



Revista Brasileira de Ciência do Solo

ISSN: 0100-0683

revista@sbccs.org.br

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo

Brasil

ABREU JUNIOR, C. H.; MURAOKA, T.; LAVORANTE, A. F.; ALVAREZ V., F. C.
CONDUTIVIDADE ELÉTRICA, REAÇÃO DO SOLO E ACIDEZ POTENCIAL EM SOLOS ADUBADOS
COM COMPOSTO DE LIXO

Revista Brasileira de Ciência do Solo, vol. 24, núm. 3, 2000, pp. 635-647

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo

Viçosa, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180218342016>

- ▶ Como citar este artigo
- ▶ Número completo
- ▶ Mais artigos
- ▶ Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

SEÇÃO IX - POLUIÇÃO DO SOLO E QUALIDADE AMBIENTAL

CONDUTIVIDADE ELÉTRICA, REAÇÃO DO SOLO E ACIDEZ POTENCIAL EM SOLOS ADUBADOS COM COMPOSTO DE LIXO⁽¹⁾

C. H. ABREU JUNIOR⁽²⁾, T. MURAOKA⁽³⁾,
A. F. LAVORANTE⁽⁴⁾ & F. C. ALVAREZ V.⁽⁴⁾

RESUMO

Foram estudados os efeitos da aplicação do composto de lixo, proveniente da cidade de São Paulo (usina de compostagem São Matheus), na presença e ausência de calcário dolomítico (para elevar a saturação por bases a 70%) e de adubos minerais, sobre a condutividade elétrica (CE), pH em CaCl_2 0,01 mol L⁻¹ e em água, e acidez potencial ($\text{H} + \text{Al}$) de 21 solos ácidos e cinco solos alcalinos, nos quais o calcário foi substituído por gesso. O experimento foi realizado em condições de casa de vegetação em delineamento em blocos ao acaso, com parcelas em faixas e três repetições. Foi verificado que a aplicação do composto de lixo promoveu o aumento da CE dos solos. Todavia, esse efeito foi inferior àquele causado pelos adubos minerais. Os maiores valores de CE (> 2 dS m⁻¹) foram causados pelas aplicações do composto + calcário + adubo nos solos ácidos e do composto + adubo + gesso nos solos alcalinos. Porém, quanto maior a capacidade de troca catiônica (CTC) inicial dos solos ácidos e pH inicial dos solos alcalinos, menores foram os efeitos dos tratamentos sobre o incremento da CE. A aplicação do composto promoveu, também, o aumento do pH e a redução da acidez potencial. Esse efeito do composto foi, em média, superior àquele causado pela aplicação do calcário. A aplicação conjunta do composto e calcário promoveu um efeito aditivo de seus efeitos isolados sobre o pH e acidez potencial do solo. A adição dos adubos minerais tendeu a reduzir o pH por causa da acidificação residual da uréia. Esse efeito foi bem evidente nos solos alcalinos. O aumento do pH e da CE foi acompanhado por uma diminuição na diferença entre os valores de pH medido em CaCl_2 e em água, notadamente nos solos ácidos. A aplicação do composto de lixo para melhorar a acidez do solo, manejando-se adequadamente o calcário e adubos minerais nos solos ácidos ou gesso nos solos alcalinos, parece ser uma prática agrícola viável.

Termos de indexação: adubação orgânica, composto de resíduo urbano sólido, propriedades físico-químicas dos solos.

⁽¹⁾ Parte da Tese de Doutorado do primeiro autor, apresentada ao Curso de Pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ/USP. Trabalho com apoio financeiro parcial da FAPESP. Recebido para publicação em junho de 1999 e aprovado em junho de 2000.

⁽²⁾ Engenheiro-Agrônomo, Doutor, CENA/USP, Laboratório de Fertilidade do Solo. Caixa Postal 96, CEP 13400-970 Piracicaba (SP). E-mail: cahabreu@carpa.ciagri.usp.br

⁽³⁾ Professor do CENA/USP, Laboratório de Fertilidade do Solo. Bolsista do CNPq. E-mail: muraoka@cena.usp.br

⁽⁴⁾ Pós-Graduando do CENA/USP, Laboratório de Fertilidade do Solo.

SUMMARY: ELECTRICAL CONDUCTIVITY, pH, AND POTENTIAL ACIDITY IN SOILS TREATED WITH SOLID URBAN WASTE COMPOST

This paper reports the effects of applying solid urban waste compost to 21 acid soils and five alkaline soils on the electrical conductivity (EC), pH (both in CaCl_2 0.01 mol L⁻¹ and in water), and potential acidity ($H + Al$). The compost was collected at São Matheus Treatment Plant, São Paulo. In acid soils, the compost was applied with and without mineral fertilizers and dolomitic lime (to reach 70% of base saturation). Lime was substituted by gypsum in alkaline soils. The experiment was carried out under greenhouse conditions on a split-plot completely randomized block design with three replicates. It was observed that the EC and the pH were increased, and potential acidity was decreased by compost application. However, the EC values due to the compost were lower than those due to the fertilizer. Consequently, the greatest EC values (> 2 dS m⁻¹) were observed when acid soils were treated with compost + lime + fertilizer, and alkaline soils with compost + gypsum + fertilizer. In addition, the compost application was, on average, more effective than lime for soil pH and potential acidity amelioration. Thus the application of compost + lime caused both a greater increase in pH and a greater decrease in potential acidity. The treatments containing mineral fertilizers showed lower values of pH than those without fertilizer, mainly due to the nitrification reaction following urea hydrolysis. This effect was much clearer for alkaline soils. For acid soils, the higher the values of pH and EC, the lower was the difference between the pH measured in CaCl_2 and in water. The application of compost to ameliorate soil acidity may be feasible in the field if fertilizers and lime (for acid soils) or gypsum (for alkaline soils) are also properly managed.

Index terms: organic fertilizer, solid urban waste compost, physical-chemical soil properties.

INTRODUÇÃO

Toda e qualquer atividade do homem tem como consequência a produção de resíduos e a alteração do meio que o cerca. O desenvolvimento dos grandes centros urbanos tem ocasionado aumento desordenado na geração de lixo e na poluição ambiental (Mattiazzo-Prezotto, 1992; Melo et al., 1997; Cravo et al., 1998). Das práticas utilizadas com o intuito de reduzir o volume de lixo, podem-se destacar a incineração, a deposição em aterros sanitários, a reciclagem dos diversos materiais reaproveitáveis via coleta seletiva e a compostagem para a aplicação na agricultura (Kiehl, 1985; Mattiazzo-Prezotto, 1992; Xin et al., 1992; Ferro Neto, 1994; Cravo et al., 1998; Oliveira, 2000).

Dentre os principais efeitos da aplicação de composto de lixo sobre os atributos químicos dos solos ácidos, destacam-se a elevação do pH, a neutralização da acidez trocável, a redução da acidez potencial, o aumento da disponibilidade de fósforo, potássio, cálcio, magnésio e o aumento da capacidade de troca catiônica (Giordano et al., 1975; Mazur et al., 1983; Kiehl, 1985; Melo et al., 1997, Oliveira, 2000). Recentemente, Wong et al. (1998) mostraram que o aumento do pH de solos tropicais ácidos tratados com compostos de lixo é diretamente proporcional à capacidade de consumo de prótons e à soma de bases trocáveis do material orgânico. Esse efeito está associado também à qualidade e quantidade da

matéria orgânica adicionada aos solos pelo composto de lixo (Oliveira, 2000).

Concomitantemente ao aumento do pH do solo, em decorrência da aplicação de composto de lixo, também tem sido relatado o aumento da salinidade (Hortenstine & Rothwell, 1972; Melo et al., 1997; Oliveira, 2000), a qual pode ser facilmente avaliada pela determinação da condutividade elétrica (CE). Por essa razão, o aumento da salinidade, atribuído à aplicação de altas doses de composto (Melo et al., 1997; Oliveira, 2000) ou de adubos minerais (Raij, 1991), notadamente com cloreto de potássio e uréia, diminui o potencial osmótico da água no solo, resultando em potencial total da água na solução do solo mais negativo que o potencial total da água nas células da raiz. Como consequência, a planta perde água para o solo e sofre danos fisiológicos que podem levá-la à morte. De acordo com Maas (1985), as culturas de feijão, cana-de-açúcar e milho são muito sensíveis à salinidade (CE limite em extrato de saturação inferior a 2 dS m⁻¹) e a de arroz sensível (CE limite de 3 dS m⁻¹).

A despeito desse fato, o composto de lixo tem também sido aplicado em solos alcalinos, objetivando a melhoria dos atributos físicos e químicos, em substituição ao gesso. Nesses solos, o composto tem promovido o aumento da solubilidade de cálcio, a troca de sódio pelo cálcio no complexo de troca, a lixiviação do sódio e a diminuição do pH (Avnimelech et al., 1990, 1994).

O presente trabalho teve por objetivo o estudo dos efeitos da aplicação do composto de lixo, proveniente da usina São Matheus, da cidade de São Paulo, na presença e ausência de calcário e adubos minerais, sobre a condutividade elétrica, pH e acidez potencial de solos de diferentes regiões do Brasil.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizadas amostras da camada superficial (0-20 cm de profundidade) de 21 solos ácidos e cinco solos alcalinos de diferentes regiões do Brasil (Quadro 1). As amostras dos solos, após a caracterização granulométrica pelo método do densímetro, foram passadas em peneira de 2 mm de malha, armazenadas em sacos plásticos e analisadas quimicamente (Quadro 2), conforme descrito em Raij et al. (1987). O composto de resíduo urbano sólido foi coletado na usina de compostagem São Matheus, da cidade de São Paulo (SP). Para a utilização no experimento, a amostra do composto foi seca ao ar, homogeneizada, passada em peneira de 4 mm de malha e analisada física e quimicamente (Quadro 3).

