PRODUTIVIDADE E CONCENTRAÇÃO DE NUTRIENTES E METAIS PESADOS EM MILHO ADUBADO COM DOSES CRESCENTES DE LODO DE ESGOTO CALEADO

Ronaldo Fia[1], Antonio Teixeira de Matos[2], Carmen Iribarren Aguirre[3]

RESUMO

Com a realização deste trabalho, objetivou-se avaliar o efeito da aplicação do lodo de esgoto doméstico caleado em plantas de milho e estimar um método para dosar a quantidade a ser aplicada, como fertilizante, para esta cultura. A quantidade de cal hidratada, utilizada para higienização, foi de 75 kg Mg^{-1} de lodo seco ao ar. Plantas de milho foram cultivadas em vasos de 5 L, em casa de vegetação, tendo sido avaliados os efeitos proporcionados pelas seguintes doses de aplicação: 0 (T1), 1 (T2), 2 (T3), 3 (T4), 4 (T5) e 5 (T6) vezes a quantidade de N recomendada para o cultivo do milho, sendo o lodo caleado a única fonte de adubação. A maior produção de matéria seca em plantas de milho ocorreu no tratamento, em que foi aplicada uma quantidade de N duas vezes maior que a necessidade da cultura (T3). Houve tendência de aumento nas concentrações de Ca, Mg, K, Na, Zn, Cu, Cr, Ni, Fe e V na parte aérea das plantas de milho, com a aplicação de lodo caleado no solo dos vasos, porém, as concentrações de N e P atingiram um máximo nas doses intermediárias. Os metais Cd e Pb não foram detectados. Os resultados, obtidos em casa de vegetação, indicam que para estabelecer as doses de lodo caleado para cultivo agrícola deve-se levar em consideração o cálculo da quantidade de lodo necessária para corrigir a acidez do solo, bem como o cálculo da dose de N, que deve ser no máximo duas vezes a requerida pela cultura, adotando-se a menor dose calculada.

Palavras-chave: lodo de esgoto, adubação orgânica, disposição no solo.

ABSTRACT

Productivity and concentration of nutrients and heavy metals in maize plants fertilized with increasing doses of hygienized sewage sludge

This study was carried out to evaluate the effect from application of the domestic lime-treated sewage sludge on maize plants, as well as to estimate a method to dose the amount to be applied as fertilizer to this crop. The lime-treated amount used for hygienization was 75 kg Mg^{-1} of air-dried sludge. The maize plants were cropped in 5 L pots under greenhouse conditions. The effects were evaluated for the following application doses: 0 (T1), 1 (T2), 2 (T3), 3 (T4), 4 (T5) and 5 (T6) multiplied by the N amount recommended to maize cropping and the lime-treated sludge as the only manuring source. The highest yield of dry matter occurred in that treatment where a N amount two times higher than the need of the crop (T3) was applied, there occurred a tendency to increased concentrations of Ca, Mg, K, Na, Zn, Cu, Cr, Ni, Fe and V in the aerial part of the plants, when applying the limed-sludge on the soil of the pots. However, the concentrations of N and P reached the peak at the intermediate doses. No Cd and Pb were detected. The results obtained in greenhouse point out that to establishing the doses of lime-treated sludge, it should be taken into account the calculation of the sludge amount needed to correct the acidity of the soil, as well as the calculation of N dose, that should be at most twice the one required by this crop, and the lowest dose should be adopted.

Keywords: sewage sludge, organic manure, soil disposition.

[1] Engenheiro Agrícola e Ambiental, Doutorando em Engenharia Agrícola/UFV, E-mail: rfia@vicosa.ufv.br
[2] Engenheiro Agrícola, Professor do Departamento de Engenharia Agrícola/UFV, E-mail: atmatos@ufv.br
[3] Graduanda em Eng. Técnica Agrícola/Universidade Pública de Navarra – ESPANHA, E-mail: carmentxu82@hotmail.com

INTRODUÇÃO

O aproveitamento agrícola de lodo de esgoto apresenta-se como uma das alternativas mais viáveis para a disposição final deste resíduo, em vista dos benefícios que ele pode trazer ao solo.

A aplicação de lodo de esgoto em solos agrícolas tem conduzido a aumentos na absorção de nutrientes pelas culturas, com reflexos positivos na produtividade (Silva, 1995; Lourenço et al., 1995). Entretanto, alguns fatores podem ser limitantes a esta prática, sendo que os principais são as presenças de agentes patogênicos e de metais pesados.

O risco sanitário do uso do lodo pode ser minimizado com a adoção de técnicas de higienização que proporcionem a eliminação dos organismos patogênicos presentes (Andreoli et al., 2001), dentre as quais se encontra a caleação.

O interesse agrícola pelo uso de biossólidos está associado, principalmente, ao seu conteúdo de nutrientes e de matéria orgânica. Assim, segundo Andreoli et al. (2001), o controle da taxa de aplicação, além do controle da taxa de fertilização, constitui um instrumento técnico de avaliação e controle da segurança do uso de biossólidos. A taxa de aplicação pode ser função da necessidade de nutrientes da espécie a ser cultivada, da qualidade agronômica do biossólido e do solo ao qual será aplicado.

