

EFEITOS DA APLICAÇÃO DE LODO DE ESGOTO ESTABILIZADO POR DIFERENTES PROCESSOS NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS E MICROBIOLÓGICOS DE UM CAMBISSOLO HÁPLICO

*Najara Glenda Frota Pereira¹
Leidivan Almeida Frazão²
Agda Loureiro Gonçalves Oliveira³
Paulo Henrique Silveira Cardoso⁴
Regynaldo Arruda Sampaio⁵
Luiz Arnaldo Fernandes⁶*

RESUMO

O lodo de esgoto é um resíduo orgânico com excelente potencial para fertilização agrícola, em virtude de sua elevada quantidade de matéria orgânica e de nutrientes, promovendo incremento nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. Objetivou-se avaliar os efeitos da adição do lodo e da fertilização mineral nos atributos microbianos do solo. O experimento foi realizado em um Cambissolo Háplico cultivado com milho (*Zea Mays* L.) Dekalb, com tecnologia VT PRO MAX, de agosto de 2013 a abril de 2014, em que se avaliou a qualidade do solo após a aplicação de fertilizantes orgânico e mineral. Os tratamentos avaliados foram: testemunha, lodo solarizado, lodo seco e adubo químico (NPK). A amostragem de solo foi realizada nas profundidades 0–10 cm e 10–20 cm. Os atributos microbianos do solo avaliados foram o carbono da biomassa microbiana (C-BMS), respiração basal (RBS), quociente metabólico (qCO_2) e quociente microbiano ($qMIC$). O C-BMS apresentou correlação com a capacidade de troca catiônica (CTC), matéria orgânica do solo (MOS), carbono orgânico total,

¹ Engenheira agrícola e ambiental, mestranda do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG/PPGPV), Montes Claros, MG. najara251@gmail.com

² Engenheira-agrônoma, doutora em Solos e Nutrição de Plantas, professora adjunta do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG/ICA), Montes Claros, MG. leidivan.frazao@gmail.com

³ Graduanda em Engenharia Agrícola e Ambiental pela UFMG, Montes Claros, MG. agdaloureiro@gmail.com

⁴ Graduando em Engenharia Agrícola e Ambiental pela UFMG, Montes Claros, MG. paulohenrique.sc@hotmail.com

⁵ Engenheiro-agrônomo, doutor em Fitotecnia, professor associado do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG/ICA), Montes Claros, MG. regynaldo@terra.com.br

⁶ Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciência do Solo, professor associado do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG/ICA), Montes Claros, MG. larnaldo@ica.ufmg.br

pH e composição granulométrica do solo. Os resultados obtidos mostraram que, na camada 10–20 cm, houve aumento do C-BMS no tratamento com lodo solarizado em relação aos demais tratamentos. Não houve aumento do qCO_2 , o que indica que a adição do lodo não interferiu na eficiência da atividade dos microrganismos do solo.

Termos para indexação: biomassa microbiana, matéria orgânica, qualidade do solo, qCO_2 , respiração basal.

EFFECTS OF APPLICATION OF SEWAGE SLUDGE STABILIZED BY DIFFERENT PROCESSES IN THE CHEMICAL AND MICROBIOLOGICAL PROPERTIES OF AN HAPLIC CAMBISOL SOIL

ABSTRACT

Sewage sludge is an organic residue with great potential for agricultural fertilization due to its high amount of organic matter and nutrients, leading to increase in physical, chemical and biological properties of soil. The objective of this study was to evaluate the effects of application of sewage sludge and mineral fertilization on soil microbial attributes. The experiment was carried out in an Haplic Cambisol soil cultivated with corn (*Zea mays* L.) Dekalb, with VT PRO MAX technology, from August 2013 to April 2014, for assessment of soil quality after application of organic and mineral fertilizers. The treatments evaluated were: control, solarized sewage sludge, dried sewage sludge, and chemical fertilizer (NPK). Soil samples were taken at 0-10 cm and 10-20 cm soil depth layers. The soil microbial attributes evaluated were: the microbial biomass carbon (MBC), basal respiration (BR), metabolic quotient (qCO_2), and microbial quotient ($qMIC$). It was shown that MBC was correlated to cation exchange capacity (CEC), soil organic matter (SOM), total organic carbon, pH and granulometric composition of the soil. Results showed that, for the 10-20 cm depth layer, there was an increase in MBC in the treatment with solarized sewage sludge, in comparison to the other treatments. There was no increase in qCO_2 , indicating that the addition of sewage sludge did not affected the efficiency of soil microbial activity.

