO-CHEMICAL AND MICROBIOLOGICAL ANALYSES

Abstract- This study aimed to assess the agricultural potential of sewage sludge generated in sewage treatment plant operated by Rio das Antas Companhia de Saneamento do Parana localized in Irati-PR, through the determination of the physico-chemical and microbiological . The results showed that levels of potentially toxic elements and pathogens are below the limits established by CONAMA legislation no375. It also added significant concentrations of macro and micronutrients. Therefore, from the analytical parameters, agronomic and microbiological sludge from the Wastewater Treatment Plant Rio das Antas, operated by Companhia de Saneamento do Parana, we note that the same can be provided as fertilizing the soil. This provision seems to be the best option under the economically and environmentally, given that among the alternatives for final disposal of this waste is that which has the lowest cost, allows reduced use of fertilizers and promoting the recycling of organic matter and essential nutrients to plants, such as N, P, Cu, Fe, Mn, Mo and Zn, playing an important role in agricultural production and maintaining soil fertility.

KeyWord: sewage sludge, potentially toxic elements, agricultural recycling

1. INTRODUÇÃO

O crescimento demográfico das cidades tem ocasionado uma série de problemas sociais, econômicos e ambientais, dentre eles a geração de resíduos, cujo descarte no ambiente não tem sido feito de modo apropriado. Atualmente, os resíduos de origem urbana e doméstica são uns dos grandes problemas ambientais. Dentre estes, destacamos o lodo de esgoto: resíduo que se obtém após o tratamento das águas servidas (esgotos), com a finalidade de torná-las menos poluídas, de modo a permitir o seu retorno ao meio ambiente sem que sejam agentes de poluição significativa. Estima-se hoje que cerca de 50% dos custos com o tratamento de esgoto sejam decorrentes do destino final deste resíduo, custos estes que variam em função do destino escolhido (MELO e MARQUES, 2000).

Dentre as alternativas para a disposição final do lodo de esgoto, tais como, disposição em aterro sanitário (aterro exclusivo ou em co-disposição com resíduos sólidos urbanos); reutilização industrial (produção de agregado leve, fabricação de tijolos e cerâmica e produção de cimento); incineração exclusiva e co-incineração com resíduos sólidos urbanos; conversão em óleo combustível; disposição oceânica, dentre outras, a adição de lodo de esgoto ao solo parece ser a melhor opção sob o ponto de vista econômico e ambiental, uma vez que dentre as alternativas de disposição final desse resíduo é a que apresenta o menor custo, permite redução no uso de fertilizantes minerais e promove a reciclagem de matéria orgânica e nutrientes essenciais às plantas, tais como N, P, Cu, Fe, Mn, Mo e Zn, desempenhando importante papel na produção agrícola e na manutenção da fertilidade do solo (BETTIOL e CAMARGO, 2001; NASCIMENTO et al., 2004; TSUTYA, 2000).

Vários trabalhos encontrados na literatura destacam a importância dessa prática agrícola em relação à produtividade e à fertilidade. MELO et al. (2007) observaram que a utilização do lodo (67,5 t ha⁻¹, base seca) como fertilizante para a cultura do milho propiciou produtividade de grãos superior (8,6 t ha⁻¹) às obtidas com aplicação de adubos minerais (5,6 t ha⁻¹). SILVA et al. (2002) também verificaram maior produtividade de grãos de milho (6,2 t ha⁻¹) em relação à testemunha (2,2 t ha⁻¹) e à adubação com NPK (3,9 a 4,7 t ha⁻¹) por três anos, após uma única aplicação de lodo de esgoto, demonstrando seu efeito residual. LEMAINSKI e SILVA (2006), utilizando lodo de esgoto da Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal, concluíram que, em média, o lodo foi 21% mais eficiente na produção de grãos de milho quando comparado ao fertilizante mineral, obtendo produtividade média de dois cultivos acima de 6,5 t ha⁻¹ nas doses de 30 e 45 t ha⁻¹ de lodo de esgoto úmido. Outros destacam o aporte nos teores de matéria orgânica do solo após aplicações sucessivas de lodo de esgoto ao solo (SANTOS et

al., 2010a).

