



Estoques de carbono e nitrogênio em Latossolo após sucessivas aplicações de lodo de esgoto⁽¹⁾.

Priscila Grutzmacher⁽²⁾; Cristina Silva Carvalho⁽³⁾; Ana Paula Packer⁽⁴⁾; Isabella Clerici De Maria⁽⁵⁾; Cristiano Alberto de Andrade⁽⁶⁾.

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.

⁽²⁾ Doutoranda em Agricultura Tropical e Subtropical; Instituto Agrônomo - IAC; Campinas, SP; priscila.grutzmacher@gmail.com; bolsista CAPES; ⁽³⁾ Doutoranda em Agricultura Tropical e Subtropical; Instituto Agrônomo - IAC; bolsista CAPES; ⁽⁴⁾ Pesquisadora; Embrapa Meio Ambiente; ⁽⁵⁾ Pesquisadora, Centro de Solos e Recursos Ambientais, IAC; ⁽⁶⁾ Pesquisador, Embrapa Meio Ambiente.

RESUMO: O efeito de sete anos de aplicações sucessivas de lodo de esgoto (LE) nos estoques de carbono (C) e nitrogênio (N) em solo agrícola foi avaliado. O experimento consistiu em três tratamentos: FM, fertilização mineral para a cultura do milho; 1L, 10 Mg ha⁻¹ de LE; 2L, 20 Mg ha⁻¹ de LE. O delineamento experimental foi inteiramente ao acaso. Amostras de solo foram coletadas até 40 cm para determinação da densidade aparente e dos teores de C e N totais. Os estoques foram calculados a partir dos teores de C e N, densidade e espessura da camada de solo avaliada. Os resultados foram submetidos a análise de variância e diferenças comparadas pelo teste Tukey a 5% de significância. A aplicação de LE em solo agrícola diminuiu a densidade do solo até 10 cm de profundidade, modificou os teores de C e N até 40 cm, e aumentou os estoques de C e N até 20 cm em comparação aos resultados de FM. Concluímos que em longo prazo o LE traz benefícios ao sistema agrícola, com ênfase nos estoques de C e N.

Termos de indexação: biossólido, longo prazo, carbono do solo.

INTRODUÇÃO

Estima-se que o estoque global de carbono (C) no solo seja aproximadamente 2,5 vezes a quantidade existente na atmosfera (Janzen, 2004). Deste modo, alterações nos teores de C do solo tem potencial para causar alterações de maior magnitude nos teores atmosféricos. Solos agrícolas podem atuar como fonte ou dreno de C atmosférico, interferindo nos fluxos de C. Dependendo do manejo adotado, esta interferência pode ser positiva no sentido de aumentar os estoques de C do solo, diminuindo o retorno do C ao compartimento atmosférico e, portanto, contribuindo para a mitigação das mudanças climáticas (Lal, 2004).

Práticas de manejo do solo que contemplam elevado aporte de material orgânico fazem parte das práticas recomendadas para seqüestrar C no solo (Lal, 2004). O lodo de esgoto (LE) é um resíduo que possui características importantes para uso agrícola, tais como grande quantidade de matéria

orgânica, nitrogênio (N) e fósforo, além de outros nutrientes em teores variáveis. Estudos demonstram que a adição de LE propicia aumento dos teores de C em solos agrícolas (Fernandes et al., 2005; Boeira & Souza, 2007; Dias et al., 2007; Bueno et al., 2011), porém, a maior parte dos trabalhos foi desenvolvida em áreas após recente aplicação de LE e/ou número pequeno de reaplicações. Estudos de longo prazo avaliando a C e N em solos com uso de LE são necessários para melhor compreensão da dinâmica destes elementos, bem como para identificação de limites de acúmulo de C e N em função do manejo.

