



## Produtividade de milho adubado com composto de lodo de esgoto e fosfato natural de Gafsa

**Geraldo R. Z. Junio<sup>1</sup>, Reginaldo A. Sampaio<sup>1</sup>, Altina L. Nascimento<sup>2</sup>,  
Guilherme B. Santos<sup>1</sup>, Leonardo D. T. Santos<sup>1</sup> & Luiz A. Fernandes<sup>1</sup>**

### RESUMO

Neste trabalho propôs-se avaliar a produtividade e os teores de nutrientes no solo e na planta de milho em resposta à adubação com doses de composto de lodo de esgoto e de fosfato natural. O trabalho foi realizado em Cambissolo Háplico com os tratamentos em esquema fatorial 2 x 4 correspondentes a 2 doses de fosfato natural de gafsa (0 e 90 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e 4 doses de composto de lodo de esgoto (0, 25, 50 e 75 t ha<sup>-1</sup>, em base seca). O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com 3 repetições. A produtividade do milho e os teores de nutrientes no solo e na planta não foram, de modo geral, influenciados pela adubação com fosfato natural. Entretanto, a produtividade de milho e os teores de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e enxofre no solo e nitrogênio, fósforo e potássio nas folhas, aumentaram com a adição de composto de lodo de esgoto ao solo, sendo a dose ótima recomendada de 75 t ha<sup>-1</sup>.

**Palavras-chave:** *Zea mays*, bio sólido, fosfato natural reativo

## Yield of corn fertilized with sewage sludge compost and Gafsa rock phosphate

### ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the yield and concentrations of nutrients in soil and corn plant in response to fertilization with different doses of sewage sludge compost and Gafsa rock phosphate. The work was conducted at experimental area of the ICA/UFMG in a Haplic Cambisol. The treatments, in a factorial 2 x 4, corresponded to two rates of Gafsa rock phosphate (0 and 90 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>) and four rates of sewage sludge compost (0, 25, 50 and 75 t ha<sup>-1</sup>, on dry basis). The experimental design was randomized blocks, with three replications. In general, the corn yield and the concentrations of macronutrients in soil and plant were not influenced by fertilization with Gafsa rock phosphate. However, corn yield and nitrogen, phosphorus, potassium, calcium and sulfur concentration in the soil and nitrogen, phosphorus and potassium concentration in leaf increased with the addition of sewage sludge compost to soil, being the optimal recommended rate of 75 t ha<sup>-1</sup>.

**Key words:** *Zea mays*, biosolids, reactive phosphate rock

<sup>1</sup> ICA/UFMG, Av. Universitária, 1000, Bairro Universitário, CEP 39404-006, Montes Claros, MG. Fone: (38) 2101-7700. E-mail: juniozuba@ufmg.br; rsampaio@ufmg.br; guilhermerepresenta@gmail.com; ltuffi@ufmg.br; larnaldo@ufmg.br

<sup>2</sup> ESALQ/USP, Av. Pádua Dias, 11, CEP 13418-260, Piracicaba, SP. Fone: (19)3417.2127. E-mail: altinalacerda@usp.br

## INTRODUÇÃO

Os sistemas de esgotamento sanitário são vitais para a saúde da população porém no Brasil grande parte da população ainda não é atendida pelos serviços de saneamento, o que contribui para contaminação dos corpos d'água e elevação do número de internações hospitalares, ocasionadas por doenças de veiculação e origem hídrica. Pressionados por esses fatos, os governos têm direcionado recursos para investimentos em saneamento sendo que várias estações de tratamento de esgoto (ETE) já foram ou estão sendo implantadas no país.

Com o aumento do número de ETE no país tem havido incremento nas quantidades geradas de lodo de esgoto causando grande preocupação em relação à sua disposição final (Biondi & Nascimento, 2005; Lemainski & Silva, 2006). Torna-se, então, imperiosa a busca de soluções para o destino adequado deste resíduo, sendo sua reciclagem agrícola a alternativa mais promissora do ponto de vista econômico e ambiental (Martins et al., 2003; Silva, et al., 2005; Barbosa et al., 2007).

O lodo de esgoto tem sido muito utilizado na agricultura em vários países, uma vez que viabiliza a reciclagem de nutrientes, melhora os atributos físicos e químicos do solo e constitui uma solução de longo alcance para destinação deste resíduo (Oliveira & Mattiazzo, 2001; Silva et al., 2002b; 2005; Marques et al., 2007) podendo ser utilizado no cultivo de grandes culturas, silvicultura, floricultura, paisagismo ou na recuperação de áreas degradadas. É uma importante fonte de matéria orgânica e de elementos essenciais às plantas podendo complementar os fertilizantes minerais e reduzir os custos de produção (Silva et al., 2002a; Lemainski & Silva, 2006). Apresenta, porém, riscos potenciais de contaminação do solo e das plantas com patógenos e metais pesados (Biondi & Nascimento, 2005).

No Brasil, a área plantada de milho não é suficiente para atender às demandas do mercado interno, limitando o abastecimento das indústrias. A solução passa pela expansão da área plantada e pelo aumento da produtividade das áreas atualmente cultivadas, sendo o lodo de esgoto um insumo significativo para melhorar as condições físicas e químicas do solo, favorecer o desenvolvimento da cultura e reduzir os custos de produção (Silva et al., 2005).

