

EFEITO DA APLICAÇÃO DO LODO DE ESGOTO NOS TEORES SOLÚVEIS E TOTAIS DE ELEMENTOS DO SOLO SOB SISTEMA DE PRODUÇÃO DE BRACATINGA (*Mimosa scabrella* Benth.)

Rivail Salvador Lourenço^{*}
Ana Rosa Martins dos Anjos^{**}
Moacir José Sales Medrado^{***}
Paulo Leonel Libardi^{****}

RESUMO

Lodo de esgoto aeróbico, calado e com 87% de umidade, produzido pela ETE- Belém em Curitiba, PR, foi utilizado no sistema de produção da bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth.), num ensaio de campo conduzido em Cambissolo álico epidistrófico Tb A húmico, no município de Colombo, PR. Foram testadas dosagens de até 70 t/ha (base úmida), distribuídas na superfície e não incorporadas ao solo. Análises químicas dos teores de nutrientes do solo em quatro profundidades (15, 30, 45 e 60 cm), decorridos 6 meses da aplicação, quando se cultivou, simultaneamente, feijão, milho e bracatinga, indicaram que: não houve variação nos teores de matéria orgânica, P, K, Cu, Fe, Mn e Zn solúveis; houve aumento do pH e diminuição do Al e do H+Al; houve aumento nos teores solúveis de Na e Ca+Mg; quanto aos teores totais, não houve diferença significativa nos teores de Al e Mg; o Ca aumentou, em função dos tratamentos, nos primeiros 15 cm de profundidade; o K aumentou com a profundidade mas não respondeu às doses de lodo aplicadas; os teores de P ficaram abaixo do limite de detecção. Concluiu-se que a adição do lodo de esgoto não produziu efeito significativo na variação das concentrações dos elementos no perfil do solo.

PALAVRAS-CHAVES: macronutriente, micronutriente, elemento tóxico, metal pesado, Região Sul, *Mimosa scabrella*.

EFFECT OF SEWAGE SLUDGE ON THE SOLUBLE AND TOTAL LEVEL OF SOIL NUTRIENTS ON A BRACATINGA PRODUCTION SYSTEM

ABSTRACT

Aerated and limed sewage sludge containing 87% water produced at Belem Sludge Treatment Station (ETE Belem), in Curitiba, PR, was used on a bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth.) production system, on a field assay established on a

* Eng.-Agrônomo, Doutor, CREA n° 3636/D, Pesquisador da *Embrapa Florestas*.

** Eng.-Agrônomo, Doutor, CREA n° 21509/D, Pesquisadora do *CNPq - Conselho Nacional de Pesquisa - Bolsista do Programa RHAe 94/95*

*** Eng.-Agrônomo, Doutor, CREA n° 7742/D, Pesquisador da *Embrapa Florestas*.

**** Eng.-Agrônomo, Doutor, CREA n° 30664/D, Professor da *ESALQ - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz*.

haplumbrept soil, in Colombo, PR. Dosages from 0 (zero) to 70 t/ha (wet weight basis), placed on soil surface and not incorporated into the soil were tested. Nutrient levels were assessed 6 months after sewage sludge application at four depths (15, 30, 45 and 60 cm) when corn and beans were planted, simultaneously. The results showed that there was: no variation in the level of organic mater and soluble P, K, Cu, Mn and Zn; an increase in pH and a decrease in Al and H^+Al ; an increase in the levels of soluble Na and Ca+Mg. Regarding the total nutrients there was: no difference in Al and Mg contents; an increase in Ca content in the first 15 cm of the soil profile and a decrease with depth from thereon to 60 cm; an increase in K content with depth but this showed no response to the application of sewage sludge; and the P level remained below the equipment detection range.

KEY WORDS: macronutrients, trace elements, toxic elements, heavy metals, southern Brazil, *Mimosa scabrella*.

1. INTRODUÇÃO

O tratamento de esgotos urbanos gera um subproduto denominado lodo de esgoto, de disposição final problemática no processo operacional das estações de tratamento. Geralmente, a fase mais onerosa do tratamento das águas residuárias é o processamento e a disposição do lodo, que pode representar 60% do orçamento para o controle de poluição das águas, segundo Webber (1984) citado por Souza et al. (1992). Segundo Bettiol et al. (1983), citado por Silva (1995), o problema gerado no sistema de tratamento de águas servidas é a disposição final do lodo obtido, visto que representa de 30 a 40% dos custos operacionais.

Existem várias maneiras de se dispor o lodo: aterros sanitários exclusivos, de altos custos de manutenção; disposição oceânica, de grande impacto ambiental negativo; incineração, dispendiosa e poluente; lagoas de armazenamento; e reciclagem do resíduo como insumo para a agricultura, que tem se mostrado, mundialmente, como uma solução adequada técnica, econômica e ambientalmente. Isto, desde que precauções sejam tomadas quanto à qualidade do lodo, bem como quanto ao tipo e manejo de culturas agrícolas. Sua utilização nos solos agrícolas é executada em vários países pois, além de fornecer nutrientes às plantas, pode constituir um excelente condicionador de solos, melhorando as propriedades físicas, químicas e biológicas.

A utilização do lodo se constitui num fornecimento de nutrientes essenciais às plantas. É farta a literatura a respeito do aporte de nitrogênio e fósforo, principalmente, e também do aumento da capacidade de retenção de água e da melhoria na estabilidade de agregados, pela adição de matéria orgânica (Joost, 1987). Além da vantagem da liberação mais lenta e mais prolongada de nitrogênio, há os benefícios de melhoria nas propriedades físicas do solo e de estímulo da atividade microbiana (Fresquez & Lindemann, 1982, citados por Topper & Sabey 1986).

King & Morris (1972), estudando a disposição de lodo de esgoto líquido, calagem e fertilização mineral, verificaram que os tratamentos com lodo diminuíram o pH do solo, aumentando o teor de Mn e de Zn trocáveis na solução. Entre outras observações, concluíram que a redução na produção do centeio (*Secale cereale* L.), provavelmente, foi devida aos altos níveis de Zn e, possivelmente, Cu, mais do que às deficiências de N, P, K, Ca ou Mg ou aos altos níveis de Mn, B, Mo, ou Al.

Segundo Santos Filho & Tourinho (1981a), os teores de N, P, K, Ca e Mg em lodo de esgotos do município de Curitiba-PR são considerados elevados e os dos metais pesados inferiores aos de lodos de países como Inglaterra e Estados Unidos. Esses autores alertaram sobre a necessidade de pesquisas de campo para estudar a viabilidade de aplicação do lodo no solo, sem riscos de toxidez para os alimentos, e enfatizaram que a poluição do lençol freático e de rios deveria ser controlada. Em outra publicação, (Santos Filho & Tourinho, 1981b), esses autores relataram a viabilidade de emprego do lodo de esgoto de Curitiba, observando que há favorecimento da porosidade do solo, tendo-se verificado, também, valores de CTC elevados, na faixa de 116 a 117 emg.100g⁻¹ de matéria orgânica.

Berton et al. (1989) desenvolveram um ensaio de casa de vegetação para estudar a absorção de nutrientes pelo milho, em resposta à adição de lodo de esgoto em cinco solos paulistas, e verificaram que a incorporação do lodo proporcionou elevação do pH em todos os solos, reduzindo ou eliminando o Al trocável. Nesse ensaio, houve aumento da matéria seca das plantas, bem como das quantidades de N, P, Cu, Mg e Zn absorvidas.

Nas pastagens semi-áridas do sudoeste americano, a produtividade é afetada pela baixa quantidade de matéria orgânica e de N disponível. Com a aplicação de lodo digerido, anaerobicamente, nas dosagens de 22,5; 45,0 e 90 Mg.ha⁻¹, Fresquez et al. (1990) verificaram que N, P e K do solo aumentaram linearmente. O pH do solo decresceu linearmente com a aplicação do lodo após a segunda estação de crescimento mas, não aumentou significativamente a solubilidade de Pb e de Cd no solo. As plantas de grama-azul, galleta (*Hilaria jamesii* (Torr.) Benth.) e *Sitanion hystrix* (Nutt.) J.G.Sm, tiveram aumentos significativos e lineares nos níveis de N, P e K dos tecidos e na proteína bruta, com a aplicação do lodo. Os níveis de Cd e de Pb nos tecidos das plantas não aumentaram significativamente. A dosagem de 45 Mg.ha⁻¹ promoveu os resultados mais favoráveis, tanto no solo quanto nas plantas.

Silva (1995), estudando os efeitos do uso agrônômico do lodo de esgoto na fertilidade do solo e na qualidade da cana-de-açúcar, verificou que o lodo de esgoto: teve efeito de curta duração, restrito apenas ao primeiro ano; atuou como corretivo do complexo coloidal do solo e como fertilizante, fornecendo Ca, P, S e Zn à cana-de-açúcar; e aumentou os teores de metais pesados no solo, cuja ordem de valor não oferecia qualquer risco de passagem à cadeia trófica.

O uso agrícola do lodo de esgoto é mais apropriado nas plantas perenes, segundo o ciclo das culturas e, quanto ao destino da produção, para produtos não comestíveis consumidos pelos homens e animais, principalmente "in natura". Assim, a área florestal surge como opção para a disposição final do lodo de esgotos urbanos.