Index terms: microbial biomass, organic matter, soil quality, qCO_2 , basal respiration.

INTRODUÇÃO

A correta destinação do lodo de esgoto de forma ambientalmente segura é de extrema importância para o processo de gerenciamento do tratamento de efluentes. Entre as destinações comumente dadas ao lodo (aterro sanitário, incineração), a utilização na agricultura é considerada a mais viável ambiental e economicamente (CONTIN et al., 2012), pois ele apresenta grande quantidade de matéria orgânica e nutrientes (BITTENCOURT et al., 2014; RASTETTER; GERHARDT, 2015; SHI et al., 2013), podendo proporcionar

melhorias nas propriedades químicas, físicas e biológicas dos solos (ROIG et al., 2012). Porém, faz-se necessária uma avaliação criteriosa dos seus efeitos, porque o produto pode conter metais pesados na sua composição, restringindo sua utilização no solo agrícola (WANG et al., 2005).

O lodo de esgoto pode ser uma alternativa economicamente viável para fertilização do solo quando comparado aos fertilizantes minerais (SILVA et al., 2002). A avaliação da atividade microbiana do solo, parâmetro biológico de resposta rápida sobre a qualidade do solo, tem sido utilizada para assegurar a qualidade do insumo e a adequação do seu uso na agricultura (BOHM et al., 2014; ARMENTA et al., 2012; HERNÁNDEZ-ALLICA, 2006).

A biomassa microbiana do solo é responsável pela decomposição da matéria orgânica e ciclagem de nutrientes, funciona como um depósito de nutrientes para as plantas, e sua atividade reflete qualquer alteração feita no solo, seja ela benéfica, seja maléfica (GONÇALVES et al., 2009; BASTIDA et al., 2008). Portanto, a atividade microbiana é apontada como um sensível indicador de qualidade do solo e responde mais rapidamente do que parâmetros físicos e químicos (KASCHUK et al., 2010a; POWLSON et al., 1987).

Estudos voltados para essa área podem ajudar o produtor na escolha de técnicas de monitoramento da qualidade do solo mais eficientes, sustentáveis e econômicas, promovendo uma menor degradação do solo, conservação da matéria orgânica e, conseqüentemente, maior quantidade de nutrientes e melhores condições do solo para plantio, trazendo uma melhor resposta de produtividade das culturas.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi comparar os efeitos da aplicação de lodo de esgoto com fertilizante mineral nos atributos químicos, carbono da biomassa microbiana (C-BMS), respiração basal (RBS), quociente metabólico (qCO_2) e quociente microbiano ($qMIC$) de um Cambissolo Háplico cultivado com milho (*Zea mays* L.).

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais, localizado no município de Montes Claros, MG (43°50'15,90"W e16°40'57,59"S), com 620 m de altitude, durante

o período de agosto de 2013 a abril de 2014. De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Aw – Tropical de Savana. O índice pluviométrico mensal variou durante a condução do experimento, com total de 1.071 mm (Figura 1).