Aumentos relevantes na produtividade de milho e feijão em razão das doses de lodo de esgoto aplicadas foram observados, respectivamente, por Simonete et al. (2003) e Nascimento et al. (2004) o que pode estar associado à melhoria dos atributos químicos do solo pelo lodo de esgoto. Nogueira et al. (2006) também observaram que as produções de milho e feijão consorciados quando adubados com lodo de esgoto, apresentaram os mesmos resultados da adubação feita com fertilizante mineral significando que o lodo pode substituir ou complementar, com eficiência, a adubação química.

Embora rico em nitrogênio, ainda existe dúvidas sobre o potencial do lodo em suprir fósforo em quantidades adequadas às plantas, sendo os resultados de pesquisas contraditórios. Neste contexto, Galdos et al. (2004) e Vieira et al. (2005) constataram que a aplicação de lodo de esgoto promoveu a adequada nutrição fosfatada de milho e soja, com influência positiva na produção; contudo, Simonete et al. (2003) não observaram nenhuma resposta de milho à adubação com

superfosfato simples, quando o solo foi adubado com lodo de esgoto.

Ante o exposto, realizou-se o presente trabalho com o objetivo avaliar os teores de nutrientes na planta e no solo e a produtividade de milho em resposta à adubação com doses de composto de lodo de esgoto e com fosfato natural de Gafsa.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na área experimental do Campus da UFMG em Montes Claros, MG, latitude 16° 51' 38" S e longitude 44° 55' 00" W, em área de Cambissolo Háplico, com as seguintes características químicas e físicas da camada de 0-20 cm, conforme metodologias preconizadas pela EMBRAPA (1997): matéria orgânica = 1,09 dag kg<sup>-1</sup>; pH em água = 5,5; P-Mehlich 1 = 3,2 mg dm<sup>-3</sup>; P-remanescente = 37,5 mg L<sup>-1</sup>; K = 67 mg dm<sup>-3</sup>; Ca = 3,10 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Mg = 1,10 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Al = 0,50 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; H + Al = 4,94 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Soma de bases = 4,37 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; CTC efetiva = 4,87 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; m = 10%; CTC total = 9,31 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; V = 47%; areia grossa = 13,30 dag kg<sup>-1</sup>; areia fina = 24,70 dag kg<sup>-1</sup>; silte = 30 dag kg<sup>-1</sup> e argila = 32 dag kg<sup>-1</sup>. Cultivou-se o milho (*Zea mays*) variedade BR 106.

Em esquema fatorial 2 x 4 os tratamentos corresponderam a 2 doses de fosfato natural reativo (0 e 90 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) combinadas com 4 doses de composto de lodo de esgoto (0; 25; 50 e 75 t ha<sup>-1</sup>, em base seca) com três repetições, no delineamento em blocos casualizados.

O fosfato natural reativo utilizado foi o fosfato de Gafsa com as seguintes características químicas, conforme metodologias preconizadas por Tedesco et al. (1995): P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> total = 29,00%; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> solúvel em ácido cítrico a 2% relação 1:100 = 10,00%; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> solúvel em ácido fórmico a 2% relação 1:100 = 21,00%; SO<sub>3</sub> = 3,20%; SiO<sub>2</sub> = 3,6%; Ca = 32,00%; MgO = 0,80% e K<sub>2</sub>O = 0,11%. A dose aplicada foi calculada com base no teor disponível de fósforo no solo e na recomendação de Noce (2004) para a variedade de milho BR 106 (90 kg ha<sup>-1</sup> quando o solo apresenta baixa disponibilidade de P).

As doses de composto de lodo de esgoto foram baseadas na concentração de nitrogênio neste adubo e na recomendação da adubação, também feita por Noce (2004) para a variedade de milho BR 106 (80 kg ha<sup>-1</sup> de N). Este material apresentou as seguintes características químicas, conforme metodologias preconizadas por Tedesco et al. (1995): carbono orgânico = 26,0 dag kg<sup>-1</sup>; N = 1,63 dag kg<sup>-1</sup>; P = 0,42 dag kg<sup>-1</sup>; K = 0,68 dag kg<sup>-1</sup>; Ca = 0,40 dag kg<sup>-1</sup>; Mg = 0,22 dag kg<sup>-1</sup> e S = 1,26 dag kg<sup>-1</sup>.

O lodo de esgoto desidratado foi coletado na Estação de Tratamento de Esgoto - ETE no município de Juramento, MG. A ETE é operada pela COPASA-MG e possui capacidade para tratar 217 m<sup>3</sup> por dia de esgoto. A linha de tratamento é composta por tratamento preliminar e reator anaeróbico UASB interligado em série a uma lagoa de postratamento do tipo facultativo. O lodo gerado no reator UASB permanece 90 dias em leito de secagem e posteriormente é disposto em aterro controlado, implantado na área da estação. O lodo gerado possuía as seguintes características químicas, conforme metodologias preconizadas por Tedesco et al. (1995): Carbono orgânico = 14,60 dag kg<sup>-1</sup>; N = 1,77 dag kg<sup>-1</sup>; P = 0,41 dag kg<sup>-1</sup>; K = 0,66 dag kg<sup>-1</sup>; Ca = 0,05 dag kg<sup>-1</sup>; Mg = 0,22 dag kg<sup>-1</sup> e S = 1,24 dag kg<sup>-1</sup>.

