

# Disponibilidade de cobre, ferro, manganês e zinco em solos sob pastagens na Região do Cerrado

Pedro Rodolfo Siqueira Vendrame<sup>(1)</sup>, Osmar Rodrigues Brito<sup>(1)</sup>, Cécile Quantin<sup>(2)</sup> e Thierry Becquer<sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup>Universidade Estadual de Londrina, Dep. de Agronomia, Rod. Celso Garcia Cid, Km 380, Caixa Postal 6001, CEP 86051-970 Londrina, PR. E-mail: perovendrame@yahoo.com.br, osmar@uel.br <sup>(2)</sup>Université de Paris-Sud XI, 15 Rue Georges Clémenceau, 91405, Orsay, France. E-mail: quantin@geol.u-psud.fr <sup>(3)</sup>Institut de Recherche pour le Développement, Unité Mixte de Recherche 137, 32 Avenue Henri Varagnat, 93143, Bondy, France. E-mail: becquer@cpac.embrapa.br

**Resumo** – Este trabalho teve como objetivo descrever os teores totais e disponíveis de cobre, ferro, manganês e zinco e suas relações com a acidez, fertilidade, textura e mineralogia de latossolos sob pastagens na Região do Cerrado. Os solos estudados foram amostrados em três regiões: às margens das rodovias GO-060 e BR-154, entre os municípios de Goiânia, GO, e Barra do Garças, MT; no Distrito Federal, e nos municípios de Unai e Paracatu, noroeste de Minas Gerais. Coletaram-se 54 amostras na camada de 0–20 cm. Relacionaram-se as quantidades disponíveis de Cu, Fe, Mn e Zn (extraídos com DTPA) com seus teores totais, textura, mineralogia e variáveis químicas dos solos, por meio da análise de componentes principais. Os teores totais e disponíveis desses elementos foram extremamente variáveis. A disponibilidade de Fe, Cu e Mn se relacionou principalmente com os teores de ferro cristalino e com o pH em água. A disponibilidade de Zn se relacionou principalmente com a capacidade de troca catiônica do solo. O Zn é, entre os micronutrientes avaliados, o mais frequentemente limitante ao desenvolvimento das pastagens na Região do Cerrado.

**Termos para indexação:** análise de componentes principais, latossolos, pH, ferro cristalino, DTPA.

## Availability of copper, iron, manganese and zinc in soils under pastures in the Brazilian Cerrado

**Abstract** – The objective of this work was to describe the total and available Cu, Fe, Mn and Zn contents, and their relation with the oxisols acidity, fertility, texture and mineralogy under Cerrado pastures. The soil samples were taken from three regions: along the highways GO-060 and BR-154, between the towns of Goiânia, GO, and Barra do Garças, MT; in the northeast of the State of Minas Gerais, in the towns of Unai and Paracatu, MG; and in the Federal District. Fifty-four soil samples were collected from the 0–20 cm layer. Available quantities of Cu, Fe, Mn and Zn (DTPA extracted) were related to: total contents, chemical variables, soils texture and mineralogy, through the analysis of the principal components. The available and total Cu, Fe, Mn and Zn content varied greatly. The availability of Fe, Cu and Mn related mainly to the crystalline iron and pH in water. The availability of Zn was mainly related to the soil exchange capacity. Zn was considered the most frequent limiting micronutrient for Cerrado pasture development.

**Index terms:** principal component analysis, oxisols, pH, crystalline iron, DTPA.

### Introdução

Os solos do Cerrado, em geral, são altamente intemperizados e ácidos, com pequenas quantidades de nutrientes essenciais para o crescimento das plantas (Lopes & Cox, 1977). Essas descrições se aplicam principalmente aos latossolos que cobrem metade da área do Bioma Cerrado (Reatto & Martins, 2005).

Nessa região, as pastagens ocupam, aproximadamente, 50 milhões de hectares, das quais 35% são

naturais e 65% são cultivadas (Sano et al., 2000). Há estimativas que indicam que entre 50 e 80% dessas pastagens apresentam solos com variados graus de degradação, o que resulta em baixa produtividade (Brossard & Barcelos, 2005). Essa condição é causada, principalmente, pela baixa atividade biológica e pela deficiência de macro e micronutrientes nos solos (Lilienfein et al., 2003).

