

AValiaÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE METAIS PESADOS EM GRÃOS DE SOJA E FEIJÃO CULTIVADOS EM SOLO SUPLEMENTADO COM LODO DE ESGOTO

R. F. Vieira¹, D. Perez², C. M. M. S. Silva¹

¹Embrapa Meio Ambiente, Caixa Postal 69, CEP: 13820-000, Jaguariúna, SP, Brasil.

²Embrapa Solos, Rua Jardim Botânico, 1024, CEP 22460-000, RJ, Brasil.

e-mail:rosana@cnpma.embrapa.br

RESUMO

Avaliações dos grãos de soja colhidos de plantas cultivadas em solo onde o lodo foi aplicado pela primeira vez, como fonte de P, não têm demonstrado diferenças nos teores de metais pesados em relação aos tratamentos onde o lodo não foi aplicado. Tais resultados foram verificados para os elementos Mn, Fe, Zn e Cu. Cádmio, Pb e Ni não foram detectados em nenhum dos tratamentos, uma vez que estavam, possivelmente, abaixo do limite de detecção desta técnica. No feijão, os grãos também colhidos de plantas cultivadas em área onde o lodo foi aplicado pela primeira vez, como fonte de N e, portanto, em maiores quantidades, os teores de Mn, Fe, Zn e Cu não diferiram entre os tratamentos, enquanto os teores de Cd, Pb, Co e Cr estavam abaixo do limite de detecção da técnica. No entanto, para o elemento Ni, foram encontrados $6,51 \text{ mg kg}^{-1}$ de matéria seca de grãos colhidos no tratamento com lodo. No tratamento testemunha os valores deste elemento estavam abaixo do limite de detecção da técnica. Nos locais em que o lodo foi aplicado em dose duas vezes maior do que a calculada em função das necessidades da cultura em N, o teor de Ni nos grãos também dobrou. Os dados obtidos com os grãos de feijão revelam que o cultivo desta leguminosa, em áreas onde o lodo é aplicado com frequência, deveria ter o valor nutricional dos seus grãos sempre monitorados, uma vez que a ingestão oral tolerável deste elemento não tem sido estabelecida.

INTRODUÇÃO

Com o aumento da população urbana e, conseqüentemente, da produção de lodo de esgoto, torna-se cada vez mais premente a busca de alternativas ambientalmente corretas para a sua destinação. A aplicação deste composto em solos agrícolas vem surgindo como uma técnica promissora, em decorrência dos seus benefícios nas propriedades físicas e químicas do solo. O lodo de esgoto, porém, pode conter uma variedade de substâncias ou elementos que podem ser tóxicos aos microrganismos do solo e às próprias plantas. Uma das maiores preocupações com a utilização do biossólido na agricultura advém do fato de que elementos como os metais pesados possam passar a fazer parte da cadeia alimentar. Embora no Brasil já exista uma série de pesquisas demonstrando o efeito benéfico da aplicação do lodo em diferentes culturas, pouco tem sido feito com leguminosas de grãos e, principalmente com os possíveis aumentos de metais nas partes comestíveis da planta.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido durante dois anos agrícolas seguidos, com a aplicação do biossólido somente sendo realizada no primeiro ano. O primeiro plantio foi feito em novembro de 2000, no campo experimental da Embrapa Meio Ambiente, em Jaguariúna, SP, em um solo classificado como Latossolo Vermelho distroférico, textura areia/argilosa, com a seguinte composição química: pH (CaCl₂) 4,4; P 8 mg dm⁻³ (método da resina); K 1,2 mmol_c dm⁻³; Ca 11 mmol_c dm⁻³; Mg 6 mmol_cdm⁻³; H + Al 58 mmol_c dm⁻³; CTC 76,2 mmol_c dm⁻³; V 24 (%) e MO 28 g dm³.