A compostagem foi feita misturando-se o lodo de esgoto à palha de feijão, de forma a se obter uma relação C/N de 30/1. A palha de feijão apresentava as seguintes características químicas, conforme metodologias preconizadas por Tedesco et al. (1995): Carbono orgânico = 47,31 dag kg<sup>-1</sup>; N = 0,91 dag kg<sup>-1</sup>; P = 0,12 dag kg<sup>-1</sup>; K = 2,00 dag kg<sup>-1</sup>; Ca = 1,2 dag kg<sup>-1</sup>; Mg = 0,40 dag kg<sup>-1</sup> e S = 0,04 dag kg<sup>-1</sup>.

A compostagem foi desenvolvida por meio de pilhas com altura de aproximadamente 1,5 m. Diariamente foram monitoradas a temperatura e a umidade. Para controle dos fatores intervenientes no processo efetuou-se o revolvimento manual sistemático das pilhas utilizando-se pás e enxadas.

A adubação foi feita de uma única vez, em sulcos de plantio utilizando-se apenas o fosfato de Gafsa e o composto de lodo de esgoto, conforme os tratamentos. O espaçamento entre fileiras para a cultura de milho foi de 80 cm, com 5 sementes por metro linear. O tamanho da parcela foi de 6,0 x 4,8 m. Foram colhidas as quatro fileiras centrais de 4 m comprimento tendo sido eliminados as duas fileiras periféricas e 1 m de final da fileira como bordadura.

No início do florescimento da cultura foram coletadas amostras de folhas em 20 plantas de cada unidade experimental retirando-se a folha imediatamente abaixo e oposta à espiga, para análise química dos teores de N, P, K, Ca, Mg e S (Tedesco et al., 1995; Malavolta et al., 1997).

Após a colheita avaliou-se a produtividade de grãos e se coletaram, entre plantas nas profundidades de 0-10; 10-20; 20-30; 30-40 e 40-50 cm, 30 subamostras por parcela para formar uma amostra composta de cada tratamento em cada profundidade para análises de P, K, Ca, Mg e S (EMBRAPA, 1997) e N mineral total (Tedesco et al., 1995).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias referentes às doses de fosfato testadas pelo teste de Tukey até 0,05 de probabilidade enquanto as relativas às doses de composto de lodo de esgoto foram ajustadas a modelos de regressão, testando-se os coeficientes até 0,10 de probabilidade, pelo teste t.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As doses de fosfato e de composto de lodo de esgoto não interagiram entre si, em nível de 0,05 de probabilidade pelo teste F, para todas as variáveis estudadas.

A produtividade do milho não foi influenciada pela adubação fosfatada embora o teor inicial de fósforo no solo fosse baixo, da ordem de 3,2 mg dm<sup>-3</sup> (Tabela 1); este fato pode ser atribuído à baixa taxa de solubilização do fosfato natural em razão do teor inicial de cálcio no solo ser elevado, da ordem de 3,10 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> diminuindo, assim, o efeito dreno-cálcio do solo. Corrêa et al. (2005) observaram resultado semelhante, em que o teor de cálcio mais elevado no solo afetou a solubilização do fosfato de Gafsa em cultivo de milho. Novais & Smyth (1999) também destacam que baixo teor de cálcio no solo é fator preponderante para maior solubilização de fosfatos naturais uma vez que a baixa atividade de cálcio na solução do solo induz a uma taxa maior de liberação desse nutriente do adubo.

Os teores de macronutrientes no solo não foram influenciados pela aplicação de fosfato natural (Tabela 1) exceto os teores de

potássio nas camadas de 30-50 e os teores fósforo disponível, que aumentaram na camada de 0 a 20 e de 30 a 40 cm de profundidade, sobre o efeito deste fertilizante. Referidos teores podem estar superestimados em razão da determinação do fósforo ter sido realizada com o extrator Melich 1, com características ácidas, visto que o aumento observado não refletiu os teores absorvidos pela planta (Tabela 2) nem sua produtividade. Corrêa et al. (2008) avaliaram a disponibilidade de fósforo para plantas de milho com diferentes extratores químicos e constataram, para fosfato natural de Gafsa, que o extrator Melich 1 superestima os teores de fósforo disponíveis já que, em condições de baixo pH, há uma rápida solubilização do fósforo da rocha apresentando resultados relativos à solubilização com o agente ácido do método, os quais não correspondem à sua disponibilidade às plantas.

Com o exposto, a falta de resposta da planta à adubação com fosfato natural pode estar relacionada à baixa taxa de liberação do fósforo deste adubo, caso em que é possível que a aplicação de uma fonte solúvel apresente melhores resultados. Tal fato fica bastante evidente no trabalho de Anjos & Mattiazzi (2000) ao observarem que a adubação de milho com lodo de esgoto de ETE necessitou de complementação com fósforo. Todavia e dependendo do lodo de esgoto, o fósforo adicionado pode ser suficiente para atender à exigência da cultura do milho não sendo conveniente fazer complementação com fertilizante mineral (Simonete et al., 2003) sendo que, para a soja, a aplicação de 3 t ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto é bastante para suprir a exigência da planta em fósforo, quando comparada com a adubação química (Vieira et al., 2005).

