

Avaliação dos resíduos de rerrefino de óleo e de bio sólido como fonte de micronutrientes no LATOSSOLO VERMELHO Escuro

Ana Tereza Jordão Pigozzo¹, Marlene Aparecida Gobbi¹, Ervim Lenzi^{2*} e Valentim Ricardo Jordão³

¹Universidade Estadual Paulista, Fazenda Experimental Lageado, Botucatu, São Paulo, Brasil. ²Departamento de Química, Universidade Estadual de Maringá, Av. Colombo, 5790, 87020-900, Maringá, Paraná, Brasil. ³Parque Ecológico, Universidade Estadual de Maringá, Av. Colombo, 5790, 87020-900, Maringá, Paraná, Brasil. *Autor para correspondência.

RESUMO. Avaliou-se a potencialidade de dois resíduos orgânicos como fonte de micronutrientes no LATOSSOLO VERMELHO Escuro (LVE). Os tratamentos consistiram de uma dose (19 t ha⁻¹) de resíduo de rerrefino de óleo lubrificante de motores e de lodo de esgoto, ambos neutralizados com uma mistura de CaO + MgO na proporção de 3:1. O milho safrinha (*Zea mays* L.) foi utilizado como planta teste. Aos 30 dias da semeadura, cortou-se a parte aérea das plantas. Essas foram secadas a 60°C até se obter peso constante, moídas e estocadas para posterior análise. Após a digestão nitro-perclórica, os teores de micronutrientes no solo e nas plantas foram determinados por espectrometria de absorção atômica. Os resultados mostraram que a produção de matéria seca foi superior com o lodo de esgoto. Houve um aumento significativo, em nível de 5% de significância, nos teores de micronutrientes no solo tratado com os dois resíduos orgânicos em relação ao tratamento testemunha. Na parte aérea das plantas de milho, colhida no solo tratado com o bio sólido, as concentrações dos elementos Cu, Mn, Fe, Zn foram mais elevadas significativamente do que o tratamento testemunha; nas plantas do rerrefino, apenas o Fe e o Zn diferenciaram-se significativamente das plantas do testemunho. O resíduo de rerrefino foi responsável pela maior relação C:N, quando comparado com o lodo de esgoto.

Palavras-chave: bio sólidos, lodo de esgoto, resíduo de rerrefino, poluição ambiental.

ABSTRACT. Evaluation of motor oil residue and biosolid as micronutrient source in dark red latosol. The potential of two organic residues was studied as micronutrient source in Dark Latosol (DL) in a greenhouse. The treatment consisted of a dose (19 t ha⁻¹) of purified motor oil residue and sewage sludge, both neutralised by a 3:1 of CaO+MgO mixture. The maize (*Zea mays* L.) was the test's reference plant. In the 30th day of seeding, the plant aerial parts were cut. These parts were dried at 60°C until reaching a constant weight. Then they were weighed and grounded for later analysis. This analysis was undertaken after the nitric-perchloric digestion. The concentration values of the micronutrients in soil and plants were determined by atomic absorption spectrometry. The results showed that the dry matter production was higher in sewage sludge use. Micronutrient levels in soil treated by sewage sludge and purified motor oil residue were higher than the in non treated soil. In the aerial parts of the maize plants, which were picked up from the soil treated by the biosolid residue, the micronutrients concentration of Cu, Mn, Fe and Zn were higher than the non treated one. Regarding the plants picked up from soil treated by purified motor oil residue, only the concentration of Fe and Zn was higher. Compared with biosolid, the oil residue was responsible for the highest C:N relation.

Key words: biosolid, sewage sludge, motor oil residue, micronutrients, environmental pollution.

Introdução

À medida que as cidades crescem, com o desenvolvimento econômico e industrial, surgem simultaneamente problemas ambientais devido à geração cada vez maior de resíduos. As consequências causadas por esses resíduos

constituem uma ameaça à qualidade de vida do homem e da biota em geral. Diante disso, a ciência busca soluções para tais problemas, com o objetivo de contribuir para a humanidade viver num ambiente sadio com um desenvolvimento tecnológico viável (Oliveira, 1995). Entre esses

resíduos se encontram: o descarte do rerrefino do óleo lubrificante de motores e o lodo de esgoto.

