

# SEÇÃO IX - POLUIÇÃO DO SOLO E QUALIDADE AMBIENTAL

## ALTERNATIVA AGRONÔMICA PARA O BIOSSÓLIDO PRODUZIDO NO DISTRITO FEDERAL. I - EFEITO NA PRODUÇÃO DE MILHO E NA ADIÇÃO DE METAIS PESADOS EM LATOSSOLO NO CERRADO<sup>(1)</sup>

J. E. SILVA<sup>(2)</sup>, D. V. S. RESCK<sup>(2)</sup> & R. D. SHARMA<sup>(2)</sup>

### RESUMO

O crescimento urbano em Brasília aumentou o volume de esgoto doméstico coletado, gerando maior volume de biossólido – resíduo final do tratamento do esgoto – depositado nos pátios da Companhia de Água e Esgoto de Brasília (CAESB). Embora ainda haja carência de informações técnicas que possam garantir segurança ambiental, viabilidade econômica e satisfação social de seu uso, a maior parte do biossólido tem sido utilizada como condicionador de solos e fertilizante pelos agricultores nas áreas agrícolas vizinhas. Neste trabalho, o biossólido, que continha 90 dag kg<sup>-1</sup> de água (10 dag kg<sup>-1</sup> de matéria seca), foi aplicado a um Latossolo Vermelho distrófico, em doses únicas de 54, 108 e 216 t ha<sup>-1</sup>. Na menor dose e sem qualquer adição de outros fertilizantes, o material forneceu nutrientes para o milho por três anos, resultando em uma produtividade média de grãos de 4.700 kg ha<sup>-1</sup>. O modelo de ajuste aos dados, definido pela equação quadrática  $Y = 2349,3^{**} + 41,579^{**}x - 0,1097^{**}x^2$ ,  $R^2 = 0,9824^{**}$ , em que  $Y$  representa a produtividade de milho (kg ha<sup>-1</sup>) e  $x$ , a dose de biossólido úmido aplicado (t ha<sup>-1</sup>), estima que a aplicação de 189,51 t ha<sup>-1</sup> produziria o rendimento máximo de milho. Usando-se o fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) como referência, o biossólido foi mais eficiente do que a adubação mineral com superfosfato triplo, apresentando um valor fertilizante médio de 125 % nos três anos de cultivo. Na dose de 54 t ha<sup>-1</sup>, o biossólido da CAESB incorpora ao solo 240 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 320 kg de N, 160 kg de Ca, 13 kg de K<sub>2</sub>O. As concentrações dos metais pesados (Cd, Pb e Hg) presentes no biossólido são muito inferiores aos limites críticos para aplicação do material, e a aplicação de 54 t ha<sup>-1</sup> de biossólido úmido incorpora ao solo pequenas quantidades daqueles metais, indicando que a contaminação do solo por aqueles poluentes não constituirá problema, desde que o esgoto urbano não receba contaminação por resíduos industriais.

**Termos para indexação:** resíduos urbanos, lodo de esgoto, biossólido, metais pesados.

<sup>(1)</sup> Recebido para publicação em fevereiro de 2000 e aprovado em fevereiro de 2002.

<sup>(2)</sup> Engenheiro-Agrônomo da Embrapa Cerrado. Rod. BR 020, Km 18, Caixa Postal 08223, CEP 73301-970 Planaltina (DF). E-mail: jesilva@cpac.embrapa.br

**SUMMARY:** *AGRONOMIC ALTERNATIVE USE FOR THE BIOSOLID GENERATED IN THE FEDERAL DISTRICT. I - ITS EFFECT ON CORN PRODUCTION AND HEAVY METAL INCORPORATION IN A CERRADO OXISOL*

*Brasília's urban growth has caused the increase of domestic sewage sludge, production generating a large volume of biosolid - a final product of sludge treatment - deposited at the Companhia de Saneamento de Brasília (CAESB) sewage treatment plants. Although there is still a lack of technical data on health, environmental safety and economic viability, it has been used as a soil amendment and fertilizer by farmers in the neighbouring areas. The biosolid produced at one of the sewage treatment plants of CAESB, with a water content of 90 dag kg<sup>-1</sup> (10 dag kg<sup>-1</sup> dry matter), was tested as a fertilizer for corn production in an Oxisol at rates of 54, 108 and 216 t ha<sup>-1</sup>. Results showed that, after three years, a sole application of 54 t ha<sup>-1</sup> of biosolid maintained an average corn yield of 4,700 kg ha<sup>-1</sup>. The regression model, adjusted by a quadratic polynomial equation,  $Y = 2349.3^{**} + 41.579^{**}x - 0.1097^{**}x^2$ ,  $R^2 = 0.9824^{**}$ , where Y is the corn grain productivity (kg ha<sup>-1</sup>) and x, the rate of applied biosolid (t ha<sup>-1</sup>), showed that maximum yield would be obtained at the rate of 189.51 t ha<sup>-1</sup>. Using the phosphorus (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) content as a reference to plant requirement, the biosolid was more efficient than chemical fertilization with triple superphosphate, giving an average fertilizer value of 125 % during the three year-period of cultivation. At the rate of 54 t ha<sup>-1</sup>, the biosolid added to the soil 240 kg of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 320 kg of N, 160 kg of Ca and 13 kg of K<sub>2</sub>O. Heavy metal (Cd, Pb e Hg) concentration in this biosolid is much lower than the critical concentration limit established for its use, and the application of 54 t ha<sup>-1</sup> of wet biosolid adds very small amounts of those metals, which suggests that soil contamination by those pollutants will not be a problem unless industrial residues contaminate the urban sludge.*