É tradicional na Região Metropolitana de Curitiba-PR, o sistema de produção da bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth.) que, no conjunto, cobre uma superfície estimada entre 50 e 60 mil hectares. Neste sistema, a bracatinga tem um ciclo comercial de 7 anos e se destina, preponderantemente, à produção de madeira para fins energéticos e para escoras de construção. As áreas produtivas das propriedades são divididas em 7 talhões, de modo que, a cada ano se proceda ao corte em um deles onde, após a queima dos resíduos para limpeza da área, ocorre a quebra de dormência no banco de sementes do solo e segue-se a regeneração do bracatingal. Este, no primeiro ano, é conduzido consorciado com milho e feijão (EMBRAPA, 1988). Este cenário, dada a proximidade em relação a Curitiba, é próprio para viabilizar a utilização do lodo de esgoto produzido na cidade.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar as alterações nas características

químicas e na disponibilidade de alguns macro e micronutrientes e de outros elementos, resultantes da aplicação superficial do lodo de esgoto no sistema de produção da bracinga.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em uma área, no município de Colombo, PR, a 25°20'S; 49°14'W e 920m de altitude, nos anos de 1994 e 1995. O solo foi classificado como uma associação de Cambissolo textura média + Cambissolo podzólico textura média/argilosa, ambos álicos epidistróficos Tb A húmico fase Floresta Ombrófila Mista relevo ondulado. Os resultados das análises químicas do solo são apresentados na Tabela 1.

TABELA 1. Análise química dos solos, anterior à aplicação de lodo, realizada pelo método Carolina do Norte, conforme Embrapa (1979).

Denominação	pH CaCl ₂ 0,01M	cmol _e /dm ³ de solo					%			mg.kg ⁻¹	
		Al ³⁺	H ⁺ + Al ³⁺	Ca ²⁺ + Mg ²⁺	Ca ²⁺	K ⁺	M.O.	P	Na ⁺		
Cambissolo	Ap	4,66	1,40	8,0	2,75	1,85	0,05	4,09	1	5	
	AB	4,45	2,30	10,9	1,00	0,50	0,002	2,41	traço	2	
	BA	4,49	2,10	7,5	0,80	0,45	0,002	1,01	traço	2	
	Bi	4,50	1,30	4,2	0,40	0,30	0,002	0,60	traço	2	
	BC	4,39	2,50	5,8	0,40	0,20	0,03	0,40	traço	3	
Cambissolo Podzólico	Ap	4,62	1,50	8,4	3,30	2,30	0,14	4,62	traço	6	
	AB	4,46	2,70	9,8	1,50	0,60	0,04	3,02	traço	4	
	BA	4,42	3,00	10,4	1,00	0,50	0,04	0,45	traço	3	
	Bi	4,42	3,00	9,8	0,75	0,45	0,03	1,07	traço	3	
	BC	4,41	2,10	6,1	0,30	0,20	0,02	0,60	traço	2	

O lodo de esgoto utilizado na montagem do experimento foi proveniente da ETE-Belém, Curitiba, PR, aeróbico, calado e com 87% de umidade. Os dados analíticos deste lodo (Tabela 2), foram obtidos no Instituto de Tecnologia do Paraná e referem-se ao material seco a 110°C.

TABELA 2. Análise química do lodo de esgoto da ETE-Belém.

Determinações	Teores
N total	5,34%
(PO ₄) ³⁻ solúvel em citrato de amônio + H ₂ O	3,68%
K ₂ O solúvel em água	0,31%
Ca	1,45%
Mg	0,37%
Mn	0,045%
Demanda química de oxigênio (D.Q.O.)	889,6 mg g ⁻¹
Cinzas	4,94%
pH	6,8
Umidade a 110°C	86,9%
Cd	não detectado a nível de 2mg kg ⁻¹
Cr	18 mg kg ⁻¹
Zn	128 mg kg ⁻¹
Pb	30 mg kg ⁻¹
Cu	41 mg kg ⁻¹
Hg	0,1 mg kg ⁻¹
Óleos e graxas (solúveis em éter de petróleo)	3,8 g kg ⁻¹

Um mês antes do plantio (setembro de 1994), foi efetuada a distribuição manual do lodo na superfície do solo. A bracinga foi semeada em espaçamento de 1,20 m x 0,60 m, com 4 sementes por cova. Entre as linhas de bracinga, foram semeadas uma linha de milho (*Zea mays*), cultivar IAPAR 26, com espaçamento de 1,20 m x 0,60 m e uma de feijão (*Phaseolus vulgaris*), cultivar IAPAR 44, com espaçamento de 1,20 m x 0,30 m. O tamanho de cada parcela foi de 9,60 m x 12,00 m. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso com quatro repetições.

Durante o desenvolvimento das culturas, houve necessidade de se replantar o milho e o feijão. A bracinga, também, foi replantada, em dois períodos (dezembro e janeiro do ano seguinte), através de mudas.

A bracinga foi submetida a três desbastes. No primeiro, deixou-se apenas a planta mais vigorosa da cova. O segundo e o terceiro desbastes (1996 e 1997) tiveram a finalidade de aumentar o espaçamento, finalizado em 2,4 m x 2,4 m, que proporcionou uma população de 1.736 plantas ha⁻¹.

No decorrer do cultivo de milho, houve necessidade de combater a lagarta do cartucho e o pulgão; para tanto, foram utilizados Bravik (80 ml do produto em 20 l de água) e Tiomet 400 CE (80 ml do produto em 100 ml de água). Na cultura do feijão, foi utilizado Folicur (150 g do produto em 60 l de água) no combate do *Uromyces phaseoli*. Na ocasião do plantio do feijão, foi aplicado 0,5 g de uréia por planta, e, no plantio do milho, 2 g por planta. Uma adubação nitrogenada, em cobertura, foi realizada quando o milho apresentava 9 folhas. No decorrer do desenvolvimento das culturas, houve necessidade de se realizar três capinas.

Em janeiro de 1995 foi colhido o feijão e, em março do mesmo ano, o milho, sendo a área útil de colheita de cada parcela de 6,0 m x 9,3 m (55,8 m²) para o feijão e de 7,20 m x 9,60 m (69,12 m²) para o milho. Após a colheita do feijão e do milho, coletaram-se amostras compostas de solo para análise de rotina e de metais

pesados. Estas amostras constituíam-se de 16 amostras simples por parcela, de cada profundidade (15, 30, 45 e 60 cm), sendo postas a secar, ao ar livre em bandejas galvanizadas, durante 10 dias.

As amostras compostas foram enviadas ao laboratório de solos da *Embrapa Florestas*, Colombo, PR, para análise de rotina de macronutrientes e matéria orgânica pelos métodos descritos em Embrapa (1979) e de Fe, Cu, Zn, Mn (extração química com HCl 0,1N e determinação no espectrofotômetro de absorção atômica). Elas foram enviadas, também, ao laboratório do Centro de Energia Nuclear na Agricultura-CENA, em Piracicaba, SP, para determinação dos teores totais de Al, Ca, Mg, P, Cu, Fe, Mn, Zn, Mo, Cd, Cr, Pb, Ni, Co, Sr, Ti e V pelo método ICP-AES (extração química com água-régia e ácido fluorídrico em bomba de teflon).

Foram analisados os solos e duas amostras da solução do solo (janeiro e fevereiro) de um tratamento testemunha (sem aplicação de lodo) e de outros quatro, com diferentes doses de lodo de esgoto, equivalentes a: 17,5; 35,0; 52,5 e 70,0 t.ha⁻¹ em base úmida, de quatro profundidades.

As variáveis analisadas, de rotina, foram pH (CaCl₂ 0,01M), Al, Ca + Mg, matéria orgânica, Ca, H + Al, P, K, Na, Fe, Cu, Zn e Mn; as variáveis referentes à digestão total do solo foram P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn, Zn, Cd, Pb e Cr. Os dados das variáveis de rotina (teores de Al, Ca+Mg, Ca, Na, Cu, Zn e Mn), bem como os de K, Mg e Cr, referentes à digestão total fo submetidos à transformação (x), enquanto que os de K da análise de rotina foram transformados pela fórmula (x + 1) e os de Ca, referentes à digestão total do solo foram transformados em log (x).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Teores solúveis:

A denominação "teores solúveis" refere-se às concentrações de nutrientes no solo, quando da análise para fins de determinação da fertilidade, que estariam "disponíveis" para absorção pelas plantas. A adição de lodo em diversas dosagens não resultou em aumento no teor, originalmente alto, de matéria orgânica no solo (Tabela 3). Houve sim, uma diminuição, esperada, com o aumento da profundidade, da mesma forma que foi observada nos tratamentos que não receberam lodo.

TABELA 3. Resultados da análise de rotina do solo, amostrado após as colheitas de feijão e de milho.

Profundidade cm	Lodo t.ha ⁻¹	M.Orgânica g.kg ⁻¹	pH CaCl ₂ 0,1N	Al cmol _c .dm ⁻³	H+Al cmol _c .dm ⁻³	Ca+Mg cmol _c .dm ⁻³
15	0	46,3	4,61	1,41	7,29	4,37
	17,5	44,7	4,68	0,71	7,01	5,33
	35,0	52,5	4,83	0,70	7,07	5,43
	52,5	43,0	4,93	0,57	6,19	6,47
	70,0	46,0	4,95	0,49	6,58	6,39
30	0	30,0	4,41	2,19	8,16	1,85
	17,5	28,0	4,66	1,94	7,22	2,51
	35,0	27,0	4,56	1,51	7,71	3,03
	52,5	28,1	4,56	1,60	7,23	3,27
	70,0	30,0	4,63	1,53	6,85	3,00
45	0	24,5	4,30	2,33	8,17	1,03
	17,5	23,7	4,35	2,65	8,56	1,59
	35,0	25,3	4,37	2,05	7,97	1,65
	52,5	22,3	4,45	1,71	7,50	1,94
	70,0	23,8	4,45	1,86	7,23	2,39
60	0	20,1	4,33	2,00	7,74	1,04
	17,5	17,1	4,29	2,47	8,15	1,29
	35,0	16,9	4,33	2,10	7,48	1,46
	52,5	15,9	4,40	1,85	7,32	1,74
	70,0	15,9	4,40	2,19	6,88	1,55

O pH do solo, que diminui naturalmente com a profundidade de amostragem (Figura 1), aumentou significativamente com a aplicação de lodo (Figura 2). No entanto, os efeitos desses fatores sobre o pH do solo só têm expressão pela precisão dos ensaios e pelo rigor da estatística, sendo de magnitude insuficiente para promover mudanças ambientais significativas, como se depreende da Tabela 3.