O esgoto urbano, próprio dos centros, quase sempre é descartado no meio ambiente sem tratamento algum, comprometendo os recursos hídricos e a qualidade de vida (Przybysz e Guidi, 1997). O esgoto, ao ser tratado, gera o resíduo orgânico denominado de lodo de esgoto, cujo destino é ainda indefinido (Manahan, 1994). O lodo de esgoto, quando devidamente higienizado - seja por tratamento químico, por exemplo, com CaO e ou por tratamento físico, por esterilização térmica ou por decurso de tempo é estabilizado e seco - recebe o nome de biossólido (Mello e Marques, 2000).

A questão da disposição final dos biossólidos gerados nos processos de tratamento de esgotos urbanos carece ainda de soluções mais adequadas e que evitem a poluição ambiental.

A prática de reciclagem na agricultura, alternativa consagrada em países desenvolvidos, destaca-se como opção mais adequada, porque reduz a pressão sobre a exploração de recursos naturais e evita opções menos adequadas para a população e o meio ambiente.

Dependendo da composição do material, no caso do lodo de esgoto, seu uso na agricultura pode representar fonte de nutrientes, melhoria das condições dos solos devido ao seu alto teor de matéria orgânica, além de resolver um problema de estocagem da grande quantidade produzida. A possibilidade de sua utilização em solos apropriados às culturas não destinadas para a alimentação direta parece promissora. Contudo, existe a preocupação com a presença de metais pesados e germes patogênicos (Andreoli e Fernandes, 1997).

Outro rejeito de natureza industrial e com composição orgânica é o resíduo do rerrefino, ou seja, o produto da reciclagem de óleos lubrificantes usados. No Brasil, anualmente são descartados aproximadamente 400.000 m³ de óleo usado, oriundos da lubrificação automotiva e industrial (Araújo, 1992). O resíduo do rerrefino tem natureza orgânica e alto teor de ácido sulfúrico decorrente do processo de recuperação do óleo. Esse resíduo é também chamado de borra ácida, representando cerca de 15% do volume de óleo usado que entra no processo de rerrefino, sendo hoje descartado em lagoas sem tratamento prévio, tornando-se um risco para o meio ambiente. Esse resíduo tem restos metálicos (Fe, Mn, Cu, Zn, etc.), provenientes do desgaste do motor, e podem ser úteis na fertilidade do solo (Pigozzo et al., 2000). A matéria orgânica desses rejeitos, quando incorporada ao solo, necessita ser mineralizada para que produza os efeitos benéficos sobre a fertilidade do mesmo. A

temperatura, a umidade, a aeração, o pH, o teor de nutrientes são algumas variáveis que controlam a atividade microbiológica da mineralização (Cavallaro et al., 1993; Ladonin e Margolina, 1997).

A disponibilidade dos íons metálicos na solução do solo depende de uma série de fatores, tais como: pH, CTC, teor de matéria orgânica, textura e composição do solo, competição por outros cátions pelos sítios de absorção, etc (Hooda e Alloway, 1996).

A absorção de íons metálicos pelas plantas depende da disponibilidade dos mesmos na solução do solo e das características próprias de cada espécie vegetal em seus diferentes estágios de desenvolvimento (Farina et al., 1980).

Foi observado, na aplicação dos biossólidos, que a maior produção da parte aérea das plantas está associada com a relação Ca:Mg e C:N do solo (Farina et al., 1980; Silva, 1980 e Embrapa, 1983).

Entre as espécies vegetais testadas em solos com aplicação de lodo de esgoto, encontra-se o milho (Silva, 1980; Gobbi et al., 1998; Pigozzo et al., 2000).

Frente aos possíveis impactos ambientais decorrentes da aplicação do lodo de esgoto em solos, foram realizados estudos em nível internacional (McBride, 1995), em nível nacional, com o intuito de estabelecer critérios (Matiazzo-Prezotto, 1994) e em nível do Estado do Paraná (Andreoli e Fernandes, 1997). Straus (2000) apresenta algumas Normas da legislação americana e propostas da Cetesb (Companhia de Saneamento do Estado de São Paulo) para o uso agrícola do lodo de esgoto no Estado de São Paulo. Fernandes et al. (1999) apresentam uma proposta de *normatização para reciclagem agrícola do lodo de esgoto* para o Estado do Paraná. Contudo, observa-se que o assunto está em fase de solidificação. Entre os diversos aspectos propostos para essa *normatização*, Fernandes et al. (1999) estabelecem critérios a serem seguidos para a reciclagem agrícola do biossólido e preconizam: conhecimento das características do biossólido (limites máximos de metais pesados e patógenos); características do local de aplicação; aptidão do solo (classes); culturas recomendadas; taxa de aplicação, entre outros.