Este trabalho teve por objetivo quantificar os estoques de C e N em Latossolo após sete anos de sucessivas aplicações de lodo de esgoto na cultura do milho.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Centro Experimental do Instituto Agrônomo, Campinas, São Paulo, Brasil. O clima é classificado como tropical úmido (Köppen), com temperatura média anual de 20,5 °C e precipitação anual de 1400 mm. O solo utilizado foi classificado como Latossolo Vermelho eutrófico, de textura argilosa (Embrapa, 2006), contendo 58% argila e 29% areia.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente ao acaso contendo três tratamentos com quatro repetições cada, num total de doze parcelas. Cada parcela experimental possui área útil de 100 m² com 10% de declividade.

O experimento consistiu em três tratamentos: FM, fertilização mineral para a cultura do milho, (Raij et al.; 1996); 1L, dose de LE para suprir a demanda da cultura por N; 2L, o dobro da dose de 1L. O tratamento FM correspondeu a aplicações anuais médias de 80 kg ha⁻¹ de N, 21 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 12 kg ha⁻¹ de K₂O. A dose de LE aplicada foi definida considerando o teor de N do LE, os 30% de taxa de mineralização média do N (Cetesb, 1999) e a demanda de N pela cultura do milho (80 kg ha⁻¹), resultando na aplicação anual média de 10 t ha⁻¹ de LE no tratamento 1L e 20 t ha⁻¹ de LE no tratamento 2L. Nos tratamentos com aplicação de LE houve

fertilização complementar com KCl na semeadura.

O LE foi aplicado anualmente entre os anos 2001 a 2007. A aplicação foi manual, antes da semeadura do milho, sendo o resíduo distribuído em área total e incorporado nos 20 cm superficiais do solo com auxílio de enxada. O mesmo manejo de solo foi realizado nas parcelas com FM.

A correção da acidez do solo foi realizada três vezes, com aplicação de calcário dolomítico nos anos 2001, 2004 e 2008, para atingir valores médios de saturação de bases em 70-80%.

O LE foi proveniente da Estação de Tratamento de Esgotos Sanitários da cidade de Jundiá-SP. O tratamento foi via lagoas aeradas de mistura completa seguido de lagoas de decantação, com desaguamento em centrífuga após a adição de polieletrólitos e estabilização por meio de revolvimento em pátio coberto por 120 dias.

Amostras de solo foram coletadas em dezembro de 2011 para análises de densidade aparente e teores de C e N, nas camadas 0-5, 5-10, 10-20, 20-40 cm. Para determinação da densidade aparente foram utilizadas três trincheiras por parcela, sendo coletadas duas amostras indeformadas por profundidade, com auxílio de anel volumétrico. A densidade aparente foi obtida seguindo Embrapa (2006).

Os teores totais de C e N foram quantificados em amostra composta representativa da parcela e camada, sendo coletadas 10 amostras simples em cada parcela com auxílio de trado. As amostras foram secas ao ar, moídas e peneiradas em 100 mesh para quantificação dos elementos C e N em analisador por combustão a seco.

Os estoques de C e N do solo em cada camada foram calculados a partir dos teores do elemento, densidade aparente e altura de cada camada de solo avaliada (**Equação 1**):

$$E_{\text{stq}(i)} = M_{(i)} * \rho_{(i)} * h_{(i)} * 0,1 \quad \text{Equação 1}$$

em que $E_{\text{stq}(i)}$ (Mg ha⁻¹) é o estoque de C ou N na *iésima* camada de solo; $M_{(i)}$ (g kg⁻¹) é a concentração do elemento C ou N na *iésima* camada de solo; $\rho_{(i)}$ (g cm⁻³) é a densidade aparente da *iésima* camada de solo; $h_{(i)}$ (cm) é a espessura da *iésima* camada de solo; 0,1 é o fator que transforma os dados em g cm⁻² para Mg ha⁻¹.