Ainda segundo Andreoli et al. (2001), quando a higienização do lodo ocorre por reação alcalina, pode ocorrer aumento excessivo do pH do solo, provocando desequilíbrio de seus nutrientes. A cal hidratada utilizada na desinfecção do lodo tem PRNT (poder relativo de neutralização total) entre 120 e 135%, indicando um poder reativo quase duas vezes maior que o calcário dolomítico, principal insumo utilizado como corretivo na agricultura.

Grande parte dos solos brasileiros é ácida, sendo necessária a aplicação de corretivos para aumentar seu potencial produtivo. Desta forma, o uso de lodo caleado pode substituir a aplicação de calcário.

O milho é uma das culturas nas quais têm sido obtidos os melhores resultados de uso do lodo como fertilizante. Isto está associado ao período vegetativo, relativamente, longo da planta e à coincidência do período de maior demanda de nutrientes pelas plantas com a liberação dos nutrientes, decorrente da mineralização do material orgânico presente no lodo (SANEPAR, 1997).

Berton et al. (1989) avaliaram, em casa de vegetação, a produção de matéria seca e a absorção de nutrientes por plantas de milho, cultivadas em cinco amostras de solo paulista e tratadas com doses de 0, 40 e 80 Mg ha^{-1} (base seca) de lodo de esgoto. Esses autores observaram que a adição do resíduo proporcionou aumentos na absorção de N, P, Ca, Mg e Zn e na produção de matéria seca das plantas.

Em estudo de campo conduzido em um Cambissolo de média fertilidade, Biscaia & Miranda (1996) constataram que, com a aplicação de 60 Mg ha^{-1} (base seca) de lodo de esgoto, houve incremento médio de 2,62 Mg ha^{-1} na produtividade da cultura do milho.

Avaliando a eficiência do lodo de esgoto na produtividade da cultura do milho cultivado em Latossolo Vermelho-Amarelo adubado com 3, 6, 12 e 15 Mg ha^{-1} (teor de água de 30%) de lodo, em condições de campo, Pereira Junior et al. (1997) observaram aumentos na produtividade do milho de 14, 15, 32 e 35%, para as respectivas doses. Costa et al. (2001) verificaram que a cultura do mamoeiro, que recebeu 300 Mg ha^{-1} de lodo de esgoto doméstico higienizado com cal, apresentou maior produtividade em comparação com a cultura que recebeu a mesma quantidade de lodo sem higienização.

Com a realização do presente trabalho, pretendeu-se avaliar o efeito da aplicação de lodo de esgoto doméstico caleado em plantas de milho e definir o método de quantificação da dose a ser aplicada, como fertilizante, para esta cultura.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido na Área Experimental de Hidráulica do Departamento de Engenharia Agrícola (DEA), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, com coordenadas geográficas de 20º 45' S de latitude e 42º 52' W de longitude, com altitude de 650 metros.

A caracterização física e química do lodo de esgoto (Quadro 1) foi realizada no Laboratório de Qualidade da Água e de Química dos Resíduos do DEA/UFV.

O lodo obtido em uma lagoa de maturação do sistema de tratamento de águas domésticas, provenientes do Condomínio Bosque do Acamari em Viçosa-MG, foi submetido à caleação com a adição de 75 kg de cal hidratada ($Ca(OH)_2$) por megagrama (tonelada) de lodo seco ao ar.

Com base na recomendação de 160 kg ha^{-1} de N para a cultura do milho (CFSEMG, 1999) e na concentração de nitrogênio presente no lodo, foram determinadas diferentes doses a serem misturadas ao solo, obtendo-se valores referentes a 0 (T1), 1 (T2), 2 (T3), 3 (T4), 4 (T5) e 5 (T6) vezes a quantidade de N recomendada para esta cultura, o que representou a aplicação de 0; 33,6; 67,4; 101,0; 134,7 e 168,4 Mg ha^{-1} de lodo caleado.

Para formação do substrato, misturou-se o lodo caleado com amostra de solo (Latossolo Vermelho Amarelo) proveniente de uma área próxima ao local denominado "Tiro de Guerra", em Viçosa-MG. Foram semeadas 3 sementes de milho em cada vaso com capacidade de 5 L, arranjados aleatoriamente em bancada mantida em casa de vegetação, em esquema fatorial 6x4, sendo 6 diferentes doses de lodo caleado, em função da concentração de nitrogênio, com 4 repetições para cada tratamento. Após um período de 7 dias, as duas plantas com menor vigor foram retiradas de cada vaso. A planta remanescente em cada vaso foi irrigada, a cada 3 dias, até o encerramento do período de cultivo.