Com relação aos resíduos do rerrefino do óleo lubrificante, no intuito de sua reciclagem agrícola, pela falta de literatura pertinente, observa-se que o assunto está começando a despertar interesse.

Frente ao exposto, em função da variação da composição desses resíduos de natureza orgânica, o assunto merece atenção e novos experimentos devem ser realizados para maiores esclarecimentos técnicos. O presente trabalho pretende avaliar a aplicação dos resíduos de descarte do rerrefino dos óleos lubrificantes

de motores e do bio sólido como fonte de micronutrientes catiônicos, no LATOSSOLO VERMELHO Escuro, no desenvolvimento da cultura de milho.

Material e métodos

Caracterização do solo e do bio sólido

O LATOSSOLO VERMELHO Escuro (LVE) utilizado no experimento foi coletado na região de Maringá, Estado do Paraná, na camada de 0-20 cm. A caracterização química desse solo foi realizada no Laboratório de Agroquímica e Meio Ambiente do Departamento de Química da Universidade Estadual de Maringá, utilizando os métodos analíticos de rotina (Embrapa, 1999; 1997). Os resultados encontram-se na Tabela 1.

O solo coletado e utilizado no experimento foi secado ao ar, passado em peneira de 2 mm e submetido à calagem, elevando a saturação de bases a 70% com calcário calcítico.

O lodo de esgoto utilizado no experimento foi obtido da Estação de Tratamento de Esgoto de Curitiba, através da Sanepar. O mesmo foi neutralizado com 60% (peso seco) de uma mistura com CaO + MgO na proporção de 3:1, com objetivo de evitar odores desagradáveis e a proliferação de germes, principalmente os patogênicos. Em seguida, foi secado, triturado e homogeneizado, ficando pronto para ser incorporado ao solo.

O resíduo de refinamento foi obtido do processo industrial da reciclagem de óleos lubrificantes usados, através da Nortoil Lubrificantes Ltda. de Maringá - PR. A neutralização do resíduo foi a mesma utilizada para o lodo de esgoto e teve como objetivo evitar a acidez decorrente do processo de refinamento.

A caracterização química do bio sólido e do resíduo de refinamento foi realizada no mesmo laboratório. Os nutrientes Cu, Fe, Zn e Mn foram determinados pela espectrometria de absorção atômica na modalidade chama, após a decomposição da amostra com solução digestora nitro-perclórica. Os elementos C e N foram dosados pelos métodos clássicos da gravimetria por perda de massa ao rubro e de Kjeldahl, respectivamente (Tedesco *et al.*, 1997). Os resultados encontram-se na Tabela 1.

Montagem e condução do experimento e coleta das amostras

O solo coletado recebeu uma dose dos resíduos correspondente a 19 t . ha⁻¹ e foi acondicionado em vasos com capacidade para 3 litros. O experimento foi montado em casa de vegetação, com três repetições. Os sistemas, solo + bio sólidos e solo + resíduo de refinamento, ficaram incubados por 15 dias.

Após, foi realizada a semeadura de milho, cultivar BR 300. Na condução do experimento, foram tomados todos os cuidados inerentes ao experimento, tais como regas, arejamento da casa de vegetação, trocas aleatórias dos vasos, controle de possíveis pragas etc. Passados 30 dias da semeadura, efetuou-se a coleta da parte aérea das plantas.

Após a coleta das plantas, foi coletado o solo de cada vaso dos diversos tratamentos. Essas amostras de solo foram secadas, homogeneizadas, peneiradas em malha de 2 mm e estocadas para as respectivas análises.

Análise do solo residual e da matéria seca da parte aérea do milho

A análise das amostras do solo residual seguiu as mesmas técnicas que as utilizadas na caracterização química do solo virgem, ou seja, os elementos metálicos foram analisados pelo método da espectrometria de absorção atômica, o nitrogênio pelo método de Kjeldahl e o carbono pelo método gravimétrico da perda ao rubro. Os resultados encontram-se na Tabela 2.