*Index terms: urban residues, sewage sludge, biosolid, heavy metals.*

## INTRODUÇÃO

O lodo de esgoto, resíduo do tratamento do esgoto, atualmente denominado biossólido, é um produto que se acumula nos pátios das Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs), podendo constituir mais uma ameaça ao ambiente, caso não sejam encontradas alternativas viáveis do ponto de vista social, econômico e ambiental para sua utilização. No Distrito Federal, atualmente com 1,6 milhão de habitantes, a massa total de biossólido produzida pela CAESB é de 200 t dia<sup>-1</sup> (peso úmido com 15 % de sólidos), sendo 120 t dia<sup>-1</sup> na ETE Sul e 80 t dia<sup>-1</sup> na ETE Norte. Há sete anos, Pinto et al. (1995) projetaram que, no ano 2000, o volume de esgoto processado pela CAESB seria de 440.000 m<sup>3</sup> dia<sup>-1</sup>, produzindo 227 m<sup>3</sup> dia<sup>-1</sup> de lodo. Tal previsão, que ora se concretiza, demanda pesquisas sobre formas viáveis de reciclagem desse material.

Dentre as alternativas de uso do biossólido estão a peletização, a incineração e a produção de energia (Goldstein et al., 1998); entretanto, a reciclagem via utilização agrônômica, em suas diversas modalidades (recuperação de áreas degradadas, compostagem, fertilizante para produção de grãos), é a forma que apresenta maior potencial graças à sua atuação como fertilizante e condicionador de

solos. O biossólido tem sido utilizado na melhoria de solos em áreas florestadas (Smith, 1997), na recuperação de áreas degradadas (Wisniewski et al., 1996; White et al., 1997), como fertilizante, nas culturas de soja e trigo (Brown et al., 1997), milho (Crohn, 1996; Biscaia & Miranda, 1996; Lourenço et al., 1996; Silva et al., 1997), feijão e girassol (Deschamps & Favaretto, 1997), em hortaliças, como tomate, abóbora (Ozores-Hampton et al., 1997) e até mesmo em alface (Sloan et al., 1997).

A presença de patógenos e parasitas constitui limitação ao uso do lodo de esgoto na agricultura, principalmente na produção de hortaliças, pois, segundo Jofre (1997), solos tratados com biossólidos não podem ser considerados livres de patógenos por pelo menos um ano após a aplicação. Outra limitação ao uso de biossólidos em geral é a presença de metais pesados (Ozores-Hampton et al., 1997; White et al., 1997; Sloan et al., 1997; Moreno-Caselles et al., 1997), bastante comum em materiais oriundos de áreas com alta concentração de indústrias poluentes.

Neste trabalho, o biossólido produzido na ETE Norte da CAESB foi testado, em condições de campo, como fertilizante na produção de milho, avaliando-se, também, sua eficiência como fonte de fósforo em comparação ao superfosfato triplo, aplicado em doses equivalentes, e o aporte de metais pesados pela aplicação do material ao solo.

## MATERIAL E MÉTODOS

A caracterização química do bio sólido da CAESB foi realizada em amostras retiradas do material recém-saído da linha final de produção da Estação de Tratamento de Esgoto Norte (ETE-Norte) de Brasília e transportado para um depósito provisório na Embrapa Cerrados, onde permaneceu até o momento de aplicação ao solo. Foram coletadas cinco amostras em recipientes com capacidade de um litro. Após a medição do volume e do peso inicial, as amostras foram colocadas em estufa para secar até atingir o conteúdo de água de  $10 \text{ dag kg}^{-1}$ ; nessas condições, foram encaminhadas ao laboratório e analisadas, segundo EMBRAPA (1997). No quadro 1, a coluna CAESB mostra a composição química do bio sólido citada em trabalhos da CAESB (1993) e Borges et al. (1995), com resultados expressos em base seca do material. A coluna CPAC mostra os resultados da análise realizada nos laboratórios da Embrapa Cerrados, usando-se as amostras de lodo seco com conteúdo de água de  $10 \text{ dag kg}^{-1}$  de material.

O teste do bio sólido úmido como fertilizante para milho foi realizado no período de 1995/1996 até 1997/1998 (três anos agrícolas), na Embrapa Cerrados, Planaltina (DF), em área de Latossolo Vermelho distrófico argiloso (teor de argila de  $40 \text{ dag kg}^{-1}$ ), com menos de 5 % de declividade e que estava em pousio por seis anos; anteriormente, a área havia sido cultivada com cravo de defunto em testes de controle de nematóides.

Antes da aplicação do bio sólido, a análise de solo (0-20 cm) indicou: pH = 5,45; Al =  $0,13 \text{ cmol kg}^{-1}$ ; H + Al =  $5,30 \text{ cmol kg}^{-1}$ ; Ca + Mg =  $3,95 \text{ cmol kg}^{-1}$ ; K =  $0,12 \text{ cmol kg}^{-1}$ ; V = 43,44 %; P =  $2,46 \text{ mg kg}^{-1}$  e MO =  $20,4 \text{ g kg}^{-1}$ .