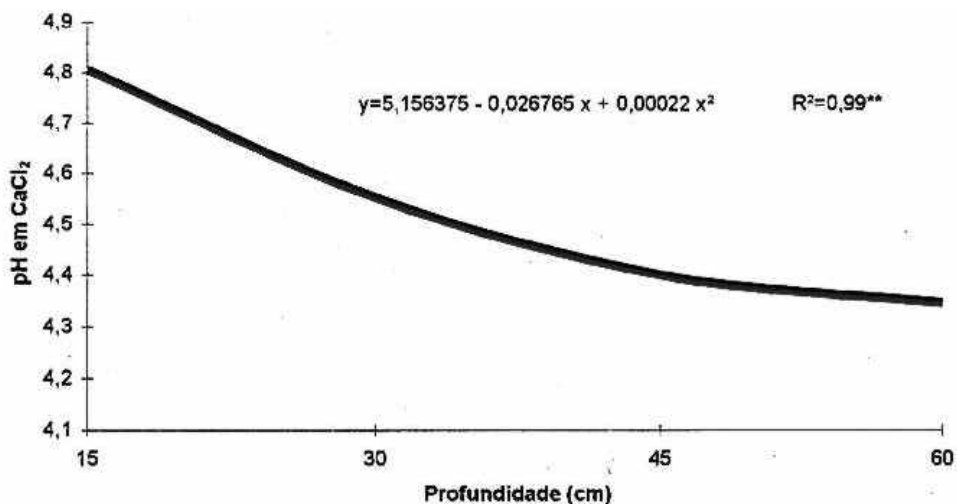


FIGURA 1. pH do solo em diferentes profundidades.

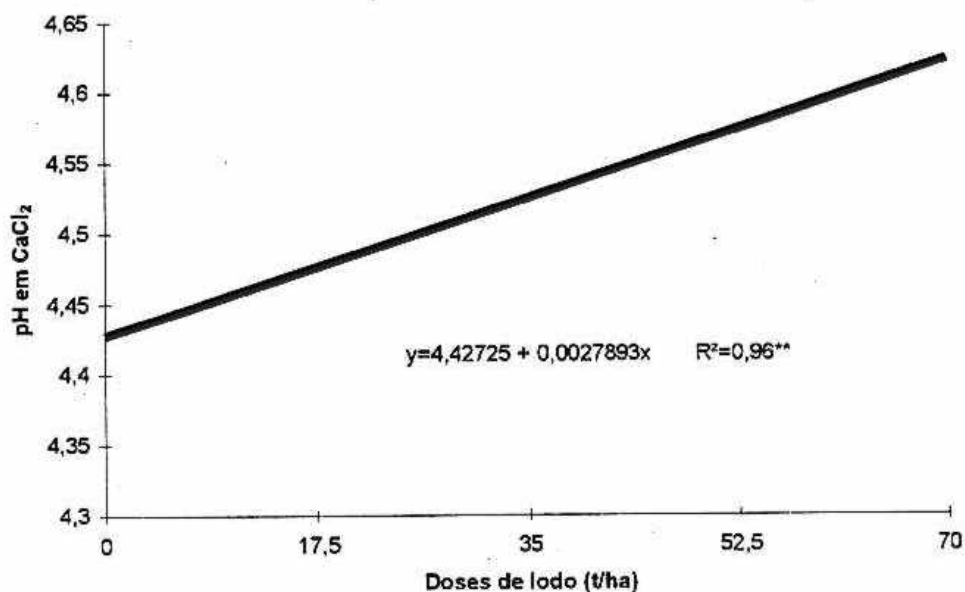


FIGURA 2. pH do solo em função das doses de lodo aplicadas.

Assim como o pH do solo, a concentração de Al, também, diminui em profundidades maiores (Figura 3). Mas ela aumenta com a aplicação de lodo, mormente nas camadas superficiais (Figura 4). As concentrações de H+Al mostraram tendências semelhantes às observadas para o alumínio (Figuras 5 e 6).

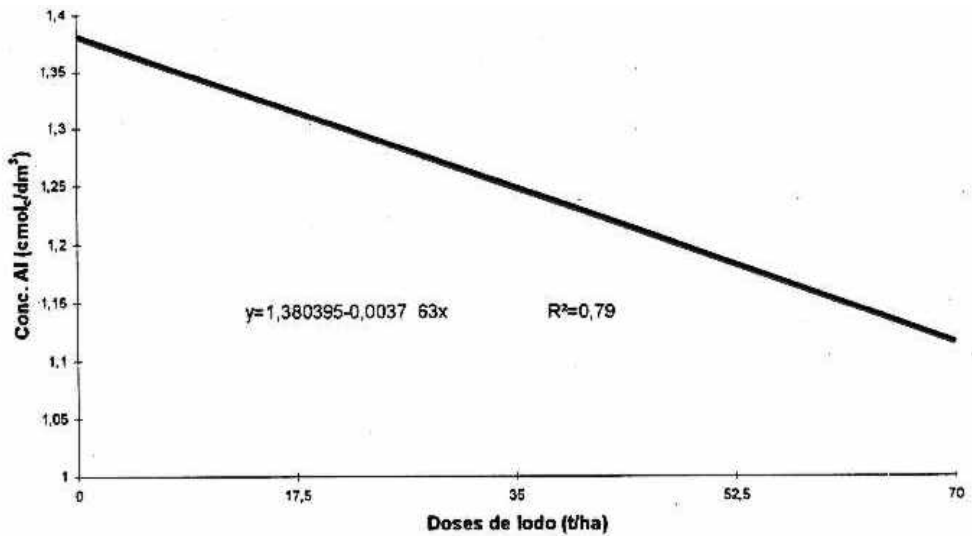


FIGURA 3. Concentração de alumínio no solo, em função das doses

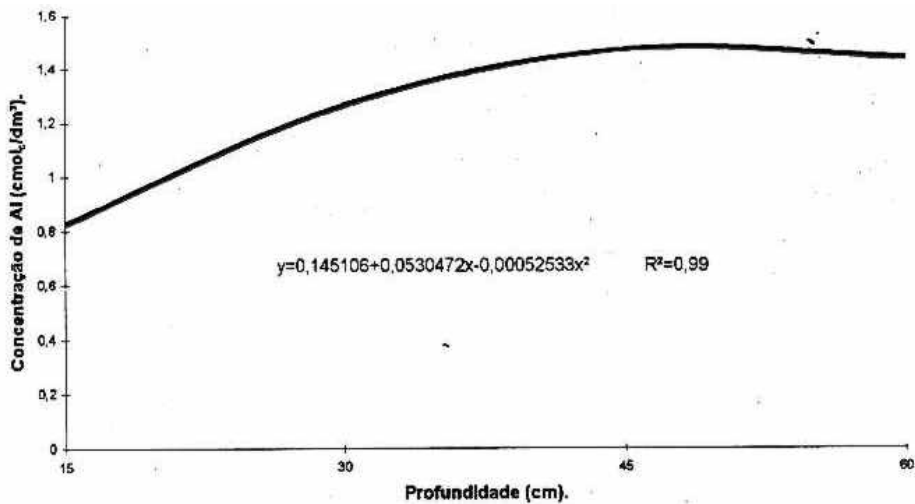


FIGURA 4. Concentração de alumínio no solo em diferentes profundidades.

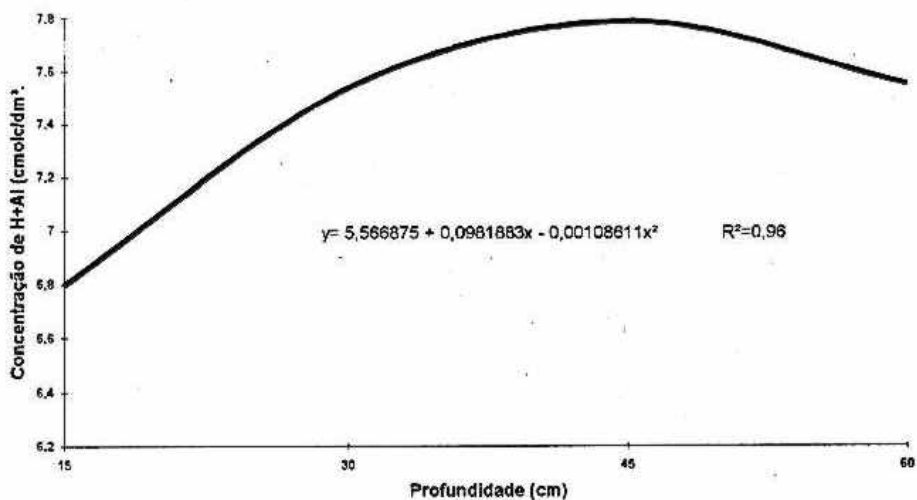


FIGURA 5. Concentração de H + Al no solo em diferentes profundidades.