O experimento foi realizado em casa de vegetação no Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA/USP), em Piracicaba (SP), utilizando vassos plásticos que continham 1,1 dm³ de amostra dos diferentes solos. As amostras dos solos ácidos receberam uma quantidade de calcário dolomítico (PRNT de 104%) suficiente para elevar a saturação por bases a 70% (Quadro 2), nos respectivos tratamentos. As amostras dos solos alcalinos receberam 3 g dm⁻³ de gesso, correspondente a 25% da necessidade máxima de gesso para a correção do solo Salino-Sódico (Santos, 1995), em substituição ao calcário. As amostras receberam, então, água destilada-deionizada, suficiente para manter a umidade em 60% da capacidade de retenção de água, e foram incubadas por 30 dias, mantendo-se as mesmas condições de umidade em todos os tratamentos com pesagem e rega diárias.

Após a incubação e interrompida a rega, o composto de lixo e os adubos que continham macro e micronutrientes foram misturados e homogeneizados às amostras dos solos, nos respectivos tratamentos. O composto foi aplicado na dose de 30 g dm⁻³. Nitrogênio, fósforo e potássio foram aplicados nas doses de 100, 150 e 100 mg dm⁻³, nas formas de uréia, superfosfato

Quadro 1. Procedência e classificação dos solos utilizados no experimento

| Sigla | Classe de solo ⁽¹⁾ | Município | Estado |
|------------------------|--|------------------|--------|
| Solos ácidos | | | |
| GPH | Glei Pouco Húmico textura argilosa | Iranduba | AM |
| AQd | Areia Quartzosa distrófica A moderado | Paraipabas | CE |
| LUA | Latossolo Variação Una árico A moderado textura muito argilosa | Viçosa | MG |
| LE-1 | Latossolo Vermelho-Escuro textura argilosa | Três Lagoas | MS |
| LE-2 | Latossolo Vermelho-Escuro textura muito argilosa | Cuiabá | MT |
| LA-1 | Latossolo Amarelo álico caulinítico A moderado textura argilosa | Capitão Poço | PA |
| PV-1 | Podzólico Vermelho-Amarelo álico caulinítico A moderado textura média/argilosa | Capitão Poço | PA |
| LA-2 | Latossolo Amarelo álico A moderado textura muito argilosa | IPIXUNA | PA |
| LA-3 | Latossolo Amarelo álico A moderado textura média | IPIXUNA | PA |
| TR-1 | Terra Roxa Estruturada textura muito argilosa | Maringá | PR |
| LA-4 | Latossolo Amarelo textura média | Ariquemes | RO |
| PV-2 | Podzólico Vermelho-Amarelo textura média/argilosa | Ariquemes | RO |
| LA-5 | Latossolo Amarelo textura argilosa | não identificado | SC |
| PV-3 | Podzólico Vermelho-Amarelo álico textura média/argilosa | Capão Bonito | SP |
| LRa | Latossolo Roxo árico textura muito argilosa | Guatapará | SP |
| LE-3 | Latossolo Vermelho-Escuro textura argilosa | Piracicaba | SP |
| PE | Podzólico Vermelho-Escuro textura argilosa | Piracicaba | SP |
| PV-4 | Podzólico Vermelho-Amarelo distrófico textura média/argilosa | Piracicaba | SP |
| TR-2 | Terra Roxa Estruturada textura argilosa | Piracicaba | SP |
| AQa | Areia Quartzosa álica | São Pedro | SP |
| LV-1 | Latossolo Vermelho-Amarelo álico A proeminente textura média | Três Barras | SP |
| Solos alcalinos | | | |
| CL | Cambissolo Latossólico textura muito argilosa | Irecê | BA |
| CV | Cambissolo Vértico textura muito argilosa | Irecê | BA |
| LA-6 | Latossolo Amarelo textura argilosa | Irecê | BA |
| LV-2 | Latossolo Vermelho-Amarelo textura argilosa | Irecê | BA |
| SS | Salino-Sódico textura argilosa | Souza | PB |

⁽¹⁾ Sistema Brasileiro de Classificação.

simples e cloreto de potássio, respectivamente. Boro, cobre, ferro, manganês, molibdênio e zinco foram aplicados nas doses de 1; 1; 3; 2,5; 0,05 e 2,5 mg dm⁻³, nas formas de H_3BO_4 , $CuCl_2$, Fe-EDTA (aplicado à parte), MnO_2 , MoO_3 e $ZnCl_2$, respectivamente, em solução. O delineamento experimental utilizado foi

em blocos ao acaso, com os solos em faixas e os tratamentos (composto, composto + adubo, composto + calcário, composto + calcário + adubo, calcário + adubo e testemunha) nas subparcelas, com três repetições, independentemente para os solos ácidos e alcalinos.

Quadro 2. Características químicas das amostras dos solos estudados (camada de 0-20 cm de profundidade)

| Solo | pH | MO | N ⁽¹⁾ | P resina | K ⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | Na ⁺⁽²⁾ | H + Al | T | V | NC ⁽³⁾ |
|------------------------|-------------------|------------------------|---------------------|----------|----------------|----------------------|------------------|------------------------|--------|-------|------|--------------------|
| | CaCl ₂ | — g dm ⁻³ — | mg dm ⁻³ | | | | | mmolc dm ⁻³ | | | % | g dm ⁻³ |
| Solos ácidos | | | | | | | | | | | | |
| GPH | 4,56 | 12,7 | 1,26 | 11,0 | 1,45 | 27,2 | 6,8 | 1,1 | 36,2 | 72,6 | 50,1 | 0,69 |
| AQd | 5,52 | 21,7 | 0,51 | 4,0 | 1,13 | 15,9 | 6,8 | 0,3 | 12,8 | 37,0 | 65,4 | 0,08 |
| LUA | 3,82 | 25,2 | 1,62 | 5,0 | 0,89 | 2,1 | 1,3 | 0,2 | 95,2 | 99,7 | 4,5 | 3,14 |
| LE-1 | 5,52 | 22,2 | 1,05 | 4,9 | 2,84 | 26,4 | 14,6 | 0,3 | 21,3 | 65,4 | 67,4 | 0,08 |
| LE-2 | 4,10 | 27,4 | 1,07 | 3,5 | 0,78 | 1,2 | 1,1 | 0,2 | 67,3 | 70,6 | 4,7 | 2,22 |
| LA-1 | 3,78 | 22,9 | 1,26 | 5,0 | 0,71 | 4,8 | 2,2 | 0,5 | 50,8 | 59,2 | 14,2 | 1,59 |
| PV-1 | 3,98 | 25,0 | 1,16 | 3,3 | 0,74 | 8,1 | 2,5 | 0,8 | 40,5 | 52,7 | 23,1 | 1,19 |
| LA-2 | 3,91 | 37,9 | 2,10 | 5,8 | 1,06 | 9,2 | 8,3 | 1,2 | 81,9 | 101,7 | 19,5 | 2,47 |
| LA-3 | 4,72 | 32,6 | 1,33 | 3,9 | 1,92 | 21,2 | 6,0 | 0,5 | 28,6 | 58,3 | 50,9 | 0,54 |
| TR-1 | 4,64 | 14,9 | 0,81 | 1,4 | 0,99 | 17,1 | 7,0 | 0,3 | 45,2 | 70,6 | 35,9 | 1,16 |
| LA-4 | 4,52 | 19,9 | 0,96 | 6,9 | 2,62 | 15,5 | 3,6 | 0,4 | 30,3 | 52,4 | 42,2 | 0,70 |
| PV-2 | 4,54 | 22,4 | 1,12 | 4,9 | 1,32 | 7,9 | 3,6 | 0,2 | 24,6 | 37,7 | 34,8 | 0,64 |
| LA-5 | 4,58 | 24,1 | 1,78 | 13,6 | 2,13 | 36,3 | 10,6 | 0,8 | 46,7 | 96,5 | 51,6 | 0,85 |
| PV-3 | 4,25 | 40,8 | 2,34 | 1,3 | 2,33 | 4,3 | 2,4 | 0,2 | 108,6 | 117,8 | 7,8 | 3,52 |
| LRa | 4,63 | 30,1 | 1,15 | 4,3 | 1,07 | 13,4 | 8,7 | 0,2 | 41,4 | 64,7 | 36,0 | 1,06 |
| LE-3 | 4,57 | 27,9 | 1,44 | 45,4 | 3,84 | 16,8 | 10,8 | 0,3 | 51,8 | 83,6 | 37,9 | 1,29 |
| PE | 4,72 | 27,9 | 1,13 | 2,8 | 0,70 | 22,3 | 8,1 | 0,2 | 40,4 | 71,8 | 43,7 | 0,91 |
| PV-4 | 4,28 | 25,1 | 0,88 | 3,6 | 0,74 | 10,3 | 3,5 | 0,3 | 38,3 | 53,1 | 27,8 | 1,08 |
| TR-2 | 5,28 | 45,0 | 2,28 | 10,2 | 2,16 | 50,0 | 14,1 | 0,2 | 34,3 | 100,9 | 66,0 | 0,19 |
| AQa | 3,96 | 17,9 | 0,69 | 2,8 | 0,71 | 1,8 | 0,7 | 1,0 | 43,9 | 48,5 | 9,5 | 1,41 |
| LV-1 | 4,43 | 36,1 | 1,05 | 4,9 | 1,95 | 7,9 | 3,3 | 0,6 | 48,1 | 62,1 | 22,5 | 1,42 |
| Solos alcalinos | | | | | | | | | | | | |
| CL | 6,06 | 24,0 | 1,77 | 46,5 | 2,47 | 139,8 | 22,5 | 0,2 | 21,7 | 186,8 | 88,4 | - |
| CV | 7,58 | 32,5 | 2,45 | 5,5 | 1,33 | 412,0 ⁽⁴⁾ | 20,5 | 1,2 | 9,8 | 445,1 | 97,8 | - |
| LA-6 | 6,74 | 23,3 | 1,62 | 24,4 | 7,56 | 87,6 | 17,0 | 0,5 | 12,9 | 125,7 | 89,7 | - |
| LV-2 | 7,29 | 25,0 | 1,74 | 42,9 | 13,84 | 118,6 | 25,6 | 0,7 | 11,0 | 169,7 | 93,5 | - |
| SS | 7,86 | 24,5 | 1,14 | 13,4 | 2,34 | 166,8 | 40,6 | 43,6 | 7,9 | 270,8 | 97,1 | - |