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições e os seguintes tratamentos: ausência de adubação química ou lodo de esgoto (testemunha); adubação química completa (AQ); inoculação mais dose 0 de lodo (I + L0); inoculação mais dose 1 de lodo (I + L1); inoculação mais dose 2 de lodo (I + L2); inoculação mais dose 3 de lodo (I + L3); inoculação mais adubação química, exceto a nitrogenada (I + AQ). O P (superfosfato simples) e o K (cloreto de potássio) foram aplicados, respectivamente, nas doses de 80 kg P₂O₅ ha⁻¹ e 60 kg K₂O ha⁻¹. A uréia, na dose de 40 kg N ha⁻¹, foi aplicada aos 20, 40 e 60 dias da semeadura da soja. A adubação foi feita de acordo com a análise de solo e as recomendações feitas pelo Instituto Agrônomo de Campinas, SP. As doses de lodo de esgoto, também proveniente de Barueri, foram calculadas conforme já descrito para o experimento conduzido em casa de vegetação. A segunda dose, 3 t ha⁻¹ (dose 2) forneceria a quantidade de P adequada para a produção da soja neste solo, ou seja, 80 kg P₂O₅ ha⁻¹. A primeira dose, 1,5 t ha⁻¹ (dose 1) e a terceira dose, 6 t ha⁻¹ (dose 3) foram, respectivamente, a metade e o dobro da dose 2. Em decorrência do baixo teor de potássio no lodo, as parcelas suplementadas com a menor e com a dose intermediária do biossólido receberam cloreto de potássio para atingir a dose recomendada de 60 kg K₂O ha⁻¹. O lodo foi distribuído uniformemente na superfície do solo e incorporado à profundidade de 0 – 20 cm com enxada rotativa. As características químicas do lodo são descritas na Tabela 1.

Tabela 1. Características químicas do lodo de esgoto utilizado.

Parâmetros	Unidades	Valores
Fósforo	g kg ⁻¹	11,5
Potássio	g kg ⁻¹	8,3
Sódio	g kg ⁻¹	4,0
Cádmio	mg kg ⁻¹	9,2
Chumbo	mg kg ⁻¹	151
Cobre	mg kg ⁻¹	707
Cromo total	mg kg ⁻¹	597
Níquel	mg kg ⁻¹	268
Zinco	mg kg ⁻¹	2314
pH		7,0
Umidade	%	76,7
Nitrogênio Kjeldahl	g kg ⁻¹	40,7
Boro	mg kg ⁻¹	9,0
Enxofre	g kg ⁻¹	11,7
Manganês	mg kg ⁻¹	168
Ferro	g kg ⁻¹	22,9
Magnésio	g kg ⁻¹	2,5
Alumínio	g kg ⁻¹	9,51
Cálcio	g kg ⁻¹	17

A área experimental foi de aproximadamente 2610 m² com quatro blocos de 290 m². Cada parcela experimental (20 m²) foi constituída por oito linhas de 5 m separadas por 0,5 m e com aproximadamente 20 sementes por metro. As parcelas experimentais foram distanciadas 5 m entre si para evitar contaminação. As duas linhas externas foram utilizadas como bordaduras e as duas centrais para obtenção da produção. As outras linhas foram usadas nas colheitas periódicas de plantas para as várias avaliações. No primeiro plantio as sementes (IAC 22) foram inoculadas com inoculante oleoso conforme a recomendação do fabricante para a cultura da soja no primeiro ano.

O experimento com a cultura do feijão, a campo, foi montado no período da seca, em 26 de abril de 2000, no campo experimental da Embrapa Meio Ambiente, em um Latossolo Vermelho distroférrico, textura média/argilosa, com a seguinte composição química: MO 26 g dm⁻³; pH (CaCl₂) 5.2; P (método da resina) 14 mg dm⁻³; K 1,3 mmol_c dm⁻³; Ca 24 mmol_c dm⁻³; Mg 18 mmol_c dm⁻³; H + Al 42 mmol_c dm⁻³; SB 44,3 mmol_c dm⁻³; CTC 86,5 mmol_c dm⁻³; V 51 %; B 0,20 mg dm⁻³; Cu 0,8 mg dm⁻³; Fe 54 mg dm⁻³; Mn 3,1 mg dm⁻³; Zn 1,1 mg dm⁻³.

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso com quatro repetições e os seguintes tratamentos: a. parcelas testemunha sem adubação química ou lodo de esgoto, b. parcelas com adubação química completa, c. parcelas com adubação química + 'start' de N (10 kg ha⁻¹) + Mo aos 25 dias da emergência, d. parcelas com lodo de esgoto em dose calculada para fornecer à cultura o mesmo teor de N do tratamento b; e. parcelas com o dobro da dose de lodo do tratamento d, f. parcelas com adubação química + 'start' de N + inoculação, g. parcelas com a metade da dose de lodo do tratamento d + inoculação e h. parcelas com ¼ da dose de lodo do tratamento d + inoculação. O P (superfosfato simples), o K (cloreto de potássio) e o N (uréia) foram aplicados, respectivamente, nas doses de 40 kg P₂O₅, 60 kg K₂O e 70 kg de N. O N foi aplicado como sulfato de amônio na semeadura (10 kg N ha⁻¹) e na forma de uréia aos 15 (20 kg N ha⁻¹) e 30 dias da emergência (40 kg N ha⁻¹). O Mo do tratamento c foi aplicado na dose de 60 g ha⁻¹ em pulverização, utilizando-se molibdato de sódio, aos 25 dias após a emergência das plantas.