Na análise das plantas de milho, foram utilizados métodos preconizados pela Embrapa (1999). A parte aérea das plantas foi levada a peso constante em estufa a 60 °C; os resultados encontram-se na Tabela 3. Em seguida, foi moída em moinho e cada amostra estocada. Foram tomadas alíquotas de 0,2000 g de cada amostra da parte aérea seca e moída. A seguir, acondicionadas em tubos de ensaio próprios. A decomposição das mesmas foi feita pela digestão nitro-perclórica. As concentrações dos elementos Cu, Fe, Zn e Mn foram obtidas pela técnica da espectrometria de absorção atômica, mediante o instrumento Varian - Spectr AA 10 PLUS, calibrado para cada elemento segundo o manual do mesmo. Os resultados encontram-se na Tabela 4.

Análise estatística

Os dados foram submetidos a uma análise de variância, utilizando o teste de Tukey para interpretar as diferenças significativas em nível de 5% de probabilidade. Usou-se o *software* Sanest.

Resultados e discussão

Solo e tratamentos

Os resultados das análises químicas do solo com e sem tratamento, coletado aos 45 dias, logo após colheita das plantas de milho, encontram-se na Tabela 2. Observa-se que, no solo tratado com o bio sólido e com o resíduo de refinamento de óleo, houve aumento nos teores de Cu, Fe, Zn e Mn, em nível de 5% de significância, respectivamente, em relação à testemunha, apesar de o pH ter-se elevado significativamente nos dois tratamentos, também em relação à testemunha.

Tabela 1. Caracterização química do solo, do biossólido e do resíduo de rerrefino utilizados no experimento

Espécie	C %	N %	Cu(*) mg kg ⁻¹	Fe(*) mg kg ⁻¹	Mn(*) mg kg ⁻¹	Zn(*) mg kg ⁻¹	H ⁺ +Al ³⁺ (**) cmol kg ⁻¹	CTC(**) cmol kg ⁻¹	SB(**) cmol kg ⁻¹	C:N relação
LVE	1,0	0,06	3,0	165,0	50,0	1,8	1,3	4,3	72,0	17:1
LEC	8,5	0,86	119,0	2.462,0	225,0	328,0	...	...	...	10:1
RR	12,8	0,61	72,0	7.750,0	145,0	1.334,0	...	...	...	21:1

LVE - LATOSSOLO VERMELHO Escuro; LEC - Lodo de Esgoto de Curitiba (LEC 60%); RR - Resíduo do Rerrefino (RR 60%); [H⁺+Al³⁺] - Acidez potencial; CTC - Capacidade de Troca Catiônica; SB - Saturação por bases; (*) - Elementos extraídos com o Extrator Mehlich-1, no Lodo de Esgoto e no Resíduo de Rerrefino foi feita digestão total da amostra; (**) - Dados obtidos de Gobbi (1998). (...) - Valores não determinados. Os resultados tabelados correspondem a médias de análises realizadas com três repetições

Tabela 2. Caracterização química do solo após a coleta das plantas de milho

Solo + Tratamento	Ca:Mg(√)	pH CaCl ₂	C g kg ⁻¹	N g kg ⁻¹	Cu mg kg ⁻¹	Fe mg kg ⁻¹	Mn mg kg ⁻¹	Zn mg kg ⁻¹	C:N Relação
LVE + LEC 60%	19:1	7,8a	1,18b	0,12a	3,1b	162,0b	46,0a	11,8b	10:1
LVE + RR 60%	22:1	8,0a	1,02c	0,08b	3,5a	165,0a	46,0a	18,3a	13:1
LVE	4:1	5,6b	9,0a	0,06b	2,5c	125,0c	40,0b	1,2c	15:1

LVE - LATOSSOLO VERMELHO Escuro; LEC 60% - Lodo de Esgoto de Curitiba; RR 60% - Resíduo de Rerrefino. (√) - Dados obtidos de Gobbi (1998). Os resultados tabelados correspondem a médias de análises realizadas com três repetições