⁽¹⁾ Nitrogênio total determinado pelo método micro-Kjeldahl. ⁽²⁾ Sódio extraído em solução HCl 0,05 mol L⁻¹ + H_2SO_4 0,025 mol L⁻¹ na relação solo/extrator de 1:5 (v/v). ⁽³⁾ Necessidade de calagem (Raij, 1991). Demais análises químicas e cálculos conforme descrito em Raij et al. (1987). ⁽⁴⁾ Presença de carbonatos livres.

Quadro 3. Características físicas e químicas do composto de lixo, proveniente da cidade de São Paulo (Usina de compostagem São Matheus), utilizado no experimento

| Umidade ⁽¹⁾ | pH ⁽²⁾ | CE ⁽²⁾ | C ⁽³⁾ | N ⁽⁴⁾ | P | K | Ca | Mg | Na | Al |
|------------------------|--------------------|-------------------|------------------|------------------|-----|-----|--------------------|-----|-----|------|
| % | dS m ⁻¹ | — | — | — | — | — | g kg ⁻¹ | — | — | — |
| 39 ⁽⁵⁾ | 7,96 | 7,25 | 253 | 13,3 | 3,1 | 2,4 | 28,6 | 4,1 | 8,5 | 20,6 |

⁽¹⁾ Base em peso do material úmido, valor obtido por ocasião da coleta do composto de lixo. ⁽²⁾ Os valores pH e de CE (a 25°C) foram medidos em água, empregando-se a relação composto/água de 1:4 (p/v), as leituras foram feitas após cinco minutos de agitação vigorosa e uma hora de repouso. ⁽³⁾ Carbono total determinado pelo método da combustão por via seca, utilizando-se o equipamento LECO CR-412 do Laboratório de Biogeocíquima do Solo (CENA/USP). ⁽⁴⁾ Nitrogênio total pelo método micro-Kjeldahl em extrato de digestão sulfúrica. Os teores totais dos demais elementos foram determinados por espectrometria de emissão atômica com plasma acoplado indutivamente (ICP-AES) em extrato de digestão com HCl , $HClO_4$ e HF, conforme método de rotina do Laboratório de Fertilidade do Solo (CENA/USP). ⁽⁵⁾ Médias de três amostras compostas.

Após a adição do composto e adubos, as amostras dos solos receberam água novamente e foram incubadas, por mais 30 dias, para permitir a reação inicial desses materiais. No final desse período, interrompeu-se a rega, para permitir a secagem das amostras dos solos, e foi, então, retirada uma amostra de terra de cada vaso de, aproximadamente, 130 cm³, para a análise química.

As amostras de terra foram secas ao ar, passadas em peneira de 0,5 mm de malha e submetidas à determinação do pH em CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹ e em água na relação 1:2,5 p/v, da acidez potencial (H + Al) pelo método do tampão SMP (Raij et al., 1987), e da CE (a 25°C) em água na relação 1:1 p/v (10 g de terra + 10 ml água destilada-deionizada) e leitura após cinco minutos de agitação vigorosa e uma hora de repouso. Após as análises químicas, foram calculados os índices do incremento da CE (DCE) pela subtração entre o valor da CE do tratamento_i do solo_n e aquele da testemunha do solo_n, do incremento do pH em CaCl₂ (DpH) pela subtração do valor do pH no tratamento_i do solo_n e aquele da testemunha do solo_n, e da diferença entre os valores do pH em CaCl₂ e em água, que foi denominado de Δ*pH.

A análise estatística empregada foi semelhante à de um esquema em parcelas subdivididas, uma vez que esses modelos diferenciam-se apenas quanto à disposição dos solos em faixas por se encontrarem em vasos. Para a análise exploratória dos dados, de correlação e de regressão, utilizou-se o programa SAS/SAS Lab (SAS Institute, 1998) e, para a análise de variância e teste de médias, o programa SANEST (Zonta et al., 1987).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Condutividade elétrica

Foi observado (Quadro 4) que a CE dos solos ácidos foi modificada de modo significativo pelos tratamentos. A aplicação isolada do composto promoveu valores de DCE que variaram de 0,33 a 1,37 dS m⁻¹, em relação à testemunha, em virtude dos elevados teores de sais presentes no composto de lixo (Quadro 3). Esses resultados estão de acordo com aqueles observados por Hortenstine & Rothwell (1972), Melo et al. (1997), Benites & Mendonça (1998) e Oliveira (2000). Todavia, o efeito do composto sobre os valores de DCE, conforme revelado pela análise de correlação (Quadro 5), foi consequência dos diferentes teores de argila (40 a 790 g kg⁻¹) e, principalmente, da CTC inicial dos solos (Quadro 2).

O efeito da aplicação do composto + calcário sobre a CE dos solos não diferiu daquele proporcionado pelo composto isoladamente (Quadro 4), exceto nos solos que, de modo geral, receberam o calcário em dose superior a 2 g dm⁻³ (Quadro 2) ou, então, que

apresentavam CTC inicial superior a 80 mmol_c dm⁻³ (Quadro 2 e Figura 1a). Nessas condições, o tratamento com composto + calcário promoveu valores de CE superiores aos do tratamento com composto, considerando o aumento nas concentrações de cálcio e magnésio, além do fato de ser menor o efeito dos sais nos solos com alta CTC. Os resultados concordam com o fato de o DCE devido ao composto + calcário ter sido correlacionado com o pH inicial dos solos (Quadro 5).

Apesar disso, verificou-se que o tratamento com calcário + adubo promoveu, em todos os solos ácidos, valores de CE superiores aos das aplicações do composto e do composto + calcário (Quadro 4). Esse efeito, obviamente, foi causado pelo efeito salino dos adubos minerais (Raij, 1991), principalmente pelo cloreto de potássio e uréia. Conseqüentemente, as aplicações do composto + adubo e do composto + calcário + adubo promoveram os maiores valores de CE (Quadro 4). Verificou-se (Quadro 5 e Figura 1a) que os valores de DCE dos tratamentos composto + adubo, composto + calcário + adubo e calcário + adubo também foram correlacionados, de modo negativo, com a CTC inicial dos solos. Tal fato caracteriza a CTC inicial como uma das propriedades mais importantes dos solos no controle do aumento da CE quando do aumento brusco na concentração de sais solúveis, visto que ela não reflete apenas o teor de argila e matéria orgânica, mas também o tipo de argila.

A figura 1a resume a importância da CTC inicial sobre o manejo a ser dado nos solos ácidos, em relação à CE, para a aplicação do composto de lixo. Assim, pode-se esperar que a aplicação conjunta de composto de lixo e de adubos minerais, em solos com CTC inferior a 80 mmol_c dm⁻³, promova valores de CE acima daqueles considerados como limites (em extrato de saturação) para o desenvolvimento de grande número de espécies vegetais (Maas, 1985), sobretudo no estádio inicial de desenvolvimento de espécies anuais.

Verificou-se também que a adição dos diferentes materiais ao solo causou um efeito aditivo de seus efeitos isolados sobre a CE dos solos ácidos (Figura 1a), em concordância com os resultados obtidos por Benites & Mendonça (1998) e Oliveira (2000). Todavia, em condições de campo, não obstante tenha sido reportado por Oliveira (2000) que a aplicação de composto de lixo promoveu o aumento da CE, os valores observados foram inferiores aos apresentados no presente trabalho, mesmo após o segundo ano de aplicação, em decorrência da lixiviação dos sais em excesso no período chuvoso. Ademais, considerando serem as doses de adubos minerais usualmente recomendadas para a maioria das culturas de interesse econômico inferiores à utilizada neste experimento (200, 300 e 200 kg ha⁻¹ de N, P e K, respectivamente), pode-se supor que, em condições de campo, o efeito da aplicação de composto de lixo e adubos minerais sobre a CE não deverá ser limitante ao desenvolvimento das plantas em solos bem drenados.

