



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA
Programa de Pós-graduação em Agricultura Tropical

**ANÁLISE MULTIVARIADA NA AVALIAÇÃO DA
FERTILIDADE DE SOLOS DE MATO GROSSO**

FRANCIELE CAROLINE DE ASSIS VALADÃO

CUIABÁ – MT

2010

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA
Programa de Pós-graduação em Agricultura Tropical

**ANÁLISE MULTIVARIADA NA AVALIAÇÃO DA
FERTILIDADE DE SOLOS DE MATO GROSSO**

FRANCIELE CAROLINE DE ASSIS VALADÃO

Engenheira Agrônoma

Orientadora: Prof^a. Dra. SÂNIA LÚCIA CAMARGOS

Co-orientador: Prof^o. Dr. MARIANO MARTINEZ ESPINOSA

Dissertação apresentada à Faculdade de
Agronomia e Medicina Veterinária da
Universidade Federal de Mato Grosso,
para obtenção do título de Mestre em
Agricultura Tropical.

CUIABÁ – MT

2010

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA
Programa de Pós-graduação em Agricultura Tropical

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

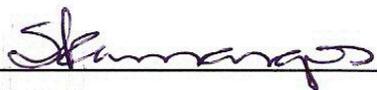
Título: ANÁLISE MULTIVARIADA NA AVALIAÇÃO DA FERTILIDADE DOS SOLOS DE MATO GROSSO.

Autora: FRANCIELE CAROLINE DE ASSIS VALADÃO

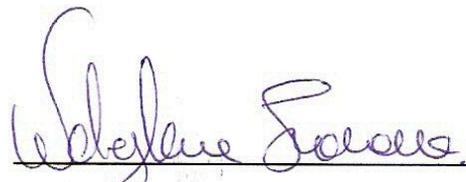
Orientadora: Dra. SÂNIA LÚCIA CAMARGOS

Aprovada em: 01/03/2010

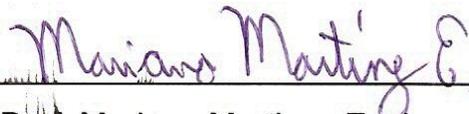
Comissão Examinadora:



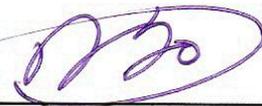
Prof^a. Sônia Lúcia Camargos
(FAMEV/UFMT) (Orientadora)



Prof^a. Walcylene Lacerda Matos
Pereira Scaramuzza
(FAMEV/UFMT)



Prof. Mariano Martinez Espinosa
(ICET/UFMT) (Co-orientador)



Fábio Álvares de Oliveira
(EMBRAPA SOJA)

*“Muitos teriam chegado à sabedoria se não acreditassem que já eram
suficientemente sábios”.*

Juan Luiz Vives

DEDICO:

Aos meus pais, João B. de Assis e Célia M. de Assis, que com muito amor e dedicação sempre estiveram do meu lado.

Ao meu esposo, Daniel D. Valadão Júnior, que foi meu ponto de apoio e equilíbrio durante toda minha vida acadêmica.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por tudo que tenho em minha vida e pela oportunidade que me foi concedida para realizar este estudo.

A minha família, em especial aos meus pais João B. de Assis e Célia M. de Assis, ao meu irmão Fabiano J. de Assis, e ao meu esposo Daniel D. V. Júnior, que confiaram e investiram em mim.

A professora Dra. Sânia Lúcia Camargos, por abrir as portas para minha entrada na UFMT, pela amizade e orientação no presente estudo.

Ao professor Dr. Mariano Martinez Espinosa, pela amizade, coorientação e dedicada atenção no presente estudo, pela paciência e oportunidade de trabalhar com a disciplina de Estatística.

A professora Dra. Walcylene Lacerda Matos, pelo convívio e troca de experiências e informação.

A eng. agrônoma Alexandra P. Soares pela amizade e ajuda no desenvolvimento deste trabalho.

Aos companheiros, Fábio K. Pittelkow, Everton S. de Oliveira, Lorena S. Tavares, Rafael H. P. dos Reis, Liliane S. de Barros, Ramon L. Gomes, Ronnky C. B. da Silva, pela amizade, companheirismo, ajuda, convivência e por partilharem diversos momentos de tensão e alegria comigo, dentro e fora da universidade.

