Efeitos da aplicação de lodo de esgoto e de resíduo petroquímico no cultivo do milho em solos do Estado do Paraná

Marlene Aparecida Gobbi¹, Ana Tereza Jordão Pigozzo¹, Ervim Lenzi^{1*} e Eduardo Bernardi Luchese²

¹Departamento de Química, Universidade Estadual de Maringá, Av. Colombo, 5790, 87020-900, Maringá-Paraná, Brazil.

²Departamento de Agronomia, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Rua Pernambuco, 1777, 85.960-000, Marechal Cândido Rondon-Paraná, Brazil. *Author for correspondence.

RESUMO. Em casa de vegetação, avaliou-se a potencialidade de dois resíduos orgânicos como fonte de macronutrientes em três solos do Estado do Paraná. Os tratamentos consistiram de uma dose ($38 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) de resíduo petroquímico 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. Após 30 dias da semeadura, cortou-se a parte aérea das plantas. Essas foram secadas a 70°C até peso constante, pesadas e moídas, para posterior digestão nitro-perclórica. Os teores de macronutrientes K, Ca Mg e S nos solos e nas plantas foram determinados por espectrometria de absorção atômica. Os resultados mostraram que a produção de material seco foi superior com o lodo de esgoto. Os teores de macronutrientes no solo terra roxa (TR) foram superiores aos solos latossolo vermelho escuro (LE) e podzólico vermelho (PV). Na parte aérea das plantas de milho, colhidas nos solos tratados, as concentrações dos elementos K, Ca, N, S e P foram maiores e estatisticamente diferentes da testemunha. O resíduo petroquímico 60% foi responsável pela maior relação C:N e o lodo de esgoto 60% pela maior relação Ca:Mg.

Palavras-chave: lodo de esgoto, resíduo petroquímico, cultivo do milho, macronutrientes.

ABSTRACT. Sewage sludge and petrochemical residue application effects on maize culture in soils of the state of Paraná. The potentiality of two organic residues as macronutrient sources in soils was evaluated in a greenhouse experiment. The treatments consisted of one dose ($38\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$) of petrochemical residue and sewage sludge both neutralized by CaO + MgO at 3:1 ratio. Maize (*Zea mays L.*) was the reference plant. After 30-day seeding, the aerial parts of the plants were cut, dried at 70°C till constant weight was obtained, then weighted and ground. Analysis was undertaken with nitroperchloric digestion. Macronutrient levels in soils and plants were determined by atomic absorption spectrometry. The results showed that the production of dry matter was higher when sewage sludge was used. Macronutrient levels in red latosol were higher than those of deep red latosol and red podzol respectively. In the aerial parts of maize plants collected in the soil treated with the sewage sludge the concentrations of the macronutrients K, N, Ca, S and P were higher than in the other treatments. The petrochemical residue caused the highest C:N ratio and the sewage sludge caused the highest Ca:Mg ratio.

Key words: sewage sludge, petrochemical residue, maize culture, macronutrients.

O constante aumento da geração de resíduos, proporcional ao crescimento demográfico e ao desenvolvimento tecnológico, vem se transformando num dos maiores desafios da sociedade moderna (IPT, 1995). As conseqüências 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, encontram-se o esgoto doméstico e o resíduo petroquímico. O esgoto doméstico, em grande parte, é lançado *in natura* nos cursos d'água, contaminando e poluindo os respectivos ecossistemas, comprometendo a qualidade dos recursos hídricos (Przybysz e Guidi, 1997). O resíduo petroquímico, resultante do processo da recuperação, ou do refino, do óleo lubrificante de motores, ainda não tem um destino

definido. No momento, é descartado em lagoas próprias, sem tratamento nenhum.

Muitas alternativas para a destinação destes materiais já foram testadas e, dentre elas, citam-se: bombeamento para os oceanos, aterros sanitários, incineração, produção de agregados leves para a construção civil, uso agrícola, etc. (Manahan, 1994).

Surge como promissora a possibilidade da utilização dos lodos de esgotos na agricultura, em solos apropriados a culturas não destinadas à alimentação direta. Contudo, devido à grande diversidade destes rejeitos e, principalmente, à presença de germes patogênicos, de metais pesados tóxicos e de outros materiais não degradáveis, há necessidade de se conhecer sua composição química para se poder quantificar seus efeitos (Bertoncini, 1997).