Na Tabela 1 se observa que não foi constatado efeito algum da adubação fosfatada em relação aos teores de nitrogênio mineral total do solo. Ficou evidente, também, que o teor de nitrogênio mineral total do solo foi mais elevado na camada de 0 a 20 cm quando ocorreu incorporação de lodo de esgoto, sendo os teores em profundidade próximos aos da superfície. Behling et al. (2009) observaram que a aplicação de bio-sólido no solo aumentou as concentrações de nitrogênio em profundidade; entretanto, os autores afirmam que não houve risco de contaminação do lençol freático com este elemento.

Para o potássio, o cálcio, o magnésio e o enxofre (Tabela 1) não houve, de modo geral, efeito da adubação fosfatada embora o fosfato de gafsa possua, em sua composição, 32% de cálcio e muito baixas concentrações de magnésio, de potássio e de enxofre. Verificou-se, entretanto, maior acúmulo desses elementos nas camadas superficiais do solo havendo pouco movimento em profundidade, exceto para o potássio cujas concentrações foram maiores na camada de 30-50 cm. O enxofre na forma iônica de sulfato é reconhecidamente um composto de fácil movimentação no solo sobretudo quando aplicado junto ao fósforo e em pH mais elevado. Contudo, quando aplicado como componente da matéria orgânica há tendência de ser fortemente imobilizado pelos micro-organismos decompositores, concentrando-se na camada de incorporação do solo (Luchese et al., 2008).

Na Tabela 2 observa-se que, de modo geral, não houve influência da adubação fosfatada em relação aos teores de macronutrientes nos tecidos foliares. Apesar do fosfato natural ter concentração elevada de fósforo e média de cálcio, o teor

**Tabela 1.** Produtividade e teores de nutrientes em função da adubação com fosfato de Gafsa e composto de lodo de esgoto

Variável	Profundidade (cm)	Dose de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg ha <sup>-1</sup> )	Dose de composto de lodo de esgoto (t ha <sup>-1</sup> )				Média <sup>1</sup>	
			0	25	50	75		
Produtividade (t ha <sup>-1</sup> )	-	-	3,21	4,43	4,08	4,69	4,10	
N (mg dm <sup>-3</sup> )	0-10	-	118,97	135,34	143,90	127,20	131,35	
	10-20	-	149,86	137,01	121,52	105,58	128,49	
	20-30	-	111,59	126,12	120,78	105,27	115,94	
	30-40	-	101,80	134,89	94,07	91,07	105,46	
	40-50	-	112,07	105,06	92,65	99,15	102,24	
P (mg dm <sup>-3</sup> )	0-10	0	4,13	14,03	28,70	29,17	19,01B	
		90	18,23	53,03	58,50	68,17	49,48A	
		Média	11,18	33,53	43,60	48,67	-	
	10-20	0	1,30	3,70	6,40	12,80	6,05B	
		90	4,50	16,80	11,90	18,90	13,03A	
		Média	2,90	10,25	9,15	15,85	-	
	20-30	-	2,10	1,85	2,95	3,65	2,64	
		0	0,27	0,50	0,93	1,20	0,73B	
		90	2,20	0,83	2,70	2,97	2,18A	
	30-40	Média	1,23	0,67	1,82	2,08	-	
		-	0,42	0,93	1,65	1,17	1,05	
		0	145,67	162,50	144,67	141,83	148,67	
K (mg dm <sup>-3</sup> )	0-10	-	71,83	75,34	83,50	85,67	79,09	
		-	37,17	36,50	43,33	40,67	39,42	
		0	24,33	23,67	23,00	25,00	24,00B	
	30-40	90	29,00	25,33	48,67	29,33	33,09A	
		Média	26,67	24,50	35,84	27,17	-	
		0	22,33	23,33	17,67	18,00	20,33B	
	40-50	90	24,33	26,67	40,33	22,67	28,50A	
		Média	23,33	25,00	29,00	20,34	-	
		0-10	-	4,47	5,57	5,85	5,05	5,24
	Ca (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	10-20	-	2,74	2,97	3,45	3,32	3,12
		20-30	-	1,33	1,37	1,38	1,64	1,43
		30-40	-	0,80	0,80	0,98	0,92	0,88
40-50		-	0,59	0,69	0,70	0,52	0,62	
0-10		-	1,18	1,02	0,79	1,02	1,00	
Mg (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	10-20	-	0,90	0,75	0,65	0,95	0,82	
	0-10	-	33,05	53,52	72,69	93,02	63,07	
S (mg dm <sup>-3</sup> )	10-20	-	27,58	52,94	58,54	61,70	50,19	
	20-30	-	27,14	30,32	47,95	50,62	39,01	
	30-40	-	15,62	21,27	27,05	32,62	24,14	
	40-50	-	25,04	24,00	20,13	20,55	22,43	