Marques et al. (2004) relataram que os solos do Cerrado apresentam teores totais de Cu, Zn e Mn

equivalentes à metade do valor da média mundial. Eles atribuem esse fato ao longo e intenso processo de intemperismo ocorrido nessa região. Singh & Gilkes (1992) deram suporte a essa afirmativa, ao demonstrar que apenas 30% da quantidade total de Mn e 50% das de Cu e Zn estão retidas nos óxidos de Fe e, assim, protegidos da lixiviação.

Vários trabalhos mostraram diminuição da produtividade das culturas, em consequência da carência de micronutrientes (Fageria & Baligar, 1997; Lima et al., 2000; Magalhães et al., 2002), com destaque para a deficiência de zinco. A calagem, quando eleva o pH em água ( $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ ) para valores superiores a 6, ou a saturação por bases para mais de 50%, contribui para o aparecimento de deficiências de micronutrientes (Lima et al., 2000), em consequência do aumento da adsorção dos micronutrientes catiônicos na matéria orgânica, nos óxidos de ferro amorfos e nos óxidos de manganês (Nascimento et al., 2002). Segundo Harter (1991), as reações de adsorção tendem a ser mais rápidas que os processos de precipitação-dissolução, de modo que a adsorção na interface sólido-solução deve ser o fator dominante para regular a concentração de micronutrientes em solução.

Muitas das informações sobre os micronutrientes, em condições brasileiras, são oriundas de trabalhos conduzidos no Estado de São Paulo e na Região Sul do Brasil, o que não reflete a realidade da Região do Cerrado. Poucos trabalhos foram realizados com levantamento dos teores de micronutrientes nessa região (Lopes & Cox, 1977; Marques et al., 2004; Wilcke & Lilienfein, 2004) e, menos ainda, sobre sua disponibilidade em pastagens.

Este trabalho teve como objetivo determinar os teores totais e disponíveis de Cu, Fe, Mn e Zn e suas relações com a acidez, fertilidade, textura e mineralogia de latossolos sob pastagens na Região do Cerrado.

## Material e Métodos

Os solos estudados foram coletados nos anos de 2004 e 2005, em três regiões: às margens das rodovias GO-060 e BR-154, entre os municípios de Goiânia, GO, e Barra do Garças, MT ( $15^{\circ}34'40''\text{S}$  a  $16^{\circ}39'34''\text{S}$  e  $49^{\circ}20'48''\text{W}$  a  $52^{\circ}17'52''\text{W}$ ), no Distrito Federal ( $15^{\circ}30'0,9''\text{S}$  a  $16^{\circ}1'11''\text{S}$  e  $47^{\circ}22'0,9''\text{W}$  a  $48^{\circ}11'58''\text{W}$ ), e nos municípios de Unaí e Paracatu, noroeste de Minas Gerais ( $16^{\circ}35'24''\text{S}$  a  $16^{\circ}52'48''\text{S}$  e  $46^{\circ}27'36''\text{W}$  a  $46^{\circ}48'36''\text{W}$ ). No total, foram coletadas 54 amostras distribuídas nas três regiões.

Para a definição e localização dos pontos de amostragem, foram consultados mapas geológicos e pedológicos, tendo sido selecionados apenas locais compostos pela classe dos latossolos. As amostras foram coletadas apenas em relevos planos ou suavemente ondulados. Todas as áreas selecionadas estavam ocupadas por pastagens. Os pontos amostrados foram georreferenciados com auxílio de equipamento GPS.

Em cada ponto de amostragem, foram coletadas amostras da camada superficial do solo (0–20 cm), com auxílio de trado tipo holandês (material inoxidável). Foram realizadas três tradagens (distanciadas de 1 m), a fim de se obter maior quantidade e homogeneidade das amostras.

