

Propriedades químicas de um Neossolo Quartzarênico sob diferentes sistemas de manejo no Cerrado mato-grossense

Leidivan Almeida Frazão⁽¹⁾, Marisa de Cássia Píccolo⁽¹⁾, Brigitte Josefina Feigl⁽¹⁾,
Carlos Clemente Cerri⁽¹⁾ e Carlos Eduardo Pellegrino Cerri⁽²⁾

⁽¹⁾Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Laboratório de Biogeoquímica Ambiental, Caixa Postal 96, CEP 13416-000 Piracicaba, SP. E-mail: lafrazao@cena.usp.br, mpiccolo@cena.usp.br, beduardo@cena.usp.br, cerri@cena.usp.br ⁽²⁾Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Departamento de Solos e Nutrição de Plantas, Caixa Postal 9, CEP 13408-900 Piracicaba, SP. E-mail: cepcerri@esalq.usp.br

Resumo – O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de diferentes usos da terra e sistemas de manejo do solo, nas características químicas de um Neossolo Quartzarênico, no Cerrado de Mato Grosso. Os tratamentos estudados foram: cerrado nativo; uma pastagem de baixa produtividade com 22 anos de implantação; plantio convencional com 1 e 4 anos de uso e diferentes sucessões de culturas; e plantio direto com 5 anos de implantação. Foram determinados os teores de carbono e nitrogênio, pH, acidez potencial, capacidade de troca de cátions (CTC), fósforo disponível, bases trocáveis e saturação por bases do solo. Os valores mais baixos de pH, fósforo disponível, potássio, cálcio e magnésio foram observados nas áreas sob cerrado e pastagem, e a menor concentração de carbono no solo sob pastagem refletiu menor CTC do solo. A aplicação do calcário nos tratamentos com plantio convencional e direto favorece o aumento das concentrações de cálcio e magnésio no solo. Nesses sistemas, a saturação por bases (V%) do solo é mais elevada nas áreas com maior tempo de implantação (4 e 5 anos). Embora o Neossolo Quartzarênico possua limitações para o cultivo, em razão de sua baixa fertilidade natural, se adequadamente manejado, este solo apresenta potencial para o cultivo agrícola.

Termos para indexação: fertilidade do solo, pastagem, plantio convencional, plantio direto.

Soil chemical properties in a Typic Quartzipisamment under different management systems in Brazilian savanna in Mato Grosso State, Brazil

Abstract – The objective of this work was to evaluate the effect of different land uses and soil management systems, on chemical characteristics of a Typic Quartzipisamment in the savanna (Cerrado) of Mato Grosso State, Brazil. The treatments studied were: native cerrado; pasture with low productivity for 22 years; conventional tillage with one and four years and different crop successions; and no-tillage for five years. Soil carbon and nitrogen, pH, potential acidity, cation exchange capacity (CEC), available phosphorus, exchangeable bases and base saturation were determined. The cerrado and pasture treatments had the lowest pH, available phosphorus, calcium and magnesium values; and the low soil carbon level under pasture system led to lower soil potential CEC. Liming in conventional tillage and no-tillage promotes an increase in soil calcium and magnesium content. In these systems, the soil base saturation (V%) is higher in the areas with a greater time of implantation (4 and 5 years). Although Neossolo Quartzipisamment has limitations for cultivation purposes, due to low inherent fertility, this soil type may have agricultural potential if managed properly.

Index terms: soil fertility, pastures, conventional tillage, no-tillage.

Introdução

O Cerrado ocupa 207 milhões de hectares do território brasileiro, o que representa aproximadamente 4% da região tropical do mundo (Resck, 1999). Os solos de maior representatividade nesse Bioma são os Latossolos (46%), os Argissolos (15%) e os Neossolos

Quartzarênicos (15%) (Reatto et al., 1998). Esses solos são intemperizados, e suas características marcantes são: o baixo teor de nutrientes, a elevada acidez e a predominância de argilas de baixa atividade (caulinitas e óxi-hidróxidos de Fe e Al).

Os Neossolos Quartzarênicos se originam de depósitos arenosos e apresentam textura de areia ou

areia franca até 2 m de profundidade, com teor de argila inferior a 15%. Embora sejam considerados como de baixa aptidão agrícola, a demanda por novas áreas para o cultivo agrícola, após a década de 1970, culminou com a incorporação desses solos para o sistema pastagem e, posteriormente, para o processo de produção de grãos. O uso contínuo desses solos, com culturas anuais, pode acarretar rápida degradação (Embrapa, 1999), porém o manejo correto pode elevar o seu potencial produtivo em curto prazo (Spera et al., 1999).