Plantas de milho

O corte das plantas de milho foi realizado no trigésimo dia da semeadura, uma vez que as plantas dos tratamentos com biossólido apresentaram problemas de senescência, como amarelecimento e pontas secas das folhas. Isso provavelmente ocorreu devido: a) ao excesso de salinidade provocado pela adição dos resíduos neutralizados com uma quantidade elevada de CaO (tal salinidade foi observada visualmente pelo afloramento de sais na superfície do solo tratado); b) à dificuldade de absorção de água pelas plantas de milho devido ao aumento da pressão osmótica da solução do solo; c) à deficiência de nitrogênio provocada pelo excesso de cálcio via resíduos neutralizados, impedindo a disponibilidade do potássio, inibindo a nitrificação e o transporte de nitrogênio para as plantas, como aconteceu com a redução de sorgo em solo calcário tratado com lodo de esgoto, também devido à salinidade, conforme Cripps e Matocha (1991). As plantas dos vasos do tratamento testemunha não apresentaram esses problemas.

Os resultados do peso de matéria seca (parte aérea) das plantas com e sem o tratamento com os resíduos orgânicos encontram-se na Tabela 3. A menor produção foi a correspondente ao tratamento com o resíduo de rerrefino que se diferenciou significativamente, em nível de 5%, da obtida sem tratamento e da com o biossólido (LEC). A produção de matéria seca foi maior no solo tratado com lodo de esgoto a 60%, que se diferenciou significativamente das demais.

Pelo que foi observado e mensurado nas condições em que os materiais foram incorporados aos solos e no tempo de experimento, pode-se dizer que o resíduo de rerrefino não seria aconselhado como fonte fertilizadora para o solo analisado e que o lodo de esgoto foi o que apresentou melhores condições de fertilidade do solo, promovendo, de

modo mais adequado, o desenvolvimento das plantas de milho.

Tabela 3. Produção de matéria seca, em g.vaso⁻¹, em plantas de milho, aos 30 dias da germinação

Tratamentos	Solo (LE) (*)
Solo + Lodo de Esgoto de Curitiba (LEC 60%)	3,34a
Solo + Resíduo de Rerrefino (RR 60%)	1,57c
Testemunha	2,59b

(*) - Médias seguidas de mesma letra (a,b, ...) não diferem entre si em nível de 5% de significância pelo teste de Tukey. Os resultados tabelados correspondem a médias de massas de matéria seca resultante do experimento realizado com três repetições

Na produção total de matéria seca, o solo tratado com resíduo de rerrefino foi o que apresentou a menor produção, e o tratado com o biossólido a maior, ambos diferenciando-se significativamente da produção do testemunho (Tabela 3). Rosolem *et al.* (1984) observaram que a menor ou a maior produção de matéria seca estaria ligada a distúrbios nutricionais na planta, induzidos por relações catiônicas favoráveis ou desfavoráveis no solo, pois a absorção de nutrientes pelas plantas depende da atividade dos íons na solução e nos sítios de troca. Arantes (1983) observou que relações de Ca:Mg maiores que 5:1 provocaram redução na produção total de matéria seca das plantas. No presente estudo, pelas relações Ca:Mg, Tabela 2, o solo tratado com o biossólido, com uma relação de Ca:Mg = 19:1, não evidenciou tais constatações, ao passo que o solo tratado com o resíduo de rerrefino, com uma relação de Ca:Mg = 22:1, comprovou a constatação dos pesquisadores citados.

Observa-se que o material que mais disponibilizou N no solo foi o biossólido (LEC) 60 %, diferenciando-se significativamente do rerrefino e do testemunho, atingindo a relação C:N mais próxima do equilíbrio 10:1, conforme Tabela 2, de certa forma, explicando, também, a maior produção de massa seca.

Quanto à absorção dos nutrientes Cu, Fe, Mn e Zn pelas plantas de milho, verificou-se o que segue até ao final deste tópico (Tabela 4):

Em nível de 5% de significância, as plantas cultivadas no solo tratado com o bio sólido (LEC) absorveram mais Cu, Fe, Mn e Zn que as cultivadas no solo testemunho, Tabela 4. Em relação às cultivadas no solo com rerrefino (RR), apenas para o Cu e o Fe houve diferença significativa.