<sup>1</sup> Para cada variável, médias seguidas de letras diferentes, na vertical, diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 0,05 de probabilidade

**Tabela 2.** Teores de macronutrientes em folha de milho em função da adubação com fosfato de Gafsa e composto de lodo de esgoto

Variável	Dose de fosfato (t ha <sup>-1</sup> )	Dose de lodo de esgoto (t ha <sup>-1</sup> )				Média <sup>1</sup>
		0	25	50	75	
N (mg dm <sup>-3</sup> )	-	1,31	1,32	1,30	1,40	1,33
P (mg dm <sup>-3</sup> )	-	0,14	0,16	0,15	0,15	0,15
K (mg dm <sup>-3</sup> )	-	1,42	1,58	1,48	1,36	1,17
Ca (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	-	0,71	0,71	0,68	0,85	0,74
Mg (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	-	0,13	0,13	0,12	0,14	0,13
S (mg dm <sup>-3</sup> )	0	0,10	0,12	0,09	0,11	0,11 A
	90	0,14	0,14	0,15	0,15	0,14 B
	Média	0,12	0,13	0,12	0,13	-

<sup>1</sup> Para cada variável médias seguidas de letras diferentes, na vertical, diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 0,05 de probabilidade

inicial de cálcio no solo pode ter retardado a solubilização do adubo, conforme já comentado, não refletindo nos teores desses elementos na planta nem interferindo nos demais, exceto para o enxofre. Embora tenham sido diferentes estatisticamente, os teores de enxofre estão abaixo do valor de

referência razão pela qual são considerados agronomicamente semelhantes.

Na Tabela 3 observa-se que o aumento das doses de composto de lodo de esgoto promoveu incremento na produtividade da cultura do milho atingindo valor máximo de 4,63 t ha<sup>-1</sup> de grãos, com a aplicação de 75 t ha<sup>-1</sup> de composto. O efeito positivo da adubação com lodo de esgoto sobre milho tem sido destacado na literatura, por autores como Martins et al. (2003), Simonete et al. (2003), Nascimento et al. (2004) e Nogueira et al. (2006) os quais admitem que a aplicação de doses de lodo de esgoto proporcionou aumento na concentração e no fornecimento de nutrientes disponíveis à planta, além de incrementos na produção de matéria seca da parte aérea. Lemainski & Silva (2006) também constataram, em experimento com milho, que a adubação com lodo de esgoto é, em média, 21% mais eficiente do que com o fertilizante mineral. No presente estudo ocorreu um aumento médio de 40% na produtividade do milho em relação à dose zero.

Conforme dados da Tabela 3 o aumento nas doses de composto de lodo de esgoto resultou em incremento nos teores de

**Tabela 3.** Equações de regressão relacionando a produtividade de milho (Prod) e os macronutrientes no solo com doses de composto de lodo de esgoto aplicadas

Variável	Unidade	Equação	R <sup>2</sup>	DC (t ha <sup>-1</sup> )	TNS	TMP	CLAS SE <sup>1</sup>
Prod	t ha <sup>-1</sup>	$Y = 3,30 + 0,153048^{***}X^{0,5}$	0,8050	75,00	4,63	-	-
N (0 - 10)		$Y = (13896,6157 + 294,5857^{***}X - 3,4762^{***}X^2)^{0,5}$	0,9492	42,37	141,70	128,20	-
N (10 - 20)		$Y = 150,7420 - 0,5933^{**}X$	0,9976	0,00	150,74	106,24	-
N (20 - 30)	mg dm <sup>-1</sup>	$Y = (12581,5672 + 187,0784^{***}X - 2,7840^{***}X^2)^{0,5}$	0,9783	33,60	125,40	104,65	-
N (30 - 40)		$Y = Y_m = 105,46$	-	-	105,46	105,46	-
N (40 - 50)		$Y = Y_m = 102,24$	-	-	102,24	102,24	-
P (0 - 10)		$Y = 15,85 + 0,49016^{***}X$	0,9066	75,00	52,61	52,61	MB
P (10 - 20)		$Y = 3,88 + 0,151^{**}X$	0,8426	75,00	15,20	15,20	Bx
P (20 - 30)	mg dm <sup>-3</sup>	$Y = (3,63 + 0,0017513^{***}X^2)^{0,5}$	0,9225	75,00	3,67	3,67	MBx
P (30 - 40)		$Y = (1,04 + 0,043538^{***}X)^{0,5}$	0,9535	75,00	2,08	2,08	MBx
P (40 - 50)		$Y = 0,45 + 0,113678^{**}X^{0,5}$	0,7000	75,00	1,44	1,44	MBx
K (0 - 10)		$Y = (21986,08 + 144,8494^{***}X - 2,400064^{***}X^2)^{0,5}$	0,5192	30,18	155,47	139,10	MB
K (10 - 20)		$Y = (5074,1187 + 35,8261716^{***}X - 0,05979^{***}X^2)^{0,5}$	0,9550	75,00	86,17	86,17	B
K (20 - 30)	mg dm <sup>-3</sup>	$Y = (1313,45 + 10,6726686^{***}X - 0,06963244X^2)^{0,5}$	0,5157	75,00	41,49	41,49	M
K (30 - 40)		$Y = Y_m = 28,55$	-	-	28,55	28,55	Bx
K (40 - 50)		$Y = (505,36 + 14,53698^{***}X - 0,2031982^{***}X^2)^{0,5}$	0,7201	35,77	27,67	21,28	Bx
Ca (0 - 10)		$Y = 4,46 + 0,06508^{**}X - 0,00076^{**}X^2$	0,9970	42,82	5,85	5,07	MB
Ca (10 - 20)		$Y = (7,25 + 0,117305^{***}X - 0,000861^{**}X^2)^{0,5}$	0,8414	68,12	3,35	3,35	B
Ca (20 - 30)	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	$Y = (1,71 + 0,0001587^{***}X^2)^{0,5}$	0,8847	75,00	1,61	1,61	M
Ca (30 - 40)		$Y = 0,40 + 0,02076^{**}X - 0,000184^{**}X^2$	0,9999	56,41	0,98	0,92	Bx
Ca (40 - 50)		$Y = Y_m = 0,63$	-	-	0,63	0,63	Bx
Mg (0 - 10)	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	$Y = Y_m = 1,00$	-	-	1,00	1,00	B
Mg (10 - 20)		$Y = Y_m = 0,81$	-	-	0,81	0,81	M
S (0 - 10)		$Y = 34,44 + 0,72252^{***}X$	0,9936	75,00	88,63	88,63	MB
S (10 - 20)		$Y = 28,45 + 1,09784^{***}X - 0,00888^{**}X^2$	0,9792	61,82	62,37	60,84	MB
S (20 - 30)	mg dm <sup>-3</sup>	$Y = 25,80 + 0,35228^{**}X$	0,8995	75,00	52,22	52,22	MB
S (30 - 40)		$Y = 15,62 + 0,22712^{***}X$	0,9999	75,00	32,66	32,66	MB
S (40 - 50)		$Y = (642,38 - 5,1821376^{***}X + 0,02723488^{***}X^2)^{0,5}$	0,8650	0,00	25,35	20,19	MB