Os dados dos teores de C e N e relação C/N foram submetidos à análise de variância para verificação de possível interação entre tratamentos e camada de solo. Os dados de densidade aparente e estoques de C e N foram submetidos à análise de variância para verificação dos efeitos dos tratamentos em cada camada de solo. Quando

significativas, as diferenças foram comparadas pelo teste Tukey a 5% de significância utilizando o programa computacional SISVAR (Ferreira, 2000).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Sucessivas aplicações de lodo de esgoto promoveram diminuição dos valores de densidade aparente nas camadas superficiais do solo (0-5 e 5-10 cm) conforme ilustra a **figura 1**, porém não houve diferença significativa nas densidades nas camadas 10-20 e 20-40 cm.

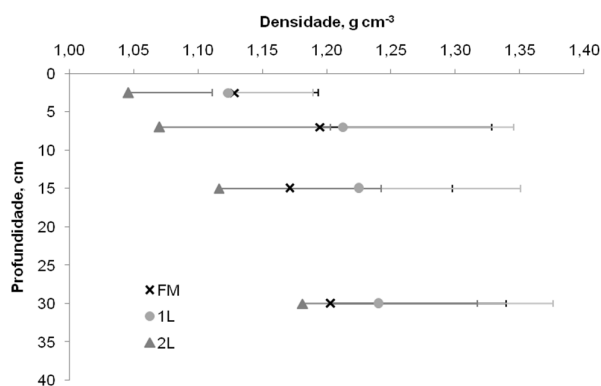


Figura 1 – Densidade aparente em Latossolo submetido a sucessivas aplicações de lodo de esgoto e fertilizante mineral. FM: fertilizante mineral; 1L: lodo de esgoto (10 Mg ha⁻¹ ano⁻¹); 2L: lodo de esgoto (20 Mg ha⁻¹ ano⁻¹). Barras horizontais indicam diferença mínima significativa entre os tratamentos pelo teste Tukey a 5% de significância (n = 8).

Alguns atributos físicos do solo na mesma área do presente estudo foram avaliadas por De Maria et al. (2010) nos anos 2002, 2004 e 2007, referentes à primeira, terceira e sexta aplicação de LE. Ao comparar os resultados destes autores com os do presente trabalho, nota-se que os valores médios de densidade da camada 0-10 cm estão similares aos valores encontrados após a sexta aplicação.

Como esperado, houve diminuição da densidade acompanhada do aumento nos teores de C do solo, em resposta à aplicação de LE (**Tabela 1**). Os teores de C na camada 0-5 cm foram maiores nos tratamentos com LE quando comparado ao tratamento FM. Observou-se que os tratamentos 2L e 1L apresentaram, respectivamente, 2,0 e 1,5 vezes a concentração de C do tratamento FM. As diferenças entre os teores de C foram observadas até 20 cm, coincidindo com a camada de incorporação do LE. Abaixo dos 20 cm houve diferença significativa somente entre os tratamentos com LE e FM, mas não entre os tratamentos com

aplicação do resíduo (2L e 1L). Com relação à distribuição dos teores de C ao longo do perfil do solo, houve diferença significativa entre as camadas avaliadas (**Tabela 1**).

Tabela 1 – Teores de carbono (C) e nitrogênio (N) e relação C/N em Latossolo Vermelho de textura argilosa, após sete aplicações anuais de lodo de esgoto e fertilizante mineral na cultura do milho.

Tratamento ^b	Camada ^a			
	0-5 cm	5-10 cm	10-20 cm	20-40 cm
	C (g kg ⁻¹)			
FM	15,0 cA	13,6 cAB	13,0 cAB	11,6 bB
1L	22,9 bA	18,9 bB	15,7 bC	11,9 abD
2L	31,2 aA	25,6 aB	19,3 aC	13,6 aD
CV (%)	6,96			
	N (g kg ⁻¹)			
FM	1,4 cA	1,1 cA	1,1 bA	1,0 aA
1L	1,8 bA	1,6 bAB	1,4 abBC	1,0 aC
2L	2,8 aA	2,3 aB	1,7 aC	1,3 aC
CV (%)	15,22			
	C/N			
FM	11,21	12,63	12,38	12,04
1L	12,56	12,14	11,80	12,27
2L	11,27	11,54	11,30	10,79
CV (%)	11,47			

^a Médias seguidas de letras minúsculas iguais na mesma coluna e médias seguidas de letras maiúsculas iguais na mesma linha não diferem pelo teste Tukey a 5% de significância; ^b FM: fertilizante mineral, 1L: lodo de esgoto (10 Mg ha⁻¹), 2L: lodo de esgoto de 20 (Mg ha⁻¹).