Quadro 4. Condutividade elétrica (a 25°C) em solos ácidos, adubados com composto de lixo, na presença e ausência de calcário dolomítico e adubos minerais, e em solos alcalinos, em que o calcário foi substituído por gesso

| Solo | Composto de lixo | | | | Calcário e adubo | Testemunha | | |
|--------------------------------------|-----------------------|-----------|--------------|-----------|------------------|------------|--|--|
| | Sem calcário | | Com calcário | | | | | |
| | Sem adubo | Com adubo | Sem adubo | Com adubo | | | | |
| dS m ⁻¹ | | | | | | | | |
| Solos ácidos | | | | | | | | |
| GPH | 1,55 B ⁽¹⁾ | 2,76 A | 1,75 B | 2,63 A | 2,23 A | 0,41 C | | |
| AQd | 1,22 C | 2,57 A | 1,17 C | 2,22 AB | 1,96 B | 0,29 D | | |
| LUa | 1,00 D | 1,82 B | 1,31 C | 2,46 A | 2,14 AB | 0,40 E | | |
| LE-1 | 1,47 C | 2,17 B | 1,11 D | 2,82 A | 1,67 C | 0,55 E | | |
| LE-2 | 1,36 D | 3,18 A | 1,67 C | 3,45 A | 2,46 B | 0,42 E | | |
| LA-1 | 1,59 C | 3,31 A | 1,61 C | 3,57 A | 2,53 B | 0,53 D | | |
| PV-1 | 1,80 C | 3,27 AB | 1,79 C | 3,45 A | 2,69 B | 0,56 E | | |
| LA-2 | 1,16 D | 2,11 AB | 1,46 C | 2,41 A | 1,73 BC | 0,55 E | | |
| LA-3 | 1,52 C | 2,96 A | 1,65 C | 2,83 AB | 2,33 B | 0,80 D | | |
| TR-1 | 0,67 D | 1,84 A | 0,87 C | 1,80 A | 1,16 B | 0,13 E | | |
| LA-4 | 1,60 C | 3,00 A | 1,53 C | 3,30 A | 2,40 B | 0,40 D | | |
| PV-2 | 1,85 BC | 3,00 A | 1,61 C | 2,89 A | 2,11 B | 0,48 D | | |
| LA-5 | 1,66 B | 1,99 AB | 1,76 B | 2,25 A | 1,77 B | 0,64 C | | |
| PV-3 | 0,81 D | 1,78 A | 1,08 C | 1,80 A | 1,40 B | 0,31 E | | |
| LRa | 0,98 C | 2,23 A | 1,19 C | 2,45 A | 1,59 B | 0,17 D | | |
| LE-3 | 1,23 B | 2,06 A | 1,51 B | 2,30 A | 1,51 B | 0,70 C | | |
| PE | 1,06 B | 2,25 A | 1,09 B | 2,57 A | 2,33 A | 0,20 C | | |
| PV-4 | 1,47 C | 2,84 A | 1,48 C | 2,96 A | 2,18 B | 0,49 D | | |
| TR-2 | 1,30 B | 2,00 A | 1,26 B | 1,87 A | 1,65 A | 0,97 C | | |
| AQa | 1,07 C | 2,37 A | 1,01 C | 2,50 A | 1,81 B | 0,22 D | | |
| LV-1 | 1,42 C | 2,96 A | 1,68 C | 3,02 A | 2,17 B | 0,67 D | | |
| Solos alcalinos⁽²⁾ | | | | | | | | |
| CL | 1,27 B | 1,63 B | 2,17 A | 2,45 A | 1,66 B | 0,52 C | | |
| CV | 1,83 B | 3,03 A | 2,39 A | 3,06 A | 2,68 A | 0,92 C | | |
| LA-6 | 1,61 C | 2,59 AB | 2,29 B | 3,04 A | 2,89 AB | 0,86 D | | |
| LV-2 | 1,72 B | 2,32 A | 2,62 A | 2,96 A | 2,40 A | 0,73 C | | |
| SS | 2,88 B | 4,39 A | 4,13 A | 4,42 A | 4,44 A | 2,14 C | | |

⁽¹⁾ Médias seguidas de mesma letra, nas linhas, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. ⁽²⁾ Nos solos alcalinos, o calcário foi substituído por gesso.

Quadro 5. Correlação entre o incremento da condutividade elétrica (DCE) em solos ácidos, adubados com composto de lixo, na presença e ausência de calcário dolomítico e adubos minerais, e em solos alcalinos, em que o calcário foi substituído por gesso, e algumas propriedades iniciais desses solos

| Propriedade | DCE ⁽¹⁾ | | | | |
|--|---------------------|---------------------|---------------------|-----------------------------|---------------------|
| | Composto | Composto + adubo | Composto + calcário | Composto + calcário + adubo | Calcário + adubo |
| | | | | | |
| Solos ácidos (N = 21) | | | | | |
| pH (CaCl ₂) | -0,12 ^{ns} | -0,29 ^{ns} | -0,50* | -0,42 ^{ns} | -0,34 ^{ns} |
| CTC | -0,68** | -0,77** | -0,33 ^{ns} | -0,62** | -0,54* |
| V% | 0,04 ^{ns} | -0,25 ^{ns} | -0,35 ^{ns} | -0,38 ^{ns} | -0,32 ^{ns} |
| Teor de argila | -0,49* | -0,44* | -0,12 ^{ns} | -0,25 ^{ns} | -0,28 ^{ns} |
| Solos alcalinos⁽²⁾ (N = 5) | | | | | |
| pH (CaCl ₂) | 0,33 ns | 0,92** | 0,46 ^{ns} | 0,88* | 0,78 ^{ns} |
| CTC | 0,27 ^{ns} | 0,60 ^{ns} | -0,14 ^{ns} | 0,07 ^{ns} | 0,12 ^{ns} |
| V% | 0,38 ns | 0,88* | 0,32 ^{ns} | 0,63 ^{ns} | 0,56 ^{ns} |
| Teor de argila | 0,38 ^{ns} | -0,45 ^{ns} | -0,55 ^{ns} | -0,72 ^{ns} | -0,80 ^{ns} |

⁽¹⁾ DCE = CE tratamento_i do solo_n - CE testemunha do solo_n. ⁽²⁾ Nos solos alcalinos, o calcário foi substituído por gesso. ns, * e ** Não-significativo, significativos a 5 e 1%, respectivamente.

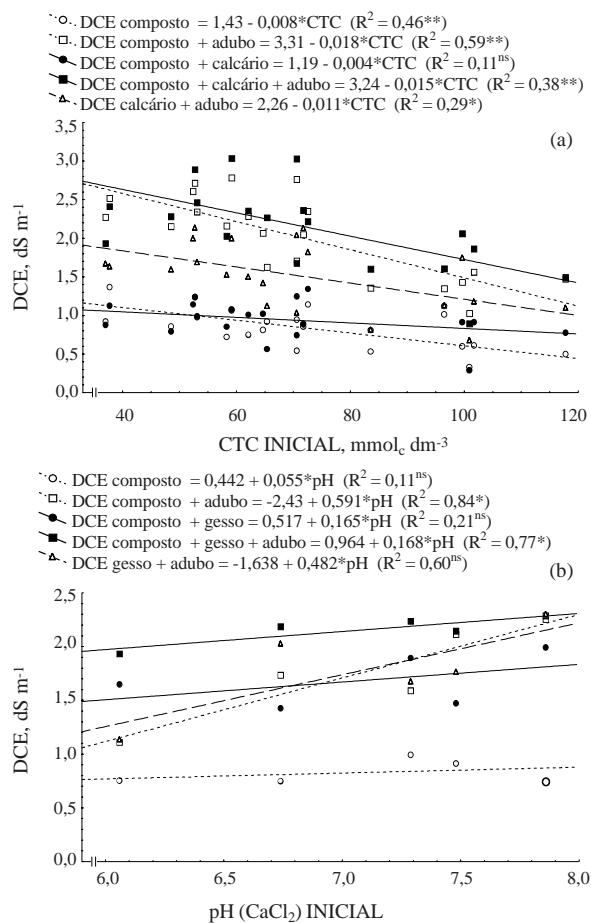


Figura 1. Relação entre o incremento da condutividade elétrica (DCE) e capacidade de troca cationica (CTC) inicial em solos ácidos, tratados com composto de lixo, na presença ou ausência de calcário dolomítico e adubos minerais (a), e pH inicial em solos alcalinos, em que o calcário foi substituído por gesso (b).

Os tratamentos também modificaram a CE dos solos alcalinos (Quadro 4). A aplicação do composto isoladamente promoveu valores de DCE que variaram de 0,74 a 0,99 dS m⁻¹ (Figura 1b), contudo esses valores foram inferiores àqueles causados pela aplicação do gesso + adubo (Quadro 4). Todavia, em média, os tratamentos com composto + adubo, composto + gesso, composto + gesso + adubo e gesso + adubo não diferiram entre si quanto aos efeitos sobre a CE, fato provavelmente atribuído à baixa solubilidade do gesso e à forte relação entre o DCE e o pH inicial nos tratamentos com composto + adubo e com composto + gesso + adubo (Quadro 5 e Figura 1b). Esses tratamentos apresentaram valores de CE superiores a 2,3 dS m⁻¹, em média 1 dS m⁻¹ acima daqueles promovidos pela adição do composto, excluindo-se, em parte, os solos CL e LA-6, e,

embora obtidos em condições diferentes, aqueles considerados como críticos (em extrato de saturação) (Maas, 1985) para a maioria das culturas de importância agrícola.