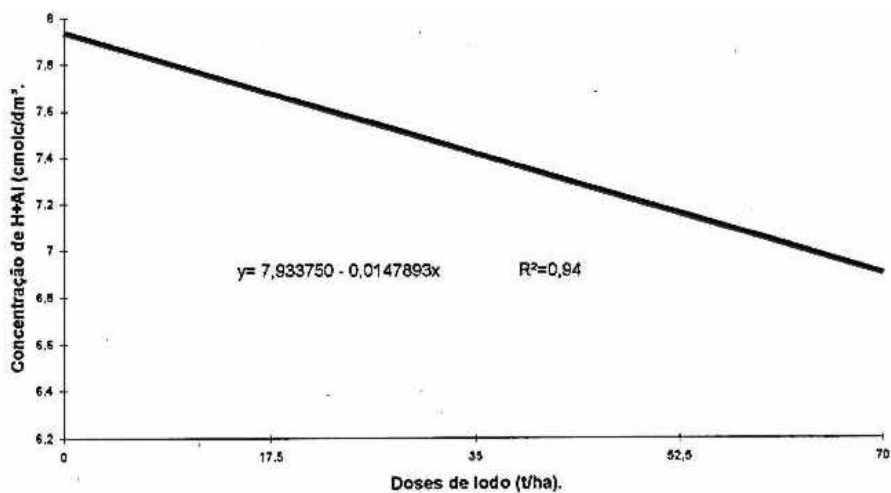


FIGURA 6. Concentração de H + Al, no solo, em função das doses de lodo.

Ao contrário do observado nesse experimento, King & Morris (1972), estudando os efeitos da aplicação de lodo líquido, tratado anaerobicamente, em um solo franco-argilo-arenoso, verificaram diminuição acentuada do pH do solo, proporcional às dosagens, nos primeiros 10 cm do solo. Também, ao estudar o efeito da aplicação de lodo de esgoto digerido anaerobicamente e de composto de lodo de esgoto sobre algumas propriedades químicas e físicas do solo "Aquic Hapludult", Epstein et al. (1976) verificaram diminuição do pH do solo de menos de uma unidade, durante o período de dois cultivos de milho. Porém, Favaretto et al. (1997) constataram que a

Boletim de Pesquisa Florestal, Colombo, n. 38, p. 39-65, Jan./Jun. 1999.

aplicação de lodo de esgoto diminui a acidez ativa e potencial do solo. Esse comportamento se assemelha ao observado neste trabalho. Por questões de sanidade e estabilização, o lodo em estudo recebe CaO, que promove a correção da acidez, dependendo da dosagem aplicada.

As concentrações naturais de Ca+Mg no solo diminuem com a profundidade (Figura 7), mais pronunciadamente nos primeiros centímetros. Com a aplicação de lodo de esgoto, há um acréscimo nas respectivas concentrações, descrito pela curva de regressão quadrática da Figura 8.

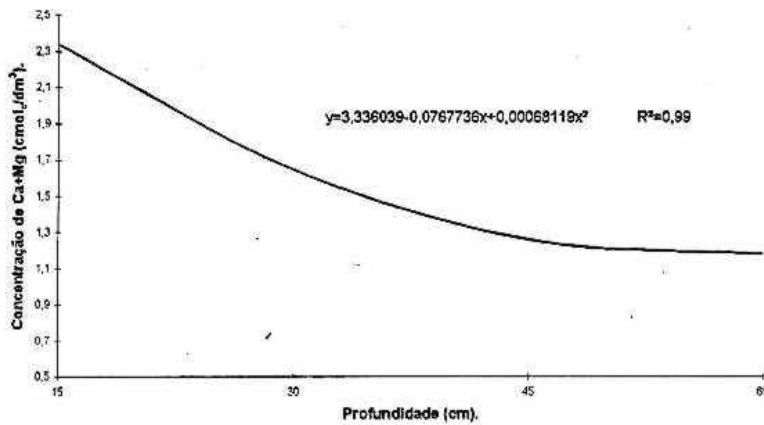


FIGURA 7. Concentração de Ca + Mg, no solo em diferentes profundidades.

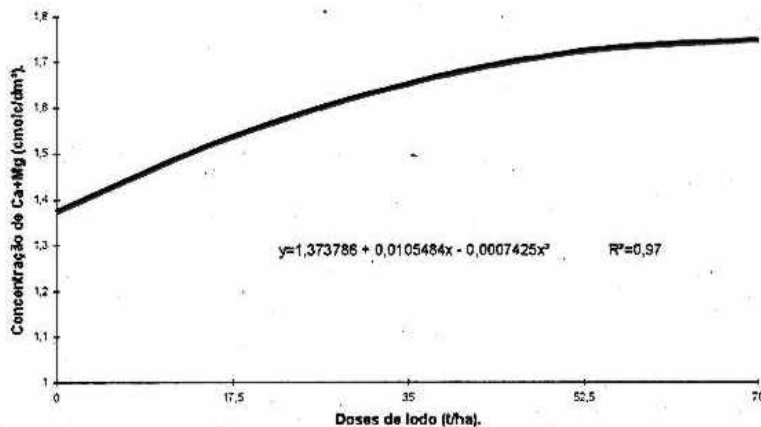


FIGURA 8. Concentração de Ca + Mg no solo, em função das doses de lodo.

As curvas de regressão quadráticas da produtividade e da dosagem de lodo sobre a concentração de Ca (Figuras 9 e 10) mostram que as concentrações de Ca solúvel no solo tiveram comportamento semelhante ao da soma de Ca e Mg, respectivamente para níveis de profundidade e de doses de lodo aplicadas.

Favaretto et al. (1997), também, observaram que os teores de Ca + Mg do solo aumentam em função de doses crescentes de lodo, atribuindo este comportamento ao material corretivo adicionado ao lodo de esgoto, o qual apresentava teores de Ca e Mg equivalentes a 10% e 6%, respectivamente, em base seca. As concentrações de Ca e de Mg no lodo de esgoto utilizado neste trabalho eram de 1,45% e 0,37%, respectivamente.

TABELA 4. Concentrações de cálcio(Ca), potássio(K), sódio(Na) e fósforo(P) no solo, obtidas pela análise de rotina para fins de

Profundidade cm	Lodo t.ha ⁻¹	Ca cmol. dm ⁻³	K cmol. dm ⁻³	Na mg.kg ⁻¹	P mg.kg ⁻¹
15	0	2,73	0,22	3,25	1,75
	17,5	3,03	0,07	4,75	1,25
	35,0	2,96	0,09	5,75	2,00
	52,5	3,23	0,09	7,25	2,00
	70,0	3,00	0,07	6,75	2,00
30	0	0,99	0,05	3,00	1,25
	17,5	1,20	0,04	3,75	1,25
	35,0	1,41	0,05	6,00	1,25
	52,5	1,57	0,05	6,75	1,00
	70,0	1,37	0,05	5,25	1,25
45	0	0,54	0,04	2,50	1,00
	17,5	0,73	0,03	4,25	1,00
	35,0	0,78	0,04	4,25	1,00
	52,5	0,86	0,05	4,75	1,00
	70,0	0,84	0,05	4,25	1,25
60	0	0,50	0,03	2,75	1,00
	17,5	0,61	0,03	3,75	1,00
	35,0	0,64	0,04	3,75	1,00
	52,5	0,69	0,04	4,50	1,00
	70,0	0,69	0,04	3,75	1,00

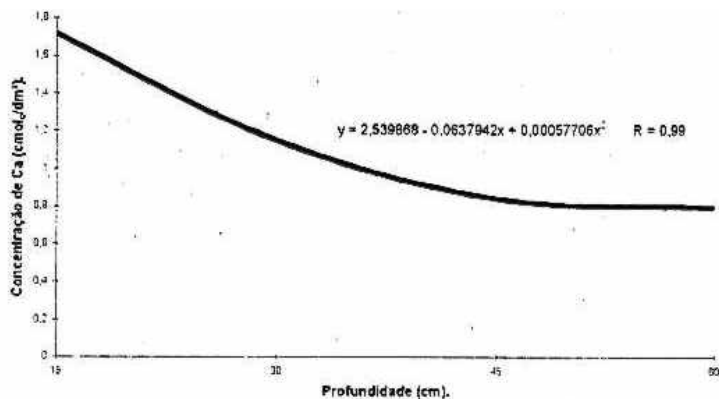


FIGURA 9. Concentração de cálcio no solo em diferentes profundidades.

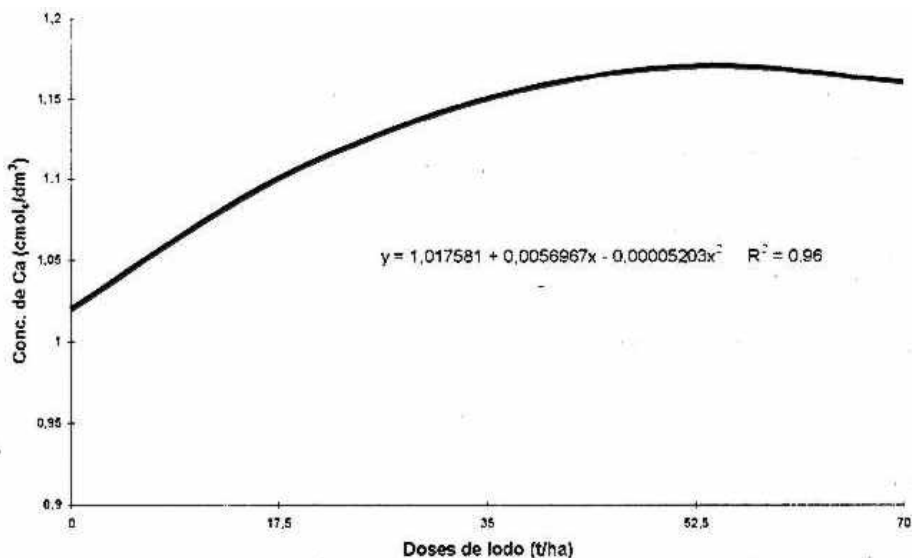


FIGURA 10. Concentração de cálcio no solo, em função da dose de lodo.