Após um período de 60 dias de cultivo, as plantas de milho foram cortadas rente ao solo, sendo sua parte aérea secada em estufa, sob ventilação forçada de ar e temperatura de 65°C, durante 72 horas. O material seco foi empregado para determinação da matéria seca e análise química, após trituração e digestão nítrico-perclórico. A análise química do material vegetal consistiu na quantificação das concentrações de N (método semimicro Kjeldahl), P (colorimetria), K e Na (fotometria de chama), Ca, Mg, Fe, Zn, Mn, Cu, Ni, Pb, Cr, Cd, Al e V (espectrofotometria de absorção atômica) (EMBRAPA, 1999).

Quadro 1. Caracterização física e química do lodo de esgoto, antes da realização da caleação, utilizado como fertilizante para cultura do milho

Atributo	Concentração
SV* (dag kg^{-1})	33
Nitrogênio (mg kg^{-1})	4.746
Fósforo (mg kg^{-1})	514
Potássio (mg kg^{-1})	6.600
Cálcio (mg kg^{-1})	5.023
Magnésio (mg kg^{-1})	464
Sódio (mg kg^{-1})	3.600
Cobre (mg kg^{-1})	41
Zinco (mg kg^{-1})	102

* SV – sólidos voláteis

As raízes foram separadas do substrato por peneiramento e lavadas, cuidadosamente, com água corrente e secadas em estufa, sob ventilação forçada de ar e temperatura de 65°C, durante 72 horas, para quantificação da matéria seca produzida.

As análises químicas do tecido vegetal das plantas de milho foram realizadas no Laboratório de Qualidade da Água e de Química dos Resíduos do DEA e de Química e Fertilidade do Solo do Departamento de Solos (DPS), na UFV.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em relação às características químicas (Quadro 1), o lodo apresentou-se naturalmente rico quanto aos macronutrientes nitrogênio, potássio e cálcio. Entretanto, apresentou altas concentrações de sódio (3.600 mg kg^{-1}), elemento que pode trazer problemas à disposição desses resíduos no solo, devidos a possíveis efeitos na dispersão da argila e toxicidade às plantas. No que se refere à concentração de metais pesados, os valores encontrados para cobre (41 mg kg^{-1}) e zinco (102 mg kg^{-1}) podem ser considerados baixos, característicos de lodo proveniente de esgoto de origem exclusivamente doméstica.

Na Figura 1, observa-se que as melhores produções de matéria seca de plantas de milho ocorreram, quando foram utilizadas doses intermediárias de aplicação do lodo, tendo sido obtida a maior produção com a aplicação de 67,4 Mg ha^{-1} de lodo de esgoto doméstico caleado ou 320 kg ha^{-1} de N total, o que corresponde a duas vezes a quantidade de N mineral recomendada pela Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais (CFSEMG, 1999) para a cultura do milho.

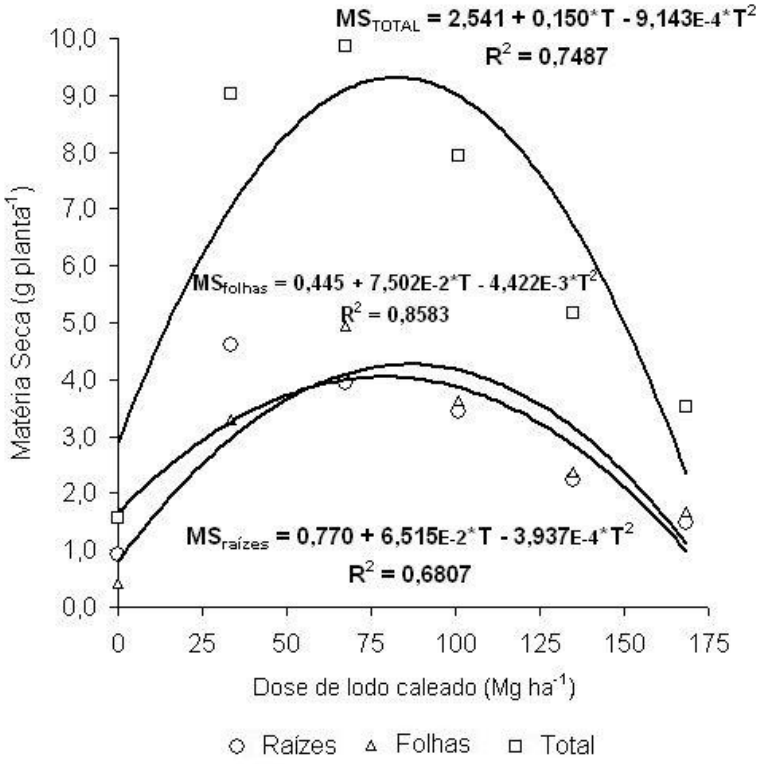

Figura 1. Produção de matéria seca (MS) de plantas de milho cultivadas em vasos contendo solo adubado com diferentes doses de lodo de esgoto doméstico caleado (* - F significativo a 1% de probabilidade)

A acidez do solo pode apresentar severa restrição ao desenvolvimento das raízes e parte aérea das plantas de milho (Carvalho & Raij, 1997). Com a incorporação do lodo caleado no solo houve, além da neutralização da acidez, proporcionada pela reação básica do lodo, maior tamponamento da acidez, proporcionada pela matéria orgânica adicionada e diminuição da força iônica do alumínio trocável pelo aumento na concentração de bases trocáveis (Melo & Marques, 2000), o que favoreceu o desenvolvimento vegetativo das plantas.