As análises químicas, granulométricas e mineralógicas das amostras foram realizadas de acordo com Embrapa (1997). Foram determinados: pH em água (relação 1:2,5); K disponível, extraído com a solução Mehlich-1 ( $0,0125 \text{ mol L}^{-1}$  de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  e  $0,050 \text{ mol L}^{-1}$  de HCl); Al, Ca e Mg trocáveis, extraídos com  $\text{KCl } 1 \text{ mol L}^{-1}$ ; H+Al, extraídos com solução de acetato de cálcio  $0,5 \text{ mol L}^{-1}$  em pH 7 e titulados com  $\text{NaOH } 0,0606 \text{ mol L}^{-1}$ . Com os resultados obtidos nas análises do complexo sortivo, foram calculados: a soma de bases (SB), a capacidade de troca catiônica em pH 7 ( $\text{CTC}_{\text{pH } 7}$ ) e a saturação por bases (V). Para avaliação do carbono orgânico (C), empregou-se o método da oxidação por dicromato de potássio e titulação com sulfato ferroso (método Walkley & Black). Para quantificar os óxidos de Fe cristalinos ( $\text{Fe}_{\text{CBD}}$ ), empregou-se o método ditionito/citrato/bicarbonato de sódio (CBD) (Mehra & Jackson, 1960). Também se realizou a análise termogravimétrica (ATG), com aparelho TGA-50 Shimadzu, para avaliar as quantidades percentuais de caulinita (Ct) e gibbsita (Gb) (Melo et al., 2001).

Os teores totais de Cu, Fe, Mn e Zn foram quantificados em espectrômetro de emissão atômica por plasma, após a extração com as seguintes soluções:  $\text{HF} + \text{HClO}_4 + \text{HCl} + \text{HNO}_3$  (Sun et al., 2001). Avaliaram-se, também, os teores disponíveis desses micronutrientes, em espectrofotômetro de absorção atômica, após a extração com DTPA (Lindsay & Norvell, 1978).

Os dados obtidos das quantidades totais e disponíveis dos micronutrientes foram submetidos a análises estatísticas descritivas, a fim de se obter média, amplitude de variação e distribuição de frequência. Utilizou-se a análise de componentes principais (ACP) com o uso do programa ADE-4 (Thioulouse et al., 1997), com o intuito de se comparar e relacionar a disponibilidade dos

micronutrientes Cu, Fe, Mn e Zn aos seus teores totais, e às variáveis V, SB, pH, CTC<sub>pH 7</sub>, Al<sup>3+</sup>, C, textura, teor de caulinita, gibbsita e óxidos de Fe cristalinos dos solos.

## Resultados e Discussão

Os resultados de média, mínimo, máximo e desvio-padrão dos teores totais e disponíveis dos micronutrientes estão apresentados na Tabela 1.

Exceto para o Mn, que apresentou valores maiores, as médias dos teores totais de micronutrientes foram similares às encontradas por Marques et al. (2004) e Wilcke & Lilienfein (2004), em solos da Região do Cerrado. A amplitude observada pode ser explicada pela grande extensão da área de amostragem, onde há influência de diferentes materiais de origem, ou pela eventual fertilização das pastagens com adubos que continham micronutrientes.

A distribuição de frequências dos teores de micronutrientes disponíveis está apresentada na Figura 1.

Apenas seis solos apresentaram teores de Cu disponível menores do que 0,20 mg kg<sup>-1</sup>, classificados como baixos, e 24 solos apresentaram teores classificados como alto (Raij et al., 1996). Para os teores disponíveis de Zn verificou-se média de 0,83 mg kg<sup>-1</sup> e amplitude de 0,00 a 3,74 mg kg<sup>-1</sup>. Considerando-se baixos os valores de Zn, disponível abaixo de 0,50 mg kg<sup>-1</sup> (Raij et al., 1996), 18 solos (33%) foram incluídos nessa categoria. Ao avaliar a disponibilidade de Zn para a cultura do milho na Região do Cerrado, Galvão (1996) encontrou o valor de 0,6 mg kg<sup>-1</sup> como nível crítico de Zn extraído pelo DTPA. Quando utilizaram o extrator Mehlich-1, Kliemann et al. (2003) sugeriram o valor de

1,7 mg kg<sup>-1</sup> como sendo o nível crítico de Zn para *B. brizantha*, na Região do Cerrado.