A derrubada e queima da vegetação do Cerrado, seguida de cultivo do solo com diversos tipos de manejo, geralmente resulta na diminuição dos teores de C (Brown & Lugo, 1990; Lal, 2003) e da fertilidade do solo. A adoção do plantio convencional pode favorecer a ruptura dos agregados do solo e, conseqüentemente, diminuir a percentagem de macroagregados, aumentar a dos microagregados, e acelerar a decomposição da matéria orgânica (Resck, 1999).

A adoção de práticas conservacionistas pode ter efeito positivo sobre a matéria orgânica do solo (MOS), com reflexos diretos ou indiretos sobre as características químicas. Em áreas com uso do sistema plantio direto, é preconizada a manutenção de resíduos/palhada sobre o solo e a mínima alteração da sua estrutura. Com isso, acredita-se que sua adoção em solos arenosos aumente ou ao menos mantenha sua capacidade produtiva, em razão do aumento da CTC do solo e da maior disponibilidade de nutrientes para as plantas, proporcionado pelo aumento no acúmulo da MOS (Bayer & Mielniczuk, 1997).

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de diferentes usos da terra (pastagem ou cultivo agrícola) e sistemas de manejo do solo (plantio convencional e plantio direto), nas características químicas de um Neossolo Quartzarênico no Cerrado de Mato Grosso.

Material e Métodos

As áreas selecionadas para este estudo estão sobre um Neossolo Quartzarênico (Embrapa, 1999), nas Fazendas Santa Lurdes e Santa Tereza (13°39'S e 59°47'W), em Comodoro, MT. O clima da região é do tipo Aw (Köppen), tropical, com chuvas concentradas no verão (outubro a abril), e um período seco bem definido durante a estação de inverno (maio a setembro). A média anual da precipitação pluviométrica é 1.900 mm por ano, e a média anual da temperatura ambiente é 26°C. O relevo da região é Planalto dos Parecis, com

vegetação original típica do Cerrado, com cobertura arbórea de até 50% com altura média de 3 a 6 m.

Os tratamentos avaliados foram: cerrado (CER), que corresponde ao ponto de referência deste estudo; plantio convencional com um ano de implantação (CS1), que após o desmatamento foi cultivado com soja (*Glycine max* [L.] Merr.) por um ano, em plantio convencional (PC); plantio convencional com quatro anos de implantação (CAS3), em área cultivada com arroz (*Oriza sativa* L.) por um ano, e com soja por três anos; plantio convencional com quatro anos de implantação (CAS/Sor3), em área cultivada com arroz por um ano, e com soja e sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] por três anos em rotação de culturas; plantio convencional com quatro anos de implantação (CAS/M3), em área cultivada com arroz por um ano, e com soja e milho [*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.] por três anos em rotação de culturas; pastagem (CAP22), em área cultivada com arroz por um ano, sob PC, e 22 anos com pastagem de braquiária (*Brachiaria decumbens* Stapf), tendo permanecido sem reforma e caracterizada como de baixa produtividade; e plantio direto com cinco anos de implantação (CAP13S/M5), em área cultivada com arroz por um ano sob PC e, posteriormente, com pastagem por 13 anos sem reforma que, em seguida, foi convertida a plantio direto (PD), com cultivo de soja e de milho em rotação de culturas por cinco anos.

A aplicação de adubos e corretivos foi realizada de forma semelhante no PC e no PD, de acordo com o resultado da análise de solos. Para a cultura da soja, foi empregada a adubação de plantio com 400 kg ha⁻¹ de 2-24-12 (NPK) e, em cobertura, de 100 kg ha⁻¹ de KCl em área total, tendo-se obtido a média de produtividade de 3 a 3,5 Mg ha⁻¹ de grãos. Para o sorgo (CAS/Sor3) ou milho (CAS/M3) foram utilizados 200 kg ha⁻¹ de 2-24-12, tendo-se atingido a produtividade média de grãos de 800 kg ha⁻¹ (milho) e 1,2 Mg ha⁻¹ (sorgo). Com exceção do sistema nativo (CER), para a correção da acidez do solo, em todas as áreas de estudo, foram aplicados 3 Mg ha⁻¹ de calcário dolomítico, após o desmatamento e a queima da vegetação remanescente do cerrado.

O delineamento experimental empregado foi inteiramente casualizado, com cinco repetições para cada área. A coleta das amostras de terra foi realizada nas camadas 0-5, 5-10, 10-20 e 20-30 cm, com cilindros de inox, com 5 cm de diâmetro e de altura. As áreas CS1 e CAS3 estavam sob pousio, e as áreas CAS/Sor3, CAS/M3 e CAP13S/M5 encontravam-se com as

culturas de sorgo e milho no estágio final de desenvolvimento.