O experimento constou de 10 tratamentos arranjados em blocos casualizados, com três repetições, assim denominados: (1) Testemunha absoluta (TEST); três tratamentos com doses crescentes de bio sólido, denominados (2) LEB1, (3) LEB2 e (4) LEB3, correspondentes a 54, 108 e  $216 \text{ t ha}^{-1}$  de bio sólido úmido ( $90 \text{ dag kg}^{-1}$  de água), sem calcário aplicado ao solo; três tratamentos iguais à primeira série do bio sólido, denominados (5) LEB4, (6) LEB5 e (7) LEB6, com calcário aplicado na dose de  $1,0 \text{ t ha}^{-1}$  para elevar a saturação por bases a 55 %; três tratamentos que receberam adubação mineral completa, denominados (8) SFT1, (9) SFT2 e (10) SFT3, com a mesma dose de calcário e tendo como fonte de fósforo o superfosfato triplo. As doses de fósforo definidas para os tratamentos SFT1, SFT2 e SFT3 foram, respectivamente: de 115, 230 e  $460 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ kg ha}^{-1}$ .

Com base nos dados da análise química do bio sólido, da sua densidade e de seu conteúdo de água, calcularam-se suas doses de modo a fornecer o equivalente a 240, 480 e  $960 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ kg ha}^{-1}$ .

**Quadro 1. Caracterização química do bio sólido da Companhia de Água e Esgoto de Brasília (CAESB)**

Propriedade	CAESB <sup>(1)</sup>	CPAC <sup>(2)</sup>
Conteúdo de água ( $\text{g kg}^{-1}$ )	800-860	$870 \pm 60$
Matéria orgânica ( $\text{g kg}^{-1}$ )	450-600	$625,3 \pm 45$
Cinzas ( $\text{g kg}^{-1}$ )	350-400	$267,9 \pm 37$
pH	7,8-8,0	5,8-7,4
Cálcio ( $\text{g kg}^{-1}$ )	40-50	$26,8 \pm 3,5$
Magnésio ( $\text{g kg}^{-1}$ )	2-5	$4,1 \pm 0,2$
Potássio ( $\text{g kg}^{-1}$ )	2,0-4,0	$1,8 \pm 0,4$
Nitrogênio ( $\text{g kg}^{-1}$ )	45-65	$53,5 \pm 6,3$
Fósforo ( $\text{g kg}^{-1}$ )	20-40	$17,5 \pm 3,4$
Enxofre ( $\text{g kg}^{-1}$ )	82-122	$6,2 \pm 0,6$
Boro ( $\text{g kg}^{-1}$ )	Nd <sup>(3)</sup>	$22 \pm 4$
Ferro ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	7000-11000	$20745 \pm 880$
Cobre ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	100-240	$186 \pm 21$
Zinco ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	580-1500	$1060 \pm 230$
Manganês ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	110-190	$143 \pm 17$
Cromo ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	48-56	$65 \pm 7$
Níquel ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	2,5-5,2	$5,0 \pm 0,4$
Cádmio ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	< 20	Nd <sup>(3)</sup>
Cobalto ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	< 1	Nd
Chumbo ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	50	Nd
Mercúrio ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	4	Nd

<sup>(1)</sup> Extraído de CAESB (1993) e Borges et al. (1995), teores expressos em base seca. <sup>(2)</sup> Laboratórios da Embrapa Cerrados (lodo seco com  $10 \text{ dag kg}^{-1}$  de água; média de cinco subamostras).

<sup>(3)</sup> Nd: não determinado.

Nos tratamentos LEB1, LEB2, LEB3, LEB4, LEB5 e LEB6, o bio sólido úmido foi aplicado numa só vez antes do primeiro plantio. A adubação dos tratamentos SFT1, SFT2 e SFT3 foi feita somente com fertilizantes minerais aplicados na linha de plantio na época da semeadura.

A uréia foi usada como fonte de nitrogênio na dose de  $100 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , sendo metade no plantio e metade em cobertura, 40 dias após a emergência das plantas, enquanto o cloreto de potássio, como fonte de  $\text{K}_2\text{O}$ , na dose de  $80 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , aplicado na semeadura; aplicou-se também FTE BR12 na dose de  $40 \text{ kg ha}^{-1}$  somente antes do primeiro plantio.

Nos tratamentos SFT1, SFT2 e SFT3, a adubação com superfosfato triplo só foi feita uma vez antes do primeiro plantio e as de potássio e nitrogênio foram feitas anualmente, nas mesmas doses. O bio sólido úmido foi aplicado ao solo em setembro de 1995, usando-se a cuba de uma retroescavadeira, cujo volume foi previamente determinado para garantir a quantidade de lodo por parcela. O espalhamento foi realizado com o auxílio de pás e enxadas e, após um período de secagem (aproximadamente 15 dias) para eliminação do excesso de água, aplicou-se o calcário nos tratamentos de número 5 a 10; a seguir,

toda a área foi trabalhada com arado de discos, incorporando os materiais a uma profundidade média de 20 cm. A variedade de milho usada foi o Cargill 901C.

A partir do segundo ano, adotou-se o sistema de plantio direto, não tendo os tratamentos com biossólido recebido adição de lodo ou fertilizante. Nas colheitas, somente os grãos foram removidos da área experimental; todos os demais resíduos foram devolvidos às respectivas parcelas. Os resultados apresentados referem-se aos três primeiros anos.