Contudo, apesar das vantagens apresentadas pela disposição agrícola do lodo de esgoto, no Brasil, a disposição final do lodo geralmente é o aterro sanitário. Além do alto custo, que pode chegar a 50% do custo operacional de uma estação de tratamento de esgoto, a disposição de um resíduo com elevada carga orgânica no aterro agrava ainda mais o problema com o manejo do lixo urbano. Em países da Europa e América do Norte, o lodo geralmente é incinerado, depositado em aterros sanitários ou utilizado em áreas agrícolas, dependendo das características do resíduo. Nos Estados Unidos, durante o ano de 1998, 41% do lodo produzido foi disposto em solos agrícolas e florestais.

A utilização do lodo de esgoto em solos agrícolas vem sendo avaliada desde 1925 nos Estados Unidos da América, Holanda, Reino Unido e Dinamarca (KIRKHAM, 1982; PEDROZA et al., 2003). No Brasil, recentes trabalhos desenvolvidos pelo Programa de Pesquisa e Saneamento Básico no estado do Paraná, confirmaram que a reciclagem agrícola do lodo é uma técnica alternativa para a disposição final do lodo, quando os teores de elementos potencialmente tóxicos e a presença de organismos patogênicos estiverem dentro dos limites propostos pela legislação (FERNANDES et al., 1996).

Contudo, essa prática apresenta algumas restrições, como a presença de elementos patogênicos ao homem e de elementos potencialmente tóxicos. Os elementos potencialmente tóxicos podem acumular-se por tempo indefinido nos solos, devido a aplicações sucessivas de lodo de esgoto, e causar preocupação com relação a segurança ambiental necessária para a viabilização desta prática, bem como a contaminação das plantas, das águas de superfície e lençóis de água, conseqüentemente da cadeia alimentar (BERTON, 2000; MALAVOLTA, 2008). Assim, a presença de elementos potencialmente tóxicos no lodo de esgoto é motivo de grande preocupação ambiental e vem tornando-se um entrave na generalização do uso agrícola deste resíduo (BERTONCINI, 2002).

A concentração desses elementos varia enormemente em função da sua origem e do processo de pré-tratamento que o lodo foi submetido (DOELSCH et al., 2006). Em geral, os metais encontrados no lodo de esgoto são: Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Fe, Co, Mn, Mo, Hg, Sn e Zn. Entre estes, deve-se ressaltar que alguns são essenciais para às plantas (Cu, Fe, Mn, Mo, Ni e Zn).

Assim, a determinação da concentração total de elementos potencialmente tóxicos em resíduos oriundos de estações de tratamento de esgoto, bem como, do solo, água e plantas, submetidos a deposição destes resíduos, fornece informações

importantes quanto à avaliação do nível de contaminação (BETTINELLI et al., 2000), à poluição acumulada e até mesmo quanto a potencial deficiência, quando a poluição não é o problema (URE, 1996).

Com isso, a motivação para a realização desse trabalho deve-se a importância ambiental, agronômica e econômica dessa prática agrícola. Ambiental, destaca-se por reduzir a pressão sobre a exploração dos recursos naturais para a produção de fertilizantes, além de diminuir o impacto ambiental causado na medida em que dispensa a adoção de outras opções de destino final. Agronômica visto o potencial do lodo como fertilizante do solo e Econômica, visto a redução dos custos com outras formas de destino final, como incineração e aterros, e com insumos agrícolas, adubos ou fertilizantes. Associadas a importância da agricultura para a economia do município de Irati-PR e região.

2. MATERIAL E MÉTODOS

As amostras de resíduos foram coletadas na Estação de Tratamento de Esgoto Rio das Antas (SANEPAR) localizada no município de Irati-PR.

Após coleta as amostras foram secas a temperatura ambiente a fim de minimizar a perda de elementos voláteis.

Em seguida, as amostras foram trituradas visando maior homogeneidade do resíduo a ser avaliado.

Após foram analisadas segundo os métodos: EPA SW-846, Standard Methods for Examination of waste and Wastewater, 21st, APHA, 2005. (Métodos 3114B, 3111D, 3111B, 3112B), Standard Methods for Examination of waste and Wastewater, 21st, APHA, 2005 (Método 9510-A).

