

NOTA

ALTERAÇÕES NA FERTILIDADE DO SOLO EM SISTEMAS DE ROTAÇÃO DE CULTURAS EM SEMEADURA DIRETA⁽¹⁾

J. C. FRANCHINI⁽²⁾, C. M. BORKERT⁽³⁾,
M. M. FERREIRA⁽⁴⁾ & C. A. GAUDÊNCIO⁽⁵⁾

RESUMO

O sistema de semeadura direta com culturas de grãos ocupa atualmente 2,5 milhões de hectares no estado do Paraná. Além do sistema tradicional de sucessão trigo-soja, em grande parte desta área são semeadas plantas de cobertura-adubação verde no inverno e milho no verão. Neste estudo, foram avaliadas as alterações em algumas características químicas do solo, após sete anos, sob os sistemas de rotação de culturas trigo-soja-aveia-soja (TSA), trigo-soja-tremoço-milho-aveia-soja (TMA), tremoço-milho-trigo-soja (TM) e o sistema tradicional de sucessão trigo-soja (TS) em unidades de Latossolo Roxo distrófico, em Londrina e Campo Mourão. O sistema TM diminuiu o pH do solo e os teores de cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}) trocáveis e aumentou o alumínio trocável (Al^{3+}), a acidez potencial ($\text{H} + \text{Al}$) e o N-total do solo em relação ao sistema TS. Essas características apresentaram valores intermediários nos demais sistemas. Não foram observadas diferenças entre os sistemas quanto aos teores de carbono orgânico e potássio trocável (K^+) no solo. A diminuição do teor de Ca^{2+} no sistema TM foi maior do que a quantidade de Ca aplicado na forma de calcário durante o experimento. A adubação nitrogenada no trigo e no milho foi relacionada com a acidificação observada no solo. A manutenção dos níveis de K^+ e diminuição dos níveis de Ca^{2+} e Mg^{2+} resultaram provavelmente de uma alteração na preferência de lixiviação de cátions no sistema TM. A formação de complexos orgânicos com cátions divalentes foi sugerida como provável mecanismo responsável por estas alterações químicas no solo.

Termos de indexação: acidificação do solo, mobilidade de cátions, plantas de cobertura, adubação verde, cálcio.

⁽¹⁾ Trabalho enviado para publicação em setembro de 1998 e aceito para publicação em fevereiro de 2000.

⁽²⁾ Engenheiro-Agrônomo, Embrapa Soja. Caixa Postal 231, CEP 86001-970 Londrina (PR). Bolsista do CNPq.

⁽³⁾ Engenheiro-Agrônomo, Embrapa Soja. Bolsista do CNPq.

⁽⁴⁾ Professor Adjunto do Departamento de Solos e Nutrição de Plantas, Universidade Federal de Lavras - UFLA. Caixa Postal 37, CEP 37200-000 Lavras (MG).

⁽⁵⁾ Engenheiro-Agrônomo, MSc. Embrapa Soja.

SUMMARY: SOIL FERTILITY CHANGES ON NO-TILLAGE CROP ROTATION SYSTEMS

The no-tillage system with grain crops occupies today 2.5 millions hectares in the state of Paraná. Besides the traditional rotation system with wheat and soybean, in many areas green manure cover crops are also sown in the Winter and corn in the Summer. The objective of this study was to evaluate changes in some of the soil chemical properties after eight years under the crop rotation systems: wheat-soybean-black oat-soybean (WOS), wheat-soybean-lupine-corn-black oat-soybean (LCO), lupine-corn-wheat-soybean (LC) and compare them with the traditional system wheat-soybean (WS) grown in two Oxisols at Londrina and Campo Mourão, State of Paraná, Brazil. The LC crop rotation system reduced the soil pH and the level of exchangeable calcium (Ca^{2+}) and magnesium (Mg^{2+}) and increased the exchangeable aluminum (Al^{3+}), the potential acidity ($H + Al$), and the total-N in the soil as compared to the WS system. These characteristics showed intermediate values in the other systems. There were no significant differences on soil levels of organic carbon and exchangeable-K (K^+) among the crop rotation systems. The decrease on the level of Ca^{2+} in the LC system was larger than the amount of Ca applied as lime to the soil during the experiment. Soil acidification was related to the nitrogen fertilization of wheat and corn. The maintenance of levels of K^+ and the decrease on the levels of Ca^{2+} and Mg^{2+} demonstrate that there was a change in the preference of leaching cations in the LC crop rotation system. The formation of metal-organic complexes with divalent cations was assumed to be the possible mechanism responsible for the chemical alterations in the soil.

Index terms: soil acidification, cation mobility, cover crops, green manure, calcium, crop rotation.

INTRODUÇÃO

O sistema de semeadura direta (SD) tem sido cada vez mais explorado em todo o Brasil. Particularmente no Paraná, onde o sistema foi instalado na década de 70, mais de 2,5 milhões de hectares são cultivados atualmente sob este sistema. O sucesso da SD como sistema de produção agrícola está diretamente relacionado com as alterações observadas na dinâmica de decomposição dos resíduos vegetais, considerando o revolvimento do solo.