A estagiária Alessandra S. Lopes, pelo auxílio nas atividades laboratoriais.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical (PPAT/UFMT/FAMEV), por colocar a disposição pesquisadores, funcionários e infra-estrutura que possibilitaram a realização do curso.

Ao corpo docente do PPAT, pelos ensinamentos.

Aos funcionários do PPAT, em especial a Maria Minervina e Denise A. A. Alves, pelo auxílio e amizade durante a realização do mestrado.

A empresa de agricultura de precisão Solus Tecnologias Agrícolas e ao laboratório Agroanálise de Cuiabá pelo auxílio na coleta de dados e análise química e física das amostras de solos.

A Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudo.

A todas as pessoas que de alguma forma colaboraram com a execução deste trabalho.

ANÁLISE MULTIVARIADA NA AVALIAÇÃO DA FERTILIDADE DE SOLOS DE MATO GROSSO

RESUMO – O conhecimento da disponibilidade de nutrientes de um solo e o estudo das correlações existente entre as suas propriedades podem propiciar a adoção de sistemas de manejo mais adequados a cada situação. Assim, os objetivos neste trabalho foram: 1) avaliar a situação atual dos teores dos micronutrientes Zn, Cu, Mn, Fe e B e do macronutriente S em regiões agrícolas do estado de Mato Grosso utilizando a análise multivariada de agrupamento; 2) identificar a correlação entre os atributos químicos (pH em CaCl_2 , Al, H, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Fe, Mn, B, matéria orgânica, soma de bases, saturação por bases, capacidade de troca catiônica total e saturação por alumínio) e textura de solos de Mato Grosso; 3) selecionar variáveis que mais influenciam na fertilidade desses solos por meio da técnica de componentes principais; 4) e a partir destas, elaborar modelos estatísticos que possam ser utilizados para prever valores e explicar de que forma as variáveis se interagem. Para isso, foram analisadas, quanto à textura e atributos químicos, amostras de terra retiradas na camada de 0-20 cm de profundidade em 28 municípios do Estado, entre maio de 2008 e junho de 2009. Com a análise de agrupamento foi possível formar quatro grupo de amostras de terra com alta semelhança quanto aos atributos analisados. Os teores de S e micronutrientes estão em níveis adequados para a maioria das culturas cultivadas. Com base nos modelos de regressão, para os solos de Mato Grosso, a CTC está em função da MO e Argila, sendo mais dependente da MO do que da Argila; o elemento P é a variável influenciada por maior número de atributos, estando a sua disponibilidade em função do pH, Ca, Mg, S, Al, Argila e micronutrientes; o Zn tem disponibilidade em função do pH, P, MO, Argila, CTC e Cu; o Cu em função do pH, P, MO, Argila, CTC, Zn e Fe; e por fim, o Fe em função do P, Ca, Mg, Al, Argila, Cu, Mn, S e B.

Palavras-chave: análise de agrupamento, análise de componentes principais, regressão múltipla, análises químicas e físicas de solo.

MULTIVARIATE ANALYSIS IN THE EVALUATION OF SOIL FERTILITY OF MATO GROSSO

ABSTRACT - The knowledge of the availability of nutrients of soil and study the correlations between their properties can foster the adoption of management systems best suited to each situation. Thus, the objectives in this study were: 1) evaluate the current situation of the levels of micronutrients Zn, Cu, Mn, Fe and B and S macronutrient in agricultural regions of Mato Grosso using cluster analysis; 2) identify the correlation between the chemical properties (pH in CaCl₂, Al, H, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Fe, Mn, B, organic matter, total bases, base saturation, total cation exchange capacity, and Al saturation) and soil texture of Mato Grosso; 3) selecting variables that influence the fertility of soils through the technique of principal components; 4) and from these, develop statistical models that can be used to predict values and explain how the variables interact. To do so, were analyzed for texture and chemical properties, soil samples were collected at 0-20 cm depth in 28 municipalities in the State between May 2008 and June 2009. With the cluster analysis was possible to form four groups of soil samples with high similarity in the attributes analyzed. The S and micronutrients are at appropriate levels for most crops grown. Based on regression models for the soils of Mato Grosso, the CTC is a function of organic matter and clay, are more dependent than MO clay; the P element is a variable influenced by many attributes, and its availability depending on pH, Ca, Mg, S, Al clay and micronutrients; Zn availability is a function of pH, P, MO, clay, CTC, and Cu; the Cu as a function of pH, P, MO, clay, CTC, Zn and Fe; and finally, the Fe as a function of P, Ca, Mg, Al, clay, Cu, Mn, S and B.