A caracterização da matéria orgânica foi realizada por meio de espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier. Os espectros foram obtidos no intervalo de 4000 a 400 cm^{-1} utilizando o espectrômetro da marca NICOLET 4700 do Laboratório de Análise Térmica e Espectroscópica pertencente ao Departamento de Engenharia de Materiais da Universidade Estadual de Ponta Grossa.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os teores de As, Ba, Cd, Pb, Cu, Cr, Hg, Mo, Ni, Se e Zn provenientes das análises das amostras de lodo de esgoto coletadas na Estação de Tratamento de Esgoto Rio das Antas (SANEPAR) localizada no município de Irati-PR, durante o ano de 2010, analisadas segundo os métodos: 3114B, 3111D, 3111B, 3112B são mostrados na Tabela 01 em mg kg^{-1} base seca, em acordo com a tabela 2, artigo 11, seção III do CONAMA – Resolução no 375, de 29 de agosto de 2006.

Tabela 01 - Resultados obtidos para os teores de substâncias inorgânicas nas amostras de lodo de esgoto proveniente Estação de Tratamento de Esgoto Rio das Antas (SANEPAR) localizada no município de Irati-PR

Parâmetro Analítico	Teores (mg kg^{-1})
As	<0,01
Ba	440
Cd	3,9
Pb	77
Cu	132,8
Cr	18,3
Hg	<0,01
Mo	<0,1
Ni	34,9
Se	<0,1
Zn	733

Os resultados apresentados na Tabela 01 mostram que as amostras analisadas apresentam conformidade com as especificações do CONAMA, Resolução no375, de 29 de agosto de 2006, visto que estes não ultrapassam os limites estabelecidos pela legislação anteriormente citada.

Os elevados teores de Zn no lodo de esgoto corroboram com NOGUEIRA et al. (2008) e SANTOS et al. (2010b) que destacam aumento significativo para os teores de Zn em solos submetidos a adição de lodo de esgoto durante um longo período. Além do aumento nos teores de Zn outros trabalhos destacam incrementos nos teores de Ba (IPPOLITO e BARBARICK, 2006), Cd (FRANCO, 2009); Cr (OLIVEIRA e MATIAZZO, 2001), Cu (OLIVEIRA e MATIAZZO, 2001; FRANCO, 2009) e Ni (FRANCO, 2009), devido a adição de lodo de esgoto ao solo. Os elementos supracitados foram também encontrados no lodo de esgoto analisado, proveniente Estação de Tratamento de Esgoto Rio das Antas (SANEPAR) localizada no município de Irati-PR.

Do ponto de vista agrônomo, quando os limites de elementos potencialmente tóxicos no lodo se encontram abaixo dos estabelecidos pela Legislação CONAMA, Resolução no375, de 29 de agosto de 2006 a adição de lodo de esgoto ao solo é uma boa alternativa para a disposição final desse resíduo, visto que permite a ciclagem de nutrientes de plantas e o aumento da disponibilidade desses elementos, promovendo, com isso, melhoria na fertilidade do solo além de melhoria nas propriedades físicas e o aumento na produtividade das culturas (MELO e MARQUES, 2000). Assim, foi também avaliado o potencial agrônomo do lodo de esgoto proveniente da Estação de Tratamento de Esgoto Rio das Antas (SANEPAR) localizada no município de Irati-PR, os parâmetros analisados são apresentados na Tabela 02.

Vários trabalhos destacam a importância dessa prática agrícola em relação à produtividade e à fertilidade do solo. MELO et al. (2007) observaram que a utilização do lodo de esgoto ($67,5 \text{ t ha}^{-1}$, base

seca) como fertilizante para a cultura do milho propiciou produtividade de grãos superior (8,6 t ha⁻¹) às obtidas com aplicação de adubos minerais (5,6 t ha⁻¹). SILVA et al. (2002) também verificaram maior produtividade de grãos de milho (6,2 t ha⁻¹) em relação à testemunha (2,2 t ha⁻¹) e à adubação com NPK (3,9 a 4,7 t ha⁻¹) por três anos, após uma única aplicação de lodo de esgoto, demonstrando seu efeito residual. LEMAINSKI e SILVA (2006), utilizando lodo de esgoto da Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal, concluíram que, em média, o lodo foi 21% mais eficiente na produção de grãos de milho, quando comparado ao fertilizante mineral, obtendo produtividade média dois cultivos acima de 6,50 t ha⁻¹ nas doses de 30 e 45 t ha⁻¹ de lodo de esgoto úmido.