Os resíduos vegetais mantidos na superfície do solo funcionam como um reservatório de nutrientes que são liberados lentamente pela ação de microrganismos, aumentam a estabilidade estrutural e protegem contra a erosão hídrica (Kemper & Derpsch, 1981; Sidiras et al., 1982). Com o passar do tempo, ocorre um aumento no teor de matéria orgânica do solo (MOS) devido à menor taxa de decomposição dos resíduos vegetais, o que aumenta a fertilidade de solos ácidos com cargas dependentes de pH associadas à matéria orgânica, predominantes no território brasileiro (Pavan et al., 1985; Sidiras & Pavan, 1985; Rheinheimer et al., 1998).

A menor taxa de decomposição da MOS pode acarretar, nos primeiros anos de cultivo sob SD, deficiência de N em culturas exigentes como o milho.

A longo prazo, o aumento do teor de MOS conduz ao aumento do reservatório de N potencialmente mineralizável, compensando a menor taxa de decomposição. Este processo pode ser acelerado em sistemas de rotação de culturas envolvendo leguminosas (Muzilli et al., 1983; Heinzmann, 1985; Derpsch et al., 1985; Bayer & Mielniczuk, 1997; Rheinheimer et al., 1998).

A ausência de revolvimento do solo na SD também implica a não-incorporação do calcário aplicado na superfície do solo. Neste caso, o pH e os teores de Ca e Mg somente seriam aumentados nas camadas superficiais do solo. Esta restrição do efeito alcalino do calcário ao local de aplicação é atribuída à sua baixa solubilidade, à ausência de um ânion estável em sua reação no solo e à geração de cargas dependentes de pH (Gonzalez-Erico et al., 1979; Ritchey et al., 1982; Pavan et al., 1984). Entretanto, no sistema de SD, a presença de resíduos vegetais na superfície proporciona um aumento dos níveis de pH e dos teores de Ca e Mg trocáveis até camadas mais profundas do solo em detrimento do teor de Al trocável (Sidiras & Pavan, 1985; Oliveira & Pavan, 1996; Pöttker & Ben, 1998; Caires et al., 1998; 1999).

Em sistemas de rotação de culturas intensivos, utilizando plantas de cobertura-adubação verde no inverno, existem poucas informações sobre seus efeitos no teor de N total do solo e no comportamento do calcário aplicado na superfície do solo em

experimentos de longa duração. Deste modo, o objetivo do presente estudo foi avaliar, após sete anos em sistema de SD, as alterações químicas de Latossolos Roxos da região norte do Paraná corrigidos com calcário e submetidos a sistemas de rotação de culturas com plantas de cobertura-adubação verde.

MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos avaliados neste estudo foram instalados, em 1985, no campo experimental da Embrapa - Centro Nacional de Pesquisa de Soja, em Londrina, e na fazenda experimental da Cooperativa Agropecuária Mourãoense, em Campo Mourão. Em ambos os locais, o solo é classificado como Latossolo Roxo distrófico (LRd) muito argiloso. Os teores (g kg^{-1}) de argila, silte e areia, na camada de 0-20 cm, foram, respectivamente, de 710, 170, 120, em Londrina, e de 710, 220 e 70, em Campo Mourão. Ambas as áreas, até o verão de 1985, vinham sendo cultivadas com soja no verão e trigo no inverno em sistema de preparo convencional, isto é, revolvimento do solo na camada de 0-20 cm com arado de discos, desde 1970 (em Campo Mourão) e 1973 (em Londrina). As dimensões das parcelas eram de 30 x 6 m, em Campo Mourão, e de 14 x 4 m, em Londrina. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, com quatro repetições. Os tratamentos são apresentados no quadro 1.

Em março de 1985, para instalação dos experimentos, as áreas foram corrigidas com calcário dolomítico numa dose equivalente à necessária para atingir 60% da saturação por bases, o que correspondeu a 2.500 kg ha^{-1} (Campo Mourão) e 2.000 kg ha^{-1} (Londrina). O calcário foi incorporado com arado de discos até à profundidade de 20 cm. No início do sexto ano do experimento, em 1991, antes da implantação da cultura de verão, no caso a soja, todos os tratamentos receberam nova dose de calcário, tendo como objetivo a mesma saturação por bases a ser atingida (60%), o que correspondeu a 1.700 kg ha^{-1} , em Campo Mourão, e 2.000 kg ha^{-1} em Londrina. Nesta oportunidade, o calcário foi aplicado na superfície do solo, sem ser incorporado. As análises químicas (pH, Al, K, Ca, Mg, H + Al e C orgânico) da camada de 0-20 cm dos solos, após a calagem realizada na instalação dos experimentos, foram tomadas como referência para avaliar as alterações químicas após sete anos de condução do experimento em rotação de culturas (Figuras 1 e 2, linha tracejada).