As concentrações de potássio e de fósforo não sofreram variações significativas devidas à aplicação de lodo (Tabela 4) mas, sim com a variação em profundidade (Figuras 11 e 12, respectivamente). Com relação ao teor de K, Favaretto et al. (1997), também, verificaram um comportamento semelhante. Provavelmente, isto se deve ao baixo teor deste elemento no lodo (2,37% de K₂O, base seca), bem como a elevação dos teores de Ca + Mg no solo, devido à aplicação do lodo.

Para o P, Favaretto et al. (1997) constataram aumento de concentração com a utilização do lodo de esgoto incorporado a uma profundidade de 30-40 cm. Entretanto, no presente trabalho, o lodo foi distribuído a lanço sobre a superfície, aplicando-se : 0, 2.275, 4.550, 6.825 e 9.100 kg de lodo seco por hectare, que equivale a 0; 209; 417; 626 e 834 kg de P no solo, respectivamente. Epstein et al. (1976), também, verificaram que, ao incorporar composto de esgoto e lodo de esgoto, ambos promoveram aumento do P disponível no solo, permanecendo em níveis altos até o segundo ano de estudo.

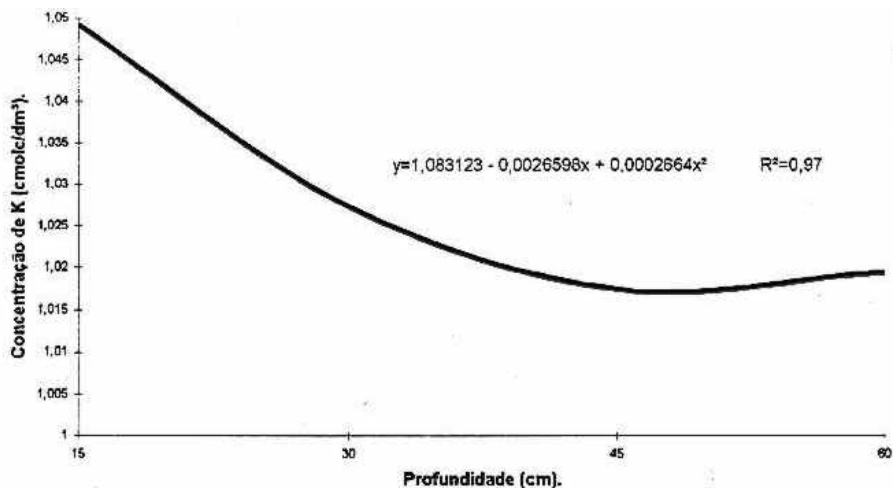


FIGURA 11. Concentração de potássio no solo em diferentes profundidades.

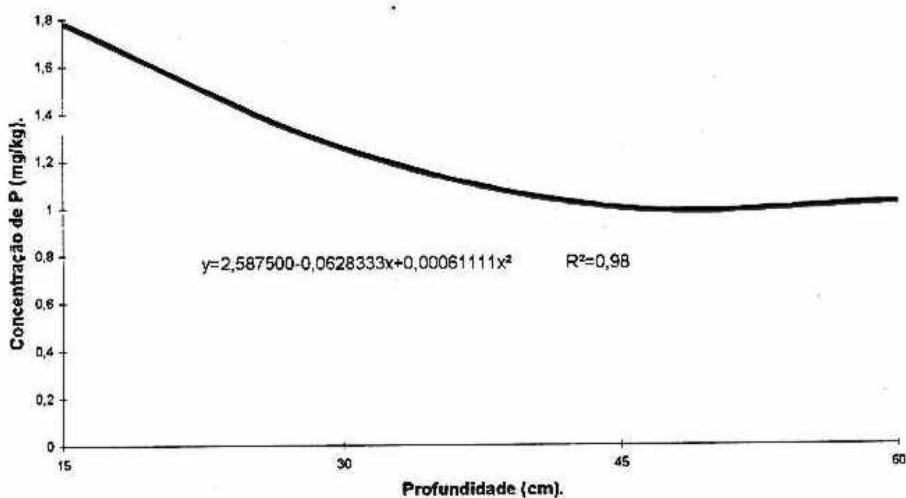


FIGURA 12. Concentração de fósforo no solo em diferentes profundidades.

A semelhança do Ca, os teores de sódio, que decrescem, naturalmente, em função da profundidade (Figura 13), aumentaram significativamente com a aplicação de lodo (Figura 14).

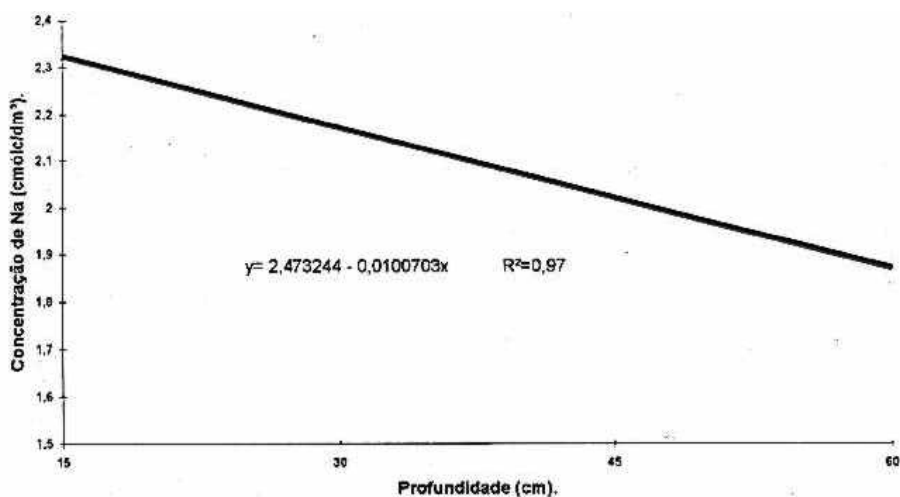


FIGURA 13. Concentração de sódio no solo em diferentes profundidades.

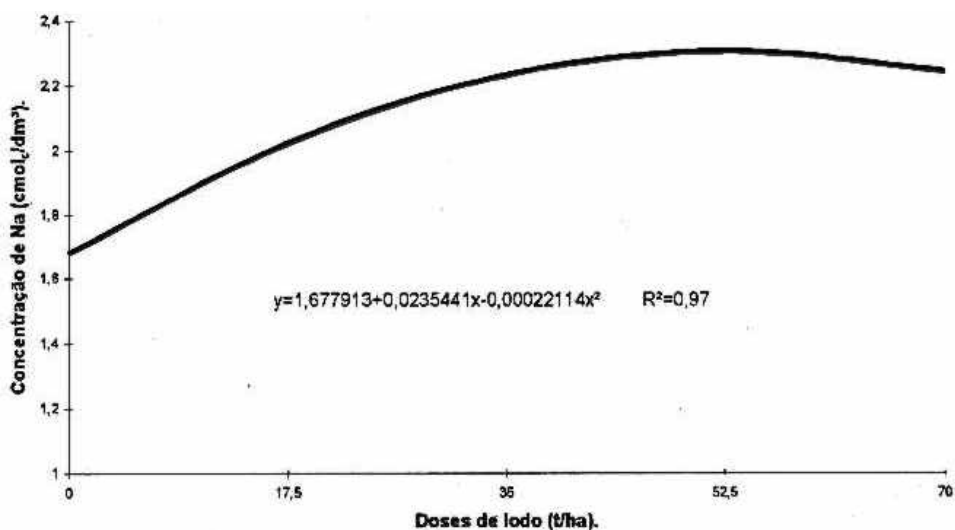


FIGURA 14. Concentração de sódio no solo, em função das doses de lodo.

Os micronutrientes cobre e ferro apresentam teores crescentes em função da profundidade, principalmente nas camadas mais profundas no caso do ferro (Tabela 5; Figuras 15 e 16). Uma equação quadrática, obtida com dados transformados em x , descreve o decréscimo na concentração do manganês, com a profundidade (Figura 17). Nem um desses três micronutrientes teve suas concentrações variadas significativamente com a aplicação de lodo. O teor de zinco não variou com a profundidade, nem com a aplicação de lodo (Tabela 5).

TABELA 5. Concentração de cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) no solo, relativa aos teores trocáveis, obtida pela análise de rotina para fins de fertilidade.

Profundidade cm	Lodo t.ha ⁻¹	Cu mg.kg ⁻¹	Fe mg.kg ⁻¹	Mn mg.kg ⁻¹	Zn mg.kg ⁻¹
15	0	2,25	74,00	7,50	5,00
	17,5	2,75	84,50	6,25	5,25
	35	2,50	79,25	6,00	5,50
	52,5	3,00	90,25	7,50	5,75
	70	2,50	76,50	7,25	4,50
30	0	3,00	73,50	4,25	4,50
	17,5	4,75	77,75	4,50	5,50
	35	3,50	82,50	4,75	5,20
	52,5	3,00	83,25	5,00	5,00
	70	3,50	75,25	4,50	4,75
45	0	2,75	106,50	5,00	4,25
	17,5	4,50	124,00	4,75	4,75
	35	3,50	148,75	4,75	5,00
	52,5	3,75	107,75	4,75	4,00
	70	6,00	116,50	5,00	5,75
60	0	4,25	150,75	6,25	5,00
	17,5	3,75	149,25	5,50	4,50
	35	3,00	153,50	4,25	3,75
	52,5	3,00	123,75	4,00	3,50
	70	4,00	136,25	4,00	5,25

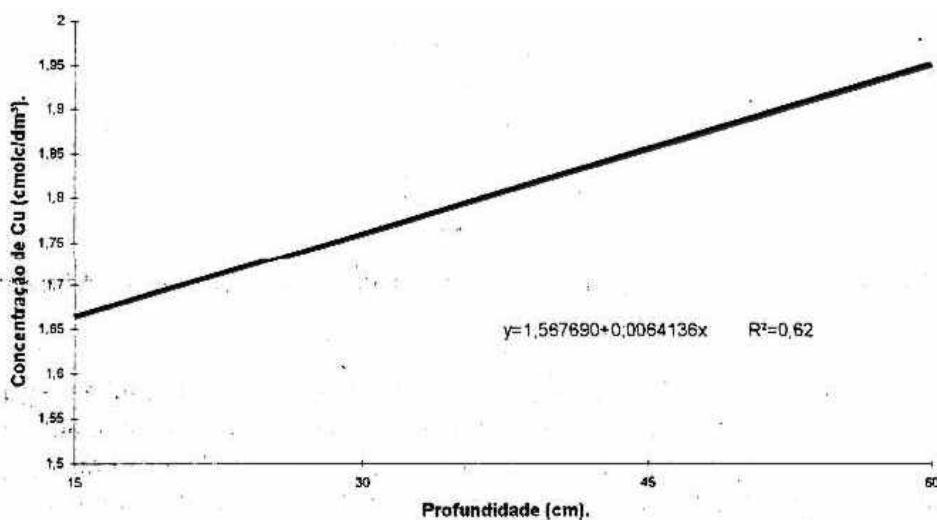


FIGURA 15. Concentração de cobre, no solo, em função da profundidade.