As amostras de terra foram secadas ao ar, homogeneizadas e passadas em peneira com malha de 2 mm, para separação do material vegetal não decomposto. Em seguida, as amostras foram moídas e passadas em peneiras de 100 mesh. Os teores totais de C e N foram determinados por combustão a seco, no equipamento Carbo Erba (CHN1110), no Laboratório de Ecologia Isotópica (Cena/Usp). A estimativa da densidade e do teor de argila do solo, nas camadas até 30 cm, foi realizada conforme Embrapa (1979). As análises químicas foram realizadas no Laboratório de Solos, do Centro de Ciências Agrárias, da Universidade Federal de São Carlos, Araras, SP. O pH foi determinado em H₂O e KCl (1 mol L⁻¹), com uso da relação solo:solução de 1:2,5. As cargas do solo foram estimadas pela relação do pH em KCl e pH em água (Mekaru & Uehara, 1972). O fósforo disponível e os cátions trocáveis (K⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺) foram extraídos em resina trocadora de íons (Raij & Quaggio, 1983). O fósforo disponível foi quantificado por espectrofotometria, e os teores de K⁺ por espectrometria de chama. Os íons Ca²⁺ e Mg²⁺ foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica. A acidez potencial do solo foi determinada pelo método da Embrapa (1979). A capacidade de troca de cátions (CTC) e a saturação por bases (V%) foram calculadas.

Os resultados, com exceção do teor de argila, foram submetidos à análise de variância e as médias foram

comparados pelo teste de Tukey, com auxílio do SAS (SAS Institute, 1999).

Resultados e Discussão

A composição granulométrica da fração argila do solo (0–30 cm) foi de 50 g kg⁻¹ no cerrado (CER), na pastagem (CAP22) e nas áreas com um e quatro anos de implantação do PC (CS1 e CAS3); 80 g kg⁻¹ para o PD (CAP13S/M5); e 90 e 100 g kg⁻¹ nas áreas com quatro anos de implantação do PC, com rotação de culturas CAS/Sor3 e CAS/M3, respectivamente.

A densidade do solo do cerrado (CER) foi 1,36 g cm⁻³ e aumentou no sistema sob cultivo convencional para 1,42 g cm⁻³ (CS1), 1,45 g cm⁻³ (CAS/Sor3 e CAS/M3) e 1,47 g cm⁻³ (CAS3); no sistema plantio direto (CAP13S/M5) para 1,49 g cm⁻³, e na pastagem (CAP22) para 1,52 g cm⁻³. Essas diferenças evidenciam que o uso dessa classe de solo com pastagem pode prejudicar sua estrutura a tal ponto que, mesmo após cinco anos de adoção do sistema plantio direto, a densidade apresenta-se próxima àquela da área submetida ao pastejo (e pisoteio) por 22 anos.

Os teores de C do solo diminuíram com a profundidade, em todos os tratamentos estudados (Tabela 1). Essa característica foi marcante nos tratamentos CER e CAP22, que não sofreram revolvimento do solo ao longo do tempo. Os teores de C diminuíram no tratamento CAP22 (pastagem degradada), CAP13S/M5 (plantio direto) e CAS3 (plantio

Tabela 1. Teores médios de carbono e nitrogênio (g kg⁻¹) e relação C:N do solo, nos tratamentos CER, CS1, CAS3, CAS/Sor3, CAS/M3, CAP22 e CAP13S/M5, em Comodoro, MT. Os valores representam a média (n = 5)⁽¹⁾.

Camada (cm)	CER	CS1	CAS3	CAS/Sor3	CAS/M3	CAP22	CAP13S/M5
	Teor de C (g kg ⁻¹)						
0–5	6,74a	6,35ab	4,66c	7,40a	7,50a	4,52c	4,82bc
5–10	4,39cd	6,79abc	4,80bcd	7,07ab	7,35a	4,02d	5,15abcd
10–20	3,58cd	5,59ab	4,40cd	5,57abc	6,43a	3,40d	4,29bcd
20–30	3,03b	3,24b	2,93b	4,71a	5,51a	2,74b	3,31b
	Teor de N (g kg ⁻¹)						
0–5	0,39b	0,40ab	0,36b	0,50a	0,46ab	0,38b	0,40ab
5–10	0,33b	0,42ab	0,33b	0,48a	0,46a	0,35b	0,40ab
10–20	0,23c	0,34ab	0,30bc	0,38ab	0,40a	0,24c	0,32abc
20–30	0,20c	0,22c	0,22c	0,30ab	0,36a	0,20c	0,24bc
	C:N						
0–5	16,54a	16,28a	13,49bc	15,11ab	15,49a	12,36c	12,15c
5–10	13,86ab	15,95a	14,03ab	15,46a	15,62a	12,46ab	10,71b
10–20	14,60ab	16,25a	14,81ab	15,64a	15,93a	12,92b	13,66ab
20–30	13,48bc	13,54bc	12,68c	15,34ab	15,72a	12,27c	13,26c

