



LODO DE ESGOTO COMO FERTILIZANTE PARA A CULTURA DO MILHO EM DOIS TIPOS DE SOLO ⁽¹⁾

Denise de Lima Dias Delarica ⁽²⁾; Riviane Maria Albuquerque Donha ⁽³⁾; Leticia Fernanda Lavezzo ⁽⁴⁾; Wanderley José de Melo ⁽⁵⁾; Gabriel Maurício Peruca de Melo ⁽⁶⁾.

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos da SABESP e do CNPq.

⁽²⁾ Mestranda em ciências do solo; Universidade Estadual Paulista - UNESP, Jaboticabal, São Paulo e-mail: denise.delarica@gmail.com; ⁽³⁾ Doutoranda em produção vegetal; Universidade Estadual Paulista - UNESP, Jaboticabal São Paulo; e-mail: rividonha@gmail.com; ⁽⁴⁾ Mestranda em ciências do solo; Universidade Estadual Paulista - UNESP, Jaboticabal, São Paulo e-mail: leticialavezzo.unesp@hormail.com; ⁽⁵⁾ Professor titular pelo Programa Ciência do Solo pela Universidade Estadual Paulista - UNESP, Jaboticabal, SP, e-mail: wymelo@gmail.com; ⁽⁶⁾ Professor colaborador da UNICASTELO - Universidade Camilo Castelo Branco, Descalvado, SP, e-mail: gmpmelo@terra.com.br

RESUMO: O uso de lodo de esgoto na agricultura é considerado como uma alternativa sustentável e atrativamente econômica para disposição final deste resíduo, uma vez que em sua composição existam teores significativos de matéria orgânica e nitrogênio que o tornam um biofertilizante potencial, de baixo custo, cuja utilização pode resultar em efeitos benéficos no solo. Com a finalidade de estudar as implicações sobre as aplicações de doses anuais de lodo de esgoto sobre o solo, em 1997 instalou-se um estudo em área experimental da Fazenda de Ensino e Pesquisa da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, localizada na UNESP, Campus de Jaboticabal - SP, sobre dois latossolos - Vermelho eutroférrico - textura argilosa (LVef), e Vermelho distrófico - textura média (LVd) - utilizando tratamentos: T1 = 0 Mg ha⁻¹ (testemunha); T2 = 2,5 Mg ha⁻¹; T3 = 5 Mg ha⁻¹; T4 = 10 Mg ha⁻¹, base seca, em cinco repetições. A partir do ano agrícola 1999/2000, substitui-se a dose do tratamento T2 de 2,5 para 20 Mg ha⁻¹, base seca, objetivando um aumento sobre a adição de metais pesados ao solo para avaliação do comportamento dos mesmos no solo. Como resultados ambos os solos apresentaram um incremento na saturação por bases o que resultaria em menor uso de corretivos da acidez do solo, na CTC, ocasionado pelos efeitos da matéria orgânica e no índice V% nos tratamentos em que lodo de esgoto foi adicionado.

Termos de indexação: uso de resíduos na agricultura, latossolos, nutrição de plantas.

INTRODUÇÃO

O uso do lodo de esgoto na agricultura tem como objetivo aproveitar a matéria orgânica e os nutrientes nele contidos para melhorar a estruturação do solo e suprir parte das necessidades nutricionais das plantas cultivadas. A geração de volume cada vez maior desse resíduo e as evidências científicas do aumento na produtividade de diferentes culturas têm incentivado seu aproveitamento agrícola (Trannin et al., 2008).

No Brasil, os estudos envolvendo o uso de lodo de esgoto como fertilizante são pouco conclusivos, o que se atribui à disponibilidade de resultados referentes a aplicações únicas e seus efeitos em intervalos de tempo relativamente curtos.

Assim, o presente trabalho vem sendo conduzido com objetivo de se estudar atributos químicos do solo em função da aplicação de doses anuais crescentes do resíduo em dois tipos solos cultivados com milho.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido à campo em uma área experimental a da Fazenda de Ensino e Pesquisa da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, localizada na UNESP, Campus de Jaboticabal - SP, a uma altitude de 610 metros e com coordenadas geográficas: 21°15'22" S e 48°15'18"W.