Em ambos os experimentos, as culturas receberam as seguintes adubações (em kg ha^{-1}): (a) trigo (*Triticum aestivum*): 20 de N, 60 de P_2O_5 e 20 de K_2O , na semeadura, mais 20 de N, em cobertura; (b) milho (*Zea mays*): 30 de N, 50 de P_2O_5 e 50 de K_2O , na semeadura, mais 40 de N, em cobertura; (c) soja (*Glicine max*): 40 de P_2O_5 e 40 de K_2O , na semeadura. O nitrogênio na semeadura e em cobertura foi aplicado na forma de sulfato de amônio. As plantas de cobertura-adubação verde,

Quadro 1. Sequência de culturas e método de semeadura nos diferentes sistemas de rotação de culturas avaliados em Londrina e Campo Mourão

Sistema	Ano							
	1985 inv ⁽¹⁾	1986 ver/inv	1987 ver/inv	1988 ver/inv	1989 ver/inv	1990 ver/inv	1991 ver ⁽¹⁾ /inv	1992 ver/inv ⁽²⁾
	1 ^o Ciclo				2 ^o Ciclo			
	Londrina							
TS	Tr c	Sj d Tr d	Sj d Tr d	Sj d Tr d	Sj d Tr d			
TSA	Av c	Sj d Tr d	Sj d Av d	Sj d Tr d	Sj d Av d	Sj d Tr d	Sj d Av d	Sj d Tr d
TMA	Tm c	Mld Av d	Sj d Tr d	Sj d Tr d	Sj d Tm d	Mld Av d	Sj d Tr d	Sj d Tr d
TM	Tm c	Mld Tr d	Sj d Tm d	Mld Tr d	Sj d Tm d	Mld Tr d	Sj d Tm d	Mld Tr d
	Campo Mourão							
TS	Tr c	Sj d Tr d	Sj d Tr d	Sj d Tr d	Sj d Tr d			
TSA	Av c	Sj c Av c	Sj d Tr d	Sj d Tr d	Sj d Av d	Sj c Av d	Sj d Tr d	Sj d Tr d
TMA	Tm c	Mlc Av c	Sj d Tr d	Sj d Tr d	Sj d Tm d	Mlc Av d	Sj d Tr d	Sj d Tr d
TM	Tm c	Mlc Tm c	Mld Tr d	Sj d Tr d	Sj d Tm d	Mlc Tm d	Mld Tr d	Sj d Tr d

Tm: tremoço, Sj: soja, Tr: trigo, Av: aveia, Ml: milho; c: plantio convencional; d: semeadura direta; inv: inverno; ver: verão. ⁽¹⁾aplicação de calcário. ⁽²⁾amostragem de solo após o trigo.

tremoço azul (*Lupinus angustifolius*) e aveia preta (*Avena strigosa*) não receberam adubação. Para controlar as plantas invasoras, foram utilizados Sethoxidin e Fomezafen para gramíneas e folhas largas, respectivamente. A soja foi semeada no espaçamento de 45 cm entrelinhas e população final de 400.000 plantas ha⁻¹. Para o trigo, milho, aveia e tremoço, esses valores foram de 18 cm e 4.500.000 plantas ha⁻¹; 90 cm e 50.000 plantas ha⁻¹; 18 cm e 3.000.000 plantas ha⁻¹; 45 cm e 300.000 plantas ha⁻¹, respectivamente. As plantas de cobertura-adubação verde (tremoço e aveia), quando atingiram o estágio de grão leitoso, foram cortadas pela passagem de rolo faca. A semeadura direta foi o sistema predominante em ambos os experimentos, embora, em Campo Mourão, o plantio convencional tenha sido utilizado em algumas oportunidades (Quadro 1).

A amostragem de solo foi realizada em 1992, após sete anos de cultivo sob os diferentes sistemas de rotação de culturas iniciados em 1985 (Quadro 1), sendo na última semana de setembro em Campo Mourão e na primeira semana de novembro em Londrina. Todas as parcelas sob cultivo foram amostradas após a colheita do trigo (Quadro 1). No centro de cada parcela, foi aberta uma trincheira, perpendicularmente ao sentido das linhas de semeadura, com 0,5 m de profundidade, 1,0 de largura e 1,0 de comprimento, na qual foram tomadas amostras nas seguintes camadas: 0-10, 10-20 e 20-40 cm. O material orgânico presente na superfície foi retirado manualmente e o solo compreendido na área de 1 m² foi coletado com auxílio de espátula. As amostras foram homogeneizadas e secas a 60°C em estufa com circulação forçada de ar, moídas e a fração menor que 2,0 mm foi armazenada para análise posterior.

Nas amostras de solo, foram determinados os teores de carbono orgânico, por meio da oxidação com dicromato de potássio em presença de ácido sulfúrico e titulação do excesso de dicromato com sulfato ferroso amoniacal; N-total, pela digestão do solo com ácido sulfúrico e água oxigenada seguida de destilação a vapor (Kjeldahl) com hidróxido de sódio e titulação do destilado coletado em indicador de ácido bórico com ácido sulfúrico diluído; pH em solução de CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹ na relação 1:2,5 (solo:solução); Ca, Mg e Al extraídos com solução de KCl 1 mol L⁻¹ na relação 1:10 (solo:solução), sendo Ca e Mg determinados por espectrofotometria de absorção atômica e Al por titulação com NaOH 0,015 N, utilizando o indicador azul de bromotimol; acidez potencial (H + Al) pelo pH em SMP, a partir da curva de calibração do pH SMP versus H + Al para os solos do Paraná e K extraído com solução de Mehlich-1 (HCl 0,05 mol L⁻¹ + H₂SO₄ 0,025 mol L⁻¹) e determinado por fotometria de chama (Pavan et al., 1992).