Usou-se o pacote SAS (1989) para a análise estatística univariada da produção de grãos, aplicando-se, também, contrastes não-ortogonais para análise de comportamento entre a testemunha (TEST) e os grupos de tratamentos: lodo de esgoto sem calcário (LEBS), lodo de esgoto com calcário (LEBC) e adubação mineral (SFT). O efeito do lodo na produtividade do milho foi também estudado em curvas de respostas, ajustando-se regressões polinomiais às médias de rendimento de grãos de milho dos três anos, obtidas nos tratamentos 1, 2, 3 e 4 (TEST, LEB1, LEB2 e LEB3). A utilização do  $P_2O_5$  como referência nas comparações entre a adubação mineral e o biossólido foi feita, devido à importância do fósforo na nutrição das plantas em solos no Cerrado.

Sabe-se que a aplicação do biossólido, nas doses utilizadas, adicionou ao solo doses elevadas de nitrogênio. Entretanto, nem o delineamento nem as condições experimentais permitiram avaliar as perdas do nutriente, o que exigiria uma infraestrutura de controle mais adequada do que a

utilizada. A eficiência do biossólido (Efbios) em relação ao superfosfato triplo foi obtida pela equação  $Efbios = 100 * (PB - PT) / (PS - PT)$ , em que PB, PT e PS representam, respectivamente, as produtividades do milho no tratamento com biossólido, testemunha e superfosfato triplo. A eficiência foi determinada nos tratamentos com lodo LEB1 e LEB2, tendo como base, respectivamente, os tratamentos com adubação mineral SFT2 e SFT3, que são semelhantes em relação às quantidades de  $P_2O_5$  aplicadas. A incorporação de metais pesados (Cd, Pb e Hg) foi estimada a partir dos teores dos elementos encontrados na análise fornecida pela CAESB.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Efeito do biossólido na produção de milho

A resposta da produtividade de grãos de milho à aplicação do biossólido como fertilizante pode ser analisada pela comparação individual das médias (Quadro 2) e pelo teste dos contrastes (Quadro 3), onde são comparados os grupos de tratamentos. Em todos os anos, a produtividade da testemunha foi significativamente inferior à dos demais tratamentos, com exceção do terceiro ano de cultivo, em que a testemunha não diferiu estatisticamente do tratamento SFT1.

Comparando os efeitos pela análise de contrastes aplicada a grupos de tratamentos (Quadro 3), verificou-se que os três primeiros contrastes mostraram que a produtividade da testemunha

**Quadro 2. Produtividade e efeito residual do biossólido da CAESB no cultivo de milho**

Nº	Tratamento	$P_2O_5$ adicionado	1995/1996	1996/1997	1997/1998	Média
kg ha <sup>-1</sup> (1)						
01	TEST	0	3.190 e	1.832 f	1.688 e	2.237 f
02	LEB1	240	5.433 cd	4.961 cd	3.322 cd	4.576 cde
03	LEB2	480	5.696 c	5.900 abc	4.408 bc	5.335 b
04	LEB3	960	6.863 a	6.411 ab	5.473 ab	6.251 a
05	LEB4	240	5.208 d	5.135 cd	3.743 cd	4.696 bcd
06	LEB5	480	5.497 cd	5.519 bc	4.260 bc	5.092 bc
07	LEB6	960	6.350 b	6.754 a	5.942 a	6.349 a
08	SFT1	115	5.425 cd	3.488 e	2.739 de	3.884 e
09	SFT2	230	5.596 cd	3.690 e	3.585 cd	4.290 de
10	SFT3	460	5.750 c	4.122 de	4.313 cd	4.728 bcd
C.V. (%)			11,3	8,11	10,82	8,4

Médias seguidas pela mesma letra, nas colunas, não são significativamente diferentes entre si (Tukey,  $p < 0,05$ ).

Em que: LEB1, LEB2 e LEB3 correspondem a 54, 108 e 216 t ha<sup>-1</sup> de lodo úmido, sem calcário, respectivamente; LEB4, LEB5 e LEB6, as mesmas doses de lodo com calcário, respectivamente; e SFT1, SFT2 e SFT3 representam os tratamentos com adubação mineral com doses de 115, 230 e 460 kg  $P_2O_5$  ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

(1) Produtividade medida em massa de grãos.

**Quadro 3. Comparação dos grupos de tratamentos por contrastes não-ortogonais**

Contraste <sup>(1)</sup>	Probabilidade (significância) do teste de F para contraste			
	1995/1996	1996/1997	1997/1998	Média
TEST x LEBS	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
TEST x LEBC	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
TEST x SFT	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
SFT x LEBS	0,0001	0,0001	0,0005	0,0001
SFT x LEBC	0,2130	0,0001	0,0001	0,0001
LEBC x LEBS	0,0004	0,8156	0,2349	0,9460

Em que: TEST, testemunha; LEBS, lodo de esgoto sem calcário; LEBC, lodo de esgoto com calcário e SFT, tratamentos com adubação mineral. <sup>(1)</sup> A média do primeiro grupo de tratamentos (à esquerda) é menor do que a do segundo.