⁽¹⁾Médias seguidas por letras iguais, em relação à camada de solo, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

convencional), em relação ao Cerrado nativo. Em condições de cerrado, as pastagens bem manejadas normalmente promovem a manutenção e o acúmulo de MOS, mas quando estão degradadas, ou superpastejadas tendem a perder C (Silva et al., 2004). A área manejada com PD foi cultivada por 13 anos com pastagem sem reforma, o que influenciou diretamente nos teores de C, que foram menores em relação aos sistemas com PC. Como após a implantação do PD não houve o revolvimento do solo, houve a tendência de voltar a ter as características do sistema nativo. O tratamento CS1 teve teores de C relativamente altos nas camadas 0–5 e 5–10 cm com a incorporação das cinzas na área, após a queima da vegetação original (cerrado). Alguns trabalhos mostram que nem sempre são registradas perdas de matéria orgânica, nos sistemas convencionais, em relação ao plantio direto (Freitas et al., 2000; Roscoe & Burman, 2003), pois essas diferenças, entre os dois tipos de manejo, são dependentes das condições específicas de cada sistema (tipo de solo, rotação/sucessão de culturas, condições climáticas e tempo de implantação do manejo).

Os teores de C, nos tratamentos CAS/Sor3 e CAS/M3 (preparo convencional), foram maiores do que no sistema plantio direto (CAP13S/M5), o que evidencia a importância da rotação de espécies gramíneas e leguminosas fixadoras de N atmosférico, como a soja. O sistema plantio direto foi implantado em uma área de pastagem degradada e, em razão do pouco tempo de implantação deste sistema, a área ainda não havia conseguido aumentar os teores de C, mesmo com uso da rotação de culturas. Os teores de C mais altos, nos sistemas CAS/S3 e CAS/M3, em relação ao cerrado, também podem estar relacionados com a diferença na textura do solo existente nessas áreas, visto que o aumento do teor de argila está diretamente relacionado com o aumento do conteúdo de C orgânico do solo (Roscoe & Machado, 2002).

Os teores de N foram maiores nas camadas 0–5 e 5–10 cm e decresceram com o perfil do solo (Tabela 1). O maior aporte de N, em relação ao sistema nativo, foi verificado nos tratamentos CAS/Sor3 e CAS/M3, com o uso do sorgo e milheto como safrinha (Amado et al., 1999, 2000) e, sobretudo com a presença da soja, que possui elevada taxa de fixação biológica de N₂ em solos de baixa fertilidade (Alves et al., 2006). A correlação entre os teores de C e de N foi significativa ($p < 0,01$) em todos os tratamentos, com elevados coeficientes de correlação ($r > 0,85$). A relação C:N variou entre 12,3 e

16,5 no perfil de solo; e os valores obtidos nos tratamentos CAS/Sor3 e CAS/M3 podem ser explicados pelo aporte de material vegetal proveniente das gramíneas, que possui elevada quantidade de lignina e celulose (Siqueira Neto, 2006).

O valor médio do pH em água, na camada 0–5 cm do solo sob cerrado, foi mais baixo do que nos sistemas sob cultivo (Tabela 2). O aumento do pH nas áreas de cultivo deve-se à aplicação de calcário, que tem maior efeito nas camadas superficiais, em razão de sua baixa mobilidade no perfil de solo. As áreas cultivadas (pastagem, plantio convencional e plantio direto) apresentaram valores de pH em água entre 6,1 e 6,8, com diferenças estatísticas ($p < 0,05$) nas camadas subsuperficiais.

Verificou-se que somente o tratamento CAP13S/M5 (plantio direto) apresentou gradiente decrescente de pH em água, ao longo do perfil de solo (Tabela 2), tendo diferido dos resultados obtidos por Siqueira Neto (2006), em Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, no Cerrado de Rio Verde, GO, que observou esse padrão nos sistemas plantio convencional e plantio direto. Pode-se, dessa forma, dizer que a distribuição vertical de calcário não foi uniforme ao longo do perfil do solo no plantio direto.

O pH em KCl apresentou as mesmas variações do pH em água (Tabela 2). Os valores de Δ pH foram de -0,31 a -1,91, característica que indica a existência de carga elétrica líquida negativa, com predomínio da CTC no solo. Os tratamentos CER e CS1 apresentaram valores de Δ pH mais negativos nas camadas 0–5 e 5–10 cm, resultado atribuído ao fato de que a maior parte da CTC desse solo está associada ao conteúdo de matéria orgânica (presente em maior quantidade nas camadas superficiais do solo).

A acidez potencial (H+Al) variou entre os tratamentos, e os menores valores em relação ao sistema nativo (CER) foram obtidos nos tratamentos CAS, CAS/Sor3 e CAP13S/M5, nas camadas 0–5 e 5–10 cm (Tabela 2). As áreas de cerrado nativo (CER) e pastagem (CAP22) apresentaram baixos teores de bases trocáveis, que se refletiram no aumento da acidez potencial. Os maiores teores de alumínio trocável (Al³⁺) foram observados no cerrado nativo e nas áreas CS1 e CAP22. As condições de alta saturação de alumínio e baixos teores de cálcio e magnésio, nas camadas subsuperficiais, limitam o desenvolvimento do sistema radicular das plantas nos solos sob cerrado, o que conseqüentemente reduz o volume de solo explorado para absorção de água e nutrientes (Lopes, 1983).