A avaliação dos efeitos dos sistemas de rotação de culturas sobre as características químicas do solo

foi realizada pela análise de variância, seguindo um delineamento de blocos casualizados, com quatro repetições, em cada profundidade do solo. A diferença entre as médias de tratamentos foi avaliada pelo teste de Tukey a 5%.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após sete anos de cultivo em diferentes sistemas de rotação e sucessão de culturas, algumas características químicas dos solos foram significativamente alteradas (Figuras 1 e 2). Em geral, os sistemas TS (trigo-soja em semeadura direta) e TM (tremoço-milho-trigo-soja em semeadura direta) apresentaram comportamentos extremos em relação aos sistemas TSA (trigo-soja-aveia-soja em semeadura direta, principalmente) e TMA (tremoço-milho-aveia-soja-trigo-soja em semeadura direta, principalmente).

A acidificação do solo, caracterizada pela diminuição do pH e do teor de Ca trocável e aumento da acidez trocável (Al) e potencial (H + Al), e o aumento do teor de N-total, no sistema TM, foram as principais alterações químicas observadas (Figuras 1 e 2 e Quadro 2). No caso do Ca, considerando que a diminuição de 1 cmol_c kg⁻¹ de Ca requer a aplicação de 1.000 kg ha⁻¹ de CaCO₃ para sua reposição, os resultados demonstraram que, em Londrina, a diminuição do teor de Ca nos sistemas com TSA, TMA e TM foi igual ou superior à do calcário aplicado em 1991 (2.000 kg ha⁻¹). Em Campo Mourão, o teor de Ca foi equivalente ao do calcário aplicado no mesmo período (1.700 kg ha⁻¹) apenas no sistema TM.

Quadro 2. Teores de Cálcio na camada de 0-20 cm e variação em relação ao valor inicial após sete anos sob diferentes sistemas de rotação de culturas em Londrina e Campo Mourão

Sistema	Londrina		Campo Mourão	
	Cálcio	Diferença ⁽²⁾	Cálcio	Diferença
	cmol _c kg ⁻¹			
Inicial	8,01		3,48	
TS	7,24 ⁽¹⁾	-0,77	3,97	+0,49
TSA	5,78	-2,23	3,75	+0,27
TMA	5,96	-2,05	3,49	0,00
TM	5,03	-2,98	1,88	-1,60

⁽¹⁾média do teores de Ca nas camadas de 0-10 e 10-20 cm (figuras 1 e 2). ⁽²⁾diferença entre teor de Ca no sistema após sete anos e o teor de Ca inicial.