Estudos revelaram que os teores de N e P nos lodos de esgotos são adequados às necessidades das plantas (Oliveira, 1992; Ros *et al.*, 1990).

A disponibilidade dos íons metálicos na solução dos solos depende de uma série de fatores, entre eles: pH, CTC (Capacidade de Troca Catiônica), teor de matéria orgânica, textura, composição das argilas do solo, competição com outros cátions pelos sítios de absorção, quelação, temperatura (Zhu e Alva, 1993; Sposito, 1989; Oates e Coldwel, 1985; Pavan *et al.*, 1984; Lindsay, 1979). A temperatura, a umidade, a aeração e o teor de nutrientes controlam a atividade microbiológica responsável pelos processos de degradação do resíduo (mineralização) e a conseqüente solubilização e disponibilidade dos íons metálicos no solo (Ladonin e Margolina, 1997; Cavalaro *et al.*, 1993; Sarkis, 1987; Bull, 1986; Jardim, 1983).

A maior ou a menor absorção dos 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 (Juste e Solda, 1985; Sorterberg, 1981; Farina, 1980; Epstein, 1975).

Com a aplicação de lodos de esgoto e de resíduos petroquímicos, foi observado que a produção da parte aérea das plantas em massa está associada com a relação Ca:Mg e C:N no solo (Embrapa, 1983; Farina, 1980; Silva, 1980).

Entre algumas espécies vegetais testadas em solos tratados com lodos de esgoto, encontram-se o milho (Bertoncini, 1997; Silva, 1980) e a alfaca (Hernandez *et al.*, 1992).

Frente aos impactos ambientais que a aplicação do lodo de esgoto em solos pode causar, estudos a nível internacional foram feitos no sentido de normatizar essa atividade (McBride, 1995). No Brasil, a primeira tentativa de estabelecimento de critérios para o uso de lodos de esgotos, contendo

metais pesados, em solos foi sugerida por Matiazzo e Prezotto (1994). No Paraná, Andreoli *et al.* (1997).

Como se pode ver, em função da própria variação da composição do lodo e do resíduo petroquímico, o assunto merece atenção e novos experimentos devem ser realizados para maiores esclarecimentos técnicos e científicos. O presente estudo pretende avaliar o efeito da aplicação do lodo de esgoto e do resíduo petroquímico, neutralizados com CaO+MgO (3:1), nos solos Terra Roxa (TR), Latossolo Vermelho Escuro (LE) e Podzólico Vermelho (PV), coletados no norte do Estado do Paraná e compará-los ao tratamento testemunha.

Materiais e métodos

Caracterização dos solos, do lodo e do resíduo petroquímico. Os solos utilizados no experimento foram coletados no terceiro planalto paranaense, região de Maringá, do horizonte A, na profundidade de 0-20cm e são pertencentes a diferentes classes texturais. São classificados como Terra Roxa (TR), Latossolo Vermelho Escuro (LE) e Podzólico Vermelho (PV).

A caracterização química dos solos utilizados foi feita no Laboratório de Agroquímica e Meio-Ambiente do Departamento de Química da Universidade Estadual de Maringá. Os resultados das análises feitas em triplicatas encontram-se na Tabela 1.

As amostras foram secadas ao ar, passadas em peneira de 2mm, caladas segundo resultado para elevar 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-PR, através da Companhia de Saneamento do Paraná (Sanepar). O mesmo foi neutralizado com 60% (peso seco) de uma mistura de CaO+MgO, na proporção de 3:1, com o objetivo de evitar odores indesejáveis e a proliferação de germes, principalmente os patogênicos. A seguir, foi secado, triturado e homogeneizado, ficando pronto para ser incorporado aos solos.

O resíduo petroquímico foi obtido do processo industrial da recuperadora de óleos lubrificantes Nortoil Ltda. de Maringá, Paraná. A neutralização do resíduo foi a mesma utilizada para o lodo de esgoto, com o objetivo de evitar a elevada acidez decorrente do processo do refino.