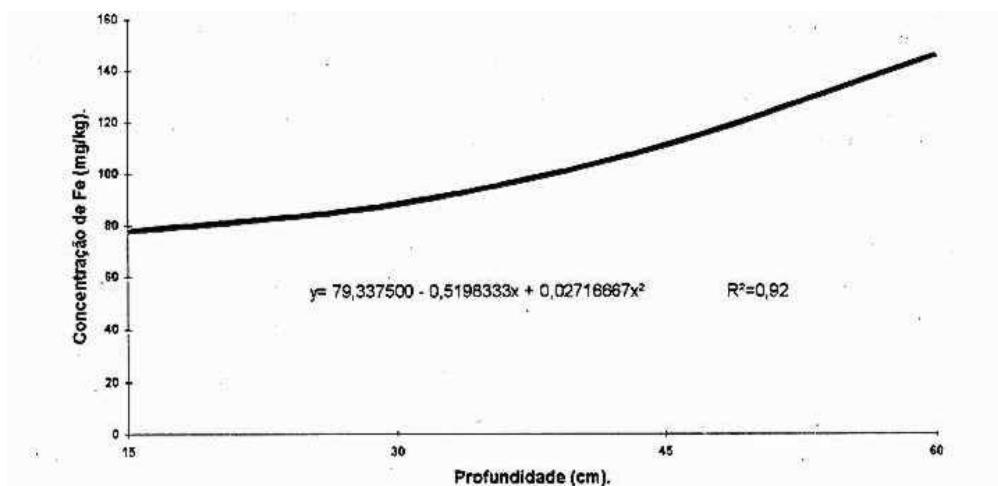


FIGURA 16. Concentração de ferro no solo em diferentes profundidades.

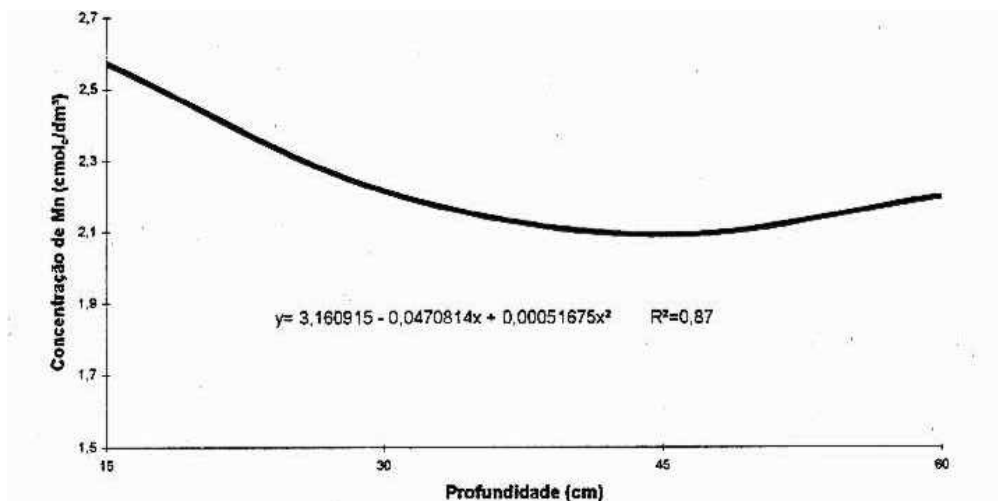


FIGURA 17. Concentração de manganês no solo em diferentes profundidades.

King & Moris (1972) constataram que os níveis de Mn solúvel em água e trocável aumentam mais em função da redução do pH, ocasionado pela aplicação do lodo, do que pelas grandes quantidades de Mn fornecido pelo lodo. Além disso, verificaram níveis altos de Zn trocável na camada de 0-15cm ao se aplicar as doses maiores de lodo líquido digerido anaerobicamente.

Teores totais:

Não houve variação na concentração de alumínio com a profundidade, nem com a aplicação de lodo (Tabela 6), significando ser desprezível o aporte deste elemento através do resíduo utilizado. Não foram detectadas diferenças significativas nos teores de cálcio. Mas, um teste de regressão polinomial para os níveis de tratamentos à 15 cm, revelou significância ao nível de de 5% para os dados ajustados a uma regressão linear (Figura 18). Isto resultou da aplicação superficial e sem incorporação do lodo de esgoto que, por questões sanitárias, havia recebido calagem com CaO ao redor de 30% de seu peso seco. A queda brusca nos teores de Ca e Mg com a aplicação de altas doses de lodo nas profundidades de 45cm e 60cm (Tabela 6) só se explicaria pela amostragem de material retrabalhado e, portanto, heterogêneo, ocorrente nessa área.

TABELA 6. Teores totais de alumínio (Al), cálcio (Ca), potássio (K), magnésio (Mg) e fósforo (P) no solo, amostrado após as colheitas do feijão e do milho, em quatro profundidades, em parcelas com diferentes dosagens de lodo de esgoto aplicadas.

Profundidade cm	Lodo t.ha ⁻¹	Al %	Ca mg.kg ⁻¹	K mg.kg ⁻¹	Mg mg.kg ⁻¹	P mg.kg ⁻¹
15	0	4,04	787	903	863	<250
	17,5	4,07	3023	1017	1034	<250
	35,0	4,13	3095	1286	1444	<250
	52,5	4,01	5443	1299	1621	<250
	70,0	2,86	5068	1419	1635	<250
30	0	4,27	2728	1256	1254	<250
	17,5	4,13	1335	1100	992	<250
	35,0	4,29	2446	1179	1283	<250
	52,5	3,98	4509	1760	1669	<250
	70,0	3,85	3389	1263	1453	<250
45	0	3,85	2397	1455	1151	<250
	17,5	4,13	2703	1410	1259	<250
	35,0	4,61	3109	1715	1513	<250
	52,5	4,02	1762	1399	1077	<250
	70,0	4,15	467	1267	979	<250
60	0	3,71	3350	1710	1391	<250
	17,5	3,86	2414	1547	1270	<250
	35,0	3,95	3500	1581	1283	<250
	52,5	3,99	3718	1723	1357	<250
	70,0	3,33	404	1321	791	<250

A variação no teor de potássio com a profundidade, é descrita por uma curva de regressão linear, (Figura 19). Como não houve efeito significativo da aplicação de lodo sobre o teor de K, o aumento nessa variável, observado em diferentes profundidade se deve à distribuição natural deste ion, que deve estar relacionada ao material de origem dos solos estudados (retrabalhamento da formação Guabirotuba sobre embasamento cristalino), como denotam os valores observados sem a aplicação de lodo, nas respectivas profundidades, (Tabela 6).

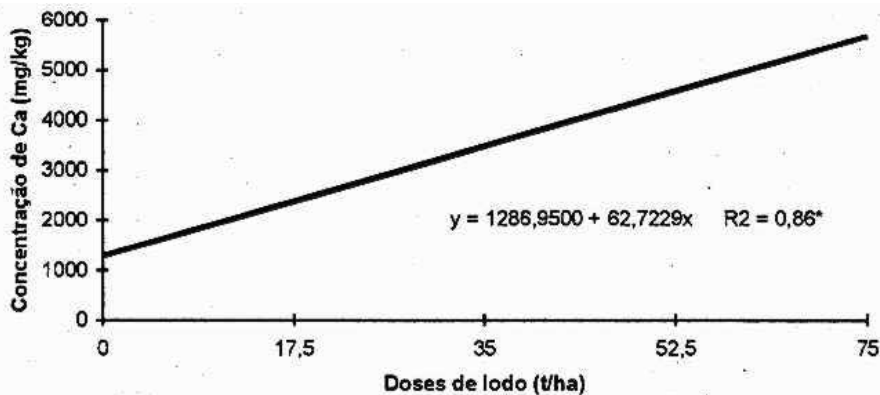


FIGURA 18. Concentração de cálcio no solo, na profundidade de 15 cm, em parcelas tratadas com diferentes dosagens de lodo.