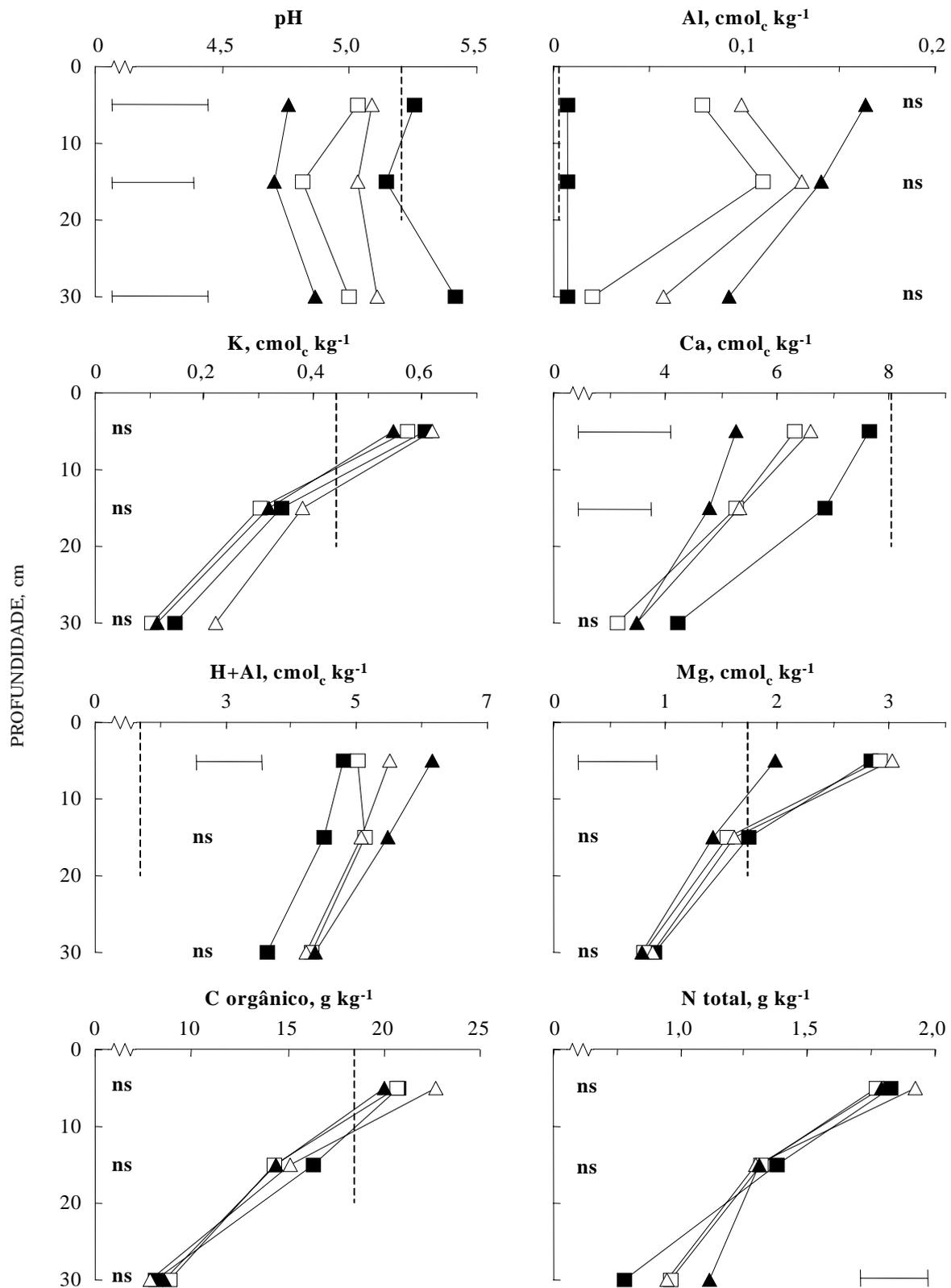


Figura 1. Características químicas do solo em Londrina. Tratamentos: TS (■); TSA(□); TMA(Δ); TM(▲); Valor Inicial (0-20 cm)(---). A seqüência de culturas utilizadas nos sistemas encontra-se no quadro 1. Os valores iniciais não foram considerados na análise estatística. Barras horizontais representam a diferença mínima significativa indicada pelo teste Tukey.