A capacidade de troca de cátions foi menor que 50 mmol_c dm⁻³, em todos os tratamentos estudados; e em relação ao cerrado nativo, os menores valores foram encontrados no tratamento CAP22 na camada 0–5 cm (Tabela 2). Os valores foram decrescentes no perfil de solo, o que está de acordo com os resultados observados em um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico no Cerrado goiano (Siqueira Neto, 2006). Não houve diferença significativa entre as áreas com plantio convencional e plantio direto, e uma explicação provável para tal fato é que o sistema plantio direto demora certo tempo para se estabilizar em solos arenosos. Os sistemas de manejo conservacionistas contribuem para o aumento da matéria orgânica do solo, e conseqüentemente, para o aumento de sua fertilidade. Os solos arenosos possuem baixo teor de matéria orgânica, portanto, para a elevação desses níveis e da CTC do solo, é necessário um tempo maior de implantação em relação aos solos argilosos.

O coeficiente de correlação entre o C do solo e a CTC foi altamente significativa ($p < 0,01$; $r > 0,7$) em todos os tratamentos. Esses resultados mostraram a importância da MOS nas cargas variáveis no solo.

Os maiores teores de P, em relação ao sistema nativo (CER), foram obtidos no sistema plantio direto (CAP13S/M5), com valores entre 11,2 e 20 mg dm⁻³ nas camadas de solo até 20 cm (Tabela 3), o que coincide com os dados de Siqueira Neto (2006), que utilizou a mesma metodologia de extração em um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico. A maior disponibilidade de P na camada superficial no plantio direto pode ser atribuída à baixa mobilidade do elemento no perfil do solo, e o não revolvimento do solo favoreceu a redistribuição de formas orgânicas desse elemento (Bayer & Bertol, 1999). Na maioria dos tratamentos estudados, os teores de P disponível foram decrescentes ao longo do perfil do solo, ou seja, embora o contato das

Tabela 2. pH em água e em KCl, ΔpH, H+Al, Al³⁺ e CTC do solo, nos tratamentos CER, CS1, CAS3, CAS/Sor3, CAS/M3, CAP22 e CAP13S/M5, em Comodoro, MT. Os valores representam a média (n = 5)⁽¹⁾.

Camada (cm)	CER	CS1	CAS3	CAS/Sor3	CAS/M3	CAP22	CAP13S/M5
pH em água							
0–5	5,73b	6,50a	6,76a	6,46a	6,33a	6,46a	6,77a
5–10	6,29c	6,46bc	6,83a	6,53abc	6,19c	6,50abc	6,73ab
10–20	6,45ab	6,49ab	6,74a	6,49ab	6,29b	6,53ab	6,69a
20–30	6,54ab	6,54ab	6,75a	6,14bc	6,11c	6,42abc	6,58a
pH KCl							
0–5	3,87c	5,03b	6,25a	6,07a	5,80a	5,65ab	6,28a
5–10	4,37e	5,07d	6,35ab	6,06abc	6,65cd	5,84bc	6,42a
10–20	4,65d	5,04cd	6,29ab	6,08ab	5,29cd	5,65bc	6,34a
20–30	4,67c	5,11bc	6,10a	5,10bc	5,11bc	5,92a	5,79ab
ΔpH							
0–5	-1,87a	-1,46ab	-0,52c	-0,39c	-0,53c	-0,80bc	-0,49c
5–10	-1,91a	-1,38a	-0,48b	-0,47b	-0,54b	-0,66b	-0,31b
10–20	-1,80a	-1,45ab	-0,45c	-0,42c	-0,99bc	-0,87bc	-0,35c
20–30	-1,87a	-1,42ab	-0,65c	-1,05bc	-1,00bc	-0,50c	-0,79c
H+Al (mmol _c dm ⁻³)							
0–5	44,20a	33,80ab	14,40c	15,80c	21,20bc	24,80bc	14,20c
5–10	37,80a	35,00a	13,80b	15,40b	24,00ab	24,40ab	14,40b
10–20	24,40abc	31,60a	15,20c	19,00bc	26,20ab	22,00abc	15,80c
20–30	21,00bc	23,20ab	16,60c	24,50ab	27,80a	20,00bc	20,40bc
Al ³⁺ (mmol _c dm ⁻³)							
0–5	12,18a	4,44b	0,50c	0,46c	0,54c	4,38b	0,50c
5–10	9,88a	4,88b	0,52c	0,48c	0,86c	3,72bc	0,50c
10–20	6,46a	5,82ab	1,64cd	0,70d	3,20c	3,48bc	0,76d
20–30	5,70a	5,48a	2,68bc	3,22abc	4,22ab	2,78bc	0,86c
CTC (mmol _c dm ⁻³)							
0–5	46,58a	44,98a	37,40ab	40,38ab	40,02ab	28,70b	37,40ab
5–10	40,12ab	45,82a	36,70ab	39,56ab	41,46ab	27,04b	37,48ab
10–20	26,60ab	38,24a	33,62ab	33,74ab	34,72ab	24,64b	34,32ab
20–30	23,20b	26,62ab	26,38ab	28,90ab	32,50a	22,12b	28,14ab