As doses de lodo de esgoto aplicadas foram calculadas baseadas no teor de N do biossólido e no requerimento do feijoeiro neste nutriente.

Baseado em ensaios preliminares tomou-se como base uma fração de mineralização do lodo de 30%. A quantidade de N presente no biossólido e que seria potencialmente disponível para a cultura foi estimada pela seguinte fórmula:

$$N_{disp} = 30/100 (N_k - N_{am}) + 1/2 N_{am} + N_{nit}$$

onde: N_{disp} = nitrogênio disponível em kg kg⁻¹ de lodo; N_k = nitrogênio contido no lodo de esgoto (método Kjeldahl); N_{am} = teor de N-amoniaco contido no lodo de esgoto; N_{nit} = teor de N-nítrico contido no lodo de esgoto. A dose final de lodo, na base seca, foi calculada utilizando-se a fórmula:

dose de lodo (kg ha⁻¹) = N-recomendado (kg ha⁻¹) / N-disponível no lodo (kg kg⁻¹ de lodo).

As doses, na base seca, relativas aos tratamentos 'd' e 'e' foram, respectivamente, 6,83 (dose 1) e 13,66 (dose 2) t de lodo ha⁻¹, e de 3,41 (dose 3) e 1,71 t de lodo ha⁻¹ (dose 4) nos tratamentos 'g' e 'h'. Em decorrência do baixo teor de potássio no lodo, todas as parcelas suplementadas com o bio-sólido receberam cloreto de potássio para atingir a dose recomendada de 60 kg K₂O ha⁻¹. O lodo foi distribuído uniformemente na superfície do solo e incorporado à profundidade de 0 – 20 cm com enxada rotativa. O bio-sólido foi proveniente da Estação de Tratamento de Lodo de Barueri e apresentou as características químicas descritas na Tabela 1.

A área experimental foi de aproximadamente 2065 m² com quatro blocos de 295 m². Cada parcela experimental (15 m²) foi constituída por seis linhas de 5 m separadas por 0,5 m e com aproximadamente 12 sementes por metro. As duas linhas mais externas foram utilizadas como bordaduras e as duas mais centrais para obtenção do rendimento. As outras linhas foram usadas nas colheitas periódicas de plantas para as várias avaliações. As parcelas conforme também realizado no experimento de soja foram separadas de 5m para evitar contaminação. As sementes (variedade carioca) foram inoculadas com inoculante turfoso oriundo do CENA, Piracicaba e aplicado conforme recomendação (1 kg 50 kg⁻¹ de semente).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análises de vários elementos nos grãos da soja, colhida nos dois anos agrícolas, não demonstraram diferenças acentuadas quanto aos teores de Ca, Mg, K, B, Mn, Fe, Zn e Cu, nos diferentes tratamentos (Tabela 2). O Cd, o Pb e o Ni estavam abaixo do limite de detecção da técnica em todos os tratamentos. Houve, porém, aumento dos teores de Mo nos grãos, quando a soja foi cultivada nas parcelas com lodo de esgoto. A concentração deste elemento nos grãos aumentou com as doses de lodo. No segundo ano, observou-se esta mesma tendência, fator importante quando se considera a fixação biológica do N₂, uma vez que aumento nos teores de Mo no solo ou mesmo nas sementes podem aumentar a eficiência desse processo simbiótico.

Tabela 2. Teores de alguns elementos (mg kg⁻¹) nos grãos de soja.