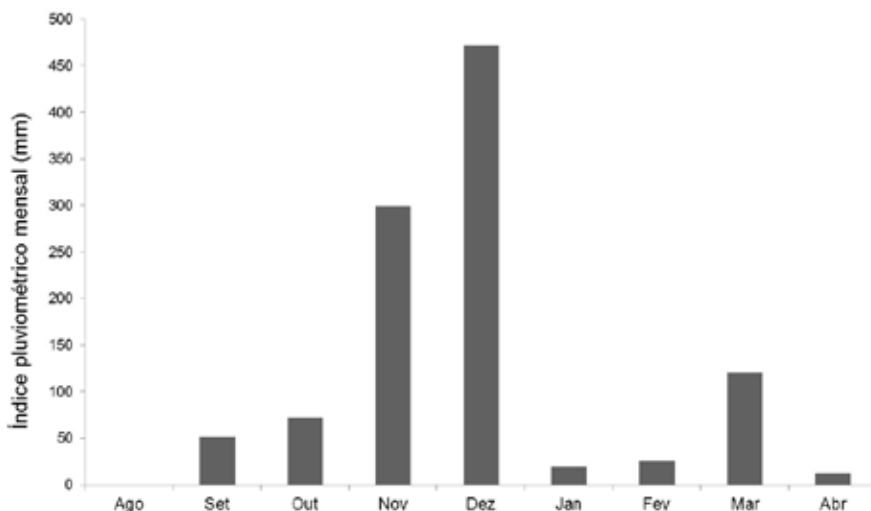


Figura 1. Índice pluviométrico durante o período de condução do experimento.

Fonte: Estação Meteorológica da Universidade Federal de Minas Gerais – campus Montes Claros.

O solo da área é classificado como Cambissolo Háplico, e as características químicas anteriores à instalação do experimento estão descritas na Tabela 1.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados com quatro tratamentos e seis repetições. O plantio do milho (*Zea mays* L.) Dekalb – tecnologia VT PRO MAX – foi realizado de forma manual com posterior revolvimento com enxada, utilizando-se um espaçamento de 0,8 m entre linhas e 0,2 m entre plantas. Os tratamentos avaliados foram: i) testemunha (sem adubação); ii) adubação com NPK, em doses recomendadas para a cultura do milho (plantio: 432 kg ha⁻¹ de ureia, 6.360 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 996 kg ha⁻¹ de KCl; cobertura: 2.400 kg ha⁻¹ de ureia e 1.200 kg ha⁻¹ de sulfato de amônio); iii) adubação com lodo de esgoto seco em secadora a 350 °C por 30 minutos (composto por 6,34% de N); e iv) adubação com lodo de esgoto

Tabela 1. Caracterização química do solo utilizado para o experimento, antes da aplicação de fertilizante mineral (NPK) e de lodo de esgoto.

pH ⁽¹⁾	Ca	Mg	H + Al ⁽²⁾	SB ⁽³⁾	T ⁽⁴⁾	V ⁽⁵⁾	MO ⁽⁶⁾	COT ⁽⁷⁾	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila
	----- cmol dm ⁻³ -----					-- % --	--- dag kg ⁻¹ ---		----- % -----			
8,20	6,90	1,70	1,33	9,24	10,57	87,00	9,68	5,62	21,70	10,30	34,00	34,00

⁽¹⁾ pH: potencial hidrogeniônico

⁽²⁾ H + Al: acidez potencial

⁽³⁾ SB: soma de bases

⁽⁴⁾ T: CTC efetiva

⁽⁵⁾ V: saturação de bases

⁽⁶⁾ MO: matéria orgânica

⁽⁷⁾ COT: carbono orgânico total

solarizado, parcialmente desidratado em centrífuga e seco ao sol (composto por 10,59% de N). As doses de lodo de esgoto foram calculadas com base na demanda de N para o milho. O lodo de esgoto foi obtido na Companhia de Saneamento de Minas Gerais (Copasa). Não houve caracterização físico-química do produto, porém, a recomendação de adubação foi realizada de acordo com os teores de N determinados em laboratório. Os fertilizantes (mineral e orgânico) foram manualmente aplicados no dia anterior ao do plantio do milho. O lodo foi espalhado na superfície e incorporado com o auxílio de enxada a 15 cm de profundidade, e o NPK foi aplicado na camada superficial, com uma segunda aplicação 25 dias após o plantio.

A amostragem do solo foi realizada em março de 2014, 41 dias após a adubação de plantio. As amostras foram coletadas nas linhas centrais de cada parcela, nas profundidades 0–10 cm e 10–20 cm. Para as análises microbiológicas do solo, foram coletados 200 g de terra com o auxílio de uma espátula, enquanto para as análises químicas, foram coletados 100 g em cada camada de solo amostrada. As amostras para análises microbiológicas foram armazenadas em sacos de plástico com respiro para favorecer a troca de gases com o ambiente externo. Posteriormente, foram passadas por peneiras com malha de 4 mm e 2 mm, retirando-se os fragmentos animais e vegetais por meio de catação.