⁽¹⁾Médias seguidas por letras iguais, relativas à camada de solo, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

raízes superficiais das plantas com este elemento no solo possa ser facilitado, sua deficiência em camadas subsuperficiais pode representar um impedimento químico ao desenvolvimento de raízes em profundidade. A rotação de culturas pode amenizar essas diferenças, pela introdução no sistema de espécies com características diversas. Em razão da baixa mobilidade, o acúmulo de P nas camadas superficiais também pode estar ligado à deposição de resíduos culturais, o que favorece a redistribuição de formas orgânicas do elemento que são menos susceptíveis ao processo de degradação (Santos & Tomm, 2003).

As concentrações de K, na maioria das áreas, foram decrescentes com a profundidade (Tabela 3). Resultados semelhantes foram obtidos em alguns estudos, em que as maiores concentrações encontravam-se na camada superficial do solo (Maria et al., 1999; Santos & Tomm, 2003; Siqueira Neto, 2006). O KCl foi depositado na superfície do solo, o que favorece o acúmulo nas camadas superficiais. Os resultados para todos os tratamentos variaram entre 0,1 e 1,6 mmol_c dm⁻³, valores considerados baixos para a fertilidade do solo (Raij et al., 1997).

As menores concentrações de Ca foram obtidas nas camadas superficiais do solo, no sistema nativo (CER), em que não houve aplicação de calcário, e na pastagem (CAP22), área onde a aplicação foi realizada há 23 anos e depois permaneceu sem reposição de nutrientes (Tabela 3). Ao estudar um Espodossolo Ferro Cárbico, com 93% de areia no Pantanal Mato-Grossense, Fernandes (1993) também verificou que as concentrações de Ca na pastagem (20 anos) foram próximas aos valores encontrados no Cerrado. Em relação ao sistema nativo, os maiores valores foram observados nos tratamentos CAS3, CAP13S/M5 e CAS/Sor3 (entre 14,2 e 19,4 mmol_c dm⁻³), nas camadas superficiais. A aplicação do calcário em superfície se mostrou eficiente tanto na neutralização da acidez, quanto no suprimento de Ca para o solo, nas camadas superficiais (0–5 e 5–10 cm), conforme Falleiro et al. (2003) e Kaminski et al. (2005).

Em relação ao Mg, as maiores concentrações foram observadas nas camadas 0–5 e 5–10 cm, nas áreas CAS/Sor3 e CAS/M3 (Tabela 3). As baixas

Tabela 3. Fósforo disponível, cátions trocáveis (K⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺) e saturação por bases (V%) do solo, nos tratamentos CER, CS1, CAS3, CAS/Sor3, CAS/M3, CAP22 e CAP13S/M5, em Comodoro, MT. Os valores representam a média (n = 5)⁽¹⁾.

Camada (cm)	CER	CS1	CAS3	CAS/Sor3	CAS/M3	CAP22	CAP13S/M5
P disponível (mg dm ⁻³)							
0–5	4,80c	5,00c	9,20bc	12,00ab	4,75c	4,60c	15,40a
5–10	4,00b	8,40ab	8,20ab	12,60ab	3,75b	4,40b	20,00a
10–20	3,20b	7,00ab	10,60a	2,60b	4,25b	4,00b	11,20a
20–30	3,40b	4,40ab	6,80a	2,00b	2,60b	4,00ab	3,80ab
K ⁺ (mmol _c dm ⁻³)							
0–5	0,38b	0,78ab	0,60b	1,58a	0,62a	0,30b	1,00ab
5–10	0,32ab	0,82a	0,50ab	0,76a	0,66ab	0,24b	0,48ab
10–20	0,20b	0,64a	0,42ab	0,54ab	0,32ab	0,24ab	0,32ab
20–30	0,20cd	0,42ab	0,38abc	0,50a	0,30acd	0,12d	0,34abc
Ca ²⁺ (mmol _c dm ⁻³)							
0–5	1,00e	6,40d	18,60a	14,20b	10,40c	2,00e	16,80ab
5–10	1,00d	6,40cd	19,40a	14,60ab	9,20bc	1,40d	18,40a
10–20	1,00b	3,80b	16,00a	8,60ab	4,20bc	1,40b	14,60a
20–30	1,00b	1,80ab	8,00a	2,60ab	2,40ab	1,00b	5,20ab
Mg ²⁺ (mmol _c dm ⁻³)							
0–5	1,00d	4,00b	3,80bc	8,80a	7,80a	1,60cd	5,40b
5–10	1,00c	3,60b	3,00bc	8,80a	7,60a	1,00c	4,20b
10–20	1,00c	2,20bc	2,00bc	6,40a	4,00ab	1,00c	3,60b
20–30	1,00a	1,20a	1,40a	2,80a	2,00a	1,00a	2,20a
V (%)							
0–5	5,32d	26,00c	61,39a	60,78a	47,16b	13,65cd	61,95a
5–10	6,07d	24,11c	61,46a	60,65a	42,37b	9,68d	61,63a
10–20	8,29b	16,88b	51,80a	45,41a	25,30b	10,73b	53,77a
20–30	9,50b	12,73b	32,90a	20,20ab	14,29ab	9,61b	27,32ab