Com relação ao Mn disponível, apenas seis solos apresentaram teores menores do que 1,2 mg kg<sup>-1</sup>, classificados como baixos por Raij et al. (1996). No entanto, Kliemann et al. (2003) informaram não existir, ainda, indicativos seguros para a recomendação de Mn em pastagens no Cerrado, já que encontraram o valor de 78 mg kg<sup>-1</sup> como sendo o nível crítico de Mn extraído por Mehlich-1 para *B. brizantha*, valor bem acima do nível crítico de 5 mg kg<sup>-1</sup> sugerido por Lopes (1977). Com exceção de dois solos, todos apresentaram teores de Fe disponível considerados altos (Raij et al., 1996). Deficiências de ferro não vêm sendo constatadas, o que sugere que sua disponibilidade na Região do Cerrado é adequada.

Considerando-se os resultados apresentados anteriormente, pode-se inferir que os teores disponíveis de Cu, Mn e Fe são satisfatórios para o desenvolvimento das pastagens no Cerrado. Com relação ao Zn, verificaram-se teores abaixo do nível crítico em 33% dos solos avaliados, o que reforça a idéia de ser o Zn um dos micronutrientes mais limitantes para o aproveitamento agrícola dos solos do Cerrado (Lopes & Cox, 1977; Magalhães et al., 2002).

A análise de componentes principais (ACP), realizada com o conjunto dos resultados químicos, granulométricos e mineralógicos dos solos, revelou que os dois primeiros eixos explicaram 43,6% da variabilidade total dos dados, sendo 27,2 e 16,4% pelo 1º e 2º eixos, respectivamente (Figura 2). O eixo 1 foi influenciado, especialmente, pela textura do solo, onde a fração grosseira (areia grossa e areia fina) apresentou autovetores negativos, e a fração mais fina (silte e argila) apresentou autovetores positivos. A fração mais fina, principalmente a argila, é influenciada pela mineralogia, demonstrada pela aproximação dos autovetores da fração argila com os de caulinita (Ct), gibbsita (Gb) e Fe extraído pelo CBD (Fe<sub>CBD</sub>).

O eixo 2 foi influenciado por Al<sup>3+</sup> e, de uma forma mais limitada, pelo C orgânico do solo (C), com autovetores positivos, e V, pH<sub>H<sub>2</sub>O</sub> e SB com autovetores negativos. A posição intermediária do autovetor da CTC<sub>pH 7</sub> entre os da argila e do pH<sub>H<sub>2</sub>O</sub> se justifica pelas cargas variáveis dos óxidos de Fe e Al do solo, que aumentam com a elevação do pH<sub>H<sub>2</sub>O</sub> (Ranst et al., 1998). O carbono orgânico (C) teve fraca influência sobre a CTC<sub>pH 7</sub>, provavelmente em razão da baixa variabilidade observada para os teores desse elemento nas amostras estudadas.

**Tabela 1.** Valores médios, mínimos, máximos e desvio-padrão (DP) dos teores totais e disponíveis de cobre, ferro, manganês e zinco de solos sob pastagens no Cerrado.

| Micronutriente                     | Média     | Mínimo            | Máximo     | DP        |
|------------------------------------|-----------|-------------------|------------|-----------|
| ----- (mg kg <sup>-1</sup> ) ----- |           |                   |            |           |
| Teores totais                      |           |                   |            |           |
| Cu                                 | 28,76     | nd <sup>(1)</sup> | 187,50     | 29,41     |
| Fe                                 | 66.690,00 | 9.150,00          | 327.590,00 | 49.940,00 |
| Mn                                 | 151,00    | 19,43             | 1.030,00   | 162,00    |
| Zn                                 | 36,01     | 7,39              | 195,28     | 27,52     |
| Teores disponíveis (DTPA)          |           |                   |            |           |
| Cu                                 | 0,97      | 0,11              | 3,21       | 0,81      |
| Fe                                 | 29,67     | 0,19              | 101,59     | 19,43     |
| Mn                                 | 5,47      | nd                | 33,07      | 6,03      |
| Zn                                 | 0,83      | nd                | 3,74       | 0,58      |