Tratamentos e amostragens

O experimento foi instalado em 1997 em dois tipos de solos, Latossolo Vermelho eutroférrico - textura argilosa (LVef), e Latossolo Vermelho distrófico - textura média (LVd), e os tratamentos utilizados foram: T1 = 0 ton ha⁻¹ (testemunha); T2 = 2,5 ton ha⁻¹; T3 = 5 ton ha⁻¹; T4 = 10 ton ha⁻¹, base seca, em cinco repetições. A dose 5 ton ha⁻¹ foi estabelecida para fornecer todo o nitrogênio exigido pela cultura do milho, admitindo-se que 1/3 do nitrogênio contido no lodo de esgoto encontrava-se disponível para as plantas.

Tabela 1. Caracterização do lodo de esgoto incorporado aos solos

Umidade (%)	63,26	Cádmio (mg kg ⁻¹)	0,00
Nitrogênio (%)	3,73	Chumbo (mg kg ⁻¹)	0,00
Fósforo (%)	1,13	Crômio (mg kg ⁻¹)	355,90
Potássio (%)	0,17	Cobre (mg kg ⁻¹)	550,50
Cálcio (%)	17,55	Ferro (mg kg ⁻¹)	37.225,00
Magnésio (%)	0,29	Manganês (mg kg ⁻¹)	294,50
Bário (mg kg ⁻¹)	92,40	Molibdênio (mg kg ⁻¹)	0,00

No primeiro ano de cultivo, a área experimental



recebeu calcário dolomítico com o intuito de elevar a saturação por bases para 70%, conforme a recomendação de Raij & Cantarella (1997). A partir do segundo ano de experimentação, o tratamento T1 passou a ser adubado de acordo com a análise de fertilidade do solo e as indicações contidas no Boletim 100 (RAIJ & CANTARELLA, 1997).

As doses de lodo a ser aplicadas na área são determinadas em função do Nitrogênio (N) disponível no lodo.

Fertilidade do solo anterior à aplicação do lodo de esgoto.

Tabela 2. Composição química original dos solos nas áreas experimentais

	L _{Vef}	L _{Vd}		L _{Vef}	L _{Vd}
P resina mg.dm ⁻³	67,0	44,0	Mg mmolc.dm ⁻³	18,6	10,6
M.O g.dm ⁻³	34,0	20,0	H+Al mmolc.dm ⁻³	22,0	16,0
pH CaCl ₂	5,7	5,7	SB mmolc.dm ⁻³	65,0	39,0
K mmolc.dm ⁻³	4,9	2,2	T mmolc.dm ⁻³	87,0	55,1
Ca mmolc.dm ⁻³	41,8	25,7	V %	74,0	70,6

Amostragem de terra para fins avaliação do nível de fertilidade

As amostras foram levadas ao laboratório, colocadas em bandejas de polietileno e deixadas secar ao ar e à sombra por três dias. Depois de secas, estas amostras foram destorroadas em moinho próprio para tal finalidade e feitas passar por peneira com 2mm de abertura de malha, obtendo-se a terra fina seca ao ar (TFSA), que foi armazenada em sacos de polietileno previamente etiquetados até que fossem realizadas as análises.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os atributos químicos dos solos L_{Vef} e L_{Vd} dos anos agrícolas 1997/98 e 1998/99 estão apresentados na **tabela 1**. A análise dos dados indica que houve aumento nos valores de pH, quando se utilizou a dose 10 t ha⁻¹, diferindo dos demais tratamentos no solo L_{Vef}. Esse comportamento advém, não só do efeito da matéria orgânica, mas também em decorrência de se empregar significativas quantidades de cálcio nas etapas finais no saneamento do lodo de esgoto, sendo este elemento responsável pela elevação do pH do solo. MELO et al. (1994) e OLIVEIRA, 1995), entre inúmeros outros trabalhos encontrados na literatura, também verificaram esse mesmo efeito, sendo que suas possíveis causas estão relacionadas ao processo de decomposição da matéria orgânica no solo. Os teores de fósforo disponível para as plantas de milho em cultivo no