(TEST) foi sempre significativamente inferior à dos tratamentos de lodo sem calcário (LEBS), lodo com calcário (LEBC) e adubação mineral (SFT) durante os três anos de cultivo (no quadro 3, em cada linha, a média do primeiro grupo de tratamentos, à esquerda, é menor do que a do segundo).

Os testes do quarto contraste (SFT x LEBS) mostraram que a produtividade média obtida com adubação mineral foi inferior à obtida com biossólido sem calcário durante os três anos.

Já os testes do quinto contraste (SFT x LEBC) mostraram que, no primeiro ano, não houve diferença entre as produtividades, porém, a partir do segundo ano, a adubação completa (SFT) passou a apresentar produtividades menores em relação ao biossólido com calcário (LEBC). Os testes do último contraste (LEBC x LEBS) revelaram que, no primeiro ano, a produtividade foi reduzida com a adição do calcário ao lodo; entretanto, a partir do segundo ano, o teste deixou de ser significativo, com igualdade das produtividades, o mesmo acontecendo com a média geral dos três anos de cultivo. Os resultados do último contraste revelaram que a adição de calcário (elevação da saturação por bases e do pH) ao lodo provocou um efeito restritivo na produtividade do milho no ano da incorporação e mistura dos dois insumos. Esses resultados confirmam o que já havia sido observado por Biscaia & Miranda (1996) em teste da utilização da mistura lodo e calcário na produção de milho.

A comparação de resultados apresentados neste trabalho com os obtidos por outros pesquisadores mostra certa dificuldade quanto à nomenclatura e definição do conteúdo de água ou de matéria seca no material aplicado. Na avaliação do efeito do biossólido da ETE-Belém, no Paraná, na produção de milho, Biscaia & Miranda (1996) utilizaram até 60 t ha<sup>-1</sup> de lodo na base seca, atingindo 7,62 t ha<sup>-1</sup>; essa produtividade é pouco superior à obtida com o biossólido de Brasília, com o qual foram atingidas 6,8 t ha<sup>-1</sup> no primeiro ano na dose de 216 t ha<sup>-1</sup> de

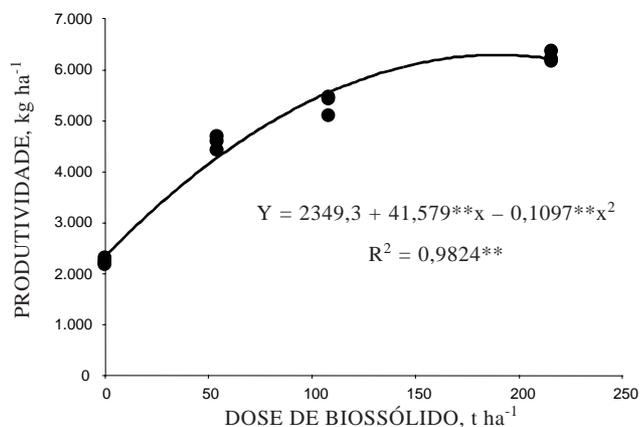
lodo úmido, que corresponde a 24 t ha<sup>-1</sup> de lodo seco com 10 dag kg<sup>-1</sup> de água.

Embora não seja possível precisar o conteúdo de matéria seca presente no material usado por Biscaia & Miranda (1996), a adição de 60 t ha<sup>-1</sup> de lodo na base seca requer quantidade bem maior de lodo úmido, que é realmente o material que se aplica ao solo.

No caso deste estudo, as doses de biossólido de 54, 108 e 216 t ha<sup>-1</sup> com 90 dag kg<sup>-1</sup> de água correspondem, respectivamente, a 6, 12 e 24 t ha<sup>-1</sup> no material com 10 dag kg<sup>-1</sup> de água. Em outro teste do biossólido na cultura do milho realizado no Paraná, Lourenço et al. (1996) aplicaram até 70 t ha<sup>-1</sup> de lodo úmido e obtiveram produtividade máxima de 3,0 t ha<sup>-1</sup>, recomendando 66 t ha<sup>-1</sup> como dose adequada de biossólido para otimizar a produção de milho no sistema da bracinga.

A aplicação de uma curva de resposta da produtividade do milho em relação às doses de biossólido apresentou melhor ajuste aos dados com a regressão polinomial de segundo grau expressa pela equação  $Y = 2349,3^{**} + 41,579^{**}x - 0,1097^{**}x^2$ ,  $R^2 = 0,9824^{**}$ , em que Y representa a produtividade e x, a dose de biossólido aplicado (Figura 1), sendo a produtividade máxima atingida com a dose de 189,51 t ha<sup>-1</sup> de lodo úmido.

A manutenção das produtividades de milho por três anos, obtidas apenas com a aplicação de uma dose única do biossólido da CAESB no primeiro ano, sem o emprego de outro insumo, comprova o seu efeito residual, mesmo na dose mais baixa. Para alguns nutrientes, provavelmente, esses resultados, podem ser explicados por suas quantidades contidas no lodo. Assim, conforme o quadro 1, as doses de 54, 108 e 216 t ha<sup>-1</sup> de biossólido úmido aplicadas ao solo incorporaram 240, 480 e 960 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 321, 642 e 1.284 kg ha<sup>-1</sup> de N, respectivamente, muito superiores às de adubações anuais de 100 kg ha<sup>-1</sup> de N com fertilizantes comerciais. O mesmo raciocínio pode ser aplicado aos outros nutrientes.