⁽¹⁾Médias seguidas por letras iguais, relativas à camada de solo, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

concentrações de Ca e Mg, no sistema nativo (CER), é uma resposta esperada para este tipo de solo, em que a contribuição da vegetação para o suprimento deste nutriente é pequena. Na área CS1 houve um acúmulo grande de bases trocáveis, em relação ao sistema nativo, mesmo com pouco tempo de implantação. Esse resultado pode ser explicado não só pela adubação, mas também pelo efeito residual da queima, que retorna os nutrientes na forma de cinzas (Kauffman et al., 1994). O uso do fogo e a incorporação das cinzas da vegetação original, no preparo do solo para o plantio, elevam o pH e aumentam os teores de bases trocáveis (Sanchez et al., 1983; Fernandes, 1993) e, depois, esses níveis diminuem em relação aos observados no sistema intacto.

A correlação entre Ca e Mg foi altamente significativa para os tratamentos com pastagem, plantio convencional e plantio direto, com coeficientes de correlação entre 0,68 e 0,96.

A saturação por bases (V) foi maior que 50% (Tabela 3), nas camadas superficiais dos tratamentos CAS3 e CAS/Sor3 (plantio convencional) e CAP13S/M5 (plantio direto). Após a colheita da soja, essas áreas mantiveram os valores de V considerados aptos para o cultivo, mesmo onde não houve cultura em sucessão à soja (CAS3). Os menores valores foram obtidos no sistema nativo (CER) e na área CAP22, em que a calagem foi realizada somente na implantação da pastagem.

Conclusões

1. O uso do Neossolo Quartzarênico do Cerrado com pastagens, sem o manejo adequado (com reforma e reposição de nutrientes), culmina em reduções mais acentuadas da fertilidade e da matéria orgânica do solo.

2. A adoção do plantio direto após o uso com pastagem degradada, em Neossolo Quartzarênico do Cerrado, não contribui para o aumento de carbono no solo em curto prazo (cinco anos).

3. Os teores de carbono e de bases, no complexo sortivo do solo, são mais elevados em áreas com maior teor de argila e recém-abertas para o cultivo; é de fundamental importância o manejo dessas áreas com rotação de culturas.

4. A mudança do uso da terra promove alterações nos atributos químicos, nos sistemas com plantio convencional e plantio direto, e o uso do calcário, além de corrigir a acidez, contribui para a diminuição da acidez potencial e dos teores de alumínio.

5. A saturação por bases (V%) é mais elevada quando há maior tempo de implantação dos sistemas de manejo (quatro e cinco anos), o que propicia melhores condições para o cultivo agrícola.