A caracterização química do lodo de esgoto e do resíduo petroquímico calado foi realizada no mesmo laboratório. Os nutrientes Ca, Mg, K foram determinados por espectrometria de absorção atômica, na modalidade chama. Os elementos C e N foram dosados pelos métodos clássicos da gravimetria e de Kjeldahl, respectivamente. Os

elementos P e S foram dosados pelos métodos colorimétrico e gravimétrico, respectivamente. Os resultados de análises feitas em triplicatas encontram-se na Tabela 2.

Montagem do experimento e coleta das amostras.

Foram utilizados vasos de polietileno com capacidade para 3 litros. O experimento foi montado em casa de vegetação com três repetições. Os solos coletados (2 litros por vaso) receberam uma dose do resíduo petroquímico e de lodo de esgoto correspondentes a 38 t.ha⁻¹ (47,50g por vaso). Cada vaso recebeu água correspondente a 70% da capacidade de campo.

Os sistemas (solo+lodo e solo+resíduo petroquímico) ficaram incubados por 15 dias. A seguir, foram semeadas 5 sementes de milho híbrido, cultivar BR 300. Após a germinação, procedeu-se o desbaste das plantas, deixando três por vaso.

Decorridos 30 dias da semeadura, efetuou-se a coleta da parte aérea das plantas de milho. Após secagem, foi determinado o respectivo teor de massa seca por vaso. Os resultados encontram-se na Tabela 3. Em seguida, foram moídas, novamente secadas e estocadas para posterior análise. Após a coleta da parte aérea, os conteúdos dos vasos contendo a soca (pé + raízes de milho) e solo foram despejados sobre um plástico, retirando-se a soca. O solo de cada vaso, após secado em ambiente arejado e limpo, foi peneirado em malha 2mm e estocado.

Análise da matéria seca da parte aérea do milho. De cada amostra da parte aérea seca e moída foram tomadas alíquotas de 0,2000g em triplicatas e colocadas em tubos de 2,5cm de diâmetro e 25cm de altura, sendo protegido com uma tampa de vidro. Em cada tubo, foram adicionados, 3ml de uma mistura nitro-perclórica (2:1 v:v). Os tubos foram levados ao bloco digestor e iniciou-se, gradativamente, o aquecimento até atingir 160°C, até redução de aproximadamente 50% do volume. Aumentou-se a temperatura do bloco para 210°C até aparecerem fumos brancos típicos da decomposição do HClO₄. Após o resfriamento, o conteúdo digerido dos tubos foi transferido quantitativamente para balões volumétricos de 50ml e seu volume completado com água destilada e deionizada. As concentrações dos elementos Ca, Mg, K e S foram obtidas pela técnica da espectrometria da absorção atômica, (espectrômetro de absorção atômica, marca - Varian, modelo - SpectrAA 10 PLUS), calibrado para cada elemento de acordo com as instruções do Manual de Operação (Welz, 1985). O branco e os padrões para cada elemento foram submetidos ao mesmo processo de digestão das amostras. O teor de nitrogênio foi determinado pelo método clássico de Kjeldhal. Os resultados encontram-se na Tabela 4.

Análise do solo residual. A caracterização química dos solos residuais foi realizada com as técnicas usadas para a caracterização dos solos virgens. O íon K⁺ foi extraído com extrator de Mehlich. O Ca²⁺ e o Mg²⁺ foram trocados dos sítios ativos com solução de HCl 1,0 mol.L⁻¹. A concentração foi determinada pela técnica da absorção atômica, modalidade chama, com o instrumento já citado (Welz, 1985). O nitrogênio foi determinado pelo método de Kjeldhal. O teor de carbono foi determinado pelo método gravimétrico, da perda de massa ao rubro a 650°C. O teor de enxofre foi determinado pelo método turbidimétrico, e pelo método colorimétrico foi determinado o teor de fósforo extraído com o extrator Mehlich. A acidez potencial {[H⁺] + [Al³⁺]} em cmol_c.kg⁻¹ foi determinada pelo método da solução de acetato de cálcio. Os respectivos resultados analíticos encontram-se na Tabela 5.