Os efeitos dos tratamentos sobre a CE dos solos alcalinos foram decorrentes da ampla variabilidade das propriedades químicas desses solos (Quadro 2), conforme apresentado por Santos & Muraoka (1997). Soma-se a esses efeitos, nos solos CL e LA-6 (Quadro 4), a reação ligeiramente ácida (Quadro 2) em consequência da acidificação da camada superficial desses solos ocasionada por cultivos e adubações anteriores à coleta no campo. Ademais, o solo SS apresentou os maiores valores de CE em todos os tratamentos por ser a própria CE elevada, inerente aos solos salinos sódicos (CE > 4 dS m⁻¹ em extrato de saturação) (Santos, 1995), em razão dos elevados teores de sais solúveis, notadamente do sódio (Quadro 2).

pH do solo

Os efeitos dos tratamentos sobre o pH dos solos ácidos e alcalinos, quando avaliados em CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹ (Quadro 6) e em água (dados não apresentados), de modo geral, não diferiram entre si, em concordância com a forte relação entre os valores de pH em CaCl₂ e em água (Figura 2), não obstante tenham sido constatados valores diferentes de pH. A determinação do pH do solo, embora pareça tarefa simples, apresenta interferências atribuídas às próprias partículas que constituem a amostra e às condições de equilíbrio na interface sólido-líquido (Raij et al., 1987).

Nos solos ácidos, foi observado que o pH em água foi superior ao pH em CaCl₂, em média, de 0,24 unidade, diferença essa inferior àquela que tem sido verificada para solos do estado de São Paulo, que é de 0,6 unidade (Raij, 1991). O menor valor de pH obtido em CaCl₂ é consequência do deslocamento de H⁺ e Al³⁺ do complexo de troca e da compressão da dupla camada elétrica difusa, que fazem com que o pH seja próximo daquele da superfície das partículas (Raij et al., 1987).

A elevação da concentração salina causada pelo composto de lixo e adubos minerais, conforme constatado pelo aumento da CE ($\geq 1,5$ dS m⁻¹) (Quadro 4), fez com que os valores de pH medido em água e CaCl₂ tendessem a ser iguais nesses tratamentos, ou seja, menor foi a variação do $\Delta^*\text{pH}$ (Figura 3). Verificou-se que, sob essas condições, os valores de pH determinados em água foram subestimados. Semelhante efeito foi verificado nos solos alcalinos, onde o pH em água foi, em média, 0,10 unidade superior àquele medido em CaCl₂, porém não houve efeito da CE sobre o $\Delta^*\text{pH}$ (Figura 3), considerando a elevada concentração salina e o pH inicial (Quadro 2) intrínsecos a esses solos.

Em algumas situações, os tratamentos com composto + adubo e com composto + calcário (ou gesso) + adubo apresentaram valores de $\Delta^*\text{pH}$ ligeiramente

Quadro 6. Variação do pH em CaCl_2 0,01 mol L⁻¹ em solos ácidos, adubados com composto de lixo, na presença e ausência de calcário dolomítico e adubos minerais, e em solos alcalinos, em que o calcário foi substituído por gesso

| Solo | Composto de lixo | | | | Calcário e adubo | Testemunha | | |
|--------------------------------------|-----------------------|-----------|--------------|-----------|------------------|------------|--|--|
| | Sem calcário | | Com calcário | | | | | |
| | Sem adubo | Com adubo | Sem adubo | Com adubo | | | | |
| Solos ácidos | | | | | | | | |
| GPH | 5,71 B ⁽¹⁾ | 5,53 C | 5,98 A | 5,83 AB | 4,87 D | 4,69 E | | |
| AQd | 7,38 A | 6,81 B | 7,39 A | 6,91 B | 5,77 D | 5,97 C | | |
| LUA | 4,85 D | 4,95 D | 6,26 A | 5,89 B | 5,18 C | 3,97 E | | |
| LE-1 | 6,52 A | 6,25 B | 6,58 A | 6,34 B | 5,19 C | 5,14 C | | |
| LE-2 | 5,23 CD | 5,13 D | 6,35 A | 6,15 B | 5,33 C | 4,18 E | | |
| LA-1 | 5,36 C | 5,33 C | 6,52 A | 6,03 B | 5,35 C | 4,17 D | | |
| PV-1 | 5,54 C | 5,27 D | 6,41 A | 6,02 B | 4,80 E | 4,38 F | | |
| LA-2 | 5,25 B | 5,27 B | 6,15 A | 6,02 A | 5,28 B | 4,41 C | | |
| LA-3 | 6,17 B | 5,78 C | 6,52 A | 6,21 B | 4,89 D | 4,41 E | | |
| TR-1 | 5,75 B | 5,78 B | 6,28 A | 6,23 A | 5,49 C | 4,55 D | | |
| LA-4 | 6,24 B | 5,79 C | 6,74 A | 6,32 B | 5,09 D | 4,61 E | | |
| PV-2 | 6,33 B | 6,05 C | 6,84 A | 6,47 B | 5,48 D | 5,04 E | | |
| LA-5 | 5,25 C | 5,10 D | 5,70 A | 5,50 B | 4,65 E | 4,56 E | | |
| PV-3 | 4,85 D | 5,00 C | 5,71 A | 5,67 A | 5,25 B | 4,20 E | | |
| LRA | 5,93 B | 5,94 B | 6,41 A | 6,32 A | 5,68 C | 4,91 D | | |
| LE-3 | 5,50 B | 5,35 C | 6,06 A | 5,97 A | 5,16 D | 4,42 E | | |
| PE | 5,99 B | 5,93 B | 6,41 A | 6,35 A | 5,51 C | 4,84 D | | |
| PV-4 | 5,70 C | 5,49 D | 6,48 A | 6,17 B | 5,06 E | 4,17 F | | |
| TR-2 | 6,07 AB | 5,96 B | 6,21 A | 6,09 AB | 5,25 C | 5,14 C | | |
| AQa | 5,85 C | 5,72 C | 6,69 A | 6,38 B | 5,29 D | 4,26 E | | |
| LV-1 | 5,37 C | 5,23 C | 6,22 A | 5,92 B | 4,98 D | 4,10 E | | |
| Solos alcalinos⁽²⁾ | | | | | | | | |
| CL | 6,68 A | 6,55 B | 6,66 A | 6,57 B | 5,89 C | 5,86 C | | |
| CV | 7,66 A | 7,51 BC | 7,67 A | 7,53 B | 7,43 C | 7,52 B | | |
| LA-6 | 7,40 A | 7,17 B | 7,39 A | 7,18 B | 6,52 D | 6,65 C | | |
| LV-2 | 7,50 AB | 7,37 C | 7,56 A | 7,42 BC | 7,01 E | 7,14 D | | |
| SS | 7,84 A | 7,55 B | 7,81 A | 7,58 B | 7,51 B | 7,81 A | | |

⁽¹⁾ Médias seguidas de mesma letra, nas linhas, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. ⁽²⁾ Nos solos alcalinos, o calcário foi substituído por gesso.

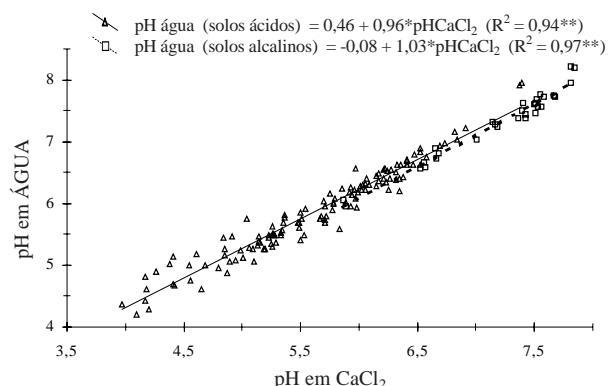


Figura 2. Relação entre o pH em CaCl_2 e o pH em água em solos ácidos, tratados com composto de lixo, na presença ou ausência de calcário dolomítico e adubos minerais, e em solos alcalinos, em que o calcário foi substituído por gesso.

superiores a zero, provavelmente, por causa das variações do método (calibração do aparelho, leituras em dias diferentes, etc.) e da leitura em água, e, ou, a influência do CO_2 em amostras com reação alcalina (Raij et al., 1987). Diante desses fatos, reiteram-se as vantagens, preconizadas por Raij et al. (1987) e Raij (1991), da determinação do pH em solução de CaCl_2 0,01 mol L⁻¹.

Verificou-se (Quadro 6) que o pH (em CaCl_2) dos solos ácidos foi modificado pelos diferentes modos de aplicação do composto de lixo. De modo geral, a literatura registra efeitos semelhantes da aplicação de composto de lixo sobre o pH do solo (Hortenstine & Rothwell, 1972; Giordano et al., 1975; Mazur et al., 1983; Xin et al., 1992; Oliveira, 2000).