A umidade do solo foi determinada e posteriormente corrigida para 60% da capacidade de campo, faixa de umidade ideal para ativar os microrganismos. As amostras utilizadas para as análises químicas foram secas

ao ar, passadas por peneira com malha de 2 mm e enviadas ao Laboratório de Análise de Solos do Instituto de Ciências Agrárias da UFMG.

A caracterização química dos solos para fins de avaliação da fertilidade foi feita conforme metodologia da Embrapa (MANUAL..., 1997). O Ca e o Mg foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica. Foram calculadas a soma de bases (SB); a capacidade de troca catiônica a pH 7 (T) e a efetiva (t); a saturação por bases (V%); e a saturação por Al (m%). O pH foi determinado em água.

Para análise do C orgânico, foi utilizado o método colorimétrico, que se baseia na leitura colorimétrica da cor verde do íon Cr (III) reduzido pelo carbono orgânico (QUAGGIO; RAIJ, 1979). O método utilizado para determinação da biomassa microbiana do solo foi o de irradiação-extração segundo Ferreira et al. (1999), modificado.

Cada amostra foi dividida em duas subamostras – duas de 15 g –, de forma que uma delas foi irradiada e a outra não foi irradiada para proceder aos cálculos posteriormente. Uma terceira subamostra de 10 g foi utilizada para obtenção da umidade do solo. As amostras para determinação do carbono microbiano foram acondicionadas em tubos de falcon, enquanto as amostras para obtenção da umidade do solo foram colocadas em béqueres de polipropileno e levadas para estufa a 65 °C durante 3 dias.

A irradiação das amostras foi realizada em forno micro-ondas durante 3 minutos para promover a morte dos microrganismos do solo, rompendo a parede celular e liberando o material citoplasmático na solução do solo. Em cada amostra a ser irradiada, foram adicionados cerca de 2 ml de água destilada. Após a irradiação, as amostras foram extraídas com sulfato de potássio (K_2SO_4) (0,5 M) e agitadas por 30 minutos a 220 rpm para a posterior retirada da alíquota utilizada para quantificação do C-BMS. A quantificação do carbono microbiano foi feita por titulação. Posteriormente, foi calculado o teor de C nos extratos de acordo com as equações propostas por Ferreira et al. (1999).

Anteriormente às análises de respirometria, as amostras passaram por um período de pré-incubação de 7 dias, para que houvesse uma adaptação dos microrganismos a esse novo ambiente. As amostras foram acondicionadas em frascos de 500 ml hermeticamente fechados, para que não houvesse entrada de ar externo ou fuga de CO_2 internamente produzido. A incubação

das amostras e a determinação do CO₂ evoluído ao longo do tempo foram realizadas de acordo com a metodologia proposta por Silva et al. (2007). Para o cálculo da respiração basal do solo (RBS), consideraram-se os valores das duas últimas titulações, momento em que a respiração se estabilizou, ou seja, os microrganismos se adaptaram às condições dos ambientes a que foram submetidos.

Para obtenção do quociente metabólico (qCO₂), foi dividido o valor obtido no cálculo da respiração basal pelo C obtido na biomassa microbiana do solo, conforme descrito por Silva et al. (2007).

O quociente microbiano foi calculado pela relação entre os valores do C da biomassa microbiana e do C orgânico total do solo, conforme equação 1:

$$qMIC = \frac{C - BMS}{COT} \times 100 \quad (1)$$

em que

qMIC – quociente microbiano do solo (%)

C-BMS – C da biomassa microbiana do solo (mg kg⁻¹ de solo)

COT – C orgânico total do solo (mg kg⁻¹ de solo)

Os parâmetros do solo avaliados foram submetidos à análise de variância, e as médias, comparadas pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade, com auxílio do software SAEG (Sistema para Análises Estatísticas).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve um decréscimo nos valores de pH do solo nos tratamentos que receberam lodo de esgoto em relação à testemunha para as duas profundidades avaliadas (Tabela 2). O efeito foi positivo para as condições do experimento, uma vez que o solo encontrava-se com caráter alcalino em momento anterior ao da instalação do experimento (Tabela 1). Esse resultado pode estar associado à liberação de ácidos orgânicos após a aplicação do adubo orgânico, tendo promovido a diminuição dos valores de pH do solo (GOMES et al., 2005).