Análise estatística. Os dados experimentais foram submetidos a uma análise de variância, utilizando o método de Tukey na análise das diferenças significativas. Para isso, usou-se o *software* Sanest.

Resultados e discussão

Solos e tratamentos. Pelos dados da Tabela 2, pode-se calcular que foram adicionados aos solos de cada vaso, contidos no lodo de esgoto e no resíduo petroquímico, em mg.vaso⁻¹, respectivamente: 3.467 e 3.325 de Ca; 313 e 290 de N; 181 e 176 de Mg; 4512 e 6080 de C; 323 e 9,5 de P; 46 e 9,5 de K; 475 e 618 de S.

A composição química muito variada dos resíduos e o desbalanceamento desses nutrientes dificultam sua utilização generalizada para o uso do mesmo na fertilização dos solos. Pelo exame da Tabela 2, nota-se que a relação Ca:Mg da alíquota aplicada está em torno de 19:1, evidenciando possíveis problemas de salinização dos solos adubados com o lodo de esgoto e com o resíduo petroquímico neutralizados com 60% de CaO+MgO.

Os resultados das análises químicas dos solos com e sem tratamento, após 45 dias, estão na Tabela 5. Nesta, observa-se que, nos solos tratados com o resíduo petroquímico e com o lodo de esgoto, ambos neutralizados, houve um aumento significativo nos teores dos macronutrientes Ca, K, P, S, C e N em relação à testemunha, sendo que o nutriente Ca foi o mais disponibilizado pelos resíduos e inibiu a disponibilidade do Mg, o qual ficou inferior ao tratamento testemunha. Os aumentos dos teores das bases Ca²⁺ e K⁺ refletiram um aumento na CTC (Capacidade de Troca Catiônica), na %SB (Porcentagem de Saturação de Base) e nas relações Ca:CTC e Ca:Mg.

Tabela 1. Caracterização química dos solos calados utilizados no experimento

Solo	P		S	N			C	K _T	Ca			Mg	K		H ⁺ +Al ³⁺	CTC	SB	Ca:CTC		Ca: Mg
	mg.dm ⁻³			g.kg ⁻¹					cmol.kg ⁻¹				%							
TR	3,0	1,3	1,3	12	0,46	3,0	1,1	0,38	2,3	6,8	66	44	3:1							
LE	2,1	10	0,60	10,0	0,36	2,1	0,68	0,30	1,3	4,3	72	49	3:1							
PV	1,1	8	0,6	8,0	0,26	1,6	0,79	0,26	1,0	3,8	70	42	2:1							

TR - Terra Roxa; LE - Latossolo Vermelho Escuro; PV - Podzólico Vermelho; K_T - Potássio total; [H⁺+Al³⁺] - acidez potencial; CTC - Capacidade de troca catiônica; SB - Saturação por bases

Tabela 2. Caracterização química do lodo de esgoto e do resíduo petroquímico utilizados no experimento

Resíduos	N		P	K	Ca			Mg	S	C	Ca:Mg	C:N
	g.kg ⁻¹											
Lodo de esgoto Curitiba 60%	6,6	6,8	1,0	73	3,8	10	95,0	19:1	14:1			
Resíduo petroquímico	6,1	0,20	0,20	70	3,7	13	128	19:1	21:1			

As relações Ca:Mg e C:N foram arredondadas

Tabela 3. Produção de matéria seca, em g.vaso⁻¹, em plantas de milho cultivadas em três solos com e sem tratamento de lodo de esgoto e de resíduo petroquímico, após 30 dias da germinação

Tratamento	Solos		
	TR	LE	PV
Solo + lodo	4,82 ^b	4,71 ^b	4,43 ^b
Solo + resíduo petroquímico	3,00 ^c	2,15 ^c	2,00 ^c
Testemunha	3,94 ^c	2,59 ^c	1,92 ^c

Médias seguidas de mesma letra (a, b,...) não diferem entre si em nível de 5% de significância pelo teste de Tukey (DMS = Diferença Mínima Significativa = 1,67); TR - Terra Roxa; LE - Latossolo Vermelho escuro e PV - Podzólico Vermelho

Tabela 4. Teores acumulados de N, P, K, Ca, Mg e S, em g.kg⁻¹, na parte aérea das plantas de milho, em três solos com e sem tratamento.