solo L_{Vef}, são considerados altos para os tratamentos (T), (L1) e (L2) e muito altos para a dose (L3), em que a média foi de 121 mg dm⁻³, diferindo e dos demais. (RAIJ et al., 1997). DIAS (1994), SEKI (1995), MARQUES (1996), entre outros, evidenciaram aumentos substanciais de P disponível para as plantas, quando utilizaram lodo de esgoto como fonte de nutrientes. O Ca é um elemento que, em solos cultivados, raramente se encontra em níveis críticos, já que a realização da calagem pode suprir as necessidades das plantas no que se refere a esse elemento. Segundo RAIJ et al. (1997), a acidez do solo e o teor de cálcio estão intimamente interligados. Assim, a superioridade observada para o tratamento 10 t ha⁻¹ decorre do cálcio acrescido ao lodo de esgoto, ainda durante o processo de tratamento dos esgotos. A de composição da matéria orgânica e a presença de Ca no aplicado, somado ao residual dos anos anteriores, são as possíveis causas da elevação dos teores do elemento a níveis considerados altos (> 7 mmolc dm⁻³). Observando-se os valores de Soma de Bases (SB), capacidade de troca catiônica (T) e saturação de bases (V%) no L_{Vef}, verifica-se a ocorrência de diferenças significativas entre o tratamento com 10 t ha⁻¹ e os demais.

Os teores de potássio no solo L_{Vd} encontrados nos tratamentos que receberam adubação mineral (T), dose 2,5 t ha⁻¹ de lodo de esgoto e 10 t ha⁻¹ podem ser considerados baixos, situando-se na faixa de 0,8 a 1,5 mmolc dm⁻³ (RAIJ, et al., 1997) e, portanto, insuficientes para suprirem as necessidades da cultura do milho. Da mesma forma que no L_{Vef}, a dose 10 t ha⁻¹ resultou em menores teores de K, sendo que, neste caso, os valores encontrados são inferiores, o que já era esperado. De modo geral, o L_{Vd} apresenta-se inferior ao L_{Vef} no que se refere às propriedades matéria orgânica, fósforo e potássio. A aplicação da dose 10 t ha⁻¹ de lodo de esgoto no L_{Vef} provocou diminuição significativa nos valores acidez ativa e elevação considerável nos teores de P e Ca, reforçando a tese de que o resíduo, em linhas gerais, poderia suprir a necessidade das plantas em relação à maioria dos nutrientes, principalmente quando se trata de solos com propriedades químicas melhores. Em solos mais pobres como o L_{Vd}, espera-se que tais efeitos também ocorram com doses mais elevadas de lodo de esgoto, o que acarretaria melhoria nas propriedades físicas e, conseqüentemente, incrementaria a dinâmica dos nutrientes no solo.

Os atributos químicos dos solos L_{Vef} e L_{Vd} do ano agrícola 1997/98 e 1998/99 estão apresentados na **tabela 2**. Os valores de acidez potencial mostraram