**Figura 1. Efeito do biossólido na produtividade do milho.**

No caso do potássio, as quantidades adicionadas, 13, 26 e 52 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, aparentemente não seriam suficientes para a manutenção daquelas produtividades, o que poderia gerar condições de deficiência. Entretanto, em nenhum dos cultivos, foi observado sintoma de deficiência visual do nutriente. Ressalte-se que apenas o grão foi retirado da área experimental e todos os outros resíduos culturais foram mantidos no campo. Silva & Ritchey (1982) mostraram que, do total do potássio mobilizado pela planta de milho, 23 % são acumulados no grão, enquanto o restante permanece na palha da espiga, sabugo, colmo e folhas. É provável que esse mecanismo de reciclagem tenha possibilitado fornecimento de parte do potássio exigido pela cultura.

Os resultados da análise de solo após o terceiro cultivo (Quadro 4) mostram redução nos teores de alguns nutrientes, como Ca + Mg na testemunha e nos tratamentos que não receberam calcário; nos

demais, o teor manteve-se acima do que havia inicialmente. O K, nas duas doses mais altas de lodo, apresentou teor semelhante ao inicial; na testemunha, na dose mais baixa de lodo e nos tratamentos com adubação mineral, o teor foi menor que o inicial. No caso do P, somente a testemunha apresentou teor menor do que o inicial; nos tratamentos com lodo, os teores de P foram maiores do que nos tratamentos que receberam o superfosfato triplo.

A análise de macro e micronutrientes na folha do milho na época da floração no terceiro cultivo (Quadros 5 e 6) mostra que, de acordo com os índices apresentados por Malavolta et al. (1989), alguns nutrientes em determinados tratamentos apresentavam teores abaixo daqueles considerados adequados. Apesar disso, as plantas do terceiro cultivo não apresentaram sintoma visível de deficiência de qualquer nutriente que pudesse justificar a queda de produtividade ocorrida do primeiro para o terceiro ano. Considerando que a aplicação do biossólido foi realizada uma única vez antes do primeiro plantio, é provável que o esgotamento de alguns nutrientes em virtude da falta de reposição e do desequilíbrio entre eles no solo tenha causado a redução nas produtividades ocorridas do primeiro para o terceiro ano, embora sem qualquer reflexo das deficiências nutricionais, ainda não manifestadas de forma crítica e aparente nos tratamentos que receberam doses mais elevadas do biossólido.

A eficiência do biossólido (valor fertilizante) no fornecimento de fósforo para a cultura (Quadro 7) aumentou do 1º para o 2º ano e cresceu no 3º, em tendência semelhante para os tratamentos LEB1 e LEB2, respectivamente, 54 e 108 t ha<sup>-1</sup> de biossólido. Embora no terceiro ano a eficiência tenha mostrado equivalência no fornecimento de fósforo entre as duas fontes, os resultados dos três anos evidenciam

**Quadro 4. Análise química do solo, na camada de 0-20 cm, após a colheita do terceiro cultivo**

Tratamento	pH <sub>H2O</sub>	AL	cmol kg <sup>-1</sup>			P	MO
			Ca + Mg	K	H + Al		
					mg kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	
Testemunha	5,18	0,503	2,106	0,067	6,153	1,98	21,7
LEB1 <sup>(1)</sup>	5,37	0,347	2,918	0,077	5,867	20,91	24,54
LEB2	5,22	0,588	2,861	0,105	7,637	28,44	27,05
LEB3	5,08	0,598	2,922	0,117	7,761	79,34	25,85
LEB4	5,70	0,172	4,198	0,088	5,574	18,71	25,4
LEB5	5,72	0,113	4,732	0,125	5,717	27,31	26,7
LEB6	5,38	0,305	4,248	0,112	7,157	78,31	27,7
SFT1 <sup>(2)</sup>	5,78	0,132	4,528	0,076	5,436	5,31	25,3
SFT2	5,67	0,158	4,373	0,084	5,560	5,34	25,3
SFT3	5,72	0,128	4,385	0,092	5,480	5,08	26,2

<sup>(1)</sup> LEB: lodo de esgoto de Brasília (1, 2 e 3, doses de 54, 108 e 216 t ha<sup>-1</sup> de biossólido úmido; 4, 5 e 6, mesmas doses, porém com 1 t ha<sup>-1</sup> de calcário); <sup>(2)</sup> SFT: tratamentos com adubação mineral (1, 2 e 3, doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 115, 230 e 460 kg ha<sup>-1</sup>).

**Quadro 5. Teor dos macronutrientes na folha do milho na época da floração do terceiro cultivo (jan./1998)**

	<b>N</b>	<b>P</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>K</b>	<b>S</b>
	g kg <sup>-1</sup>					
Testemunha	12,80	1,58	3,29	2,12	9,76	0,54
LEB1	16,39	1,85	4,02	2,88	10,35	0,66
LEB2	22,56	2,14	3,62	2,24	13,15	1,09
LEB3	29,28	3,02	4,73	3,32	11,96	0,93
LEB4	17,89	1,76	3,81	2,91	12,07	0,69
LEB5	18,59	1,95	3,66	2,75	13,79	0,92
LEB6	28,80	2,90	4,74	3,60	16,91	1,11
SFT1	18,59	1,95	3,65	2,75	13,79	0,62
SFT2	29,05	2,14	3,09	2,22	16,26	1,45
SFT3	27,4	2,25	3,43	2,22	14,01	1,14
Teor adequado <sup>(1)</sup>	27,5-32,5	2,5-3,5	2,5-4,0	2,5-4,0	17,5-22,5	1,5-2,0

<sup>(1)</sup> Malavolta et al. (1989).