O tratamento com fertilizante mineral apresentou concentrações de Ca superiores à testemunha na camada a 0–10 cm de profundidade (Tabela 2).

Tabela 2. Características químicas nas camadas a 0–10 cm e 10–20 cm de profundidade em solo cultivado com milho e submetido a diferentes tipos de adubação.

Variável	Prof. (cm)	Testemunha	Lodo solarizado	Lodo seco	Adubo químico
pH ⁽²⁾	0–10	7,35a ⁽¹⁾	6,75b	7,00b	7,07ab
	10–20	7,30a	6,80b	6,90b	7,05ab
Ca (cmol dm ⁻³)	0–10	7,85b	8,42ab	8,27ab	9,22a
	10–20	8,00a	7,97a	9,02a	8,25a
Mg (cmol dm ⁻³)	0–10	1,10a	1,72a	2,57a	3,75a
	10–20	1,57a	1,70a	1,95a	1,90a
H + AL ⁽³⁾ (cmol dm ⁻³)	0–10	1,36a	1,73a	1,67a	1,45a
	10–20	1,60a	1,90a	1,64a	1,58a
SB ⁽⁴⁾ (cmol dm ⁻³)	0–10	9,39a	10,70a	11,40a	9,11a
	10–20	9,94b	10,06a	12,95a	10,72a
T ⁽⁵⁾ (cmol dm ⁻³)	0–10	10,76a	12,44a	13,08a	10,57a
	10–20	11,54b	11,96b	14,59a	12,30b
V ⁽⁶⁾ (%)	0–10	87,25a	86,25a	87,25a	80,50a
	10–20	85,75a	84,00a	88,50a	87,00a
MO ⁽⁷⁾ (dag kg ⁻¹)	0–10	6,51a	6,29a	6,06a	5,96a
	10–20	6,55a	5,52a	6,55a	6,80a
COT ⁽⁸⁾ (dag kg ⁻¹)	0–10	3,78a	3,65a	3,55a	3,49a
	10–20	3,81a	3,20a	3,80a	3,37a

⁽¹⁾ Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

⁽²⁾ pH: potencial hidrogeniônico

⁽³⁾ H + Al: acidez potencial

⁽⁴⁾ SB: soma de bases

⁽⁵⁾ T: CTC efetiva

⁽⁶⁾ V: saturação de bases

⁽⁷⁾ MO: matéria orgânica

⁽⁸⁾ COT: carbono orgânico total

Na camada a 10–20 cm de profundidade, a soma de bases (SB) foi superior nas áreas fertilizadas com adubo químico e orgânico, de forma semelhante aos resultados obtidos por Trannin et al. (2008). A CTC do solo foi maior na área onde foi aplicado o lodo seco parcialmente em estufa. Os demais parâmetros químicos não diferiram entre os tratamentos para as duas profundidades avaliadas.

Os teores de matéria orgânica mantiveram-se constantes, mesmo após a aplicação de lodo de esgoto. Esse resultado pode estar relacionado à alta

fertilidade do solo e a teores de matéria orgânica já observados na área antes da instalação do experimento (Tabela 1).

Os resultados apresentados na Tabela 3 mostram que, para os valores de C-BMS, não houve diferença significativa entre os tratamentos na camada a 0–10 cm de profundidade. Já na camada a 10–20 cm, onde houve aplicação de lodo solarizado, os valores obtidos superaram aqueles encontrados no tratamento com adubação mineral, o que ocorreu de forma similar aos resultados de Fernandes et al. (2005) e Jimenez et al. (2007). Quando resíduos orgânicos são adicionados ao solo, os microrganismos utilizam o C como fonte de energia e material orgânico microbiano, resultando num aumento da biomassa, e o C-BMS do tratamento com lodo solarizado foi bastante superior provavelmente em virtude do maior teor de N (KASCHUK et al., 2010b).