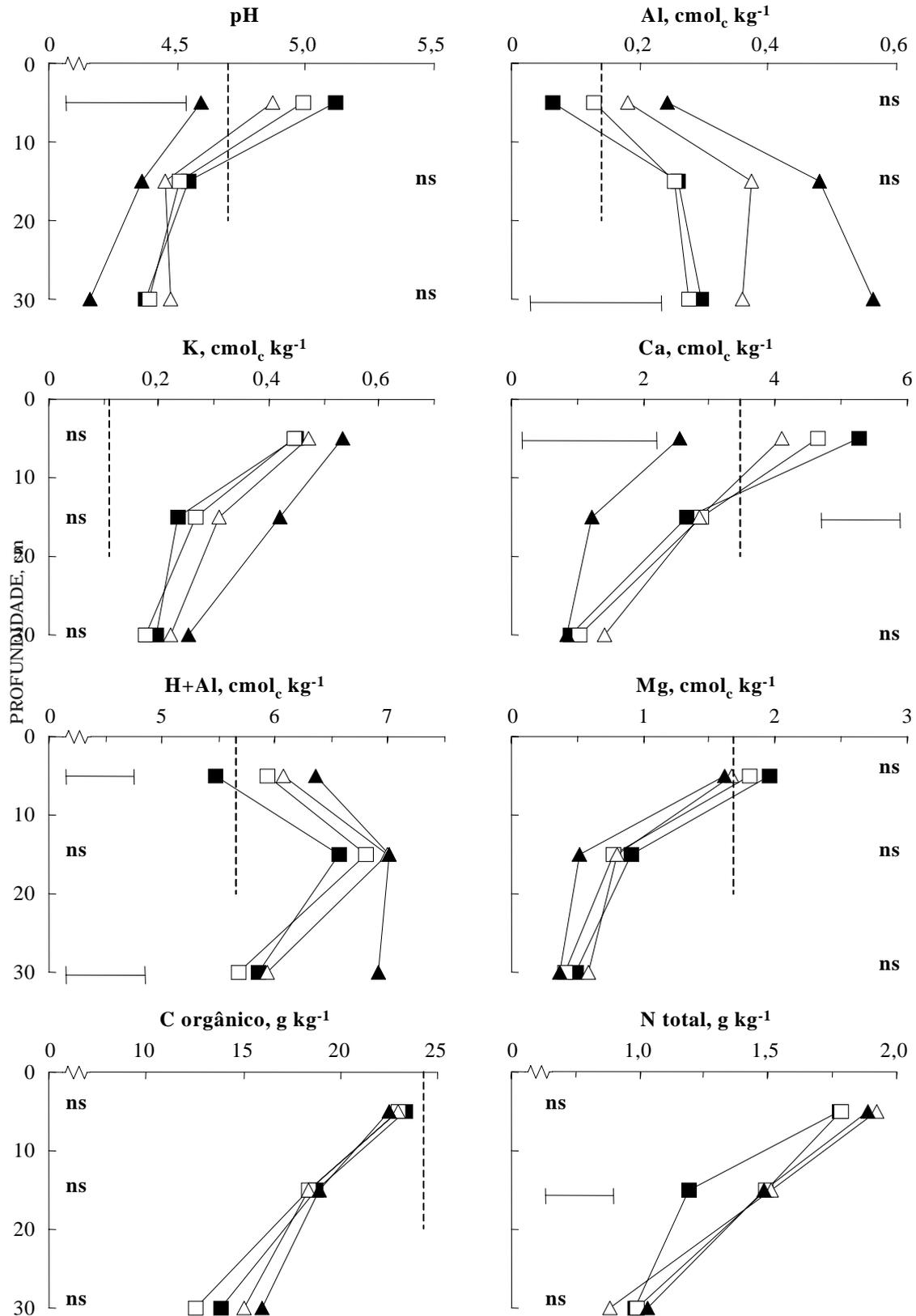


Figura 2. Características químicas do solo em Campo Mourão. Tratamentos: TS (■); TSA(□); TMA(△); TM(▲); Valor Inicial (0-20 cm)(---). A seqüência de culturas utilizadas nos sistemas encontra-se no quadro 1. Os valores iniciais não foram considerados na análise estatística. Barras horizontais representam a diferença mínima significativa indicada pelo teste Tukey.

A adubação nitrogenada com fontes amoniacais tem sido indicada como uma das principais causas da acidificação da superfície do solo no sistema de semeadura direta, graças à produção de prótons durante a nitrificação do amônio (Blevins et al., 1977; Helyar, 1991; Bolan et al., 1991). Neste contexto, Paiva et al. (1996) observaram que a aplicação anual de 90 kg ha⁻¹ de N na forma de sulfato de amônio na sucessão milho/tremoço requereu 3.000 kg ha⁻¹ de calcário para o restabelecimento do pH inicial do solo após sete anos sob o sistema. Rajj et al. (1982) verificaram, em ensaio de calagem para o milho recebendo 100 kg ha⁻¹ de N como sulfato de amônio, que, após cinco anos, as perdas de Ca e Mg chegaram a representar 1,22 cmol_c kg⁻¹ ano⁻¹.

No presente estudo, o total de N aplicado na forma de sulfato de amônio, considerando o trigo e o milho, foi de 320, 160, 300 e 440 kg ha⁻¹, para os sistemas TS, TSA, TMA e TM, respectivamente. Teoricamente, seriam necessários 1.500; 700; 1.400 e 2.100 kg ha⁻¹ de CaCO₃, respectivamente, para neutralizar os prótons produzidos pela completa nitrificação do N aplicado. Neste caso, obteríamos a seguinte ordem de acidificação nos diferentes sistemas: TM > TS > TMA > TSA, diferente da observada: TM > TMA ≥ TSA > TS. Deste modo, além do uso de sulfato de amônio, outra fonte de acidificação deve ser considerada nos sistemas, principalmente naqueles envolvendo plantas de cobertura-adubação verde leguminosas.

No caso do tremoço, a redução do pH pode ser atribuída à liberação de prótons durante o processo de fixação biológica do N em virtude da dissociação de grupos carboxílicos de aminoácidos, para a manutenção da eletroneutralidade na célula (Marschner & Hömheld, 1983; Bolan et al., 1991; Coventry & Slattery, 1991). A quantidade de prótons liberada é equivalente ao excesso de absorção de cátions sobre ânions em leguminosas e varia entre 0,2 e 0,7 mol de H⁺ por mol de N fixado (Nyatsanga & Pierre, 1973; Bolan et al., 1991). Deve ser ressaltado que, no sistema TM, o tremoço no inverno apenas compensaria a ausência da soja no verão, substituída pelo milho, o que teoricamente anularia este efeito, a menos que o potencial de acidificação da soja e o do tremoço sejam diferenciados. A classificação do tremoço no grupo de plantas com potencial médio de acidificação da rizosfera e da soja no grupo de plantas de baixo potencial ou indiferentes quanto à mesma característica, feita por Römheld (1986) confirma esta hipótese e justifica a ocorrência de acidificação do solo em sistemas de culturas envolvendo o tremoço (Coventry & Slattery, 1991; Paiva et al., 1996).

Foi observado um aumento do teor de N nas camadas de 10-20 cm e de 20-40 cm no sistema TM, em Campo Mourão e Londrina, respectivamente (Figuras 1 e 2), concordando com os aumentos de N nas camadas mais profundas do solo observados por Reeves et al. (1984) e Heinzmann (1985) em sistemas envolvendo o tremoço. Este aumento do teor de N em camadas subsuperficiais no sistema TM indica a

lixiviação do N nitrificado, o que explicaria a acidificação da camada superficial do solo. Para que o nitrato seja lixiviado, cátions básicos (K, Ca ou Mg) são requeridos como íons acompanhantes, enquanto os prótons produzidos pela nitrificação do amônio e, ou, do N orgânico permanecem na camada superficial como acidez potencial (Helyar, 1991; Bolan et al., 1991). A lixiviação de Ca como acompanhante do nitrato responderia por parte da diminuição do teor deste elemento no solo, embora seria esperado que o K fosse o cátion preferentemente lixiviado, considerando a menor energia de ligação com o complexo de troca (Loyola & Pavan, 1989).