Tabela 02 - Resultados obtidos para os parâmetros agrônômicos das amostras de lodo de esgoto proveniente Estação de Tratamento de Esgoto Rio das Antas (SANEPAR) localizada no município de Irati-PR

Parâmetro Agrônômico	Teores
Sólidos Totais	546.400 mg kg ⁻¹
Sólidos Voláteis	184.000 mg kg ⁻¹ de ST
Umidade	45,36% m/m
Carbono Orgânico	108.261 mg kg ⁻¹ de ST
Enxofre Total	978 mg kg ⁻¹ de ST
pH em água	12,26 adimensional
Nitrogênio Kjeldahl	7.500 mg kg ⁻¹ de ST
Nitrogênio Amoniacal	6.400 mg kg ⁻¹ de ST
Nitrogênio Nitrate	730 mg kg ⁻¹ de ST
Nitrogênio Nitrito	2,5 mg kg ⁻¹ de ST
Fósforo Total	2.070 mg P kg ⁻¹ de ST
Potássio Total	210 mg kg ⁻¹ de ST
Sódio Total	800 mg kg ⁻¹ de ST
Cálcio Total	236.500 mg kg ⁻¹ de ST
Magnésio Total	22.400 mg kg ⁻¹ de ST

Os resultados obtidos para os parâmetros agrônômicos são apresentados na Tabela 02.

A utilização do lodo de esgoto em solos agrícolas vem sendo avaliada desde 1925 nos Estados Unidos da América, Holanda, Reino Unido e Dinamarca (KIRKHAM, 1982; PEDROZA et al., 2003). No Brasil, recentes trabalhos (SANTOS et al., 2010a) destacam resultados obtidos após a adição de lodo de esgoto durante 11 anos consecutivos em latossolos. Segundo SANTOS et al. (2010b) a adição de lodo de esgoto ao solo promoveu aumentos nos teores totais de Ba, Cr, Cu, Ni e Zn.

Contudo, além da determinação dos teores de elementos potencialmente tóxicos, macro e micronutrientes e matéria orgânica, é importante determinar as características da matéria orgânica presente no resíduo. Assim foram realizados experimentos de espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier, a fim de se obter informações sobre a composição de grupos funcionais do lodo de esgoto proveniente da

Estação de Tratamento de Esgoto Rio das Antas (SANEPAR) localizada no município de Irati-PR. A interpretação dos espectros de infravermelho com transformada de Fourier foi realizada de acordo com (NAKANISHI, 1962; PICCOLO et al., 1982; BLOOM et al., 1989; SILVERSTEIN et al., 1994; CANELLAS et al., 2001; POLAK et al., 2005).

Os espectros na região do infravermelho para as amostras de lodo são mostrados na Figura 01.

Foi observado nos espectros de infravermelho com transformada de Fourier das amostras 1, 2 e 3 uma banda intensa e larga na região de alta frequência, entre 3600 a 3070 cm⁻¹, atribuída a vibrações de estiramento O-H de H ligado a grupos OH e, possivelmente, estiramento N-H, comprovando a presença abundante de grupos OH nos lodos

A presença de uma banda de absorção característica de vibrações assimétricas de grupos metileno e metil na região de 2918 a 2925 cm⁻¹, foi observada no lodo de esgoto calado coletado em 2010 (Amostra 2) e no lodo de esgoto in natura (Amostra 3), indicando a presença de cadeias alifáticas, e o baixo grau de humificação do lodo de esgoto. A presença de grupos C-H (CH₃) pode ainda ser confirmada pela absorção em 1456 cm⁻¹ (deformação C-H dos -CH₂ e -CH₃).

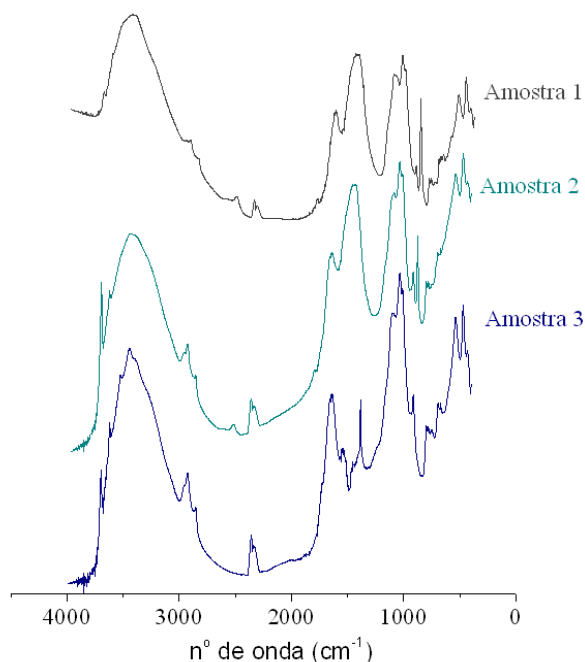


Figura 1 – Espectros de infravermelho com transformada de Fourier de (Amostra A) lodo calado e produzido em 2007, (Amostra B) lodo de esgoto calado e produzido em 2010 e (Amostra C) lodo de esgoto in natura.