O aumento do pH em solos ácidos decorrente da aplicação de composto de lixo pode ser atribuído à presença de humatos alcalinos (Kiehl, 1985), produção de hidroxilas (OH^-), quando o oxigênio da

solução do solo atua como receptor de elétrons provenientes da oxidação microbiana do carbono (Mattiazzo-Prezotto, 1992), capacidade de consumo de prótons (H^+) (Wong et al., 1998) e complexação do H^+ e Al^{3+} pela carga orgânica do composto (Oliveira, 2000), ou, ainda, indiretamente ao aumento nos teores de cátions trocáveis do solo (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e

Na^+) (Mazur et al., 1983). Embora esses mecanismos devam atuar simultaneamente para o aumento do pH solo, parece que o principal deles é a troca de H^+ entre o sistema tampão do solo e da matéria orgânica do composto (Wong et al., 1998; Oliveira, 2000). Outro aspecto importante é o fato de a soma de bases do composto refletir o conteúdo de grupos funcionais de ácidos orgânicos fracos que reteriam H^+ e Al^{3+} no solo (Wong et al., 1998). Isso está de acordo com os resultados dos efeitos dos tratamentos sobre o pH (Quadro 6), da análise química do composto (Quadro 3), bem como com os apresentados na literatura (Mazur et al., 1983; Kiehl, 1985; Oliveira, 2000).

Todavia, os efeitos dos tratamentos sobre o pH (Quadro 6) foram modificados de acordo com a fertilidade inicial dos solos (Quadro 2). Verificou-se (Quadro 7) que o DpH correlacionou-se, de modo negativo, com a CTC inicial nos tratamentos com composto e composto + adubo, analogamente ao que ocorreu com o DCE. Porém, nos tratamentos com composto + calcário, composto + calcário + adubo e calcário + adubo, o DpH foi fortemente relacionado com o pH e V% inicial. Dessa forma, pode-se assumir que a redução dos efeitos desses tratamentos sobre o DpH com o aumento da V% (e pH) deveu-se, exclusivamente, à redução da quantidade de calcário aplicada, visto que a necessidade de calcário (Quadro 2) foi calculada pelo método da saturação por bases (Raij, 1991). Isso concorda com o fato de as curvas de regressão entre o DpH e V% (Figura 4a), para os três tratamentos que receberam calcário, terem apresentado inclinações semelhantes.

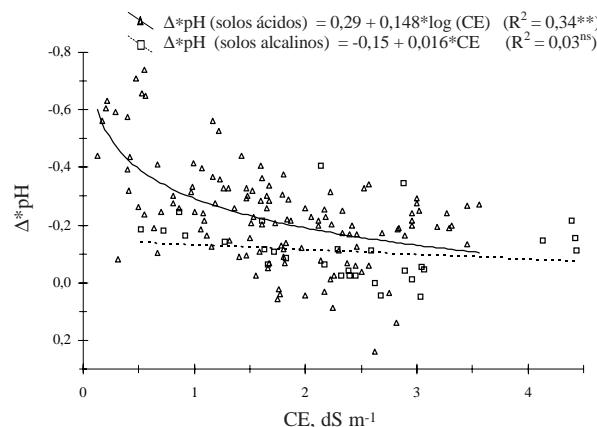


Figura 3. Efeito da condutividade elétrica do solo sobre a diferença entre o pH em $CaCl_2$ e em água pH (Δ^*pH) em solos ácidos, tratados com composto de lixo, na presença ou ausência de calcário dolomítico e adubos minerais, e em solos alcalinos, em que o calcário foi substituído por gesso.

Quadro 7. Correlação entre o incremento dos valores de pH em $CaCl_2$ 0,01 mol L⁻¹ (DpH) em solos ácidos, adubados com composto de lixo, na presença e ausência de calcário dolomítico e adubos minerais, e em solos alcalinos, em que o calcário foi substituído por gesso, e algumas propriedades iniciais desses solos

| Propriedade | DpH ⁽¹⁾ | | | | |
|--|---------------------|---------------------|---------------------|-----------------------------|---------------------|
| | Composto | Composto + adubo | Composto + calcário | Composto + calcário + adubo | Calcário + adubo |
| Solos ácidos (N = 21) | | | | | |
| pH ($CaCl_2$) | 0,19 ^{ns} | -0,14 ^{ns} | -0,68 ^{**} | -0,73 ^{**} | -0,79 ^{ns} |
| CTC | -0,81 ^{**} | -0,55 ^{**} | -0,40 ^{ns} | -0,21 ^{ns} | 0,21 ^{ns} |
| V% | 0,21 ^{ns} | -0,18 ^{ns} | -0,69 ^{**} | -0,77 ^{**} | -0,90 ^{**} |
| Teor de argila | -0,62* | -0,29 ^{ns} | -0,26 ^{ns} | -0,02 ^{ns} | 0,37 ^{ns} |
| Solos alcalinos⁽²⁾ (N = 5) | | | | | |
| pH ($CaCl_2$) | -0,95* | -0,97 ^{**} | -0,94* | -0,96 ^{**} | -0,86 ^{ns} |
| CTC | -0,70 ^{ns} | -0,63 ^{ns} | -0,70 ^{ns} | -0,65 ^{ns} | -0,13 ^{ns} |
| V% | -0,98 ^{**} | -0,96 ^{**} | -0,97 ^{**} | -0,96 ^{**} | -0,65 ^{ns} |
| Teor de argila | 0,65 ^{ns} | 0,48 ^{ns} | 0,61 ^{ns} | 0,49 ^{ns} | 0,07 ^{ns} |

⁽¹⁾ DpH = pH do tratamento_i do solo_n - pH da testemunha do solo_n. ⁽²⁾ Nos solos alcalinos, o calcário foi substituído por gesso. ns, * e ** Não-significativo, significativos a 5 e 1%.

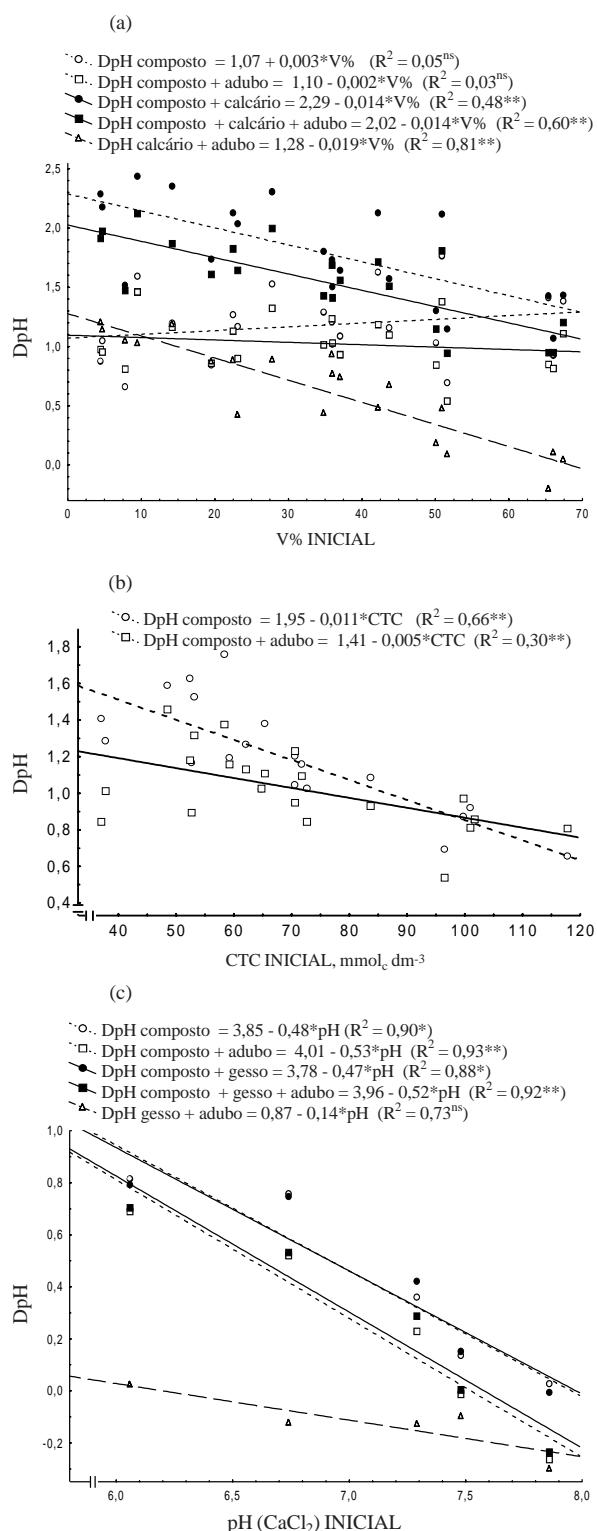


Figura 4. Relação entre o incremento do pH em CaCl_2 (DpH) e saturação por bases (V%) (a) ou CTC (b) iniciais em solos ácidos, tratados com composto de lixo na presença ou ausência de calcário dolomítico e adubos minerais, e pH em CaCl_2 inicial em solos alcalinos, em que o calcário foi substituído por gesso (c).

As diferenças de pH entre os tratamentos com composto e composto + calcário, e com composto + adubo e composto + calcário + adubo, respectivamente, também foram decorrentes das doses do calcário. Assim, à medida que aumentava a V% inicial, menores foram a dose do calcário aplicado (Quadro 2) e a diferença do DpH (Figura 4a) entre esses tratamentos.

As diferenças dos efeitos sobre o pH decorrente de aplicações do composto e do composto + adubo (Quadro 6) foram causadas pela adubação nitrogenada com uréia, que apresenta forte efeito acidificante residual (Raij, 1991), decorrente das reações de nitrificação subsequente à hidrólise da uréia. Todavia, a propriedade que mais influenciou o efeito desses tratamentos sobre o DpH (Quadro 7) foi a CTC inicial dos solos, que representa o seu poder tampão. Foi constatado (Figura 4b) que, nos solos com baixa CTC, o tratamento com composto + adubo apresentou menor DpH (maior acidificação pela uréia) do que aquele com composto, porém, nos solos com elevada CTC, os efeitos desses tratamentos foram iguais.