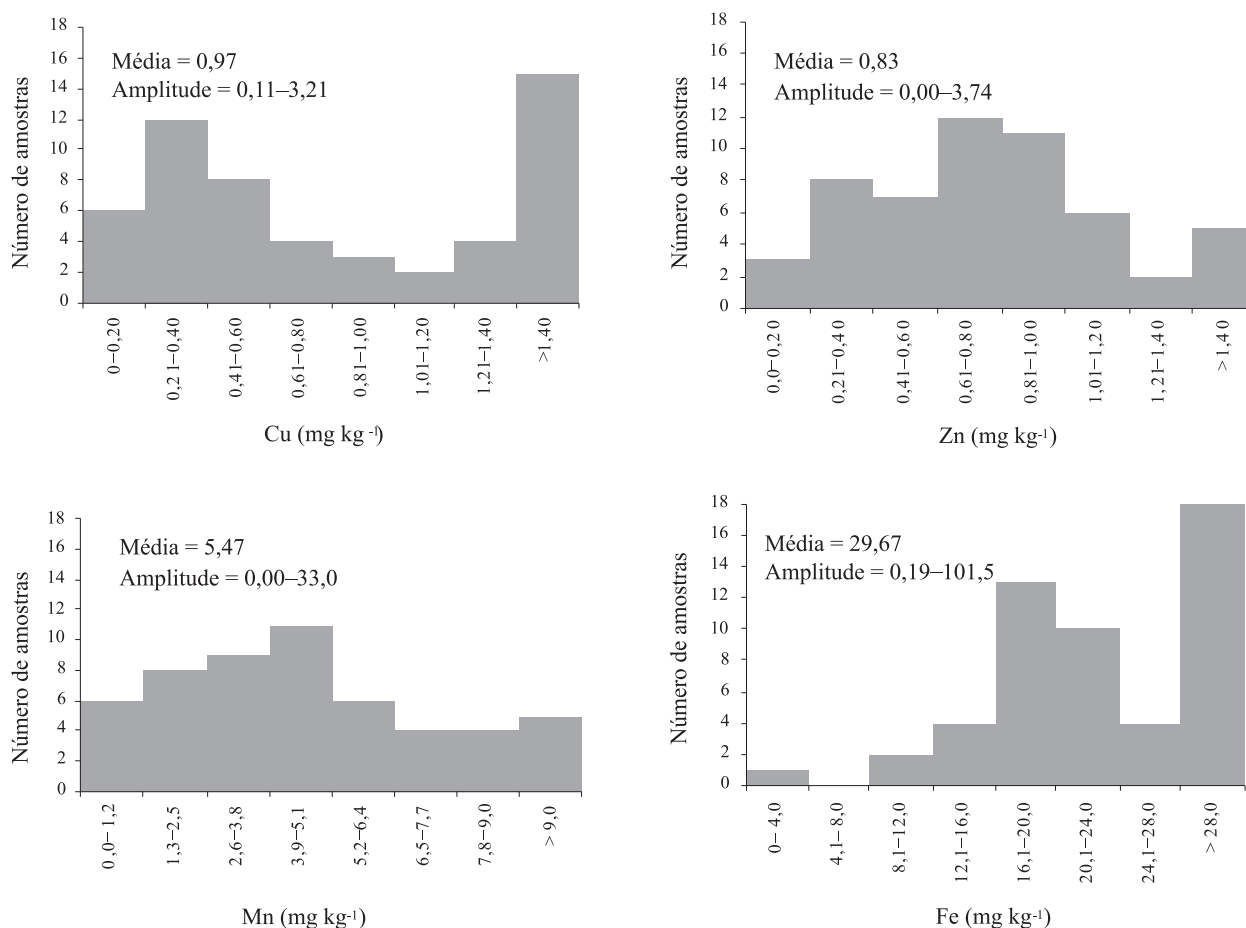
<sup>(1)</sup>Não detectado.

Há grande proximidade entre os autovetores dos metais totais com os da fração fina do solo, principalmente  $Fe_{CBD}$ , o que corrobora dados apresentados por Singh & Gilkes (1992), que constataram que a maior parte dos microelementos avaliados por eles (Cd, Co, Cu, Mn, Ni e Zn) estava associada aos óxidos de Fe, resultante da adsorção específica com a hematita e a goethita.