Referências

- ALVES, B.J.R.; ZOTARELLI, L.; FERNANDES, F.M.; HECKLER, J.C.; MACEDO, R.A.T.; BODDEY, R.M.; JANTALIA, C.P.; URQUIAGA, S. Fixação biológica de nitrogênio e fertilizantes nitrogenados no balanço de nitrogênio em soja, milho e algodão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, p.449-456, 2006.
- AMADO, T.J.C.; MIELNICZUCK, J.; FERNANDES, B.S.V. Leguminosas e adubação mineral como fontes de nitrogênio para o milho em sistemas de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, p.179-189, 2000.
- AMADO, T.J.C.; MIELNICZUCK, J.; FERNANDES, B.S.V.; BAYER, C. Culturas de cobertura, acúmulo de nitrogênio total no solo e produtividade de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.679-686, 1999.
- BAYER, C.; BERTOL, I. Características químicas de um Cambissolo Húmico afetadas por sistemas de preparo, com ênfase à matéria orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.687-694, 1999.
- BAYER, C.; MIELNICZUCK, J. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.21, p.105-112, 1997.
- BROWN, S.; LUGO, A.E. Effects of forest clearing and succession on the carbon and nitrogen content of soils in Puerto Rico and US Virgin Islands. **Plant and Soil**, v.124, p.53-64, 1990.
- EMBRAPA. **Manual de métodos de análise do solo**. Rio de Janeiro: Embrapa-SNLCS, 1979. 58p.
- EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412p.
- FALLEIRO, R.M.; SOUZA, C.M.; SILVA, C.S.W.; SEDIYAMA, C.S.; SILVA, A.A.; FAGUNDES, J.L. Influência dos sistemas de preparo nas propriedades químicas e físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.1097-1104, 2003.
- FERNANDES, F.A. **Matéria orgânica e características físico-químicas de Podzóis Hidromórficos no Pantanal matogrossense**: alterações pelo uso com pastagens cultivadas. 1993. 74p. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- FREITAS, P.L.; BLANCANEUX, P.; GAVINELLI, E.; LARRE-LARROUY, M.C.; FELLER, C. Nível e natureza do estoque orgânico de Latossolos sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, p.157-170, 2000.
- KAMINSKI, J.; SANTOS, D.R.; GATIBONI, L.C.; BRUNETO, G.; SILVA, L.S. Eficiência da calagem superficial e incorporada precedendo o sistema plantio direto em um Argissolo sob pastagem natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.573-580, 2005.

- KAUFFMAN, J.B.; CUMMINGS, D.L.; WARD, D.E. Relationships of fire, biomass and nutrient dynamics along a vegetation gradient in the Brazilian Cerrado. **Journal of Ecology**, v.82, p.519-531, 1994.
- LAL, R. Global potential of soil carbon sequestration to mitigate the greenhouse effect. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v.22, p.151-184, 2003.
- LOPES, A.S. **Solos sob cerrado**: características, propriedades e manejo. Piracicaba: Potafos, 1983. 162p.
- MARIA, I.C. de; CASTRO, O.M.; DIAS, H.S. Atributos físicos do solo e crescimento radicular de soja em Latossolo Roxo sob diferentes métodos de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.703-709, 1999.
- MEKARU, T.; UEHARA, G. Anion adsorption in ferruginous tropical soils. **Soil Science Society of America Proceedings**, v.36, p.296-300, 1972.
- RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: IAC, 1997. 285p.
- RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A. **Métodos de análise de solo para fins de fertilidade**. Campinas: IAC, 1983. 31p.
- REATTO, A.; CORREIA, J.R.; SPERA, S.T. Solos do Bioma Cerrado: aspectos pedológicos. In: SANO, S.M.; ALMEIDA, S.P. (Ed.). **Cerrado**: ambiente e flora. Planaltina: Embrapa-CPAC, 1998. p.47-87.
- RESCK, D.V.S.; VASCONCELLOS, C.A.; VILELA, L.; MACEDO, M.C.M. Impact of conversion of Brazilian cerrados to cropland and pastureland on soil carbon pool and dynamics. In: LAL, R.; KIMBLE, J.M.; STEWART, B.A. (Ed.). **Global climate change and tropical ecosystems**. Boca Raton: CRC Press, 1999. p.169-196.
- ROSCOE, R.; BUURMAN, P. Tillage effects on soil organic matter in density fractions of a cerrado Oxisol. **Soil Tillage and Research**, v.70, p.107-119, 2003.
- ROSCOE, R.; MACHADO, P.L.O.A. **Fracionamento físico do solo em estudos de matéria orgânica**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. 86p.
- SANCHEZ, P.A.; VILLACHICA, J.H.; BANDY, D.E. Soil fertility dynamics after clearing a tropical rainforest in Peru. **Soil Science Society of America Journal**, v.47, p.1171-1178, 1983.
- SANTOS, H.P.; TOMM, G.O. Disponibilidade de nutrientes e teor de matéria orgânica em função dos sistemas de cultivo e manejo do solo. **Ciência Rural**, v.33, p.477-486, 2003.
- SAS INSTITUTE. **SAS**: user's guide: version 8. Cary: SAS Institute, 1999.
- SILVA, J.E.; RESCK, D.V.S.; CORAZZA, E.J.; VIVALDI, L. Carbon storage in clayey Oxisol cultivated pastures in the "Cerrado" region, Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.103, p.357-363, 2004.
- SIQUEIRA NETO, M. **Estoque de carbono e nitrogênio do solo com diferentes usos no cerrado em Rio Verde**. 2006. 159p. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- SPERA, S.T.; REATTO, A.; MARTINS, E.S.; CORREIA, J.R.; CUNHA, T.J.F. **Solos areno-quartzosos do Cerrado**: características, problemas e limitações ao uso. Planaltina: Embrapa-CPAC, 1999. 48p.

Recebido em 22 de outubro de 2007 e aprovado em 7 de maio de 2008