De acordo com Nascimento (2013), quando o lodo é apenas solarizado, há uma maior conservação do N disponível. Porém, o C-BMS do tratamento com adubo químico foi inferior ao da testemunha, provavelmente por causa da época de coleta (41 dias após a aplicação), de forma que o adubo pode ter sido solubilizado e absorvido pela cultura.

Tabela 3. Atributos microbianos nas camadas a 0–10 cm e 10–20 cm de profundidade para solo cultivado com milho e submetido a diferentes tipos de adubação.

Variável	Prof. (cm)	Testemunha	Lodo solarizado	Lodo seco	Adubo químico
C-BMS ⁽²⁾	0–10	44,3 ± 18,9a ⁽¹⁾	101,9 ± 67,9a	81,0 ± 41,6a	107,4 ± 59,6a
(mg C-BMS kg ⁻¹ de solo)	10–20	69,1 ± 46,3ab	138,6 ± 58,5a	84,3 ± 24,9ab	52,6 ± 23,4b
RBS ⁽³⁾	0–10	0,12 ± 0,06a	0,16 ± 0,07a	0,16 ± 0,07a	0,09 ± 0,05a
(mg C-CO ₂ kg ⁻¹ de solo h ⁻¹)	10–20	0,08 ± 0,03a	0,12 ± 0,05a	0,09 ± 0,03a	0,12 ± 0,06a
qCO ₂ ⁽⁴⁾	0–10	2,33 ± 0,95a	1,67 ± 0,87a	1,78 ± 1,04a	1,07a ± 0,68a
(mg C-CO ₂ g ⁻¹ C-BMS h ⁻¹)	10–20	1,97 ± 1,94a	0,97 ± 0,37a	1,16 ± 0,72a	2,19 ± 1,28a
qMIC ⁽⁵⁾	0–10	0,11 ± 0,06a	0,35 ± 0,20a	0,26 ± 0,19a	0,39 ± 0,22a
(%)	10–20	0,13 ± 0,08a	0,48 ± 0,13a	0,22 ± 0,36a	0,16 ± 0,025a

⁽¹⁾ Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$).

⁽²⁾ C-BMS: carbono da biomassa microbiana do solo

⁽³⁾ RBS: respiração basal do solo

⁽⁴⁾ qCO₂: quociente metabólico

⁽⁵⁾ qMIC: quociente microbiano.

Embora o uso do lodo de esgoto tenha promovido aumento do C-BMS, a RBS e o qCO_2 não diferiram significativamente entre os tratamentos avaliados.

A avaliação da RBS não resultou em diferença significativa entre tratamentos provavelmente porque o lodo de esgoto é um substrato de rápida decomposição e, portanto, de maior liberação de nutrientes nos primeiros dias após sua aplicação no solo e posterior estabilização, como observado por Armenta et al. (2012). Não houve coleta de solo durante o período inicial do experimento em virtude da ocorrência de chuvas intensas no local de cultivo (Figura 1). Esse fato pode ter contribuído para a não visualização direta do efeito da aplicação do lodo de esgoto na atividade microbiana do solo.

Os baixos valores de qCO_2 demonstram que a biomassa microbiana manteve a eficiência da ciclagem da fração orgânica do lodo de esgoto. De acordo com Brookes (1995), o qCO_2 avalia a energia necessária para a manutenção da atividade metabólica em relação à energia utilizada para a decomposição da biomassa, portanto, não houve um grande estresse ambiental, assim como observado por Trannin et al. (2007). Liu et al. (2012) e Bohm et al. (2014) constataram, em seus experimentos, um aumento do qCO_2 , indicando uma situação de estresse para a comunidade microbiana. Elevados valores de qCO_2 podem ser associados a estados de estresse (FERNANDES et al., 2005), de forma que a redução nos valores desse quociente indica melhoria da qualidade do solo. Também não houve diferença significativa entre os tratamentos para o $qMIC$.