**Quadro 6. Teor dos micronutrientes na folha do milho na época da floração do terceiro cultivo (jan./1998)**

	<b>Cu</b>	<b>Fe</b>	<b>Zn</b>	<b>Mn</b>	<b>B</b>
	mg kg <sup>-1</sup>				
Testemunha	7,50	69,9	10,18	30,26	5,51
LEB1	7,12	113,1	11,44	28,67	5,54
LEB2	7,15	161,5	13,27	43,14	5,06
LEB3	11,31	200,4	30,42	73,67	5,21
LEB4	7,23	67,9	12,34	30,10	5,98
LEB5	7,58	75,8	12,72	30,35	5,31
LEB6	10,48	115,3	23,83	58,70	5,50
SFT1	7,58	75,8	12,72	30,35	5,31
SFT2	11,78	106,4	17,16	31,58	6,70
SFT3	11,24	165,2	16,79	34,65	6,44
Teor adequado <sup>(1)</sup>	6-20	50-250	15-50	50-150	15-20

<sup>(1)</sup> Malavolta et al. (1989).

que, até o terceiro cultivo, não houve limitações na disponibilidade do nutriente para a cultura. A redução no rendimento provavelmente ocorreu em decorrência do esgotamento dos demais nutrientes no solo atribuído ao cultivo contínuo, sem reposição nos tratamentos com biofóssido.

### Incorporação de metais pesados

Uma das grandes preocupações com a utilização do biofóssido é a incorporação e acumulação de metais pesados no solo, contaminando os produtos agrícolas e os elementos da cadeia alimentar, com severos riscos para a saúde humana. O biofóssido de Brasília, de acordo com os dados apresentados pela CAESB (Quadro 1), contém < 20, 50 e 4 mg kg<sup>-1</sup> de Cd, Pb e Hg, respectivamente. Os critérios da USEPA 40 CFR Part 503 (EPA, 1994) estabelecem que os teores máximos daqueles metais pesados

permitidos no biofóssido destinado para uso agrícola são, respectivamente, de 85, 840 e 57 mg kg<sup>-1</sup> base seca, respectivamente, para Cd, Pb e Hg. Portanto, os teores daqueles metais pesados no biofóssido de Brasília estão muito abaixo dos níveis críticos restritivos para sua aplicação ao solo. A aplicação de 54 t ha<sup>-1</sup> de biofóssido úmido (LEB1) incorpora ao solo, até à profundidade de 20 cm, cerca de 120, 300 e 24 g de Cd, Pb e Hg, gerando uma concentração nominal no solo de, aproximadamente, 0,060, 0,150 e 0,012 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente, para cada um daqueles metais.

Segundo a EPA (1994), os níveis críticos cumulativos desses elementos no solo são de 19,5, 150 e 8,5 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente. Isso significa que apenas uma aplicação de 54 t ha<sup>-1</sup> não causaria risco ambiental de contaminação pelos três poluentes. Para atingir os limites cumulativos críticos, seriam necessários, respectivamente, 325,

**Quadro 7. Eficiência do biossólido como fornecedor de fósforo para o milho**

Tratamento	1995/1996	1996/1997	1997/1998	Média	Coefficiente de variação
					%
	Eficiência, %				
LEB1	115,7	173,0	97,0	128,6	31
LEB2	92,0	169,3	100,8	120,7	35
Média	103,9	171,2	98,9	124,6	32

1.000 e 708 aplicações da dose de 54 t ha<sup>-1</sup> de biossólido com a composição química do utilizado neste trabalho (Quadro 1).

Por requerer menor quantidade de biossólido para atingir o limite cumulativo crítico, o Cd, no presente caso, é o poluente de referência para o limite de aplicação. Portanto, desde que o esgoto de Brasília não seja contaminado pelo lançamento de resíduos industriais, a concentração de metais pesados no biossólido não sofrerá alterações substanciais, minimizando os riscos ambientais de contaminação do solo pela sua utilização. Entretanto, é necessária a realização de pesquisa específica para determinação dos parâmetros de contaminação (retenção de metais pesados em solos representativos) em nossas condições, bem como de um monitoramento sistemático dos níveis de metais pesados presentes no biossólido e de sua acumulação nas áreas em que ele estiver sendo aplicado.

### CONCLUSÕES

1. O biossólido úmido gerado na ETEN da CAESB, nos três cultivos, forneceu quantidades suficientes de nutrientes para a cultura do milho, nas doses de 54, 108 e 216 t ha<sup>-1</sup>. A maior dose forneceu quantidades adequadas dos macro e micronutrientes, com exceção de K, S e B.

2. A menor dose utilizada (54 t ha<sup>-1</sup>) teve efeito residual até o terceiro ano após sua aplicação, com produtividade média de 4.700 kg ha<sup>-1</sup> de grãos de milho. A produção máxima seria obtida com uma dose estimada de 189,51 t ha<sup>-1</sup> de biossólido úmido.