A acidificação residual da uréia foi a única causa dos menores valores de DpH no tratamento com composto + calcário + adubo em relação àqueles do composto + calcário (Figura 4a). Resultado oposto foi verificado por Mazur et al. (1983). Talvez, nesse caso, a uréia tenha sido aplicada bem depois do composto e do calcário, ocasião em que o pH, provavelmente, acima de seis (situação em que a aplicação da uréia na camada superficial do solo deve ser evitada) promoveu a volatilização do N na forma de amônia, deixando um efeito alcalino no solo.

O aumento da diferença entre os valores de DpH do tratamento com composto com aqueles do calcário + adubo, com o aumento da V% inicial dos solos (Figura 4a), foi consequência da interação dos efeitos da dose de calcário e da acidificação residual da uréia, ou seja, quanto maior a V% inicial (Quadro 2), menor a dose de calcário, maior a acidificação residual e maior a diferença entre o DpH desses tratamentos. Dessa forma, verificou-se (Figura 4a) que o efeito da aplicação do composto sobre o pH do solo foi equivalente àquele do calcário + adubo, em solos com V% inicial inferior a 30%, que receberam doses de calcário superiores a 1 g dm^{-3} (Quadro 2). Isso revela, a priori, que a aplicação de 60 t ha^{-1} de composto de lixo, em condições de campo, poderá causar efeito sobre o pH do solo semelhante ao da aplicação de aproximadamente 2 t ha^{-1} de calcário.

Considerando a forte relação entre o aumento do pH, pela aplicação do composto de lixo, e o aumento das cargas negativas (Benites & Mendonça, 1998), da CTC efetiva (Oliveira, 2000), a diminuição da extração química de metais (Abreu Junior et al., 1999) em solos ácidos, e que um dos principais problemas do composto é a presença de altos teores de metais pesados (Giordano, 1975; Cravo et al.,

1998), presume-se que a manutenção do pH (CaCl_2) em um nível elevado ($\geq 5,5$) deva ser um fator importante no sucesso da aplicação agrícola do composto, visto que a elevada CTC contribuirá para a retenção dos metais. Sob essa ótica, resultados otimistas têm sido verificados em condições de campo, uma vez que, com o decorrer do tempo, após aplicação de composto, parece haver diminuição da CE, mas o pH permanece elevado, mesmo após o cultivo (Oliveira, 2000).

Foi verificado (Quadro 6) que os tratamentos modificaram, também, o pH dos solos alcalinos e que os efeitos dos tratamentos que receberam composto sobre o DpH, de acordo com a análise de correlação (Quadro 7), foram inversamente proporcionais ao pH e V% iniciais (Figura 4c). Observou-se que os efeitos sobre o pH dos tratamentos com composto e com composto + adubo não diferiram daqueles com composto + gesso e com composto + gesso + adubo, respectivamente, em face da ausência de efeitos diretos do gesso sobre o pH. O DpH dos tratamentos com composto + adubo e com composto + gesso + adubo foi inferior ao do composto e do composto + gesso, exclusivamente pela acidificação residual da uréia.

O tratamento com gesso + adubo foi o único que efetivamente reduziu o pH dos solos alcalinos (Quadro 6 e Figura 4c), em decorrência da acidificação residual da uréia. Todavia, dada a ampla variação dos atributos físicos e químicos (por exemplo, a presença de carbonato livre no solo CV) (Quadro 2), esse efeito não foi correlacionado com as propriedades iniciais desses solos (Quadro 7). Além disso, tem sido observado que o acúmulo de sais promove o abaixamento do pH em solos salinos, enquanto, em solos sódicos, em razão dos altos teores de carbonatos e bicarbonatos de sódio, ocorre o aumento do pH (Santos & Muraoka, 1997).

De acordo com Avnimelech et al. (1990, 1994), em solos sódicos e salino-sódicos, a aplicação de composto de lixo tem provocado o abaixamento do pH pela quedação do Ca, lixiviação do sais em excesso e liberação de ácidos orgânicos. Esses autores observaram, também, que a melhoria dos atributos físicos, químicos e da produtividade agrícola com o composto foi semelhante ou até mesmo superior à do gesso.

Os resultados observados nos solos alcalinos concordam com os de Santos & Muraoka (1997) e discordam, em parte, dos de Avnimelech et al. (1990, 1994), pelo fato de que, no presente experimento, não foi feita a lixiviação dos sais em excesso. Todavia, em condições de campo, a aplicação de composto na ausência de limitações de drenagem e de água deverá auxiliar na lixiviação dos sais em excesso, notadamente de Na^+ em solos sódicos e salino-sódicos, e de carbonatos livres em solos calcários, abaixando o pH.

Acidez potencial

A acidez potencial nos solos ácidos (Quadro 8), exceto no solo AQd, em que essa acidez inicial já era baixa (Quadro 2), foi reduzida em 30 a 50% por causa da aplicação exclusiva do composto de lixo, concordando com os resultados obtidos por Mazur et al. (1983) e Ferro Neto (1994). A redução da acidez potencial promovida pelo composto está em concordância com os processos alcalinizantes descritos por Kiehl (1985), Mattiazzo-Prezotto (1992) e Wong et al. (1998), onde há neutralização do H^+ e Al^{3+} em virtude da elevação do pH e da formação de $\text{Al}(\text{OH})_3^0$ e complexos estáveis com a matéria orgânica.

Foi verificado (Quadro 8) que a redução dos teores de H + Al nos solos ácidos, com os tratamentos, apresentou, em média, a seguinte ordem crescente: calcário + adubo < composto + adubo < composto < composto + calcário + adubo < composto + calcário, em decorrência dos efeitos dos tratamentos sobre o pH (Quadro 6), considerando a forte relação entre essas duas propriedades (Figura 5). Conseqüentemente, verificou-se que a redução nos teores de H + Al, nos tratamentos: composto + calcário, composto + calcário + adubo e calcário + adubo, foi proporcional à dose de aplicação do calcário (Quadro 2) e que as diferenças dos efeitos dos tratamentos com composto e com composto + calcário em relação àqueles com composto + adubo e com composto + calcário + adubo, respectivamente, foram consequências da acidificação residual da uréia (Raij, 1991).

Nos solos alcalinos, excluindo o solo SS, também foi verificado (Quadro 8) que a acidez potencial, que é intrinsecamente baixa (Quadro 2) e causada exclusivamente pelos íons H^+ , foi reduzida de 9 a 33% com a aplicação do composto de lixo isoladamente, em consequência da capacidade do consumo de H^+ (Wong et al., 1998) e do aumento da CTC do solo pela carga orgânica do composto (Oliveira, 2000). Essa redução não diferiu daquela causada pelo composto + gesso, uma vez que o gesso não apresenta efeito direto sobre a acidez potencial, mas foi superior àquelas causadas pelas aplicações do composto + adubo e composto + gesso + adubo por causa da acidificação residual da uréia (Raij, 1991). Conseqüentemente, verificou-se (Quadro 8) que a aplicação do gesso + adubo causou o aumento da acidez potencial em média de $1 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, exceto no solo CL, constatando-se um nítido efeito da acidificação residual da uréia nesses solos.

Foi detectada, nos solos alcalinos (Figura 5), uma relação muito estreita entre a acidez potencial e o pH em CaCl_2 . Dessa forma, em sincronismo com o que ocorreu com o pH desses solos, os resultados obtidos discordam, em parte, daqueles preconizados por Avnimelech et al. (1990, 1994). Tal fato deveu-se à ampla variação das características químicas

Quadro 8. Acidez potencial em solos ácidos, adubados com composto de lixo, na presença e ausência de calcário dolomítico e adubos minerais, e em solos alcalinos, em que o calcário foi substituído por gesso