DC - Dose de composto de lodo de esgoto para atingir maior produtividade ou concentração de nutriente no solo; TNS - Produtividade máxima ou teor máximo de nutriente no solo; TMP - Teor no solo com a aplicação da dose de composto de lodo de esgoto que gerou máxima produtividade; <sup>1</sup>Classes de fertilidade segundo Alvarez V. et al. (1999): A - Alto, MB - Muito bom, B - Bom, M - Médio, B - Baixo, MBx - Muito baixo; °, \*, \*\*, \*\*\* - Significativos a 0,1; 0,05; 0,01 e 0,001 de probabilidade, respectivamente, pelo teste t

nitrogênio, de fósforo, de potássio, de cálcio e de enxofre no solo. Tal fato reflete os teores existentes no composto de lodo utilizado, que são da ordem de: 16,3 g kg<sup>-1</sup> de N; 4,2 g kg<sup>-1</sup> de P; 6,8 g kg<sup>-1</sup> de K; 4,0 g kg<sup>-1</sup> de Ca; 2,2 g kg<sup>-1</sup> de Mg e 12,6 g kg<sup>-1</sup> de S. Os teores de magnésio no solo, no entanto, em razão de sua menor concentração no composto de lodo não foram influenciados pela aplicação deste resíduo. A melhoria da qualidade química do solo em virtude da aplicação de lodo de esgoto, foi também confirmada por Nascimento et al. (2004), Antolin et al. (2005) e Chueiri et al. (2007). Com relação ao fósforo, a dose de composto de lodo de esgoto que promoveu maior produtividade de grãos de milho (75 t ha<sup>-1</sup>) foi também responsável pelo maior teor deste elemento, em todas as profundidades avaliadas do solo, o que mostra que o fósforo foi determinante na produtividade do milho.

Na Tabela 4 observa-se que o aumento nas doses de composto de lodo de esgoto aplicadas proporcionou incrementos nos teores de fósforo e de nitrogênio nas folhas de milho, confirmando que a melhoria das condições químicas do solo (Tabela 3) influenciou a absorção desses nutrientes pelas plantas. O efeito positivo da aplicação de lodo de esgoto em relação à absorção de nutrientes pelas plantas também foi observado por Gomes et al. (2007) que verificaram aumento do teor de nitrogênio em folhas de milho adubado com lodo de esgoto, embora não tenham constatado relação entre o aumento da dose de lodo de esgoto e os teores de fósforo nas folhas dessa cultura. Apesar do aumento dos teores de fósforo e nitrogênio, a maior dose do composto não foi suficiente para elevar seus teores a níveis de nutrição considerados adequados, conforme descritos em Oliveira (2004). Este fato

**Tabela 4.** Equações de regressão relacionando os teores de nutrientes na folha de milho com doses crescentes de composto de lodo de esgoto