Tratamentos	Ca	Mg	K	Ano agrícola 2000/2001			Fe	Zn	Cu
				B	Mo	Mn			
Testemunha	2410 a	2423 a	12867 b	18,20 a	0,42 c	*	150 a	41,07 a	11,08 a
AQ	2273 a	2327 a	13233 ab	12,53 c	- ²	*	160 a	37,23 a	-
I + L1	2417 a	2462 a	14300 ab	16,02 ab	0,58 bc	*	158 a	39,55 a	11,52 a
I + L2	2275 a	2460 a	14667 a	15,20 bc	0,75 ab	*	141 a	39,85 a	10,62 a
I + L3	2370 a	2455 a	13925 ab	14,35 bv	0,83 a	*	147 a	39,95 a	10,97 a
Tratamentos	Ca	Mg	K	Ano agrícola 2001/2002			Fe	Zn	Cu
				B	Mo	Mn			
Testemunha	2147 a	2225 a	13950 a	10,08 ab	-	18,47 a	87,37 a	32,47 ab	9,37 a
AQ	2167 a	2237 a	14425 a	10,52 a	1,60 a	19,55 a	134,20 a	32,30 ab	10,21 a
I + L1	2030 a	2170 a	12350b	9,71 ab	-	18,15 a	167,00 a	30,90 b	8,99 a
I + L2	2153 a	2217 a	14550 a	9,32 b	1,26 b	18,75 a	128,12 a	34,12 a	9,55 a
I + L3	2117 a	2203 a	14267 a	9,26 b	1,66 a	18,20 a	-	34,60 a	9,05 a

¹Médias seguidas pela mesma letra minúscula, na coluna, dentro de cada ano agrícola não diferem significativamente entre si (Duncan, P ≤ 0,05). Para saber significado das abreviaturas ver tabela 4

²- Resultados variáveis

*Análise não realizada

Os teores de Mn, Fe, Zn e Cu dos grãos de feijão provenientes do primeiro plantio não diferiram entre os tratamentos (Tabela 3). Os teores de Cr, Co, Cd e Pb estavam em concentrações abaixo do limite de detecção da técnica empregada. Os teores de Ni nos grãos também estavam em concentrações abaixo do limite de detecção da técnica empregada, à exceção daqueles provenientes dos tratamentos com as três maiores doses de lodo. Para as doses 1, 2 e 3 de lodo, as concentrações de Ni nos grãos foram de, respectivamente, 6,51, 12,47 e 4,31 mg kg⁻¹ de grãos. Os resultados obtidos no ano de 2001 para as concentrações de diferentes elementos nos grãos, também foram obtidas no segundo ano de cultivo, inclusive para os teores de níquel; no caso deste elemento, embora as concentrações nos grãos ainda estivessem relacionados às doses de lodo, elas foram menores que as obtidas no primeiro cultivo.

Tabela 3. Teores de alguns elementos nos grãos de feijão (mg kg⁻¹).

Tratamentos	Ano 2001									
	Mn	Fe	Zn	Cu	Cr	Co	Ni	Cd	Pb	
Testemunha	14,37	-	41,03	8,27	* ¹	*	*	*	*	*
NPK	14,70	60,60	34,27	7,67	*	*	*	*	*	*
NPK + Mo	13,63	60,30	35,70	8,28	*	*	*	*	*	*
Inoculada + PK	15,13	61,07	34,73	8,04	*	*	*	*	*	*
Lodo 1	14,30	55,17	35,17	8,19	*	*	6,51	*	*	*
Lodo 2	16,13	51,87	34,40	7,75	*	*	12,47	*	*	*
Inoculada + Lodo 3	15,27	61,57	35,63	7,71	*	*	4,31	*	*	*
Inoculada + Lodo 4	13,47	64,70	35,73	8,28	*	*	*	*	*	*

Tratamentos	Ano 2002									
	Mn	Fe	Zn	Cu	Cr	Co	Ni	Cd	Pb	
Testemunha	14,57	73,80	37,63	9,26	*	*	*	*	*	*
NPK	15,00	60,67	36,13	8,13	*	*	*	*	*	*
NPK + Mo	13,70	- ²	35,37	8,68	*	*	*	*	*	*
Inoculada + PK	14,97	65,93	40,83	8,90	*	*	*	*	*	*
Lodo 1	16,57	61,13	38,60	8,84	*	*	*	*	*	*
Lodo 2	16,53	-	38,70	9,60	*	*	*	*	*	*
Inoculada + Lodo 3	15,10	-	35,57	8,89	*	*	*	*	*	*
Inoculada + Lodo 4	15,20	69,47	38,43	9,04	*	*	1,71	*	*	*

¹Teores abaixo do limite da técnica utilizada

²Resultados variáveis