Para um diagnóstico mais preciso sobre os atributos microbiológicos em função da adubação, recomenda-se o monitoramento desses parâmetros desde a aplicação dos fertilizantes orgânicos até sua completa mineralização.

CONCLUSÕES

O tratamento com lodo solarizado apresentou maior teor de carbono microbiano em relação ao tratamento com adubação química para a camada a 10–20 cm, de forma que a aplicação desse resíduo torna-se viável na agricultura sem comprometer a atividade microbiana do solo.

A adubação do lodo de esgoto contribuiu para a diminuição do pH do solo. Os demais parâmetros químicos e microbiológicos avaliados não diferiram entre os tratamentos com aplicação de lodo de esgoto e a adubação mineral.

Não houve aumento do qCO_2 nos tratamentos com lodo de esgoto, o que indica que a adição do adubo orgânico não interferiu na eficiência da atividade dos microrganismos do solo.

REFERÊNCIAS

- ARMENTA, R.; VACA, R.; LUGO, J.; AGUILA, P. del. Microbiological and biochemical properties of an agricultural Mexican soil amended with sewage sludge. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 1646-1655, 2012.
- BASTIDA, F.; KANDELER, E.; MORENO, J. L.; ROS, M.; GARCIA, C.; HERNANDEZ, T. Application of fresh and composted organic wastes modifies structure, size and activity of soil microbial community under semiarid climate. **Applied Soil Ecology**, v. 40, p. 318-329, 2008.
- BITTENCOURT, S.; SERRAT, B. M.; AISSE, M. M.; GOMES, D. Sewage sludge usage in agriculture: a case study of its destination in the Curitiba metropolitan region, Paraná, Brazil. **Water, Air and Soil Pollution**, v. 225, p. 2074-2081, 2014.
- BOHM, G. B.; BETEMPS, G. R.; BIERHALS, L. N.; SANCHES FILHO, P. J.; SCHWANZ, S. M. Uso de lodo de estação de tratamento de esgoto em Argissolo cultivado com soja. **Revista Thema**, v. 11, p. 12-23, 2014.
- BROOKES, P. C. The use of microbial parameters in monitoring soil pollution by heavy metals. **Biology and Fertility Soils**, v. 19, p. 269-279, 1995.
- CONTIN, M.; GOI, D.; DE NOBILI, M. Land application of aerobic sewage sludge does not impair methane oxidation rates of soils. **Science of the total environment**, v. 441, p. 10-18, 2012.
- MANUAL de métodos de análises de solo. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPq, 1997. 212 p.
- FERNANDES, S. A. P.; BETTIOL, W.; CERRI, C. C. Effect of sewage sludge on microbial biomass, basal respiration, metabolic quotient and soil enzymatic activity. **Applied Soil Ecology**, v. 30, n. 1, p. 65-77, 2005.
- FERREIRA, A. D. S.; CAMARGO, F. A. D. O.; VIDOR, C. Utilização de microondas na avaliação da biomassa microbiana do solo. **Revista brasileira de ciência do solo**, v. 23, n. 4, p. 991-996, 1999.