Tabela 4. Concentração de Cu, Fe, Zn e Mn, em mg kg⁻¹, na parte aérea das plantas de milho

Tratamentos	Cu	Fe	Mn	Zn
Solo + LEC(*) 60%	7,0a (***)	209,0a (***)	36,0a (***)	52,9a (***)
Solo + RR(**) 60%	6,5 b	177,0b	34,0ab	53,3a
Solo sem tratamento	6,5 b	92,0c	33,0 b	35,0b

(*) - Lodo de Esgoto de Curitiba; (**) - Resíduo do Rerrefino. (***) - Médias seguidas de mesma letra (a,b, ...) não diferem entre si em nível de 5% de significância pelo teste de Tukey. Os resultados tabelados correspondem a médias de análises realizadas com três repetições

A variação de até 0,5 unidade de pH pode ser significativa na disponibilidade de metais na solução solo (Hooda e Alloway, 1996). A Tabela 2 mostra que os tratamentos com bio sólido e rerrefino apresentaram um pH 7,8 e 8,0 respectivamente. Analisando a Tabela 1, observa-se que os micronutrientes Cu, Fe e Zn, no bio sólido (LEC) e no rerrefino (RR), encontram-se em concentrações elevadas em relação ao testemunho e, ao serem adicionados ao solo, o mesmo teria maior disponibilidade dos referidos metais para as plantas, e as plantas os absorveriam em níveis até fitotóxicos. Contudo, isso não aconteceu.

Para o Cu, sua concentração situou-se na faixa de 6,5 a 7,0 mg kg⁻¹, considerada normal, sendo que os valores adequados variam entre 6 e 20 mg kg⁻¹ (Kabata-Pendias e Pendias, 1992).

Para o caso do ferro, os valores absorvidos pelas plantas, Tabela 4, não foram tão elevados se comparados com os valores adequados para a cultura do milho, que se situam na faixa de 50 a 250 mg kg⁻¹ (Malavolta et al., 1997).

Para o caso do Zn, Tabela 4, os valores absorvidos pelas plantas dos solos tratados com o bio sólido (LEC) e com o rerrefino (RR) encontram-se praticamente no limite superior do intervalo de valores considerados adequados de Zn para a cultura do milho que está na faixa de 15-50 mg kg⁻¹, porém, muito aquém do intervalo de valores de toxicidade para este elemento que se encontra de 200 a 400 mg kg⁻¹ (Malavolta et al., 1997). Portanto, acredita-se que não houve problema com relação a esse micronutriente.

A contribuição na concentração de Mn no solo via bio sólido é pequena, frente a sua concentração ou presença natural, e os teores foliares adequados

para o milho são de 50 a 150 mg kg⁻¹ (Malavolta et al., 1997).

Pelos resultados obtidos, infere-se que:

- a maior produção de matéria seca foi apresentada pelo tratamento com lodo de esgoto Curitiba 60%, em relação à do solo com rerrefino e ao sem tratamento;
- no resíduo de rerrefino, a produção de matéria seca ficou significativamente inferior ao da testemunha;
- houve um desequilíbrio do balanço nutricional disponível na solução do solo tratado com o resíduo do rerrefino;
- os dois resíduos orgânicos incorporados ao solo mostraram potencialidade como fonte de micronutrientes.

Referências

- ANDREOLI, C.V.; FERNANDES, E. Principais fatores limitantes (metais pesados e patógenos) para o uso agrícola do lodo de esgotos no Paraná. *Sanare*, Curitiba, v. 7, n.7, p.68-72. 1997.
- ARANTES, E.M. *Efeito da relação Ca:Mg do corretivo e níveis de potássio na produção de matéria seca, concentração de K, Ca, Mg e equilíbrio catiônico do milho (Zea mays L.)*. 1983. Dissertação (Mestrado) - Agronomia, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1983.
- ARAÚJO, M.A.S. *Rerrefino de óleos usados*. Rio de Janeiro: Centro de Pesquisa Leopoldo A.M. de Mello. Divisão de Tecnologia de Produtos, Conpet, Petrobrás, 1992.
- CAVALLARO, N. et al. Sewage sludge effects on chemical properties of soils. *Soil Sci.*, Baltimore, v.156, n.2, p.62-70, 1993.
- CRIPPS, R.W.; MATOCHA, J.E. Effects of sewage application to ameliorate iron deficiency of grain sorghum. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, Monticello, v. 22, p.1931-1940, 1991.
- EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). *Cultura do milho*. Brasília: Centro Nacional de Pesquisa do Milho e do Sorgo, 1983.
- EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). *Manual de métodos de análise de solos*. 2. ed. Organização de Marie E.C. Claessen. Rio de Janeiro (RJ): Centro Nacional de Pesquisa de solos, 1997.
- EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). *Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes*. Fábio César da Silva (org.). Brasília (DF): Embrapa - Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999.
- FARINA, M.P.W. et al. Effect of pH on soil magnesium and its absorption by corn. *Comm. Soil Sci. Plant. Anal.*, Monticello, v.11, n.10, p.981-992, 1980.
- FERNANDES, F. et al. Normatização para a reciclagem agrícola do lodo de esgoto. In: *Reciclagem de Bio sólidos: transformando problemas em soluções*. Curitiba: Sanepar