Elementos	Tratamentos								
	Solo com lodo de esgoto			Solo com resíduo petroquímico			Solo sem tratamento (testemunha)		
	TR	LE	PV	TR	LE	PV	TR	LE	PV
N	39	37	36	36	33	29	30	28	26
P	5,9	5,3	5,9	4,8	4,0	4,0	4,0	3,0	3,7
K	22	20	18	22	20	17	20	15	11
Ca	9,0	8,9	6,8	9,9	7,4	6,2	4,4	3,9	3,8
Mg	2,4	2,3	2,1	2,7	1,9	1,6	2,8	2,1	1,7
S	2,0	1,9	1,8	4,2	3,2	2,7	1,8	1,5	1,2

TR - Terra Roxa; LE - Latossolo Vermelho Escuro; PV - Podzólico Vermelho

Tabela 5. Caracterização química dos solos após a coleta das plantas de milho e 45 dias de incubação com e sem tratamento

Solo	pH		P	S	N	C	Ca	Mg	K	[H ⁺ +Al ³⁺]	CTC	SB	Ca:CTC		Ca:Mg	C:N
	CaCl ₂	H ₂ O											mg.kg ⁻¹			
TR+L	6,6	6,8	4,1	15	1,3	17	8,6	0,28	0,40	1,4	11	84	81	31:1	13:1	
LE+L	7,0	7,5	5,0	12	0,90	12	5,8	0,25	0,39	1,1	7,5	86	77	23:1	13:1	
PV+L	7,5	7,8	3,1	9,0	0,81	12	3,2	0,22	0,36	1,1	4,9	77	65	15:1	15:1	
TR+R	7,8	8,1	4,0	34	1,0	17	7,6	0,28	0,45	1,4	9,7	85	78	27:1	17:1	
LE+R	8,3	8,6	5,1	32	0,60	11	6,2	0,23	0,39	1,1	7,9	85	78	27:1	18:1	
PV+R	8,6	9,1	2,0	29	0,70	10	3,6	0,20	0,26	1,1	5,2	78	69	18:1	14:1	
PV + Rp			2	29	0,7	10,0	3,6	0,20	0,26	1,12	5,18	78	69	18:1	16:1	
TR	6,1	6,6	3,1	12	0,90	9,0	2,3	0,85	0,35	1,9	5,4	65	43	3:1	10:1	
LE	5,6	6,0	3,0	9,0	0,60	9,3	2,0	0,50	0,18	1,3	4,0	67	50	4:1	16:1	
PV	7,0	7,4	1,0	7,0	0,60	8,0	1,3	0,70	0,21	1,1	3,3	67	39	2:1	13:1	

TR - Terra Roxa; LE - Latossolo Vermelho Escuro; PV - Podzólico Vermelho; L - lodo de esgoto e R - Resíduo petroquímico neutralizado; [H⁺+Al³⁺] - acidez potencial; SB - Saturação de base

Fazendo um balanço de massa para N e C, utilizando os dados da Tabela 1 e 2 para os diversos solos com e sem tratamento e fazendo a comparação com o que restou dos mesmos, após 45 dias de incubação e plantio do milho, Tabela 5, verifica-se que, nesse período, não houve mineralização da

matéria orgânica e, se houve, foi insignificante. Para alguns casos, houve um pequeno aumento de (C), que deve ser atribuído a possíveis restos de radículas que ficaram no ato do destorroamento da soca.

A relação Ca:Mg, para os solos na ordem TR, LE e PV, conforme Tabela 1, foi 3:1, 3:1 e 2:1,

respectivamente. Após a incubação do lodo, do resíduo petroquímico e o cultivo das plantas (Tabela 5), a relação Ca:Mg aumentou nos solos tratados com lodo de esgoto para 31:1, 23:1 e 15:1 e, com resíduo petroquímico, para 27:1, 27:1 e 18:1, distanciando-se completamente dos valores considerados normais (3:1 a 5:1) para a cultura do milho (Embrapa, 1983). A relação Ca:CTC sofreu um aumento considerável, chegando a 81% da CTC no solo TR+L.