3. A eficiência do biossólido como fonte de fósforo ao milho foi superior em 25 % à do superfosfato triplo.

4. Os níveis dos metais pesados (Cd, Pb e Hg) no biossólido gerado nas ETES de Brasília mostraram-se abaixo dos níveis críticos restritivos para sua utilização agrícola, o que permite sua aplicação ao solo dentro de limites toleráveis de impacto ambiental.

### LITERATURA CITADA

- BISCAIA, R.C.M. & MIRANDA, G.M. Uso do lodo de esgoto calado na produção de milho. Sanare, 5:86-89, 1996
- BORGES, C.E.; ORNELAS, R.B.; HAYASHIDA, C. & IKAWA, N.G. Caracterização físico-química e microbiológica do lodo produzido nas estações de tratamento de esgotos de Brasília. Brasília, Companhia de Água e Esgoto de Brasília, 1995. 3p. (Trabalho apresentado no 1º Seminário sobre Destinação e Aplicação de Lodos de Esgoto no Distrito Federal, 28 de junho, 1995).
- BROWN, S.; ANGLE, J.S. & CHANEY, R.L. Correction of limed biosolid induced manganese deficiency on a long term field experiment. J. Environ. Qual., 26:1375-1384, 1997.
- COMPANHIA DE ÁGUA E ESGOTO DE BRASÍLIA - CAESB. Considerações sobre o lodo de esgoto tratado e sua aplicação na agricultura. Brasília, 1993. 11p.
- CROHN, D.M. Planning biosolids land application rates for agricultural systems. J. Environ. Eng., 122:1058-1066, 1996.
- DESCHAMPS, C. & FAVARETTO, N. Efeito do lodo complementado com fertilizante mineral na produtividade e desenvolvimento da cultura de feijoeiro e do girassol. Sanare, 8:33-38, 1997.
- GOLDSTEIN, N.; GLENN, J. & MADTES, C. Biosolids management update. BioCycle, 39:69-72, 1998.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p. (EMBRAPA-CNPS, Documentos, 1)
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - EPA. A plain english guide to the EPA part 503 biosolids rule. Washington, 1994. 190p. (Disponível: site EPA 01/dez/1999. URL: <http://www.epa.gov/publications>. Consultado em 01/dez/1999).
- JOFRE, J. Regrowth of faecal coliforms and salmonellae in stored biosolids and soil amended with biosolids. Water Sci. Technol., 35:269-275, 1997

- LOURENÇO, R.S.; ANJOS, A.R.M.; LIBARDI, P.L. & MEDRADO, M.J.S. Efeito do lodo de esgoto na produtividade de milho e feijão, no sistema de produção da Bracatinga. Sanare, 5:90-92, 1996.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C. & OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. Piracicaba, Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e Fosfato, 1989. p.81-84.
- MORENO-CASELLES, J.; PEREZ-MURCIA, M.D.; PEREZ-ESPINOSA, A. & MORAL, R. Heavy metal pollution in sewage sludges and agricultural impact. Fresenius Environ. Bull., 6:519-524, 1997.
- OZORES-HAMPTON, M.; HANLON, E.; BRIAN, H. & SCHAFFER, B. Cadmium, copper, lead, nickel and zinc concentrations in tomato and squash grown in MSW compost-amended calcareous soil. Compost Sci. Util., 5:40-45, 1997.
- PINTO, M.T.; BORGES, C.E. & MACHADO, A.F. Manejo e destinação de lodos de esgoto no Distrito Federal. Brasília, Companhia de Água e Esgoto de Brasília, 1995. 7p. (Trabalho apresentado no 1º Seminário sobre Destinação e Aplicação de Lodos de Esgoto no Distrito Federal, 28 de junho, 1995)
- SAS INSTITUTE. SAS/STAT User's guide. version 6, 4.ed. Cary, 1989. v.1, 943p.
- SILVA, J.E.; RESCK, D.V.S.; SHARMA, R.D. & FEITOZA, L. Utilização do lodo de esgoto como fonte de fósforo e nitrogênio para o milho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., Rio de Janeiro, 1997. Anais. Rio de Janeiro, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. CD ROM.
- SILVA, J.E. & RITCHEY, K.D. Adubação potássica em solos de Cerrado. In: YAMADA, T; IGUE, K.; MUZILLI, O. & USHERWOOD, N., eds. SIMPÓSIO SOBRE POTÁSSIO NA AGRICULTURA BRASILEIRA. Londrina, Instituto da Potassa e Fosfato, Instituto Internacional da Potassa. Anais. Londrina, 1982. p.323-338.
- SLOAN, J.J.; DOWDY, R.H.; DOLAN, M.S. & LINDEN, D.R. Long term effects of biosolids applications on heavy metal bioavailability in agricultural soils. J. Environ. Qual., 26:966-975, 1997.
- SMITH, C.T. Environmental guidelines for developing sustainable energy output from biomass. Biomass Energy, 13:269-277, 1997.
- WHITE, C.S.; LOFTIN, S.R. & AGUILAR, R. Application of biosolids to degrade semiarid rangeland: nine-year response. J. Environ. Qual., 26:1663-1671, 1997.
- WISNIEWSKI, C.; MOTTA NETO, J.A.; PEREIRA, A.M.; RADOMSKI, M.I. & SESSEGOLO, G.C. Uso do lodo de esgoto da ETE-Belém na recuperação de áreas degradadas por mineração de calcário. Sanare, 5:76-85, 1996.