diferenças entre os tratamentos utilizados em ambos os tipos de solo. O maior valor de H+Al foi observado no tratamento que recebeu apenas adubação mineral, indicando que o lodo de esgoto foi capaz de diminuir a acidez potencial, mesmo com a aplicação de apenas 2,5 t ha⁻¹. Os valores de soma de bases foram maiores com a aplicação de lodo de esgoto em relação ao tratamento testemunha, onde se utilizou apenas adubação mineral como fonte de nutrientes para a cultura do milho. Este tratamento diferiu principalmente do tratamento que recebeu a maior dose de resíduo (10 t ha⁻¹ em base seca), quando se obtiveram os maiores valores. Em relação à capacidade de troca de cátions o comportamento foi semelhante. Os menores valores de CTC ocorreram nas parcelas que receberam apenas fertilizantes minerais (T). Independentemente da dose, os tratamentos que receberam lodo de esgoto apresentaram os maiores valores de capacidade de troca de cátions, sendo esta a expressão maior dos efeitos da matéria orgânica adicionada através do lodo. Os valores de saturação por bases no LVef foram maiores nos tratamentos com lodo de esgoto, que diferiram do tratamento testemunha (T). Na prática, esta variável é de grande importância, pois a mesma é considerada, quando do cálculo das quantidades de corretivos que devem ser incorporados ao solo no Estado de São Paulo. Segundo os critérios de recomendação (Raij et al., 1997), a cultura do milho necessita de uma saturação por bases (V%) mínima de 70%, o que levaria a uma necessidade de aplicação de aproximadamente 1 t ha⁻¹ de corretivo com 67% de PRNT, no tratamento testemunha, que recebeu apenas adubação mineral. Os tratamentos que receberam lodo de esgoto nas três doses de aplicação não necessitariam receber corretivos da acidez do solo, uma vez que o mínimo de saturação por bases exigido pela cultura do milho foi superado, mesmo nas menores doses. A saturação por bases aumentou com a elevação da dose de lodo de esgoto, mas não se detectaram diferenças entre selas indicando que a aplicação da menor dose seria suficiente para atingir uma saturação de bases adequada.

Os valores médios de fertilidade do solo em LVef, cultivado com milho, comparados entre os anos agrícolas 1997/98 e 1998/99, estão apresentados na **tabela 3**. O valor de pH (CaCl₂) foi superior no segundo ano agrícola (1998/99). Em relação às doses de lodo de esgoto verifica-se que a dose 10 t ha⁻¹ proporcionou valores de pH maiores que as demais. Tal comportamento é decorrente da quantidade de cal acrescida ao solo através das duas aplicações sucessivas do resíduo somado ao menor poder tampão do solo, especialmente

quando comparado com o solo LVd. A aplicação de lodo de esgoto nas doses utilizadas não proporcionou alterações significativas nos teores de matéria orgânica na camada 0-20 cm, o que já era esperado pois, a degradação da mesma em solos tropicais ocorre de forma intensa, dificultando seu acúmulo, além do que, a ordem de grandeza das doses aplicadas permitiam essa suposição. A aplicação de diferentes doses de lodo de esgoto não causou alteração nos valores de K no LVef. Devido à própria característica do resíduo, pobre em potássio, era de se esperar que o comportamento do solo em relação a este elemento não se alterasse, mesmo com a aplicação de 10 t ha⁻¹ do resíduo. Além disso, o potássio, com exceção do tratamento testemunha no primeiro ano agrícola, foi aplicado na forma de KCl em todas as parcelas, em quantidades suficientes para atender às exigências nutricionais das plantas.

Os valores médios de fertilidade do solo em LVd, cultivado com milho, comparados entre os anos agrícolas 1997/98 e 1998/99, estão apresentados na **tabela 4**. Verificou-se que os teores médios de potássio diminuíram de forma significativa do ano agrícola 1997/98 para 1998/99 devido os tratamentos que receberam apenas adubação mineral (T) e 5,0 t ha⁻¹ de lodo de esgoto. A aplicação de lodo de esgoto causou aumentos nos teores de cálcio no LVd, do primeiro para o segundo ano agrícola. As diferenças mais pronunciadas ocorreram nas parcelas que receberam 10 t ha⁻¹. Valem aqui todas as considerações feitas para o solo LVd, ressaltando-se que, nesse caso, trata-se de solo mais pobre em termos de fertilidade, com menor teor de argila, menores teores de material coloidal de qualidade, o que contribui para a ordem de grandeza dos resultados obtidos. Os dados de magnésio revelaram redução dos valores deste elemento do ano agrícola 1997/98 para o ano agrícola seguinte. Em todos os tratamentos, esta redução foi significativa, sendo que no tratamento com 10 t ha⁻¹ essa variação foi mais expressiva, possivelmente em decorrência de desbalanceamento nos teores dos elementos cálcio e magnésio pelo tratamento do resíduo com cal. O valor de acidez potencial apresentaram redução de um ano para outro com a aplicação do lodo de esgoto. Entretanto, o tratamento que recebeu apenas adubação mineral como fonte externa de nutrientes, o que se observou foi uma elevação no valor de H+Al do ano agrícola 1997/98 para o próximo ano, ressaltando-se aí a pouca atividade dos fertilizantes minerais no sentido de reduzir a acidez do solo (Tabela 1 e 2). Alguns fertilizantes, como o sulfato de amônio, por exemplo, tendem a aumentar a acidez potencial dos solos.