Os valores de concentração de nitrogênio total, obtidos nas análises da parte aérea das plantas de milho, estão apresentados na Figura 2.

Nas plantas de milho, as concentrações de N foram crescentes com o aumento na dose de lodo caleado aplicada, porém, em nenhum tratamento, as plantas apresentaram a concentração considerada adequada para a cultura do milho aos 60 dias de cultivo, que, segundo Jones JR et al. (1991), está na faixa de 3,0 – 3,5 dag kg^{-1}. No entanto, outros pesquisadores obtiveram valores semelhantes aos obtidos neste trabalho e que não se encontravam na faixa citada acima. Ferreira et al. (2001) encontrou 2,0 dag kg^{-1} de N, em plantas de milho que receberam 210 kg ha^{-1} de N inorgânico, aos 63 dias após o plantio.

As maiores quantidades de N absorvidas pelas plantas, nas maiores doses aplicadas (a partir de três vezes a quantidade de nitrogênio recomendada para a cultura) não significaram maior produção de matéria seca, provavelmente, devido à menor disponibilidade de outro nutriente, diminuída com a elevação do pH no substrato, que pode ter passado a ser fator limitante para a nutrição adequada da planta. Além disso, sabe-se que, em condições de alta disponibilidade no solo, a planta apresenta uma absorção de nitrogênio maior que a necessária, denominada consumo de luxo, o que proporciona a obtenção de elevadas concentrações deste nutriente nas plantas.

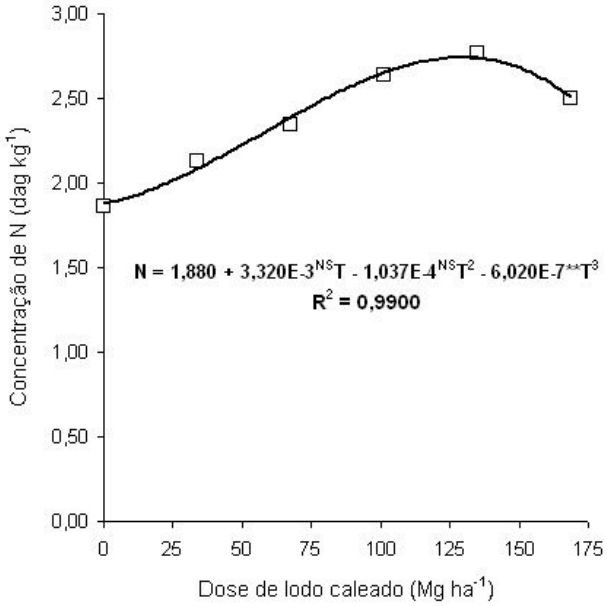

Figura 2. Concentração média de N na parte aérea de plantas de milho adubadas com lodo de esgoto doméstico caleado (** - F significativo a 5% de probabilidade; ^{NS} – F não significativo a 5% de probabilidade)

A maior produção de matéria seca foi atingida com a aplicação da dose de 67,4 Mg ha^{-1} de lodo de esgoto doméstico (320 kg ha^{-1} de N total), no qual se obteve uma das maiores absorções de fósforo pela planta (Figura 3), o que pode ser considerado como um indicativo de que o P seja elemento limitante ao desenvolvimento das plantas, uma vez que, em todos os tratamentos, foram encontradas baixas concentrações deste nutriente (<0,25 dag kg^{-1}), segundo Jones JR et al. (1991), no tecido vegetal.

Anjos (1999), cultivando plantas de milho em Latossolo Roxo distrófico e Latossolo Vermelho Escuro, nos quais foram realizadas cinco aplicações de lodo de esgoto doméstico, totalizando 387,89 Mg ha^{-1} (base seca), verificou que a aplicação do resíduo promoveu aumento na produção de matéria seca das plantas; entretanto, não houve aumento de produtividade, em comparação com tratamentos que receberam somente adubação mineral. Observou também que, apesar das concentrações de P e N terem sido aumentadas com as incorporações do resíduo, as plantas apresentaram sintomas visuais de deficiência destes elementos em ambos os solos, o que, de certa forma, também foi observado neste trabalho. Relações Ca:Mg maiores que 3:1 provocaram redução na concentração de P na parte aérea do milho (Munoz Hernandez & Silveira, 1998), possivelmente em razão do efeito sinergístico entre P e Mg (Malavolta, 1980).

Na Figura 4, tomando-se por base a faixa de 1,7 a 3,5 dag kg^{-1} de potássio que, segundo a EMBRAPA (1999), é adequada para plantas de milho, observa-se que, a partir da dose de 101,0 Mg kg^{-1}, está satisfeita a necessidade nutricional da cultura no que se refere a este nutriente (Figura 4).