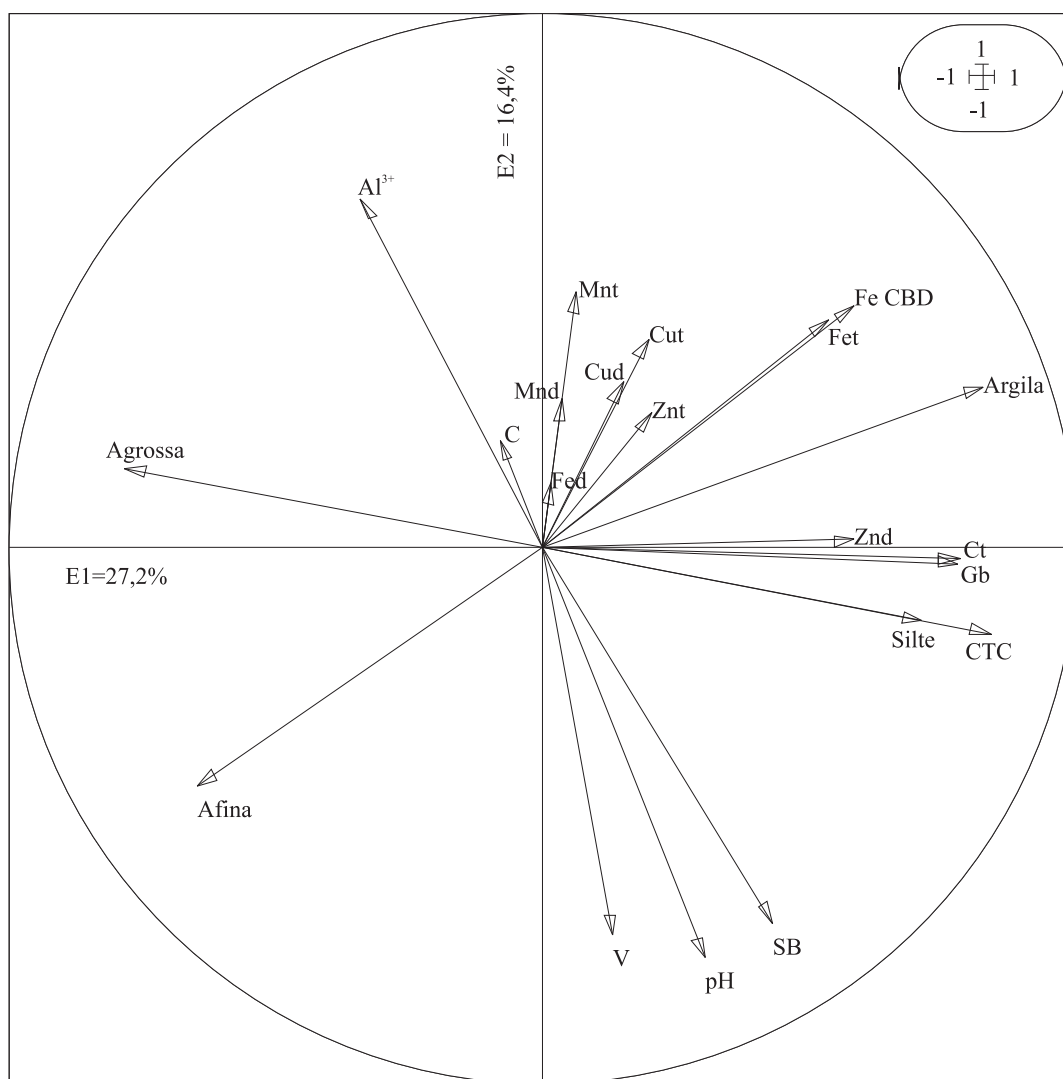
Com exceção do Zn, os autovetores dos micronutrientes disponíveis estão próximos aos autovetores dos teores totais. Eles seguem direção oposta ao  $pH_{H_2O}$  do solo, o que confirma a maior disponibilidade desses micronutrientes nos solos mais ácidos, pela menor retenção pelos constituintes do solo com cargas variáveis (Barrow, 1985). O fato de o autovetor do Mn disponível ser o mais influenciado pelo  $pH_{H_2O}$  pode estar associado à fraca retenção

do Mn nos óxidos de Fe ou na matéria orgânica, quando comparado aos outros micronutrientes avaliados (Nascimento et al., 2002). Portanto, com a acidificação do solo pode-se esperar que o Mn será o micronutriente disponibilizado em primeiro lugar e em maiores quantidades (Lopes & Cox, 1977).