CONCLUSÕES

1. A aplicação de lodo de esgoto como fonte de nutrientes para a cultura do milho causou efeitos positivos sobre os atributos químicos do LVef e do LVf, reduzindo a acidez potencial do solo, aumentando a capacidade de troca de cátions.
2. Em relação aos nutrientes, após aplicação do lodo de esgoto o LVd mostrou-se inferior ao LVef no que se refere às propriedades matéria orgânica, fósforo e potássio.

REFERÊNCIAS

TRANNIN, I. C. de 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 Engenharia Agrícola Ambiental*, v. 12, p. 223-230, 2008.

RAIJ et al. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. 2.ed.ver.atual. Campinas: Instituto Agrônomo, 1997. 285p. (Boletim Técnico, 100).

DIAS, F.L.F. Efeito da aplicação de calcário, biossólido e vinhaça em solo cultivado com sorgo granífero (**Sorghum bicolor** (L.) Moench). Jaboticabal: Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP, 1994, 74p. Trabalho (Graduação em Agronomia).

MARQUES, M.O. Incorporação de biossólido em solo cultivado com cana-de-açúcar. Jaboticabal: Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP, 1996, 111p. Tese (Livre-Docência).

MELO, W.J., MARQUES, M.O., SANTIAGO, G., CHELLI, R.A., LEITE, S.A.S. Efeito de doses crescentes de biossólido sobre as frações da matéria orgânica e CTC de um solo latossolo cultivado com cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.18, p.449-55, 1994.

OLIVEIRA, F.C. Metais pesados e formas nitrogenadas em solos tratados com biossólido. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", USP, 1995. 90p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).

SEKI, L.T. Estudo da aplicação de doses de calcário e de biossólido na cultura da aveia branca (*Avena Sativa* L.)cv. UFRGS-7, cultivada em latossolo vermelho-escuro. Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP, 1995, p63. Trabalho (Graduação em Agronomia).



Tabela 1. Fertilidade do solo, na profundidade de 0-20cm, em latossolo roxo cultivado com milho, tratado com doses crescentes de lodo de esgoto para o ano agrícola 1997/98.

LVef	pH	M.O	Presina	K	Ca	Mg	H+Al	S	T	V%
	CaCl ₂	mg dm ⁻³	mg dm ⁻³							
adubação mineral	5,56 b	28,60 a	54,00 b	4,60 a	31,20 b	19,80 a	30,40 a	55,60 b	86,00 b	64,20 b
2,5 t ha ⁻¹ de biossólido	5,72 b	28,00 a	54,00 b	4,74 a	37,00 b	19,20 a	28,60 a	60,94 b	89,54 b	67,80 b
5 t ha ⁻¹ de biossólido	5,50 b	27,80 a	49,60 b	3,44 a	32,80 b	16,80 a	33,00 a	53,04 b	86,04 b	61,40 b
10 t ha ⁻¹ de biossólido	6,24 a	27,80 a	121,00 a	3,82 a	91,20 a	17,00 a	22,80 a	112,02 a	134,02 a	82,00 a
LVd	pH	M.O	Presina	K	Ca	Mg	H+Al	SB	T	V%
	CaCl ₂	mg dm ⁻³	mg dm ⁻³							
adubação mineral	5,72 a	17,60 a	33,60 ab	1,50 ab	23,60 a	14,40 a	18,80 a	39,50 ab	58,32 ab	67,60 ab
2,5 t ha ⁻¹ de biossólido	5,74 a	16,80 a	29,80 b	1,46 ab	23,40 a	12,80 a	18,40 a	37,66 b	56,06 b	67,00 b
5 t ha ⁻¹ de biossólido	6,04 a	16,60 a	46,80 a	1,68 a	33,40 a	15,40 a	16,00 a	50,48 a	66,48 a	75,80 a
10 t ha ⁻¹ de biossólido	6,02 a	16,20 a	33,40 ab	1,30 b	29,60 a	12,80 a	16,60 a	43,70 ab	60,30 ab	72,20 ab