| Solo | Composto de lixo | | | | Calcário e adubo | Testemunha | | |
|--------------------------------------|-----------------------|-----------|--------------|-----------|------------------|------------|--|--|
| | Sem calcário | | Com calcário | | | | | |
| | Sem adubo | Com adubo | Sem adubo | Com adubo | | | | |
| mmol _c dm ⁻³ | | | | | | | | |
| Solos ácidos | | | | | | | | |
| GPH | 19,8 C ⁽¹⁾ | 22,8 B | 17,5 D | 19,5 C | 32,1 A | 35,2 A | | |
| AQd | 11,2 D | 12,7 C | 11,2 D | 12,5 C | 15,7 A | 13,9 B | | |
| LUA | 45,8 B | 45,6 B | 18,7 E | 23,6 D | 36,3 C | 86,0 A | | |
| LE-1 | 17,5 CD | 19,7 B | 17,0 D | 18,5 BC | 29,6 A | 28,1 A | | |
| LE-2 | 31,5 C | 37,8 B | 16,9 E | 19,5 D | 31,5 C | 60,1 A | | |
| LA-1 | 22,8 C | 25,1 B | 14,7 E | 18,1 D | 22,9 C | 38,7 A | | |
| PV-1 | 20,6 D | 24,8 C | 15,0 F | 17,6 E | 29,5 B | 32,7 A | | |
| LA-2 | 29,8 B | 30,8 B | 17,7 D | 19,4 C | 29,3 B | 50,1 A | | |
| LA-3 | 17,4 D | 20,7 C | 14,6 E | 17,0 D | 31,0 B | 37,2 A | | |
| TR-1 | 27,1 C | 27,8 C | 20,1 E | 22,3 D | 31,7 B | 47,7 A | | |
| LA-4 | 17,5 C | 21,4 B | 14,6 D | 17,5 C | 27,6 A | 29,9 A | | |
| PV-2 | 16,6 D | 18,5 C | 13,9 E | 16,2 D | 22,1 B | 24,3 A | | |
| LA-5 | 33,2 C | 37,7 B | 25,9 E | 30,0 D | 49,2 A | 51,2 A | | |
| PV-3 | 67,4 B | 61,6 B | 35,0 D | 36,2 D | 49,3 C | 109,0 A | | |
| LRa | 22,6 C | 24,1 C | 17,7 E | 19,3 D | 27,7 B | 37,5 A | | |
| LE-3 | 32,5 C | 35,6 C | 23,6 D | 24,8 D | 39,6 B | 58,6 A | | |
| PE | 22,1 D | 24,0 C | 18,0 E | 18,9 E | 29,4 B | 38,5 A | | |
| PV-4 | 22,1 D | 26,0 C | 16,7 F | 18,8 E | 30,0 B | 43,9 A | | |
| TR-2 | 24,8 CD | 27,5 B | 23,1 D | 25,4 BC | 42,2 A | 42,6 A | | |
| AQa | 23,1 C | 25,0 C | 16,7 E | 19,2 D | 29,3 B | 45,8 A | | |
| LV-1 | 30,7 D | 34,4 C | 19,5 F | 23,8 E | 38,4 B | 62,2 A | | |
| Solos alcalinos⁽²⁾ | | | | | | | | |
| CL | 17,8 B | 18,0 B | 17,4 B | 18,2 B | 26,3 A | 26,4 A | | |
| CV | 10,0 C | 10,8 B | 10,0 C | 10,7 B | 11,5 A | 11,0 B | | |
| LA-6 | 11,5 D | 12,7 C | 11,5 D | 12,7 C | 16,9 A | 15,8 B | | |
| LV-2 | 10,5 D | 11,4 C | 10,3 D | 11,1 C | 13,7 A | 12,9 B | | |
| SS | 9,3 C | 10,3 AB | 9,3 C | 10,1 B | 10,5 A | 9,5 C | | |

⁽¹⁾ Médias seguidas de mesma letra, nas linhas, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. ⁽²⁾ Nos solos alcalinos, o calcário foi substituído por gesso.

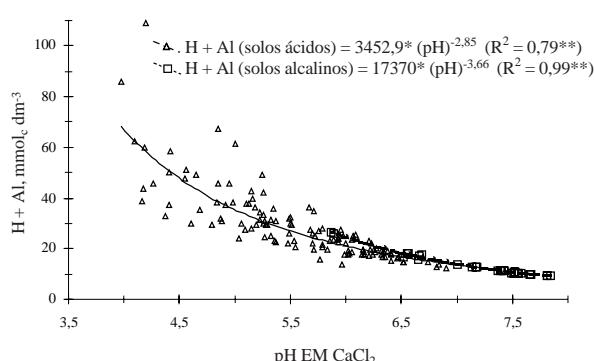


Figura 5. Relação entre a acidez potencial e o pH em CaCl₂ em solos ácidos, tratados com composto de lixo, na presença ou ausência de calcário dolomítico e adubos minerais, e em solos alcalinos, em que o calcário foi substituído por gesso.

(Quadro 2) e das reações ocorridas nesses solos (Santos & Muraoka, 1997). Todavia, em condições de campo, poderá ocorrer aumento na acidez potencial do solo com aplicação do composto de lixo e, ou, gesso em consequência da lixiviação dos sais em excesso.

CONCLUSÕES

1. A condutividade elétrica dos solos foi aumentada pela aplicação do composto de lixo. Todavia, esse efeito foi inferior àquele causado pelos adubos minerais, notadamente pelo cloreto de potássio e uréia.

2. A aplicação do composto também aumentou o pH e reduziu a acidez potencial dos solos. A aplicação

do composto de lixo (60 t ha^{-1}) promoveu um efeito sobre o pH dos solos ácidos igual ao do calcário em uma dose equivalente ou superior a 2 t ha^{-1} .

3. A CTC inicial é uma das principais propriedades do solo a ser levada em consideração na decisão de qual a dose do composto a ser aplicada e, se for necessário, no manejo do calcário e adubos minerais.

4. A aplicação do composto de lixo como corretivo do solo pode ser uma prática agrícola viável, contribuindo, assim, para a redução do volume de lixo descartado e reciclagem do material orgânico e mineral nele contido.

LITERATURA CITADA

- ABREU JUNIOR, C.H.; MURAOKA, T. & GINÉ R., M.F.G. Effect of urban solid waste compost applied to several soils and their chemical and physical properties on some metal extractability. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON BIOGEOCHEMISTRY OF TRACE ELEMENTS- ICOBTE99, 5., Viena, 1999. Proceedings of Extended Abstracts. Viena, Universität für Bodenkultur Wien/IUSS, 1999. p.716-717.
- AVNIMELECH, Y.; KOCHBA, M.; YOTAL, Y. & SHKEDI, D. On the use of municipal solid waste for the reclamation of saline and alkaline soils. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 14., Kyoto, 1990. Transactions. Kyoto, ISSS, 1990. v.6. p.186-191.
- AVNIMELECH, Y.; SHKEDI, D.; KOCHBA, M. & YOTAL, Y. The use of compost for the reclamation of saline and alkaline soils. Compost Sci. Util., 2:6-11, 1994.
- BENITES, V.M. & MENDONÇA, E.S. Propriedades eletroquímicas de um solo eletropositivo influenciadas pela adição de matéria orgânica. R. Bras. Ci. Solo, 22:215-221, 1998.
- CRAVO, M.S.; MURAOKA, T. & GINÉ, M.F. Caracterização química de compostos de lixo urbano de algumas usinas brasileiras. R. Bras. Ci. Solo, 22:547-553, 1998.
- FERRO NETO, A. Produção racional de composto de lixo urbano. In: SEMINÁRIO SOBRE USO DE RESÍDUOS INDUSTRIAS E URBANOS EM FLORESTAS, 1., Botucatu, 1994. Trabalhos apresentados. Botucatu, Universidade Estadual de São Paulo, 1994. p.1-14.
- GIORDANO, P.M.; MORTVEDT, J.J. & MAYS, D.A. Effect of municipal wastes on crop yields and uptake of heavy metals. J. Environ. Qual., 4:394-399, 1975.
- HORTENSTINE, C.C. & ROTHWELL, D.F. Use of municipal compost in reclamation of phosphate - mining sand tailings. J. Environ. Qual., 1:415-418, 1972.
- KIEHL, E.J. Fertilizantes orgânicos. Piracicaba, Ceres, 1985. 492p.
- MAAS, E.V. Crop tolerance to saline sprinkling water. Plant Soil, 89:273-284, 1985.
- MATTIAZZO-PREZOTTO, M.E. Química ambiental e agronomia. In: DECHEN, A.R.; BOARETTO, A.E. & VERDADE, F.C., coords. REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 20., Piracicaba, 1992. Anais. Campinas, Fundação Cargill, 1992. p.157-178.
- MAZUR, N.; VELLOSO, A.C.X. & SANTOS, G.A. Efeito do composto de resíduo urbano no pH e alumínio trocável em solos ácidos. R. Bras. Ci. Solo, 7:157-159, 1983.
- MELO, W.J.; MARQUES, M.O.; SILVA, F.C. & BOARETTO, A.E. Uso de resíduos sólidos urbanos na agricultura e impactos ambientais (compact disc). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., Rio de Janeiro, 1997. Anais. Rio de Janeiro, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. CD ROOM.
- OLIVEIRA, F.C. Disposição de lodo de esgoto e composto de lixo urbano num Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de-açúcar. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2000. 247p. (Tese de Doutorado)
- RAIJ, B. van. Fertilidade do solo e adubaçāo. Piracicaba, Ceres, 1991. 343p.
- RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H.; FERREIRA, M.E.; LOPES, A.S. & BATAGLIA, O.C. Análise química do solo para fins de fertilidade. Campinas, Fundação Cargill, 1987. 170p.
- SANTOS, R.V. Correção de um solo Salino-Sódico e absorção de nutrientes pelo feijoeiro vigna (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1995. 120p. (Tese de Doutorado)
- SANTOS, R.V. & MURAOKA, T. Intereração salinidade e fertilidade do solo In: GHEYI, H.R.; QUEIROZ, J.E. & MEDEIROS, J.F., eds. Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada. Campina Grande, Universidade Federal da Paraíba, 1997. p.289-317.
- SAS INSTITUTE INC. SAS-Statistical analysis system (software). Cary, SAS Institute Inc., 1998.
- WONG, M.T.F.; NORTCLIFF, S. & SWIFT, R.S. Method for determining the acid ameliorating capacity of plant residue compost, urban waste compost, farmyard manure, and peat applied to tropical soils. Comm. Soil Sci. Plant Anal., 29:2927-2937, 1998.
- XIN, T.H.; TRAINA, S.J. & LOGAN, T.J. Chemical properties of municipal solid waste compost. J. Environ. Qual., 21:318-329, 1992.
- ZONTA, E.P.; MACHADO, A.A. & SILVEIRA Jr., P. Sistemas de análise estatística para microcomputadores: manual de utilização. Pelotas, 1987. 145p.