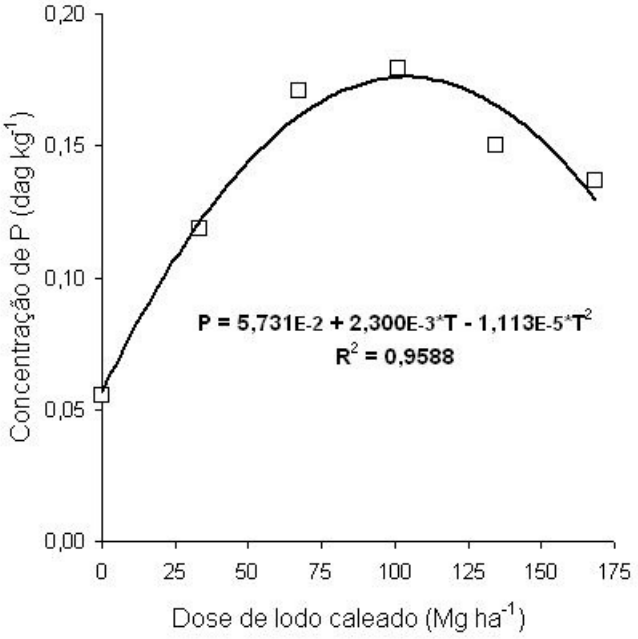

Figura 3. Concentração média de P na parte aérea de plantas de milho adubadas com lodo de esgoto doméstico caleado (* - F significativo a 1% de probabilidade)

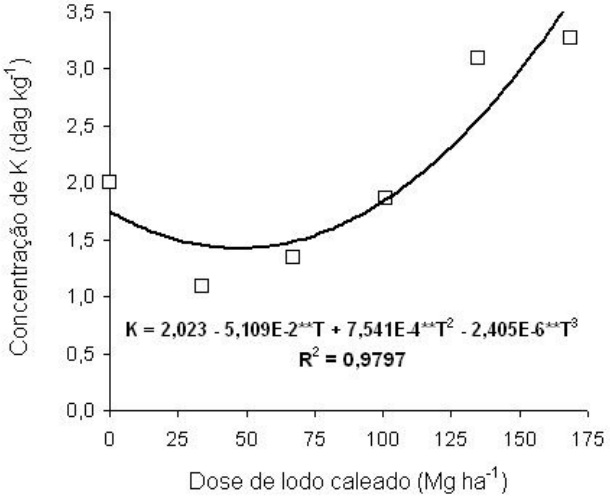

Figura 4. Concentração média de K na parte aérea de plantas de milho adubadas com lodo de esgoto doméstico caleado (** - F significativo a 5% de probabilidade)

A menor absorção de potássio pela cultura, nas menores doses aplicadas, pode ser decorrente de concentrações de Ca e Mg, presentes no substrato, relativamente elevadas. Em presença de elevadas concentrações de Ca e Mg há, segundo van Raij (1991), menor absorção de potássio pelas culturas. Além disso, nas maiores doses de lodo caleado houve, provavelmente, efeito de diluição, em que com menor produção de matéria seca de plantas de milho proporcionou maiores concentrações deste nutriente no tecido vegetal.

As concentrações de Ca na parte aérea das plantas de milho apresentaram-se satisfatórias, já nas doses de 33,6 Mg ha^{-1} de lodo de esgoto aplicado ao solo (Figura 5). Segundo EMBRAPA (1999), a faixa considerada adequada, em termos nutricionais, para plantas de milho é de 0,25 a 0,80 dag kg^{-1}. De forma semelhante, as concentrações de Mg foram adequadas (entre 0,15 e 0,50 dag kg^{-1}) nas plantas de milho, em todos os tratamentos aplicados.

A absorção do Mg e do Ca é competitiva, e o antagonismo implica que o excesso de um desses elementos resulta na diminuição na absorção do outro (Epstein, 1975) resultando decréscimos no crescimento e na produção de plantas (Rosolem et al., 1984). A produção de matéria seca do milho pode ter sido influenciada, negativamente, pelo aumento da relação Ca:Mg no solo. Segundo Munoz Hernandez & Silveira (1998), as relações Ca:Mg maiores que 3:1 causam decréscimo no crescimento e na produção das plantas, em razão do efeito antagônico do Ca na absorção de Mg.

As relativamente altas concentrações de Zn e Cu nos tecidos da parte aérea das plantas de milho, cultivadas em solo que não recebeu a aplicação de lodo caleado (Figura 6), são devidas à maior acidez do meio, aumentando a disponibilidade destes metais para a cultura. Apesar de terem proporcionado redução na disponibilidade dos íons, os aumentos de pH no substrato não foram suficientes para proporcionar diminuição nas concentrações no tecido vegetal do milho, mediante a aplicação de maiores doses, porém os níveis apresentados ainda estão normais (EMBRAPA, 1999; Jones JR et al., 1991).