As absorções próximas de 1700 cm⁻¹ correspondem a vibrações de C=O de cetonas, quinonas e grupos COOH (SILVERSTEIN et al., 1994). A conversão de COOH para COO⁻ leva à perda de absorção em 1720 cm⁻¹ (C=O de COOH) e 1230 cm⁻¹

(estiramento C-O e deformação OH de COOH). Isso ocorre de duas maneiras: quando se neutraliza o composto e/ou se complexa com metal (PICCOLO et al., 1982). Provavelmente, no lodo a complexação com metal é a mais provável, visto que estes são resíduos que apresentam alta concentração de elementos potencialmente tóxicos. Porém, a partir dos espectros obtidos foi observado um perfil diferente para o lodo de esgoto in natura (Amostra 3) se comparado aos demais lodos (Amostras 1 e 2).

Também foi observado em todos os espectros um sinal de absorção na região de 1030 a 1035 cm^{-1} , que pode ser atribuído à presença de carboidratos ou Si-O de impurezas silicatadas nos lodos. Esse sinal pode também ser referentes a deformação axial de CO de polissacarídeos.

A absorção compreendida na região de 500 cm^{-1} geralmente é atribuída à presença de impurezas minerais (BLOOM et al., 1989) claramente observada nas três amostras de lodo.

Os resultados obtidos por meio da espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (Figura 01) sugerem baixo grau de humificação para as amostras de lodo, resultado este que corrobora com outros trabalhos da literatura (MELO et al., 2008; SANTOS et al., 2010ab). Assim, a disposição desse resíduo no solo poderá acarretar em variações no grau de humificação, características físico-químicas e microbiológicas destes, com isso é importante a determinação dos fatores que controlam a velocidade de decomposição e liberação de nutrientes pelos resíduos.

Trabalhos desenvolvidos pelo Programa de Pesquisa e Saneamento Básico no estado do Paraná confirmaram que a reciclagem agrícola do lodo é uma técnica alternativa para a disposição final do lodo, quando os teores de elementos potencialmente tóxicos e a presença de organismos patogênicos estiverem dentro dos limites propostos pela legislação (FERNANDES et al., 1996).

Na tabela 03 são apresentados os parâmetros microbiológicos como, salmonela, coliformes termotolerantes, ovos viáveis de helmintos e vírus entérico no lodo de esgoto proveniente da Estação de Tratamento de Esgoto Rio das Antas (SANEPAR) localizada no município de Irati-PR.

Tabela 03 - Resultados obtidos para os parâmetros microbiológicos das amostras de lodo de esgoto proveniente Estação de Tratamento de Esgoto Rio das Antas (SANEPAR) localizada no município de Irati-PR

Parâmetro Microbiológico	Teores
Salmonela	Ausência (10g de ST)
Coliformes Termotolerantes	<10 (NMP/ g de ST)
Ovos viáveis de helmintos	<0,25 (ovo/ g de ST)
Vírus entérico	<0,25 (UFP/g de ST)

Os resultados mostrados na tabela 03 mostram que o lodo proveniente da Estação de Tratamento de

Esgoto Rio das Antas (SANEPAR) localizada no município de Irati-PR, encontra-se dentro dos limites estabelecidos pela legislação CONAMA no 375 quanto a presença de microorganismos patogênicos. Deste modo, tal resíduo pode ser utilizado como fertilizante em solos agrícolas.

Contudo, o uso agrícola do lodo de esgoto não é a única alternativa para a disposição final desse resíduo. No Brasil, a disposição final do lodo geralmente é o aterro sanitário. Além do alto custo, que pode chegar a 50% do custo operacional de uma estação de tratamento de esgoto, a disposição de um resíduo com elevada carga orgânica no aterro agrava ainda mais o problema com o manejo do lixo urbano. Em países da Europa e América do Norte, o lodo geralmente é incinerado, depositado em aterros sanitários ou utilizado em áreas agrícolas, dependendo das características do resíduo. Nos Estados Unidos, durante o ano de 1998, 41% do lodo produzido foi disposto em solos agrícolas e florestais.