As relações Ca:Mg e %SB (Tabela 5) mostraram que houve uma quebra de balanceamento nutricional dos solos tratados com lodo de esgoto e com resíduo petroquímico neutralizados. Antes da incorporação dos resíduos, os solos apresentaram uma relação Ca:Mg satisfatória em termos nutricionais. O Ca, em média, ocupa nos três solos mais de 50% da CTC. A relação Ca:CTC ideal para a maioria das plantas está em torno de 60% a 70%.

Com relação à participação das bases na CTC, para o solo ter condições ótimas de equilíbrio iônico presente, deve possuir no complexo de troca 60% a 70% de Ca, 15% a 20% de Mg e 3% a 5% de K (Lopes, 1984). Isso não é observado no presente experimento, conforme dados da Tabela 5, que permitem calcular os valores médios de 72% de Ca, 7,3% de Mg e 3,7% de K, mostrando um excesso de Ca e uma deficiência de Mg nos solos tratados com os resíduos neutralizados.

Plantas de milho. O corte das plantas de milho foi realizado no trigésimo dia da semeadura, uma vez que as plantas dos tratamentos com lodo de esgoto e com resíduo petroquímico neutralizados apresentaram problemas de senescência, como amarelecimento e pontas secas das folhas, provavelmente devido ao excesso de salinidade, provocado pela adição dos resíduos neutralizados com uma quantidade elevada de CaO. Tal salinidade foi observada visualmente pela presença de sais na superfície dos solos. A mesma dificultou a absorção de água pelas plantas de milho devido a um aumento da pressão osmótica da solução do solo, o que não aconteceu com as plantas dos vasos do tratamento testemunha. Outra explicação para o problema do amarelecimento das folhas pode estar na deficiência de nitrogênio provocado pelo excesso de cálcio via resíduos neutralizados, impedindo a disponibilidade do potássio, inibindo a nitrificação e o transporte de nitrogênio para as plantas. Isso configura dados da literatura como a redução na produção de sorgo em solo calcário tratado com lodo de esgoto, também devido à salinidade (Cripps e Matocha, 1991) e o crescimento de raízes de plantas de algodão afetadas pelas altas concentrações de Ca (Cramer *et al.*, 1987).

A produção da massa seca da parte aérea das plantas de milho encontra-se na Tabela 3. Em todos

os solos, a produção de matéria seca foi maior nos solos tratados com lodo de esgoto neutralizado, seguido do tratamento testemunha, diferenciando-se entre si e com o tratamento com resíduo petroquímico neutralizado, em nível de 5% de significância. Sendo que, no tratamento com o resíduo petroquímico neutralizado, a produção de matéria seca ficou inferior ao tratamento testemunha. Desse modo, nas condições em que os materiais foram incorporados aos solos e no tempo de experimento, poder-se-ia dizer que o resíduo petroquímico não seria aconselhado como fonte fertilizadora para os solos e que o lodo de esgoto foi o que levou aos solos melhores condições de fertilidade, promovendo de modo mais adequado o desenvolvimento das plantas de milho. Para ambos os solos, com e sem tratamento, a produção de matéria seca seguiu a ordem TR>LE>PV. Porém, os respectivos valores da produção dos solos, com e sem tratamento, em nível de 5% de significância, não se diferenciam entre si.

A produção total de material seco (Tabela 3) foi influenciada pelas relações Ca:Mg e C:N dos solos (Tabela 5). Aumentando a relação Ca:Mg dos solos, nota-se decréscimo na produção de material seco das plantas. Tal efeito depressivo, nos rendimentos, parece estar ligado a distúrbios nutricionais na planta, induzidos por relações catiônicas desfavoráveis no solo, pois a absorção de nutrientes pelas plantas depende da atividade dos íons na solução e nos sítios de troca (Rosolem *et al.*, 1984).

As pesquisas têm mostrado decréscimo na produção de material seco das plantas com os incrementos na relação Ca:Mg e Ca:CTC em plantas de milho. Arantes (1983) mostrou que relações de Ca:Mg maiores que 5:1, estabelecidas com adubação na qual a saturação por bases se elevou a 70%, provocaram redução no material seco das plantas.