Neste sentido, Liu & Hue (1996) demonstraram que fulvatos de Ca derivados de resíduos vegetais, considerando a estabilidade do complexo orgânico, apresentam elevada mobilidade em solos ácidos, evidenciando o potencial para a melhoria das condições químicas do subsolo com a utilização de resíduos vegetais. Este mesmo comportamento foi observado em experimentos de campo em sistemas de semeadura direta onde o calcário foi aplicado na superfície do solo (Sidiras & Pavan, 1985; Oliveira & Pavan, 1996; Caires et al., 1998; 1999).

A redução dos teores de Ca na camada arável do solo no sistema TM demonstra que, após sete anos sob esta rotação de culturas, a lixiviação excedeu o Ca aplicado. Neste caso, deve ser considerado que o tremoço em sistemas de rotação em SD apresenta grande potencial para a mobilização de Ca em solo ácido graças à formação de pares de íons ligante-metal ou de complexos solúveis ligante-metal entre Ca e compostos orgânicos de baixo peso molecular (RO⁻ e RCOO⁻) (Harter & Naidu, 1995; Aoyama, 1996a; 1996b) liberados durante a sua decomposição. Na forma orgânica, o Ca teria sua carga líquida alterada, reduzindo a energia de ligação com o complexo de troca, o que favorece sua lixiviação e a manutenção do K no solo. A ausência de diferença entre os teores de K no solo nos diferentes sistemas confirma este comportamento.

A rotação de culturas em semeadura direta é um dos sistemas de produção mais indicados para o manejo de solos ácidos. No entanto, deve-se chamar a atenção para o fato de o aumento das perdas de Ca em alguns sistemas requerer maior reposição do elemento pela aplicação de calcário ou redução do intervalo de tempo entre as aplicações de corretivo; caso contrário, culturas mais sensíveis à acidez poderão ter sua produtividade afetada.

CONCLUSÕES

1. As perdas de Ca trocável podem ser superiores às do Ca aplicado como calcário, principalmente em sistemas onde as leguminosas são usadas como plantas de cobertura-adubação verde.

2. O uso de maior quantidade de fonte de N na forma amoniacal e a presença do tremoço em sistemas de rotação de culturas provocam a acidificação do solo, caso em que o intervalo de tempo entre as aplicações de calcário nestes sistemas deve ser reduzido, para recuperar os teores de Ca trocável e elevar o pH.

AGRADECIMENTOS

Aos funcionários do Laboratório de Solos da Embrapa Soja, Rinaldo B. Conceição, Fábio Ortiz, Valdemar de Oliveira Neto, Nelson Avila Simão, Moisés de Aquino e Nestor Riotti Miura, pelo auxílio técnico nas análises de solo. Aos Técnicos Agrícolas, José Zucca Morais e Rubson N.R. Sibaldelli, pelo auxílio nos experimentos de campo.