No caso do Zn, não se verifica proximidade entre os autovetores de Zn total e disponível. A ampla integração entre o autovetor de Zn disponível com o da  $CTC_{pH7}$  indica que a fonte provável de Zn disponível no solo seja o Zn trocável, representado pela quantidade de Zn adsorvido nos colóides de carga variável, o que corrobora os dados de Oliveira et al. (1999), que concluíram que a maior parte do Zn obtido pelo extrator DTPA era oriunda da forma trocável de Zn do solo.



**Figura 1.** Distribuição de freqüência, média e amplitude dos teores de cobre, zinco, manganês e ferro, extraídos com DTPA de solos sob pastagens no Cerrado.



**Figura 2.** Círculo de correlações entre as variáveis V, SB,  $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ , CTC,  $\text{Al}^{3+}$ , C, argila, silte, areia grossa, areia fina, caulinita (Ct), gibbsita (Gb),  $\text{Fe}_{\text{CBD}}$ , Cu, Zn, Mn e Fe totais (t) e disponíveis (d), de solos sob pastagens no Cerrado.

### Conclusões

1. Os teores disponíveis de Cu, Mn e Fe são considerados satisfatórios para o desenvolvimento das pastagens no Cerrado.
2. O Zn é o micronutriente mais frequentemente limitante ao desenvolvimento das pastagens.
3. A disponibilidade de Fe, Cu e Mn é explicada principalmente pelas variáveis  $\text{Fe}_{\text{CBD}}$  e  $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ .
4. A variável mais relacionada aos teores disponíveis de Zn no solo é a  $\text{CTC}_{\text{pH } 7}$ .

### Agradecimentos

Ao Ministério das Relações Exteriores da França, por concessão de bolsa ao primeiro autor; ao Institut de Recherche pour le Développement, França, pelo apoio financeiro; ao laboratório de solos da Embrapa Cerrados, pelo suporte técnico; ao Nagib Jorge Melém Júnior e Robélio Leandro Marchão, pelo auxílio na utilização do programa ADE-4.