A entrada e acúmulo do C pode ter origem o próprio LE e o processo de decomposição deste resíduo, entretanto, não se pode descartar a possibilidade do efeito fertilizante do LE incrementando a produção de biomassa vegetal, sendo esta última responsável pelo acúmulo de C no solo. Independentemente da origem do C, a aplicação de LE se mostra eficaz em aumentar os teores deste elemento no solo (Fernandes et al., 2005; Boeira & Souza, 2007; Dias et al., 2007; Bueno et al., 2011). Fernandes et al. (2005) utilizando técnica isotópica observou que o C do LE esteve presente em proporção média igual a 29% do total de C de amostras de Latossolo após 4 aplicações consecutivas de LE.

A utilização de LE também diferenciou os teores de N do solo até 20 cm quando comparada com a aplicação de FM (**Tabela 1**). Após esta profundidade não houve diferença significativa entre os tratamentos para o teor de N. Analisando os teores ao longo do perfil do solo de cada tratamento, não houve diferença significativa em FM, porém foram observadas diferenças nos tratamentos com aplicação de LE, com maiores

teores encontrados na superfície. Considerando a associação do N com a matéria orgânica, era esperado que ocorressem mudanças nos teores de N do solo, uma vez que os teores de C aumentaram com a aplicação de LE.

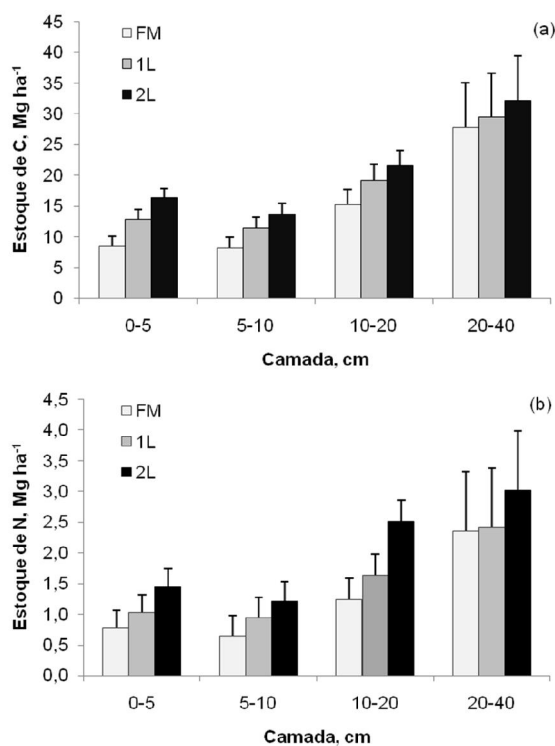


Figura 2 – Estoques de carbono (a) e nitrogênio (b) em Latossolo Vermelho, textura argilosa, após sete aplicações consecutivas de lodo de esgoto. FM: Fertilizante mineral, 1L: lodo de esgoto (10 Mg ha⁻¹), 2L: lodo de esgoto (20 Mg ha⁻¹). As barras verticais indicam diferença mínima significativa entre tratamentos para mesma camada pelo teste Tukey a 5%. (n = 4).

Os estoques de C e N diferiram significativamente entre os tratamentos avaliados com exceção na camada 20-40 cm (**Figura 2**). Os incrementos dos estoques de C (0-20 cm) nos tratamentos 1L e 2L em relação à aplicação de FM, foram de 36 e 61%, respectivamente. Com relação ao estoque total de C do solo (0-40 cm), os valores encontrados em FM, 1L e 2L foram de 60, 73 e 84 Mg ha⁻¹, respectivamente.