- GOMES, S. B. V.; NASCIMENTO, C. W. A.; BIONDI, C. M.; ACCIOLY, A.M. A. Alterações químicas em argissolo tratado com lodo de esgoto. **Revista Caatinga**, v. 18, n. 3, p. 185-194, 2005.
- GONÇALVES, I. C. R.; ARAUJO, A. S. F.; CARVALHO, E. M. S.; CARNEIRO, R. F. V. Effect of paclobutrazol on microbial biomass, respiration and cellulose decomposition in soil. **European Journal of Soil Biology**, v. 45, p. 235-238, 2009.
- HERNÁNDEZ ALLICA, J.; BECERRIL, J. M.; ZÁRATE, O.; GARBISU, C. Assessment of the efficiency of a metal phytoextraction process with biological indicators of soil health. **Plant and Soil**, v. 281, p. 147-158, 2006.
- JIMENEZ, P.; ORTIZ, O.; TARRASÓN, D.; GINOVRT, M.; BONMATÍ, M. Effect of differently post-treated dewatered sewage sludge on β -glucosidase activity, microbial biomass carbon, basal respiration and carbohydrates contents of soils from limestone quarries. **Biology and Fertility of Soils**, v. 44, n. 2, p. 93-398, 2007.
- KASCHUK, G.; ALBERTON, O.; HUNGRIA, M. Three decades of soil microbial biomass studies in Brazilian ecosystems: Lessons learned about soil quality and indications for improving sustainability. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 42, n. 1, p. 1-13, 2010a.
- KASCHUK, G.; ALBERTON, O.; HUNGRIA, M. Quantifying effects of different agricultural land uses on soil microbial biomass and activity in Brazilian Biomes: Inferences to improve soil quality. **Plant and Soil**, v. 338, n. 1, p. 467-481, 2010b.
- LIU, Y.; ZHOU, T.; CROWLEY, D.; LI, L.; LIU, D.; ZHENG, J.; YU, X.; PAN, G.; HUSSAIN, Q.; ZHANG, X.; ZHENG, J. Decline in topsoil microbial quotient, fungal abundance and c utilization efficiency of rice paddies under heavy metal pollution across south china. **PlosOne**, v. 7, n. 6, 2012. Disponível em: <<http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0038858>>. Acesso em: 17 maio 2014.
- NASCIMENTO, A. L.; SAMPAIO, R. A.; FERNANDES, L. A.; ZUBA JUNIO, G. R.; CARNEIRO, J. P.; RODRIGUES, M. N.; ALBUQUERQUE, H. C. Yield and nutrition of sunflower fertilized with sewage sludge stabilized by different processes. **Revista Ceres**, v. 60, n. 5, p. 683-689, 2013.
- POWLSON, D. S.; PROOKES, P. C.; CHRISTENSEN, B. T. Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in total organic matter due to straw incorporation. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 19, n. 2, p. 159-164, 1987.
- QUAGGIO, J. A.; RAIJ, B. van. Comparação de métodos rápidos para determinação da matéria orgânica em solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 3, p. 184-187, 1979.
- RASTETTER, N.; GERHARDT, A. Toxic potential of different types of sewage sludge as fertilizer in agriculture: ecotoxicological effects on aquatic and soil indicator species. **Journal of Soils and Sediments**, v. 15, n. 3, p. 565-577, 2015.
- ROIG, N.; SIERRA, J.; MARTÍ, E.; NADAL, M.; SCHUHMACHER, M.; DOMINGO, J. L. Long-term amendment of spanish soils with sewage sludge: effects on soil functioning. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 158, p. 41-48, 2012.

SHI, W.; LIU, C.; DING, D.; LEI, Z.; YANG, Y.; FENG, C.; ZHANG, Z. Immobilization of heavy metals in sewage sludge by using subcritical water technology. **Bioresource Technology**, v. 137, p. 18-24, 2013.

SILVA, E. E.; AZEVEDO, P. H. S.; DE-POLLI, H. **Determinação do carbono da biomassa microbiana do solo (BMS-C)**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2007. 6 p.

SILVA, J. E.; RESCK, D. V. S.; SHARMA, R. D. Alternativa agrônômica para o biossólido produzido no Distrito Federal: II. Aspectos qualitativos, econômicos e práticos de seu uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n. 2, p. 497-503, 2002.

TRANNIN, I. C. B.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S. Atributos químicos e físicos de um solo tratado com biossólido industrial e cultivado com milho. **Revista brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n. 3, p. 223-230, 2008.

TRANNIN, I. C. B.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S. Características biológicas do solo indicadoras de qualidade após dois anos de aplicação de biossólido industrial e cultivo de milho. **Revista Brasileira de ciência do solo**, v. 31, n. 5, p. 1173-1184, 2007.

WANG, C.; HU, X.; CHEN, M.-L.; WU, Y.-H. Total concentrations and fractions of Cd, Cr, Pb, Cu, Ni and Zn in sewage sludge from municipal and industrial wastewater treatment plants. **Journal of Hazardous Materials**, v. 119, n. 1/3, p. 245-249, 2005.

Trabalho recebido em 15 de junho de 2015 e aceito em 19 de novembro de 2015