Nutriente	Equação	R <sup>2</sup>	DC (t ha <sup>-1</sup> )	TNP (dag kg <sup>-1</sup> )	TMP (dag kg <sup>-1</sup> )	Adequado <sup>1</sup>
N (mg dm <sup>-3</sup> )	$Y = (1,74 - 0,007758^{**}X + 0,0001725^{***}X^2)^{0,5}$	0,8526	75,00	1,46	1,46	2,50 - 3,5
P (mg dm <sup>-3</sup> )	$Y = 0,139 + 0,00036^{**}X$	0,8526	75,00	1,67	1,67	1,80 - 3,0
K (mg dm <sup>-3</sup> )	$Y = 1,45 + 0,01012^{**}X - 0,000136^{**}X^2$	0,7492	37,21	1,64	1,44	1,30 - 3,0
Ca (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	$Y = Y_m = 0,71$	-	-	0,71	0,71	0,25 - 1,0
Mg (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	$Y = (0,36 - 0,00023099^{**}X)^2$	0,7999	0,00	0,13	0,12	0,15 - 0,5
S (mg dm <sup>-3</sup> )	$Y = Y_m = 0,13$	-	-	0,13	0,13	0,14 - 0,3

DC - Dose de composto de lodo de esgoto para atingir maior concentração de nutriente na planta; TNP - Teor máximo de nutriente na planta; <sup>1</sup>Faixa de suficiência de nutrientes na planta de acordo com Oliveira (2004); TMP - Teor do nutriente na folha de milho com a aplicação da dose de composto de lodo de esgoto que gerou máxima produtividade; °, \*, \*\*, \*\*\* = Significativos a 0,1; 0,05; 0,01 e 0,001 de probabilidade, respectivamente, pelo teste t

também foi observado por Gomes et al. (2007); contudo, tal como na presente pesquisa, os autores não verificaram sintomas de deficiência desses elementos na planta.

O teor de potássio na folha de milho também aumentou em função do incremento das doses de composto de lodo de esgoto até a aplicação de 37,21 t ha<sup>-1</sup> (Tabela 4). Com a aplicação de 75 t ha<sup>-1</sup>, dose referente à máxima produtividade do milho, o teor deste elemento na folha foi de 1,44 mg dm<sup>-3</sup> valor que se encontra dentro da faixa que indica concentrações nutricionais adequadas de potássio na folha de milho.

Os teores de cálcio e enxofre na folha, por outro lado, não foram influenciados pela aplicação do composto de lodo (Tabela 4). Embora o teor de cálcio não tenha apresentado relação com o aumento da dose de composto de lodo de esgoto, o valor observado nas folhas se encontra dentro dos limites considerados adequados, segundo Oliveira (2004) embora o mesmo não tenha sido observado para enxofre, cujo teor foliar foi inferior ao considerado suficiente para suprir a demanda nutricional da cultura apesar de, a exemplo dos outros nutrientes, não terem sido observados sintomas de deficiência na planta.

O aumento da dose de composto de lodo de esgoto reduziu o teor de magnésio na folha de milho, atingindo nível inferior ao considerado adequado (Tabela 4). Uma vez que a aplicação do composto de lodo de esgoto não contribuiu para o aumento deste elemento no solo (Tabela 3) supõe-se que, além do efeito diluição decorrente do aumento da produção de grãos com o aumento das doses de composto de lodo de esgoto, pode ter contribuído para redução da absorção deste elemento pela planta a absorção competitiva, em razão dos aumentos no solo dos teores de cálcio e potássio.

## CONCLUSÕES

1. A produtividade de milho e os teores de macronutrientes no solo e na planta não são, em geral, influenciados pela adubação com 90 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, aplicados como fosfato natural reativo, em solo contendo teor médio de cálcio.

2. A produtividade de milho e os teores de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e enxofre no solo e nitrogênio, fósforo e potássio nas folhas, aumentam com a adição de composto de lodo de esgoto ao solo, sendo a dose ótima recomendada de 75 t ha<sup>-1</sup>.

## AGRADECIMENTOS

Os autores expressam seus maiores agradecimentos à FAPEMIG, pelo apoio financeiro, e ao CNPq, pela bolsa de produtividade em pesquisa, que possibilitaram a realização deste trabalho.