Quanto à absorção dos nutrientes N e S pelas plantas de milho (Tabela 4), houve um aumento dos teores dos mesmos na matéria seca coletada nos solos tratados, o que não ocorreu com o Mg, que apresentou um pequeno decréscimo para os solos com tratamento de lodo e de resíduo petroquímico. Observa-se que o material que mais disponibilizou o N no solo foi o lodo de esgoto neutralizado, que atingiu a relação C:N mais próxima do equilíbrio, ou seja, aproximou-se da relação 10:1. Não foi o caso do resíduo petroquímico, que apresentou alta relação C:N, mostrando baixa capacidade de degradação, pelo fato de que o N e o C presentes devem encontrar-se em formas não mineralizadas. Já o resíduo petroquímico apresentou-se como um grande fornecedor de S para os solos. Isso pode ser explicado pela procedência do resíduo que é resultante de um processo de sulfonação.

Estudando o efeito da aplicação do lodo de esgoto na cultura do milho, ROS *et al.* (1983) observaram que a mesma proporcionou um aumento da matéria seca e um incremento de N e de K pelo milheto, ficando evidente a necessidade de suplementação mineral quando se usa o lodo de esgoto em solos deficientes desses dois elementos.

Resumindo os resultados e discussões, tem-se que, houve um desequilíbrio do balanço nutricional disponível na solução dos solos tratados com lodo de esgoto e com resíduo petroquímico neutralizados.

A relação Ca:Mg, para os solos TR, LE e PV sem tratamento antes do plantio, foi de 3:1, 3:1 e 2:1; com os tratamentos, depois da coleta das plantas, foi de 31:1, 23:1 e 15:1 (com lodo) e 27:1, 27:1 e 18:1 (com resíduo petroquímico), respectivamente.

O teor disponível de macronutrientes Ca, K, C, N, S e P aumentou, após a incubação e as respectivas coletas de amostras. Com o Mg ocorreu o oposto.

As plantas dos solos com tratamentos apresentaram sinais de senescência. No caso do resíduo petroquímico, a produção de matéria seca ficou inferior ao tratamento testemunha.

A diminuição da produção de matéria seca foi inversamente proporcional à relação C:N da solução dos respectivos solos.

As plantas cultivadas nos solos com tratamento assimilaram mais nutrientes (N, Ca, K) que as cultivadas nos solos sem tratamento. Com o Mg, o comportamento foi o oposto.

A ordem decrescente de produção de matéria seca, levando em consideração o tipo de solo TR>LE>PV, foi a mesma para os solos com tratamento e sem tratamento.