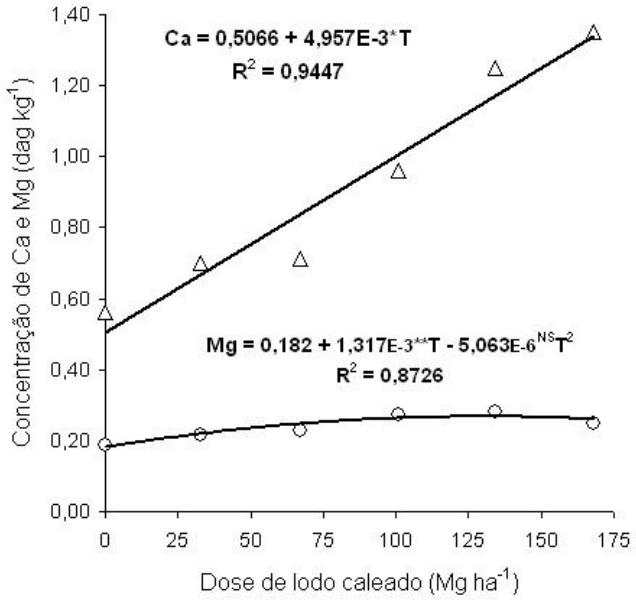

Figura 5. Concentração média de Ca (Δ)e Mg (O) na parte aérea de plantas de milho adubadas com lodo esgoto doméstico caleado (*– F significativo a 1% de probabilidade; ** - F significativo a 5% de probabilidade; ^{NS} – F não significativo a 5% de probabilidade)

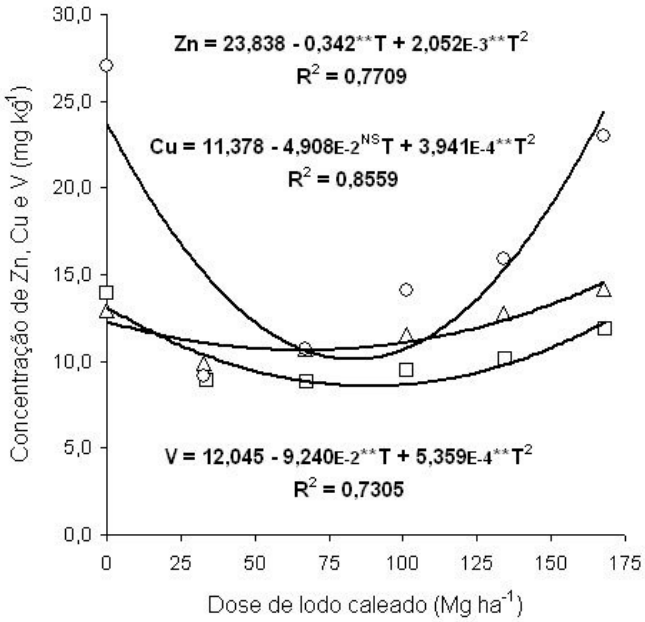

Figura 6. Concentração média de Cu (Δ), Zn (O) e V (□) na parte aérea de plantas de milho adubadas com lodo de esgoto doméstico caleado (** - F significativo a 5% de probabilidade; ^{NS} – F não significativo a 5% de probabilidade)

Apesar de não ser considerado micronutriente, têm sido observados aumentos na produção de alguns vegetais com o aumento da concentração disponível de vanádio. Singh (1971) citou efeitos benéficos do vanádio, em milho, quando suprido por solução nutritiva contendo 0,25 mg L^{-1}.

No tecido vegetal da parte aérea das plantas de milho, foram encontradas concentrações de Mn na faixa adequada, porém o Fe esteve presente em concentrações cerca de 2 vezes maior que as normalmente encontradas nessas plantas (Figura 7).

O Al é reconhecidamente um elemento tóxico para inúmeras espécies cultivadas. Entretanto, o estabelecimento de padrões de concentrações tóxicas de Al no solo e em tecidos vegetais tem sido difícil, pois, em muitas espécies, o Al acumula-se na raiz, tendo pequeno efeito na parte aérea da planta (Jones JR et al., 1991). Na Figura 7, observa-se diminuição da concentração de Al, na parte aérea das plantas de milho, com o aumento na dose de lodo de esgoto caleado e conseqüente aumento no pH do solo. Com a precipitação do Al como hidróxidos, reduziu-se a disponibilidade deste cátion no solo, bem como sua absorção pelas plantas.

O crômio foi, dentre os metais presentes no lodo caleado, aquele que maior aumento apresentou em sua concentração na parte aérea das plantas, mediante o aumento da dose aplicada, dando indicativos de que sua biodisponibilidade no meio não foi significativamente reduzida com o aumento no pH do solo (Figura 8).

Su & Wong (2003), avaliando as formas de Ni em lodo de esgoto corrigido com cinza de carvão mineral, verificaram que a formação de óxidos com este metal diminui sua disponibilidade, ou seja, sua forma trocável, reduzindo sua absorção por plantas de milho. Entretanto, com o aumento na dose de lodo caleado, pode ter havido aumento na quantidade de Ni aplicada que, associado com sua concentração no tecido vegetal (nas maiores doses de lodo caleado aplicadas houve diminuição na produção de matéria seca das plantas), concorreu para ocorrência de aumento na concentração deste elemento nos tecidos das plantas.