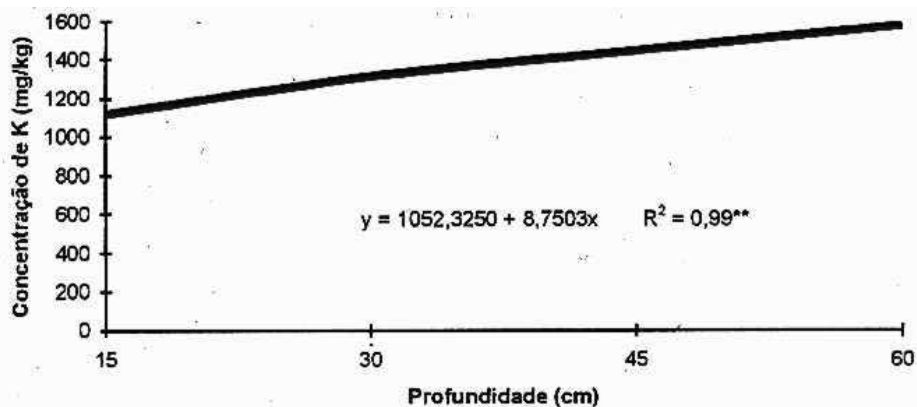


FIGURA 19. Concentração de potássio no solo em diferentes profundidades.

Quanto aos micronutrientes essenciais de plantas analisados (Tabela 7), houve resposta significativa somente para Fe e Zn.

Os teores totais de Fe no solo variaram em profundidade e em função da dose de lodo aplicada, cujas tendências são definidas pelas equações quadráticas apresentadas nas Figuras. 21 e 22. Embora este comportamento esteja estatisticamente comprovado em termos de concentração, seus valores expressam diferenças de ordem de grandeza irrelevantes para o ambiente solo. Segundo Lindsay (1979), a variação comum do teor de Fe no solo é de 7 a 550 g.kg⁻¹. Volkoff et al. (1989), trabalhando com Cambissolo podzólico, encontraram valores entre 28 e 58 g.kg⁻¹ de Fe total para profundidades semelhantes às referidas neste trabalho. Assim, os teores encontrados neste trabalho encaixam-se na variação comumente encontrada, bem como estão dentro da amplitude esperada para os cambissolos e cambissolos podzólicos.

TABELA 7. Teores totais de micronutrientes essenciais cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn) e molibdênio (Mo) no solo, amostrado após as colheitas de feijão e de milho, em quatro profundidades, em função das doses de lodo de esgoto aplicadas.

Profundidade cm	Lodo t.ha ⁻¹	Cu mg.kg ⁻¹	Fe g.kg ⁻¹	Mn mg.kg ⁻¹	Zn mg.kg ⁻¹	Mo mg.kg ⁻¹
15	0	<25,0	32,5	268,25	62,50	<50
	17,5	<25,0	31,5	265,00	52,75	<50
	35,0	<25,0	32,6	279,75	46,50	<50
	52,5	<25,0	32,2	281,75	53,75	<50
	70,0	<25,0	24,7	210,75	42,75	<50
30	0	<25,0	34,2	258,25	56,00	<50
	17,5	<25,0	33,9	241,50	55,00	<50
	35,0	<25,0	35,3	244,50	48,00	<50
	52,5	<25,0	33,8	237,00	49,50	<50
	70,0	<25,0	31,5	217,50	47,00	<50
45	0	<25,0	33,7	240,50	50,50	<50
	17,5	<25,0	34,9	242,50	47,75	<50
	35,0	<25,0	36,0	263,50	63,25	<50
	52,5	<25,0	32,7	229,00	58,50	<50
	70,0	<25,0	33,8	261,00	46,50	<50
60	0	<25,0	32,8	241,00	48,00	<50
	17,5	<25,0	33,4	251,50	45,00	<50
	35,0	<25,0	33,2	243,25	54,75	<50
	52,5	<25,0	34,3	266,25	47,25	<50
	70,0	<25,0	28,2	223,50	38,25	<50

As curvas quadráticas, descrevem a variação na concentração do Fe em função da profundidade, Figura 21, bem como das doses de lodo de esgoto aplicadas, Figura 22.

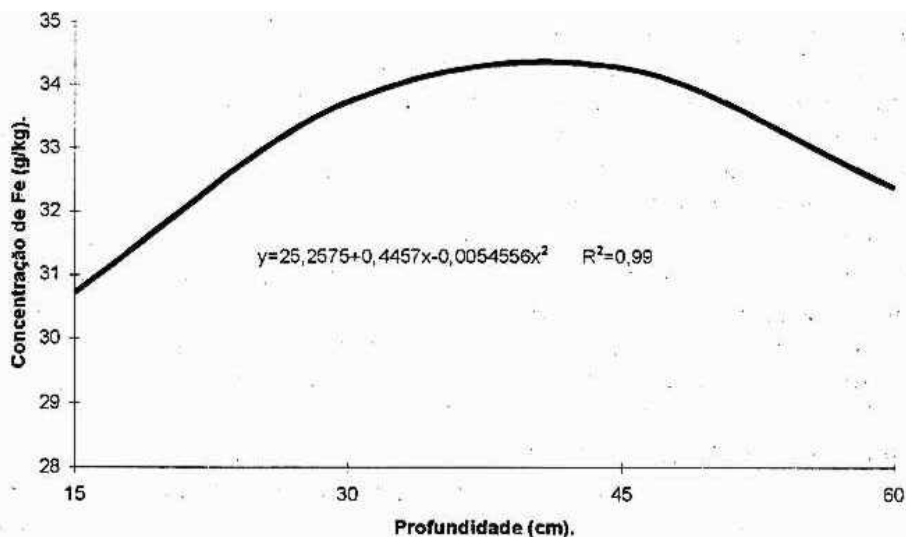


FIGURA 20. Concentração de ferro no solo em diferentes profundidades.

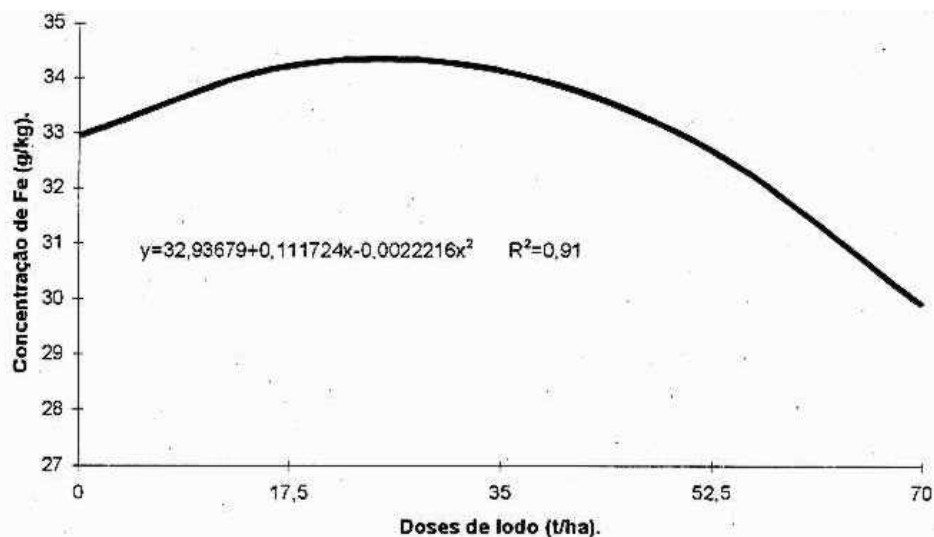


FIGURA 21. Concentração de ferro no solo, em função das doses de lodo.

Quanto ao zinco, cuja faixa de concentração em cambissolos, segundo Kabata-Pendias (1992), varia de 9 a 362 mg.kg^{-1} (média de 60 mg.kg^{-1}), a análise de variância indicou variação significativa entre os tratamentos ao nível de 5%. Houve diminuição dos teores desse elemento com o aumento das doses de lodo aplicadas (Figura 22). Este comportamento poderia ser facilmente atribuído à complexação do Zn pela matéria orgânica, caso se tratasse de teores solúveis mas, em se tratando de teores totais, onde se liberou o nutriente através da oxidação total da matéria orgânica, imputamos tal comportamento a uma possível solubilização do elemento

com conseqüente perdas por lavagem. Por outro lado, a ausência de sintomas de deficiência ou de toxidez nas plantas cultivadas neste ensaio, revelam relevância pequena deste fato frente aos objetivos deste trabalho.

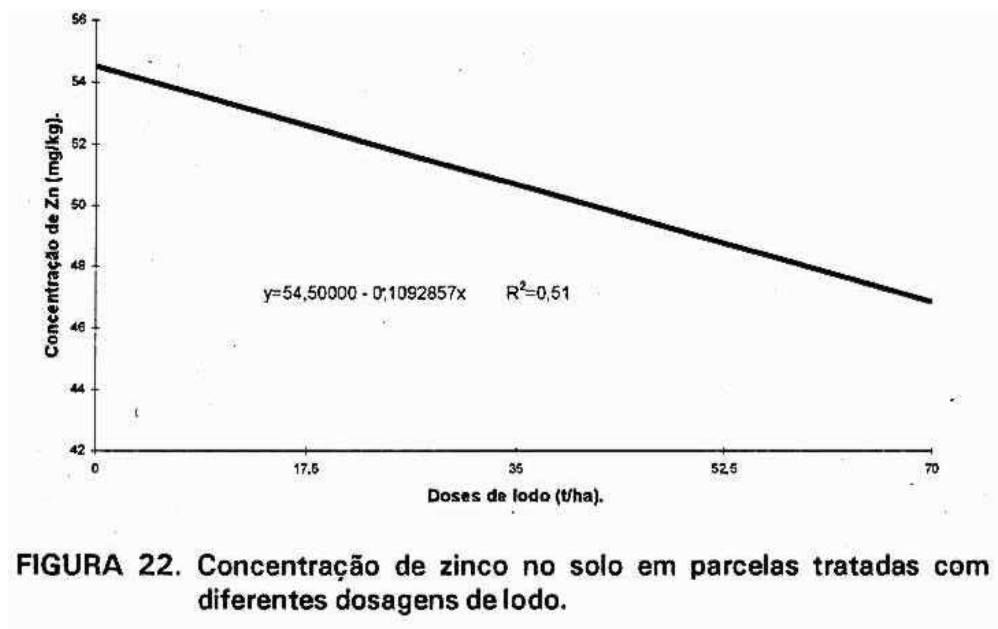


FIGURA 22. Concentração de zinco no solo em parcelas tratadas com diferentes dosagens de lodo.