Bem como nos estoques de C, as diferenças entre os estoques de N também foram observadas até 20 cm de profundidade (**Figura 2**). Os incrementos dos estoques de N nas parcelas 1L e 2L sobre o estoque em FM foram de 35 e 71%,



respectivamente. Quando calculados os estoques totais de N (0-40 cm), os valores de FM e 1N não diferiram entre si, com valores de 5 e 6 Mg ha⁻¹, respectivamente. O maior valor observado foi em 2L, 7,59 Mg ha⁻¹ de N até 40 cm.

Ao longo de 7 anos, cerca de 20 e 40 Mg ha⁻¹ de C foram adicionadas via LE nos tratamentos 1L e 2L, respectivamente. Em cenário hipotético, a diferença entre a quantidade de C estocada nas parcelas com LE e a estocada nas parcelas com FM (0-20 cm) resulta no armazenamento de aproximadamente 50-58% da quantidade de C adicionado via LE ao longo de 7 anos. O mesmo comportamento foi verificado para os estoques de N, porém respeitando a proporção entre C e N do solo, em torno de 10:1. Analisando os dados obtidos por Dias et al. (2007) foi encontrada mesma proporção de acúmulo de C do LE (aproximadamente 60%) em Latossolo Vermelho, com as mesmas doses de LE, porém, esta resposta foi em relação à testemunha que não recebeu nenhuma fonte de N. Ressalta-se que os dados obtidos referidos pelos autores resultam da aplicação de 7 anos consecutivos de LE em área sob condição climática semelhante ao presente estudo. Ainda, os valores dos estoques de C também estão próximos aos encontrados no presente estudo, 55 e 60 Mg ha⁻¹ para as doses 1L e 2L, respectivamente, para a camada 0-20 cm.

CONCLUSÕES

O LE utilizado como fonte de N proporciona incrementos dos estoques de C e N em relação a FM e tal incremento também depende da dose.

Alterações dos estoques de C e N são restritos a camada de incorporação do resíduo, embora os teores destes elementos tenham aumentado em camadas subsuperficiais.

AGRADECIMENTOS

À CAPES, pelo financiamento das bolsas de estudos da primeira e segunda autoras.

REFERÊNCIAS

- BUENO, J. R. P.; BERTON, R. S.; SILVEIRA, A. P. D. et al. Chemical and microbiological attributes of an Oxisol treated with successive applications of sewage sludge. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 35:1461-1470, 2011.
- BOEIRA, R. C & SOUZA, M. D. Estoques de carbono orgânico e de nitrogênio, pH e densidade de um

Latossolo após três aplicações de lodos de esgoto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 31:581-590, 2007.

CETESB. Aplicação de lodos de sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas: critérios para projeto e operação. São Paulo: Cetesb, 1999. 32p.

DE MARIA, I.C.; CHIBA, M.K.; COSTA, A. et al. Sewage sludge application to agricultural land as soil physical conditioner. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 34:967-974, 2010.

DIAS, B. O.; SILVA, C. A.; SOARES, E. M. B. et al. Estoques de carbono e quantificação de substâncias húmicas em Latossolo submetido a aplicação contínua de lodo de esgoto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 31:701-711, 2007.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 2006. 306p.

FERNANDES, S. A. P.; BETTIOL, W.; CERII, C. C. et al. Sewage sludge effects on gas fluxes at the soil-atmosphere interface, on soil δ¹³C and on total soil carbon and nitrogen. *Geoderma*, 25:49-57, 2005.

FERREIRA, D.F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows 4. 0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., São Carlos, 2000. Anais. São Carlos: Universidade Federal de São Carlos, 2000. p.255-258.

JANZEN, H. H. Carbon cycling in earth systems – a soil science perspective. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 104:399-417, 2004.

LAL, R. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma*, 123:1-22, 2004.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. et al. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. 2 ed. São Paulo: Instituto Agrônomo, 1996. 285p.