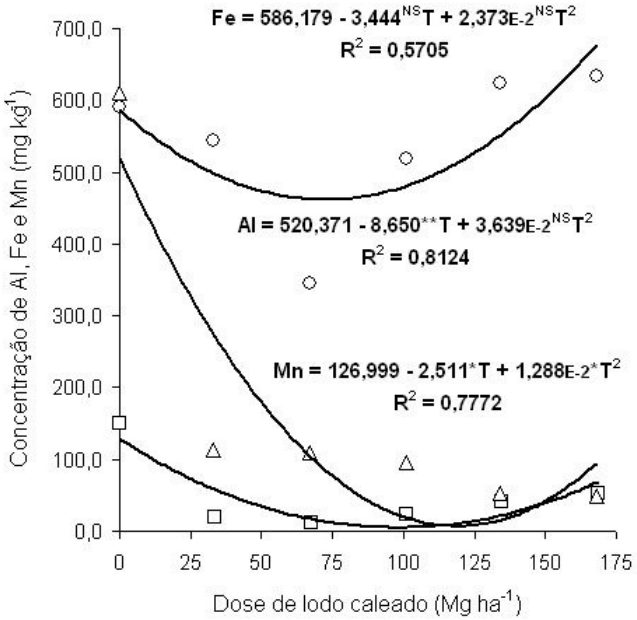

Figura 7. Concentração média de Fe (O), Al (Δ) e Mn (□) na parte aérea de plantas de milho adubadas com lodo de esgoto doméstico caleado (* - F significativo a 1% de probabilidade; ** - F significativo a 5% de probabilidade; ^{NS} – F não significativo a 5% de probabilidade)

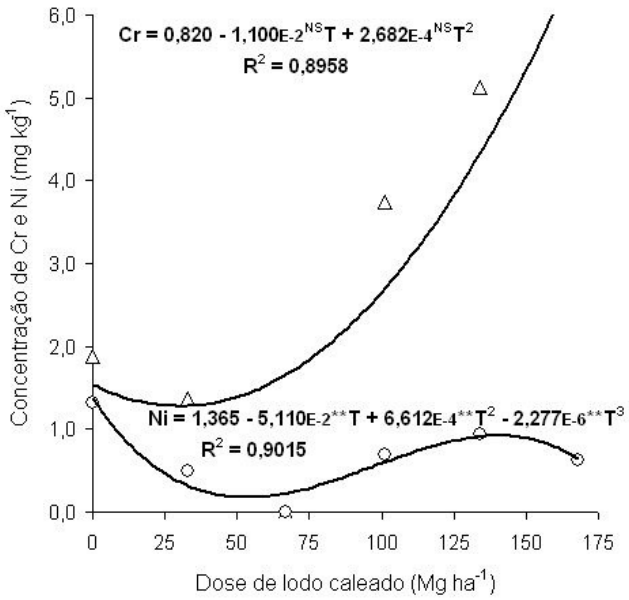

Figura 8. Concentração média de Cr (Δ) e Ni (O) na parte aérea de plantas de milho adubadas com lodo de esgoto doméstico caleado (** - F significativo a 5% de probabilidade; ^{NS} – F não significativo a 5% de probabilidade)

Não foram detectados nem em nível de traços, Cd e Pb na parte aérea de plantas de milho, o que indicou baixa biodisponibilidade destes metais pesados com a adição do lodo de esgoto doméstico caleado.

Os resultados para produção de matéria seca e concentração de macro e micronutrientes na parte aérea das plantas de milho, evidenciam que a dose de lodo caleado, a ser aplicada em solos agrícolas, não deve ser calculada com base apenas na quantidade de N requerida para adubação da cultura agrícola, mas também no potencial de neutralização da acidez do solo pelo lodo caleado. Doses muito altas de lodo caleado podem elevar o pH do solo além dos limites desejáveis, sob o ponto de vista da nutrição mineral das plantas, conforme ocorreu com a aplicação das doses 101,0; 134,7 e 168,4 Mg ha^{-1} (T4, T5 e T6). Recomenda-se, então, proceder ao cálculo de aplicação de lodo pelos dois procedimentos, adotando-se a menor dose calculada.

Em geral, no que se refere aos metais pesados, essenciais ou não às plantas, o aumento de suas concentrações no tecido vegetal, nas maiores doses de aplicação do lodo caleado, a despeito de sua menor disponibilidade no solo em razão da elevação no pH do meio, deve ser creditado principalmente ao efeito de diluição na planta, pois, com menor produção de massa seca, houve maior concentração desses elementos.

CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos, conclui-se que:

• a dose de lodo de esgoto caleado, que proporcionou maior produção de matéria seca de plantas de milho, foi a de 67,4 Mg ha^{-1}, equivalente a 2 vezes a quantidade de N requerida para a adubação do milho;

• nem mesmo as maiores doses de aplicação de lodo de esgoto doméstico caleado proporcionaram concentrações de metais pesados, nos solos, que suplantassem os limites recomendados pela legislação ambiental;

• doses de lodo de esgoto doméstico caleado acima de 101,0 Mg ha^{-1} proporcionaram diminuição na concentração de P nas plantas, o que está, possivelmente, associado à sua menor disponibilidade no solo, em razão da ligação com o cálcio;

• a concentração de metais pesados na parte aérea das plantas de milho esteve relativamente baixa ou mesmo não detectável, como foi o caso do Cd e do Pb, mesmo nos tratamentos em que foram aplicadas as maiores doses de lodo de esgoto doméstico caleado;

• o crômio foi o único, entre os metais pesados avaliados, que apresentou concentração crescente com o aumento da dose aplicada de lodo caleado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDREOLI, C.V.; von SPERLING, M.; FERNANDES, F. **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: DESA/UFMG; SANEPAR. 2001. 484p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias; v.6).

ANJOS, A.R.M. **Lixiviação de espécies químicas em latossolos sucessivamente tratados com biossólido e disponibilidade de metais pesados para plantas de milho**. 1999. 191p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.

BERTON, R.S.; CAMARGO, O.A.; VALADARES, J.M.A.S. Absorção de nutrientes pelo milho em resposta à adição de lodo de esgoto a cinco solos paulistas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.13, n.2, p.187-192, 1989.

BISCAIA, R.C.M; MIRANDA, G.M. Uso do lodo de esgoto calado na produção de milho. **Sanare**, v.5, n.5, p.86-89, 1996.

CARVALHO, M.C.S.; van RAIJ, B. Calcium sulphate, phosphogypsum and calcium carbonate in the amelioration of acid subsoils for root growth. **Plant and Soil**, v.192, p.37-48, 1997.

CFSEMG – Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais. **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ª Aproximação**. Viçosa: 1999. 359p.

COSTA, A.N. et al. Estudo de caso – Utilização de lodo de estações de tratamento de esgotos (ETEs) na cultura do mamoeiro no norte do Estado do Espírito Santo. In: ANDREOLI, C.V. (coord). **Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final.** Rio de Janeiro: RiMa, ABES, 2001. 282p.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília, 1999. 370p.

EPSTEIN, E. **Nutrição mineral das plantas: princípios e perspectivas**. São Paulo: EDUSP, 1975. 341p.

FERREIRA, A.C.B.; ARAÚJO, G.A.A.; PEREIRA, P.R.G.; CARDOSO, A.A. Características agronômicas e nutricionais do milho adubado com nitrogênio, molibdênio e zinco. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.58, n.1, p.131-138, 2001.

JONES JR, J.B.; WOLF, B.; MILLS, H.A. **Plant analysis handbook – a pratical sampling, preparation, analysis, and interpretation guide**. Micro-Macro Plublishing, Inc., Georgia, USA, 1991, 213p.

LOURENÇO, R.S.; ANJOS, A.R.S.; MEDRADO, M.J.S. Efeito do lodo de esgoto na produtividade de milho e feijão no sistema de produção de Bracatinga. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25., 1995, Viçosa, MG. O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado: **Anais...** Viçosa: SBCS, 1995. v.4, p.2273-2275.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 251p.

MELO, W.J.; MARQUES, M.O. Potencial do lodo de esgoto como fonte de nutrientes para as plantas. In: BETIOL, W.; CAMARGO, O.A. (Ed). **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, 2000. 312p.

MUNOZ HERNANDEZ, R.J.; SILVEIRA, R.I. Efeitos da saturação por bases, relações Ca:Mg no solo e níveis de fósforo sobre a produção de material seco e nutrição mineral do milho (*Zea mays* L.). **Scientia Agricola**, vol.55, n.1, p.79-85, 1998.

PEREIRA JUNIOR, A.B. et al. Utilização de lodo de esgoto gerado em processo anaeróbio tipo tanque Imhoff como insumo agrícola para a cultura do milho (*Zea mays* L.). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 19., Foz do Iguaçu, 1997. **Anais ....** Rio de Janeiro: ABES, 1997. p.462-475.

ROSOLEM, C.A.; MACHADO, J.K.; BRINHOLI, O. Efeito das relações Ca/Mg, Ca/K e Mg/K do solo na produção de sorgo sacarino. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.19, n.12, p.1443-1448, 1984.

SANEPAR – Companhia de Saneamento do Paraná. **Manual técnico para utilização agrícola do lodo de esgoto no Paraná**. Curitiba: SANEPAR, 1997. 96p.

SILVA, F.C. **Uso agronômico do lodo de esgoto: efeitos em fertilidade do solo e qualidade da cana-de-açúcar**. Piracicaba: ESALQ/USP, 1995. 170p.

SINGH, B.B. Effect of Vanadium on the growth, yield and chemical composition of maize (*Zea mays* L.). **Plant and Soil**. v.34, p.209-213, 1971.

SU, D.C.; WONG, J.W.C. Chemical speciation and phytoavailability of Zn, Cu, Ni and Cd in soil amended with fly ash-stabilized sewage sludge. **Environment International**, v.29, p.895-900, 2003.

van RAIJ, B. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Ceres, POTAFOS, 1991. 343p.