LITERATURA CITADA

- AOYAMA, M. Fractionation of water-soluble organic substances formed during plant residue decomposition and high performance size exclusion chromatography of the fractions. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 42:21-30, 1996a.
- AOYAMA, M. Use of high performance size exclusion chromatography to monitor the dynamics of water soluble organic substances during the decomposition of plant residues in soil. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 42:31-40, 1996b.
- BAYER C. & MIELNICZUK, J. Nitrogênio total de um solo submetido a diferentes métodos de preparo e sistemas de cultura. *R. Bras. Ci. Solo*, 21:235-239, 1997.
- BLEVINS, R.L.; THOMAS, G.W. & CORNELIUS, P.L. Influence of no-tillage and nitrogen fertilization on certain properties after 5 years of continuous corn. *Agron. J.*, 69:383-386, 1977.
- BOLAN, N.S.; HEDLEY, M.J. & WHITE, R.E. Processes of soil acidification during nitrogen cycling with emphasis on legume based pastures. In: WRIGHT, R.J.; BALIGAR, V.C. & MURRAN, R.P., eds. *Plant-soil interactions at low pH*. Dordrecht, Kluwer Academic, 1991. p.169-179.
- CAIRES E.F.; CHUEIRI, W.A.; MADRUGA, E.F. & FIGUEIREDO, A. Alterações de características químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na superfície em sistema de cultivo sem preparo do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 22:27-34, 1998.
- CAIRES E.F.; FONSECA, A.F.; MENDES, J.; CHUEIRI, W.A. & MADRUGA, E.F. Produção de milho, trigo e soja em função das alterações das características químicas do solo pela aplicação de calcário e gesso na superfície, em sistema de plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo*, 23:315-327, 1999.
- COVENTRY, D.R. & SLATTERY, N.J. Acidification of soil associated with lupines grown in crop rotation in North-eastern Victoria. *Aust. J. Agric. Res.*, 42:391-397, 1991.
- DERPSCH, R.; SIDIRAS, N. & HEINZMANN, F. Manejo do solo com coberturas verdes de inverno. *Pesq. Agropec. Bras.*, 20:761-773, 1985.
- GONZALEZ-ERICO, E.; KAMPRATH, E.J.; NADERMAN, G.C. & SOARES, W.V. Effect of depth of lime incorporation on the growth of corn on an Oxisol of Central Brazil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 45:1155-1158, 1979.
- HARTER, R.D. & NAIDU, R. Role of metal-organic complexation in metal sorption by soils. *Adv. Agron.*, 55:219-263, 1995.
- HEINZMANN, F.X. Resíduos culturais de inverno e assimilação de nitrogênio por culturas de verão. *Pesq. Agropec. Bras.*, 20: 1021-1030, 1985.
- HELYAR, K.R. The management of acid soils. In: WRIGHT, R.J.; BALIGAR, V.C.; MURRAN, R.P., eds. *Plant-soil interactions at low pH*. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 1991. p.365-382.
- KEMPER, B. & DERPSCH, R. Results of studies made in 1978 and 1979 to control erosion by covers crops and no-till tillage techniques in Paraná, Brazil. *Soil Till. Res.*, 1:253-267, 1981.
- LIU, J. & HUE, N.V. Ameliorating subsoil acidity by surface application of calcium fulvates derived from common organic materials. *Biol. Fertil. Soils*, 21:264-270, 1996.
- LOYOLA Jr, E. & PAVAN, M.A. Seletividade de troca de cátions em solos ácidos. *R. Bras. Ci. Solo*, 13:131-138, 1989.
- MARSCHNER, H. & HÖMHELD, V. In vivo measurement of root-induced pH changes at the soil-root interface: Effect of plant species and nitrogen source. *Z. Pflanzenphysiol.*, 111:241-251, 1983.
- MUZILLI, O.; VIEIRA, M.J.; ALMEIDA, F.L.S.; NAZARENO, N.R.X.; CARVALHO, A.O.R.; LAURENTI, A.E. & LLANILO, R.F. Comportamento e possibilidades da cultura do milho em plantio direto no estado do Paraná. *Pesq. Agropec. Bras.*, 18:41-47, 1983.
- NYATSANGA, T. & PIERRE, W.H. Effect of nitrogen fixation by legumes on soil acidity. *Agron. J.*, 65:936-940, 1973.
- OLIVEIRA, E.L. & PAVAN, M.A. Control of soil acidity in no-tillage system for soybean production. *Soil Till. Res.*, 38:47-57, 1996.
- PAIVA, P.J.R.; VALE, F.R.; FURTINI NETO, A.E. & FAQUIN, V. Acidificação de um Latossolo Roxo do estado do Paraná sob diferentes sistemas de manejo. *R. Bras. Ci. Solo*, 20:71-75, 1996.
- PAVAN, M.A.; BINGHAM, F.T. & PRATT, P.F. Chemical and mineralogical characteristics of selected acid soils of the State of Paraná, Brazil. *Turrialba*, 35:131-139, 1985.
- PAVAN, M.A.; BINGHAM, F.T. & PRATT, P.F. Redistribution of exchangeable calcium, magnesium, and aluminum following lime and gypsum applications to a Brazilian Oxisol. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 48:33-38, 1984.
- PAVAN, M.A.; BLOCH, M.F.; ZEMPULSKI, H.D.; MIYAZAWA, M. & ZOCOLER, D.C. Manual de análise química do solo e controle de qualidade. Londrina, Instituto Agrônomo do Paraná, 1992. 40p. (IAPAR. Circular, 76)
- PÖTTKER, D. & BEN, J.R. Calagem para uma rotação de culturas no sistema plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo*, 22:675-684, 1998.
- RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; CAMARGO, A.P. & SOARES, E. Perdas de cálcio e magnésio durante cinco anos em ensaio de calagem. *R. Bras. Ci. Solo*, 6:33-37, 1982.

- REEVES, T.G.; ELLINGTON, A. & BROOKE, H.D. Effects of lupin-wheat rotations on soil fertility, crop disease and crop yields. *Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb.*, 24:595-600, 1984.
- RHEINHEIMER, D. S.; KAMINSKI, J.; LUPATINI, G. C. & SANTOS, E.J.S. Modificações em atributos químicos de solo arenoso sob sistema plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo*, 22:713-721, 1998.
- RITCHEY, K.D.; SILVA, J.E. & COSTA, U.F. Calcium deficiency in clayey B horizons of Savannah Oxisols. *Soil Sci.*, 133:378-382, 1982.
- RÖMHELD, V. pH changes in the rhizosphere of various crop plants, in relation to the supply of plant nutrients. *Potash-Review, Subject 6, 55th Suite*, 12:1-12, 1986.
- SIDIRAS, N. & PAVAN, M.A. Influência do sistema de manejo do solo no seu nível de fertilidade. *R. Bras. Ci. Solo*, 9:249-254, 1985.
- SIDIRAS, N.; HENKLAIN, J.C. & DERPSCH, R. Comparison of three different tillage system with respect to aggregate stability, the soil and water conservation and the yields of soybean and wheat on an oxisol. *J. Agron. Crop Sci.*, 151:137-148, 1982.