- Companhia de Saneamento do Paraná, 1999. cap.6, p.263-291.
- GOBBI, M.A. *Avaliação da potencialidade de diferentes resíduos como fonte de macronutrientes na cultura do milho (Zea mays L.)*. 1998. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Química, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 1998.
- HOODA, P.S.; ALLOWAY, B.J. The effect of liming on heavy metal concentrations in wheat, carrots and spinach grown on previously sludge applied soils. *J. Agr. Sci., Cambridge*, v.127, p.289-294, 1996.
- KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, E. *Trace elements in soils and plants*. 2.ed. Boca Raton: CRC Press, 1992.
- LADONIN, D.V.; MARGOLINA, S.E. Interaction between humic acids and heavy metals. *Eurasian Soil Sci.*, New York, v.30, p.710-1715, 1997.
- MALAVOLTA, E. et al. *Avaliação do estado nutricional das plantas*. 2. ed., Piracicaba: Potafos/CNPq, 1997.
- MANAHAN, S.E. *Environmental Chemistry*. 4. ed. Chelsea: Lewis Publishers, 1994.
- MATIAZZO-PREZOTTO, M.E. *Comportamento do cobre, cádmio, cromo, níquel e zinco adicionados a solos de clima tropical em diferentes valores de pH*. 1994. Tese (Livre Docência) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1994.
- McBRIDE, M.B. Toxic metal accumulation from agricultural use of sludge: are USEPA regulations protective? *J. Environ. Qual.*, Madison, v. 24, n.1, p.5-18, 1995.
- MELLO, W.J.; MARQUES, M.O. Potencial do lodo de esgoto como fonte de nutrientes para as plantas. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. (Ed.). *Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto*. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, 2000. cap. 5, p.109-141.
- OLIVEIRA, F.C. Metais pesados em formas nitrogenadas em solos tratados com lodo de esgoto. *Sci.Agric., Unversilly Park*, v. 52, n.2, p.360-367, 1995.
- PIGOZZO, A.T.J. et al. Effects of the Application of Sewage Sludge and Petrochemical Residue in Maize Culture as Source of Micro-nutrientes on Soils of Paraná State. *Braz. Arch. Biol. Tecnol.*, Curitiba, v.42, n.2, p.143-149, 2000.
- PRZYBYSZ, L.C.B.; GUIDI, E. Uso adequado dos sistemas de coleta e tratamento de esgotos domésticos - enfoque ambiental. *Sanare*, Curitiba, v.7, n.7, p.20-23, 1997.
- ROSOLEM, C.A. et al. Efeito das relações Ca:Mg, Ca:K e Mg:K do solo na produção de sorgo sacarino. *Pesq. Agropec. Bras.*, Brasília, v.19, n.12, p.1443-1448, 1984.
- SILVA, J.E. Balanço do cálcio e magnésio e desenvolvimento de milho em solos sob cerrado. *Pesq. Agropec. Bras.*, Brasília, v.15, n.3, p.329-333, 1980.
- STRAUS, E.L. Normas da utilização de lodos de esgoto na agricultura. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O.A. (Ed.). *Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto*. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2000. cap. 13, p.215-224.
- TEDESCO, M.J. et al. *Análise de solo, plantas e outros materiais*. Porto Alegre: Departamento de Solos da UFRS, 1997.

Received on May 05, 2002.

Accepted on November 20, 2002.