Referências bibliográficas

- Andreoli, C.V., Bonnet, B.R.P., Lara, A.I.; Wolter, F.R. Proposição de plano de monitoramento da reciclagem agrícola do lodo de esgoto no Estado do Paraná. *Sanare*, 7(7):76-84, 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.)*. Lavras, 1983. (Master's Thesis in Agronomy) - Universidade Federal de Lavras.
- Bertoncini, E.I. *Mobilidade de metais pesados em solos tratados com lodo de esgoto*. Piracicaba, 1997. (Master's Thesis in Agronomy) - Universidade de São Paulo.
- Bull, L.T. *Influência da relação K/(Ca + Mg) do solo na produção de matéria seca e na absorção de potássio por gramínea e leguminosa forrageiras*. Piracicaba, 1986. (Doctoral Thesis in Agronomy) - Universidade de São Paulo.
- Cavallaro, N.; Padilla, N.; Villarrubia, J. Sewage sludge effects on chemical properties of soils. *Soil Sci.*, 156(2):62-70, 1993.
- Cramer, G.R.; Laughli, A.; Epstein, E. Calcium salinity interactions in plants. *J. Plant Nutr.*, 10:9-16, 1987.
- Cripps, R.W.; Matocha, J.E. Effects of sewage application to ameliorate iron deficiency of grain sorghum. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 22:1931-1940, 1991.
- Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). *Cultura do milho*. Brasília: Centro Nacional de Pesquisa do Milho e do Sorgo, 1983. 85 p.
- Epstein, E. *Nutrição mineral das plantas: princípios e perspectivas*. São Paulo: EDUSP, 1975. 341 p.
- Farina, M.P.W.; Summer, M.E.; Plank, C.O.; Letzch, W.S. Effect of pH on soil magnesium and its absorption by corn. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 11(10):981-992, 1980.
- Hernandez, T.; Garcia, C.; Costa, F.; Valero, J.A.; Ayuso, M. Utilización de residuos urbanos como fertilizantes orgánicos. *Suelo y Planta*, 2(3):373-383, 1992.
- IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas) *Lixo municipal - Manual de gerenciamento integrado*. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1995. 278 p.
- Jardim, W.F. Metais pesados: um dano irreparável. *Rev. Bras. Tecnol.*, 14:41-45, 1983.
- Juste, C.; Solda, P. Factors influencing heavy metal availability in field experiments with sewage sludges. In: Leschber, R.; Davies, R.D.; L'Hermité, P. *Chemical methods for assessing bioavailability metals in sludge and soils*. London: Elsevier, 1985. p. 32-41.
- Ladonin, D.V.; Margolina, S.E. Interaction between humic acids and heavy metals. *Euras. Soil Sci.*, 30:710-1715, 1997.
- Lindsay, W.L. *Chemical equilibria in soils*. New York: John Wiley & Sons, 1979. 449 p.
- Lopes, A.S. Uso eficiente de fertilizantes com micronutrientes. In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIZANTES NA AGRICULTURA, 1, 1984, Brasília. *Anais...* Brasília: Embrapa, 1984. p.347-382.
- Manahan, S.E. *Environmental chemistry*. 4. ed. Chelsea: Lewis, 1994. 612 p.
- Mattiazzo-Prezotto, M.E. *Comportamento do cobre, cádmio, cromo, níquel e zinco adicionados a solos de clima tropical em diferentes valores de pH*. Piracicaba, 1994, (Livre Docência) - Universidade de São Paulo.
- McBride, M.B. Environmental Issues. *J. Qual.*, 24:5-18, 1995.
- Oates, K.M.; Coldwel, G. Use of by product gypsum to alleviate soil acidity. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 49:915-918, 1985.
- Oliveira, F.C. *Efeito da aplicação de lodo de esgoto em um latossolo vermelho escuro - textura média e em sorgo granífero*. São Paulo, 1992. (Master's Thesis in Agronomy) - Universidade Estadual Paulista.
- Oliveira, F.C. Metais pesados em formas nitrogenadas em solos tratados com lodo de esgoto. *Sci. Agric.*, 52(2):360-367, 1995.
- Pavan, M.A.; Bingham, F.T.; Patt, P.F. Redistribution of exchangeable calcium, magnesium and aluminum following lime or gypsum applications to a Brazilian oxisoil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 48:33-38, 1984.
- Ros, C.A.C da; Aita, C.; Ceretta, C.A.; Fries, M.R. Utilização do lodo de esgoto como fertilizante: efeito imediato no milho e residual na associação de aveia +

- ervilha. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIZANTES DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 1990, Santa Maria. *Livro de Resumos*, Santa Maria: 1990. p. 20.
- 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. *Pesq. Agrop. Bras.*, 19(12):1443-1448, 1984.
- Sarkis, K. Evaluating land application effects - Results on Philadelphia sludge application program on corn and soybean fields provide useful data on heavy metal and PCB accumulation. *Biocycle*, 28(1):27-28, 1987.
- Silva, J.E. Balanço do cálcio e magnésio e desenvolvimento de milho em solos sob cerrado. *Pesq. Agrop. Bras.*, 15(3):329-333, 1980.
- Sorterberg, A. Effects of sewage sludge application on yield of different crops and uptake of some heavy metals. *J. Sci. Agric. Soc. Finl.*, 53:01-15, 1981.
- Sposito, G. *The chemistry of soils*. New York: Oxford University Press, 1989. 277 p.
- Welz, B. *Atomic absorption spectrometry*. 2. ed. Weinheim (Germany): VCH Verlagsgesellschaft mbH, 1985. 506p.
- Zhu, B.; Alva, A.K. Trace metal and cation transport in a sandy soil with various amendments. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 57:723-727, 1993.

Received on August 17, 1998.

Accepted on November 16, 1998.