Tais resultados visam ressaltar as vantagens e benefícios do uso agrícola do lodo de esgoto como uma importante alternativa de disposição final desse resíduo, quanto os teores de microorganismos patogênicos e elementos potencialmente tóxicos encontram-se dentro dos limites estabelecidos pela legislação CONAMA no375.

4. CONCLUSÕES

A partir dos parâmetros analíticos, agronômicos e microbiológicos do lodo de esgoto analisado podemos destacar que o mesmo pode ser disponibilizado no solo como fertilizando. Tal disposição parece ser a melhor opção sob o ponto de vista econômico e ambiental, uma vez que dentre as alternativas de disposição final desse resíduo é a que apresenta o menor custo, permite redução no uso de fertilizantes minerais e promove a reciclagem de matéria orgânica e nutrientes essenciais às plantas, tais como N, P, Cu, Fe, Mn, Mo e Zn, desempenhando importante papel na produção agrícola e na manutenção da fertilidade do solo. Do ponto de vista agronômico, destacamos a importância que a matéria orgânica presente em altas concentrações no resíduo exerce no que diz respeito à sustentabilidade de ecossistemas, sobre o grau de fertilidade de solos e sobre o efeito estufa.

AGRADECIMENTOS

Os resultados apresentados nas Tabelas 01, 02 e 03 foram fornecidos pela SANEPAR. O artigo apresenta parte dos resultados obtidos pela autora no desenvolvimento do Projeto de Pesquisa Especial denominado Avaliação da Potencialidade Agrícola do Lodo de Esgoto Produzido na Estação de Tratamento de Esgoto Rio das Antas localizada no Município de Irati-PR realizado na UNICENTRO-

Campus Irati.