## Referências

- BARROW, N.J. Reaction of anions and cations with variable-charge soils. **Advances in Agronomy**, v.38, p.183-230, 1985.
- BROSSARD, M.; BARCELLOS, A.O. Conversão do cerrado em pastagens cultivadas e funcionamento de latossolos. **Cadernos de Ciência e Tecnologia**, v.22, p.153-168, 2005.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- FAGERIA, N.K.; BALIGAR, V.C. Response of common bean, upland rice, corn, wheat, and soybean to soil fertility of an Oxisol. **Journal of Plant Nutrition**, v.20, p.1279-1289, 1997.
- GALRÃO, E.Z. Métodos de aplicação de zinco e avaliação de sua disponibilidade para o milho num Latossolo Vermelho-Escuro, argiloso, fase cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.20, p.283-289, 1996.
- HARTER, R.D. Micronutrient adsorption-desorption reactions in soils. In: MORTVERDT, J.J.; COX, F.R.; SHUMAN, L.M.; WELCH, R.M. **Micronutrients in the agriculture**. Madison: Soil Science Society of America, 1991. p.59-88.
- KLIEMANN, H.J.; MAGALHÃES, R.T.; OLIVEIRA, I.P.; MORAES, M.F. Relações da produção de massa verde de *Brachiaria brizantha* com os índices de disponibilidade de nutrientes em solos sob o sistema barreira de manejo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.33, p.49-56, 2003.
- LILIENFEIN, J.; WILCKE, W.; VILELA, L.; AYARZA, M.A.; LIMA, S.C.; ZECH, W. Soil fertility under native cerrado and pasture in the Brazilian savanna. **Soil Science Society of America Journal**, v.67, p.1195-1205, 2003.
- LIMA, D.V.; FAQUIN, V.; FURTINI NETO, A.E.; MORAIS, A.R.; CURTI, N.; HIGA, N.T. Macro e micronutrientes no crescimento do braquiarião e da soja em latossolos sob cerrado da região de Cuiabá - MT. **Ciência e Agrotecnologia**, v.24, p.96-104, 2000.
- LINDSAY, W.L.; NORVELL, W.A. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. **Soil Science Society of America Journal**, v.42, p.421-428, 1978.
- LOPES, A.S. **Available water, phosphorus fixation and zinc levels in Brazilian Cerrado soils in relation to their physical, chemical and mineralogical properties**. 1977. 189p. Thesis (Ph.D.) - North Carolina State University, Raleigh.
- LOPES, A.S.; COX, F.R. A survey of the fertility status of surface soils under cerrado vegetation in Brazil. **Soil Science Society of America Journal**, v.41, p.742-747, 1977.
- MAGALHÃES, R.T.; OLIVEIRA, I.P.; KLIEMANN, H.J. Relações da produção de massa seca e as quantidades de nutrientes exportados por *Brachiaria brizantha* em solos sob o manejo pelo sistema "barreira". **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.32, p.13-20, 2002.
- MARQUES J.J.; SCHULZE, D.G.; CURTI, N.; MERTZMAN, S.A. Trace element geochemistry in Brazilian Cerrado soils. **Geoderma**, v.121, p.31-43, 2004.
- MEHRA, O.P.; JACKSON, M.L. Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. In: National conference on clays and clays minerals, 7., 1960, Washington, D.C. **Proceedings**. New York: Pergamon Press, 1960. p.317-327.
- MELO, V.F.; SINGH, B.; SCHAEFER, C.E.G.R.; NOVAIS, R.F.; FONTES, M.P.F. Chemical and mineralogical properties of kaolinite-rich Brazilian soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.65, p.1324-1333, 2001.
- NASCIMENTO, C.W.A.; FONTES, R.L.F.; NEVES, J.C.L.; MELÍCIO, A.C.F.C. Fracionamento, dessorção e extração química de zinco em latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p.599-606, 2002.
- OLIVEIRA, M.G.; NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L.; VASCONCELOS, C.A.; ALVES, V.M. Relação entre o zinco "disponível", por diferentes extratores, e as frações de zinco em amostras de solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.827-836, 1999.
- 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: Instituto Agrônomo e Fundação IAC, 1996. 255p. (Boletim técnico, 100).
- RANST, E.V.; SHAMSHUDDIN, J.; BAERT, G.; DZWOWA, P.K. Charge characteristics in relation to free iron and organic matter of soils from Bambouto, West Cameroon. **European Journal of Soil Science**, v.49, p.243-252, 1998.
- REATTO, A.; MARTINS, E.S. Classes de solos em relação aos controles da paisagem do bioma Cerrado. In: SCARIOT, A.; SOUZA-SILVA, J.C.; FELFINI, J.M. **Cerrado: ecologia, biodiversidade e conservação**. 1.ed. Brasília-DF: Ministério do Meio Ambiente, 2005. p.47-59.
- SANO, E.E.; BARCELLOS, A.O.; BEZERRA, H.S. Assessing the spatial distribution of cultivated pastures in the Brazilian savanna. **Pasturas Tropicais**, v.22, p.2-15, 2000.
- SINGH, B.; GILKES, R.J. Properties and distribution of iron oxides and their association with minor elements in the soil of Southwestern. **Australian Journal of Soil Science**, v.43, p.77-98, 1992.
- SUN, Y.C.; CHI, P.H.; SHIUE, M.Y. Comparison of different digestion methods for total decomposition of siliceous and organic environmental samples. **Analytical Sciences**, v.17, p.1395-1399, 2001.
- THIOULOUSE, J.; CHESSEL, D.; DOL'ÉDEC, S.; OLIVIER, J.M. ADE-4: a multivariate analysis and graphical display software. **Statistics Computing**, v.7, p.75-83, 1997.
- WILCKE, W.; LILIENFEIN, J. Element storage in native, agri, and silvicultural ecosystems of the Brazilian savanna. II. Metals. **Plant and Soil**, v.258, p.31-41, 2004.

Recebido em 29 de janeiro de 2007 e aprovado em 11 de maio de 2007