## LITERATURA CITADA

- Alvarez V., V. H.; Novais, R. F.; Barros, N. F.; Cantarutti, R. B.; Lopes, A. S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: Ribeiro, A. C.; Guimarães P. T. G.; Alvarez V., V. H. (org.) Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5. aproximação. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais. 1999. Cap. 5, p.25-32.
- Anjos, A. R. M. dos; Mattiazzo, M. E. Metais pesados em plantas de milho cultivadas em latossolos repetidamente tratados com biossólido. *Scientia Agricola*, v.57, p.769-776, 2000.
- Antolin, M. C.; Pascual, I.; Garcia, C.; Polo, A.; Sanchez-Diaz, M. Growth, yield and solute content of barley in soils treated with sewage sludge under semiarid Mediterranean conditions. *Field Crops Research*, v.94, p.224-237, 2005.
- Barbosa, G. M. de C.; Tavares Filho, J.; Brito, O. B.; Fonseca, I. C. B. Efeito residual do lodo de esgoto na produtividade do milho safrinha. *Revista Brasileira de Ciência de Solo*, v.31, p.601-605, 2007.
- Behling, M.; Dias, F. C.; Amaral Sobrinho, N. M. B.; Oliveira, C.; Mazur, N. Nodulação, acúmulo de nitrogênio no solo e na planta, e produtividade de soja em solo tratado com lodo de estação de tratamento de resíduos industriais. *Bragantia*, v.68, p.453-462, 2009.
- Biondi, C. M.; Nascimento, C. W. A. do. Acúmulo de nitrogênio e produção de matéria seca de plantas em solos tratados com lodo de esgoto. *Revista Caatinga*, v.18, p.123-128, 2005.
- Corrêa, R. M.; Nascimento, C. W. A. do; Freire, F. J.; Souza, S. K. de S.; Silva, G. B. da. Disponibilidade e níveis críticos de fósforo em milho e solos fertilizados com fontes fosfatadas. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.3, p.218-224, 2008.
- Corrêa, R. M.; Nascimento, C. W. A. do; Souza, S. K. de S.; Freire, F. J.; Silva, G. B. da. Gafsa rock phosphate and triple superphosphate for dry matter production and p uptake by corn. *Scientia Agricola*, v.62, p.159-164, 2005.
- Chueiri, W. A.; Serra, T. B. M.; Biele, J.; Favaretto, N. Lodo de esgoto e fertilizante mineral sobre parâmetros do solo e de plantas de trigo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.11, p.502-508, 2007.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa CNPS, 1997. 212p.
- Galdos, M. V.; Maria, I. C. de; Camargo, O. A. Atributos químicos e produção de milho em um latossolo vermelho eutroférico tratado com lodo de esgoto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.28, p.569-577, 2004.
- Gomes, S. B. V.; Nascimento, C. W. A.; Biondi, C. M. Produtividade e composição mineral de plantas de milho em solo adubado com lodo de esgoto. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.11, p.459-465, 2007.
- Lemainski, J.; Silva, J. E. da. Utilização do biossólido da CAESB na produção de milho no Distrito Federal. *Revista Brasileira de Ciência de Solo*, v.30, p.741-750, 2006.
- Luchese, A. V.; Costa, A. C. da; Souza Júnior, I. G. Lixiviação de íons após a aplicação de resíduos orgânicos de uma indústria farmoquímica. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.12, p.189-199, 2008.
- Malavolta, E.; Vitti, G. C.; Oliveira, S. A. Avaliação do estado nutricional das plantas: Princípios e aplicações. 2.ed., Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319p.

- Marques, M. O.; Nogueira, T. A. R.; Fonseca, I. M.; Marques, T. A. Teores de Cr, Ni, Pb e Zn em Argissolo Vermelho tratado com lodo de esgoto e cultivado com cana-de-açúcar. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, v.7, p.133-143, 2007.
- Martins, A. L. C.; Bataglia, O. C.; Camargo, O. A.; Cantarella, H. Produção de grãos e absorção de Cu, Fe, Mn e Zn pelo milho em solo adubado com lodo de esgoto, com e sem calcário. *Revista Brasileira de Ciência de Solo*, v.27, p.563-574, 2003.
- 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 de Solo*, v.28, p.385-392, 2004.
- Noce, M. A. Milho variedade BR 106: Técnicas de plantio. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2004. 5p. Comunicado Técnico, 109
- Nogueira, T. A. R.; Sampaio, R. A.; Ferreira, C. S.; Fonseca, I. M. Produtividade de milho e de feijão consorciados adubados com diferentes formas de lodo de esgoto. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, v.6, p.122-131, 2006.
- Novais, R. F.; Smyth, T. J. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. 1.ed. Viçosa: UFV, DPS, 1999. 399p.
- Oliveira, F. C.; Mattiazzo, M. E. Metais pesados em latossolo tratado com lodo de esgoto e em plantas de cana-de-açúcar. *Scientia Agricola*, v.58, p.581-593, 2001.
- Oliveira, S. A. Análise foliar. In: Sousa, D. M. G.; Lobato, E. Cerrado: correção do solo e adubação. Planaltina: Embrapa Cerrados. 2004. Cap.10, p.245-256.
- Silva, C. J. C. da; Lima, M. G. de S.; Carvalho, C. M. de; Eloi, W. M.; Pedroza, M. M.; Silva, C. J. C. da. Efeito do lodo de estação de tratamento de despejos de curtume na fase inicial do crescimento do milho. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, v.5, p.131-136, 2005.
- 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, 2002a.
- 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 de Solo*, v.26, p.497-503, 2002b.
- Simonete, M. A.; Kiehl, J. C.; Andrade, C. A.; Teixeira, C. F. A. Efeito do lodo de esgoto em um Argissolo e no crescimento e nutrição de milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.38, p.1187-195, 2003.
- Tedesco, M. J.; Gianello, C.; Bissani, C. A.; Bohnen, H.; Volkweiss, S. J. Análise de solo, plantas e outros materiais. 2.ed. Porto Alegre: UFRGS. 174p. 1995. Boletim Técnico, 5
- Vieira, R. F.; Tanaka, R. T.; Tsai, S. M.; Pérez, D. V.; Silva, C. M. M. de S. Disponibilidade de nutrientes no solo, qualidade de grãos e produtividade da soja em solo adubado com lodo de esgoto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.40, p.919-926, 2005.