REFERÊNCIAS

- BERTON, R. S. Riscos de contaminação do agroecossistema com metais pesados. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O.A. (Eds.). Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2000. Cap. 16, p. 259-268.
- BERTONCINI, E. I. Comportamento de Cd, Cr, Cu, Ni e Zn em latossolos sucessivamente tratados com biossólido: extração seqüencial, fitodisponibilidade e caracterização de substâncias húmicas. Tese. Piracicaba, 2002. 210 p. Doutorado (Solos e Nutrição de Plantas) – ESALQ, Universidade de São Paulo (USP).
- BETTINELLI, M.; BEONE, G.M.; SPEZIA, S.; BAFFI, C. Determination of heavy metals in soils and sediments by microwave-assisted digestion and inductively coupled plasma optical emission spectrometry analysis. *Analytica Chimica Acta*, v. 424, p. 289-296, 2000.
- BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. Reciclagem de lodo de esgoto na agricultura. In: MELO, I. S.; SILVA, C. M. M. S.; SCRAMIN, S.; SPESSOTO, A. (Eds.) Biodegradação. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2001. p. 93-106.
- BLOOM, P. R.; LEENHEER, J. A. Vibrational, electronic, and high-energy spectroscopic methods for characterizing humic substances. In: HAYES, M. H. B.; MacCARTHY, P.; MALCOLM, R. L.; SWIFT, R. S. (Ed.) Humic substances II: In search of structure. New York: John Wiley, 1989. p. 410-446.
- CANELLAS, L. P.; SANTOS, G. A.; RUMJANEK, V. M.; MORAES, A. A.; GURIDI, F. Distribuição da matéria orgânica e características de ácidos húmicos em solos com adição de resíduos de origem urbana. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 36, n. 12, p. 1529-1538, 2001.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução 375. 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. Brasília, Diário Oficial da República Federativa do Brasil, 2006.
- FERNANDES, F.; ANDRAUS, S.; ANDREOLI, C.V. Eficiência dos processos de desinfecção do lodo da ETE-Belém com vista a seu uso agrícola. *Sanare*, v. 5, p. 46-58, 1996.
- FRANCO, A. Aplicação de lodo de esgoto em cana-planta como fonte de nitrogênio e fósforo e seu impacto ambiental. Tese. Piracicaba, 2009. 96p. Doutorado (Ciências) – CENA, Universidade de São Paulo (USP).
- IPPOLITO, J.A.; BARBARICK, K.A. Biosolids Affect Soil Barium in a Dryland Wheat Agroecosystem. *Journal of Environment Quality*, v. 35: p. 2333-2341, 2006.
- KIRKHAM, M.B. Agricultural use of phosphorus in sewage sludge. *Advanced in Agronomy*, v. 35, p. 129-163, 1982.
- LEMAINSKI, J.; SILVA, J.E. Utilização do biossólido da CAESB na produção de milho no Distrito Federal. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 30, p. 741-750, 2006.
- MALAVOLTA, E. O Futuro da Nutrição de Plantas Tendo em Vista Aspectos Agronômicos, Econômicos e Ambientais. São Paulo, Informações Agronômicas, 2008. 121p.
- MELO, L.C.A.; SILVA, C.A.; DIAS, B.O. Caracterização da matriz orgânica de resíduos de origens diversificadas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, p. 101-110, 2008.
- MELO, W.J.; AGUIAR, P.S.; MELO, G.M.P.; MELO, V.P. Nickel in a tropical soil treated with sewage sludge and cropped with maize in a long-term field study. *Soil Biology & Biochemistry*, v. 39, p. 1341-1347, 2007.
- MELO, W.J.; MARQUES, M.O. Potencial do lodo de esgoto como fonte de nutrientes para as plantas. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O.A., (Eds.). Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2000. Cap. 5, p.109-141.
- NAKANISHI, K. Infrared absorption spectroscopy. Tokyo: Nankondo, 1962. 233 p.
- 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*, v. 28, p. 385-392, 2004.
- NOGUEIRA, T.A.R.; OLIVEIRA, L.R.; MELO, W.J.; FONSECA, I.M.; MELO, G.M.P.; MELO, V.P.; MARQUES, M.O. Cádmio, Cromo, Chumbo e Zinco em Plantas de Milho e em Latossolo Após Nove Aplicações Anuais de Lodo de Esgoto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, p. 2195-2207, 2008.
- 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 Agrícola*, v. 58, p. 807-812, 2001.
- PEDROZA, J.P.; HAANDEL, A.C van.; BELTRÃO, N.E.M.; DIONÍSIO, J.A. Produção e componentes do algodoeiro herbáceo em função da aplicação de biossólidos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 7, p. 483-488, 2003.
- PICCOLO, A.; STEVENSON, F. J. Infrared spectra of Cu+2, Pb+2 and Ca+2 complexes of soil humic substances. *Geoderma*, v. 27, p. 195-208, 1982.
- POLAK, J.; SULKOWSKI, W.W.; BARTOSZEK, M.; PAPIEZ, W. Spectroscopic studies of the progress of humification processes in humic acid extracted from sewage sludge. *Journal of Molecular Structure*, v. 744-747, p. 983-989, 2005.
- SANTOS, L.M.; MILORI, D.M.B.P.; SIMÕES, M.L.; SILVA, W.T.L.; PEREIRA-FILHO, E.R.; MELO, W.J.; MARTIN-NETO, L. Characterization by Fluorescence of Organic Matter from Oxisols under Sewage Sludge Applications. *Soil Science Society of America Journal*, v. 74, p. 94-104, 2010a.
- SANTOS, L.M.; SIMÕES, M.L.; MELO, W.J.; MARTIN-NETO, L.; PEREIRA-FILHO, E.R. Application of chemometric methods in the evaluation of chemical and spectroscopic data on organic matter from Oxisols in sewage sludge applications. *Geoderma*, v. 155, p. 121-127, 2010b.
- SILVA, J.E.; RESCK, D.V.S.; SHARMA, R.D. Alternativa agrônômica para o biossólido produzido no Distrito Federal. I – Efeito na produção de milho e na adição de metais pesados em Latossolo no cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 26, p. 487-495, 2002.
- SILVERSTEIN, R. M.; BASSLER, G.; MORRIL, T. C. Identificação Espectroscópica de Compostos Orgânicos. Rio de Janeiro: Guanabara-Koogan, 1994. 387p.
- TSUTYA, M.T. Alternativas de disposição final de biossólidos gerados em estações de tratamento de esgoto. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O.A. (Eds.). Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2000. Cap.4, p.69-106.
- URE, A.M.; QUEVAUVILLER, P. Single extraction schemes for soils analysis and related applications. *Science of the Total Environment*, v. 178, p. 3-10, 1996.