Quanto aos teores de manganês, que variam de 45 a 9200 mg.kg⁻¹ neste tipo de solo (Kabata-Pendias, 1992), não foram observadas diferenças significativas com a aplicação de lodo (Tabela 7). Os teores de cobre e molibdênio ficaram abaixo do limite de detecção do aparelho.

As concentrações dos metais pesados (Cd, Pb, Cr e Ni) (Tabela 8) foram muito baixas, sem variação significativa, tanto para doses quanto para profundidade de amostragem.

Os intervalos de variação nas concentrações de Cd = 0,08 a 1,61; Pb = 1,5 a 7,0; Cr = 4 a 1100 e Ni = 3 a 110 mg.kg⁻¹, para os cambissolos em geral (Kabata-Pendias, 1992), abrigam os valores encontrados na Tabela 8. As concentrações de Cd, Pb e Ni têm seus valores imprecisamente determinados, por estarem abaixo do limite de detecção do aparelho. Quanto ao Cr, a homogeneidade nos valores de suas concentrações, revelam a inexpressividade deste elemento na composição do lodo de esgoto utilizado.

TABELA 8. Teores totais de metais pesados cádmio (Cd), cromo (Cr), chumbo (Pb) e níquel (Ni) no solo, amostrados em quatro profundidades, após a colheita do feijão e do milho, em função das doses de lodo de esgoto aplicadas.

Profundidade cm	Lodo t.ha ⁻¹	Cd mg.kg ⁻¹	Pb mg.kg ⁻¹	Cr mg.kg ⁻¹	Ni mg.kg ⁻¹
15	0	< 25	< 50	60,00	< 50
	17,5	< 25	< 50	75,00	< 50
	35,0	< 25	< 50	66,25	< 50
	52,5	< 25	< 50	56,50	< 50
	70,0	< 25	< 50	56,00	< 50
30	0	< 25	< 50	61,00	< 50
	17,5	< 25	< 50	84,50	< 50
	35,0	< 25	< 50	65,25	< 50
	52,5	< 25	< 50	61,75	< 50
	70,0	< 25	< 50	61,75	< 50
45	0	< 25	< 50	67,25	< 50
	17,5	< 25	< 50	67,25	< 50
	35,0	< 25	< 50	81,25	< 50
	52,5	< 25	< 50	62,75	< 50
	70,0	< 25	< 50	71,25	< 50
60	0	< 25	< 50	63,75	< 50
	17,5	< 25	< 50	64,75	< 50
	35,0	< 25	< 50	69,00	< 50
	52,5	< 25	< 50	63,00	< 50
	70,0	< 25	< 50	57,25	< 50

Os elementos Co, Sr, Ti e V apresentaram o mesmo padrão estatístico dos metais pesados, sem diferença estatística nos seus teores nas diferentes profundidades e com aplicação de lodo (Tabela 9). Os valores encontrados estão contidos nos intervalos de valores citados por Kabata-Pendias (1992) para os cambissolos (Co = 3 a 58; Sr = 15 a 1000; Ti = 500 a 24000 mg.kg⁻¹).

TABELA 9. Teores totais de outros elementos cobalto (Co), estrôncio (Sr), titânio (Ti) e vanádio (V) no solo, amostrados após a colheita do feijão e do milho, em função da profundidade e das doses de lodo de esgoto aplicadas.

Profundidade cm	Lodo t.ha ⁻¹	Co mg.kg ⁻¹	Sr mg.kg ⁻¹	Ti g.kg ⁻¹	V mg.kg ⁻¹
15	0	<25	25,00	9,9	52,75
	17,5	<25	30,75	9,8	52,00
	35,0	<25	35,00	10,0	51,50
	52,5	<25	29,00	10,2	53,75
	70,0	<25	44,00	8,4	51,50
30	0	<25	31,25	9,9	52,25
	17,5	<25	29,75	9,8	50,00
	35,0	<25	26,50	9,8	50,00
	52,5	<25	41,75	10,0	54,50
	70,0	<25	25,75	9,7	52,00
45	0	<25	33,00	9,7	51,00
	17,5	<25	25,25	9,7	52,00
	35,0	<25	37,50	10,2	55,00
	52,5	<25	25,00	9,7	50,25
	70,0	<25	27,00	10,3	98,75
60	0	<25	44,00	10,1	50,00
	17,5	<25	27,00	9,9	51,25
	35,0	<25	29,50	9,9	56,25
	52,5	<25	26,00	10,3	56,75
	70,0	<25	28,00	9,3	50,00

Considerações gerais

Os resultados obtidos para os teores totais e teores solúveis dos elementos químicos analisados são coerentes com o desenvolvimento das culturas componentes do sistema de produção da bracatinga (feijão, milho e bracatinga) deste ensaio (Lourenço et al., 1996). As plantas não apresentaram sintomas de deficiências ou de excessos dos nutrientes minerais analisados. As diferenças de produtividade, em função das diferentes dosagens de lodo aplicadas, seriam devidas às melhorias nas condições físicas do solo e não ao aporte dos nutrientes analisados, pois não foram observadas diferenças significativas nos teores totais dos elementos, com exceção do Ca, para os primeiros 15 cm de profundidade.

Este comportamento é atribuído à calagem prévia sofrida pelo lodo empregado, bem como à sua distribuição superficial e sem incorporação.

Portanto, infere-se que as aplicações de lodo não forneceram grandes aportes minerais ao solo. Por ser um material calado, a aplicação desse lodo resultou no aumento do pH e do conteúdo de Ca + Mg solúveis do solo e conseqüente diminuição de Al + H.

4. CONCLUSÃO

A adição de até 70t.ha⁻¹ (base úmida) de lodo de esgoto calado da ETE-Belém, de Curitiba-PR, na superfície de um Cambissolo álico epidistrófico, sob um sistema de produção da bracinga, não produz variação significativa nas concentrações dos elementos químicos no perfil do solo.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 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**, n.1 3, p.187-192, 1989.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Florestas (Colombo, PR). Manual técnico da bracinga (*Mimosa scabrella* Benth.). Colombo, 1988. 70p. (EMBRAPA-CNPQ. Documentos, 20).
- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 1979. paginação irregular.
- EPSTEIN, E.; TAYLOR, M.; CHANEY, R.L. Effects of sewage sludge and sludge compost applied to soil on some soil physical and chemical properties. **Journal Environmental Quality**, Madison, v.5, n.4, p.422-426, 1976.
- FAVARETTO, N.; DESCHAMPS, C., MOTTA, A.C.V. Efeito do lodo de esgoto na fertilidade do solo e no crescimento e produtividade de milho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., 1997, Rio de Janeiro. **Anais**. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. 1 CD-ROM.
- FRESQUEZ, P.R.; FRANGIS, R.E.; DENNIS, G.L. Sewage sludge effects on soil and plant quality in a degraded, semiarid grassland. **Journal Environmental Quality**, Madison, v.1 9, n.2, p.324-329, 1990.
- JOOST, R.E.; OLSEN, P.J.; JONES, J.H. Revegetation and Minesoil Development of Coal Refuse Amended with Sewage Sludge and Limestone. **Journal Environmental Quality**, v.16, n.1, 1987. p.65-68.
- KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants**. 2.ed. Boca Raton: CRC, 1992. 365p.
- KING, L.D.; MORRIS, H.D. Land disposal of liquid sewage sludge: II. the effect on soil pH, manganese, zinc, and growth and chemical composition of rye (*Secale cereale* L.). **Journal Environmental Quality**, Madison, v.1, n.4, p.425-429, 1972.
- LOURENÇO, R.S.; ANJOS, A.R.M. dos; LIBARDI, P. L.; MEDRADO, M.J.S. Efeito do lodo de esgoto na produtividade de milho e feijão, no sistema de produção da bracinga. **Sanare**, Curitiba, v.5, n.5, p.90-92, 1996.
- SANTOS FILHO, A.S.; TOURINHO, L.C.N. Caracterizações analíticas de lodo e interpretação para fins agrícolas e florestais. I - Propriedades físicas e químicas. **Floresta**, Curitiba, v.12, n.1, p.44-48, jun. 1981a.

- SANTOS FILHO, A.S.; TOURINHO, L.C.N. Caracterizações analíticas de lodo e interpretação para fins agrícolas e florestais. II - Composição química total. **Floresta**, Curitiba, v.12, n.2, p.28-35, dez. 1981b.
- SILVA, F.C. **Uso agrônômico de lodo de esgoto: efeitos em fertilidade do solo e qualidade da cana-de-açúcar**. Piracicaba: ESALQ, 1995. 159p. Tese doutorado.
- SOUZA, M.L. de P.; ANDREOLLI, C.V.; COMIN, J.J.; CASTILHO, D.S.B. de. **Projeto estudo preliminar para definição de parâmetros sanitários ambientais e agrônômicos para uso agrícola de lodo de esgoto**. Curitiba: [s.n.], 1992. 43p.
- TOPPER, K.F.; SABEY, B.R. Sewage sludge as a coal mine spoil amendment for revegetation in Colorado. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v.15, n.1, p.44-49, 1986.
- VOLKOFF, B.; MELFI, A.J.; CERRI, C.C. Solos podzólicos e cambissolos eutróficos do alto rio Purus (Estado do Acre). **Revista brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.13, n.3, p.363-372, 1989.