Tabela 2. Fertilidade do solo, na profundidade de 0-20cm, em latossolo roxo cultivado com milho, tratado com doses crescentes de lodo de esgoto para o ano agrícola 1998/99.

LVef	pH	M.O	Presina	K	Ca	Mg	H+Al	S	T	V%
	CaCl ₂	mg dm ⁻³	mg dm ⁻³							
adubação mineral	5,50 b	26,80 a	51,40 b	3,78 a	30,60 b	17,80 a	31,60 a	52,18 b	83,78 b	62,20 - b
2,5 t ha ⁻¹ de biossólido	5,86 ab	28,00 a	66,40 ab	4,14 a	46,00 ab	17,20 a	26,40 b	67,34 ab	93,74 ab	71,60 a
5 t ha ⁻¹ de biossólido	5,92 a	28,80 a	69,20 ab	3,26 a	48,80 a	15,80 a	25,20 b	67,86 ab	93,06 ab	72,80 a
10 t ha ⁻¹ de biossólido	6,20 a	26,60 a	78,60 a	3,42 a	58,60 a	14,40 a	22,80 b	76,42 a	99,22 a	76,20 a
LVd	pH	M.O	Presina	K	Ca	Mg	H+Al	SB	T	V%
	CaCl ₂	mg dm ⁻³	mg dm ⁻³							
adubação mineral	5,50 c	16,60 a	30,80 b	1,00 b	20,80 c	11,00 a	21,40 a	32,80 b	54,20 b	60,00 c
2,5 t ha ⁻¹ de biossólido	6,06 b	16,80 a	50,60 ab	1,40 a	39,40 bc	11,00 a	16,80 b	51,80ab	68,60 ab	73,60 b
5 t ha ⁻¹ de biossólido	6,54 a	17,20 a	81,80 a	1,30 ab	51,20 ab	10,60 a	13,20 c	63,10a	76,30 ab	82,40 ab
10 t ha ⁻¹ de biossólido	6,78 a	17,00 a	87,60 a	1,24 ab	65,20 a	8,80 a	12,20 c	75,24a	87,44 a	85,80 a

Tabela 3. Valores médios de fertilidade do solo nos anos agrícolas 1997/98 e 1998/99 em LVef, cultivado com milho, de acordo com os tratamentos empregados.

Ano	pH	M.O	Presina	K	Ca	Mg	H+Al	S	T	V%
	CaCl ₂	mg dm ⁻³	mg dm ⁻³							
97/98	5,76 a	28,05 a	69,65 a	4,15 a	48,05 a	18,20 a	28,70 a	70,40 a	99,10 a	68,90 a
98/99	5,87 a	27,55 a	66,20 a	3,65 b	46,00 a	16,30 b	26,50 a	65,90 a	92,50 a	70,70 a

Tabela 4. Valores médios de fertilidade do solo nos anos agrícolas 1997/98 e 1998/99 em LVd, cultivado com milho, de acordo com os tratamentos empregados.

Ano	pH	M.O	Presina	K	Ca	Mg	H+Al	S	T	V%
	CaCl ₂	mg dm ⁻³	mg dm ⁻³							
97/98	5,88 b	16,8 a	35,9 a	3,65 a	27,50 b	13,9 a	17,5 a	42,8 b	60,3 b	70,7 b
98/99	6,22 a	16,9 a	62,7 a	1,24 b	44,15 a	10,4 b	15,9 b	55,7 a	71,6 a	75,5 a