Keywords: cluster analysis, principal component analysis, multiple regression analysis, chemical and physical analysis of soil.

SUMÁRIO

	Página
CAPÍTULO 1	
INTRODUÇÃO GERAL	11
1.1 Referências Bibliográficas.....	15
CAPÍTULO 2	
DISPONIBILIDADE DE S, Zn, Cu, Fe, Mn e B EM SOLOS DE MATO GROSSO	17
Resumo.....	17
Abstract	18
2.1 Introdução.....	18
2.2 Material e Métodos.....	21
2.3 Resultados e Discussão.....	24
2.4 Conclusões.....	34
2.5 Referências Bibliográficas.....	35
CAPÍTULO 3	
ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS E REGRESSÃO MÚLTIPLA DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DE SOLOS DE MATO GROSSO	39
Resumo.....	39
Abstract	40
3.1 Introdução.....	41
3.2 Material e Métodos.....	43
3.3 Resultados e Discussão	47
3.4 Conclusões	55
3.5 Referências Bibliográficas.....	56
4 CONCLUSÕES	60

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO GERAL

O Cerrado, que representa aproximadamente 40% da área territorial do Mato Grosso (SEPLAN – Secretaria de Estado do Planejamento e Coordenação Geral, 2003), desponta no cenário agrícola nacional, elevando o Estado à maior produtor de grãos do Brasil. Verifica-se que em 21 anos o aumento na produção foi de 767%, passando de 2,75 milhões de toneladas de grãos produzidos em 1988 (IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1989), para 21,1 milhões de toneladas em 2009 (IBGE, 2010).

Fatores como clima favorável, com duas estações bem definidas, temperatura e radiação solar incidente alta em toda a área (SEPLAN, 2003); e o bom grau de estrutura física dos solos, com boa profundidade, porosidade e permeabilidade (Sousa e Lobato, 2004), serviram de estímulo para a exploração agrícola da região.

Por outro lado, apesar de boas condições físicas, os solos dominantes possuem, em condições naturais, limitações quanto as suas propriedades químicas. Há predomínio de minerais silicatados 1:1 e óxidos de Fe e Al, com alta acidez, baixas reservas de nutrientes e capacidade de troca catiônica e alta capacidade de adsorção aniônica (especialmente fosfato) (Costa et al., 2004). As classes de solo de maior representatividade

são os Latossolos e Argissolos, e em menor escala os Neossolos Quartzarênicos, Plintossolos, Cambissolos dentre outros (SEPLAN, 2003).

Com isso, por muitas décadas, as pesquisas estiveram voltadas para corrigir a baixa fertilidade desses solos, com desenvolvimento de programas de calagem e adubações que permitiram que os mesmos fossem incorporados ao processo produtivo. No entanto, essa atividade tornou-se altamente dependente de calcário e fertilizantes minerais para atingir níveis elevados de produtividade.

Todavia, na maioria dos casos, somente o fornecimento de insumos não é suficiente para garantir, por um longo período de tempo, produtividade máxima das culturas. A utilização frequente de insumos poderá resultar em desperdício e prejuízo, tanto nas despesas com correção e adubação, como na redução das colheitas, pela interação que ocorre entre alguns nutrientes quando fornecidos em excesso.

Nesse sentido, o conhecimento da disponibilidade de nutrientes de um solo e o estudo das correlações existentes entre as suas propriedades podem favorecer a otimização da calagem e adubação, o que propicia a adoção de sistemas de manejo mais adequados a cada situação.

A análise de terra é um método rápido, de baixo custo e relativamente eficaz de se conhecer a fertilidade de um solo. Por essa análise, é possível determinar as quantidades de nutrientes que o solo será capaz de fornecer às plantas e qual a quantidade de calcário e adubos que deverá ser aplicada, visando oferecer as melhores condições de produção e de qualidade às culturas.

Com base nos resultados de análise de terra, pode-se utilizar métodos estatísticos multivariados para obter melhor entendimento da rede de correlações entre as propriedades do solo, bem como para auxiliar na tomada de decisão. Estes métodos surgiram como importante ferramenta da obtenção de quantidade maior de informações que dificilmente seria gerada com o uso de métodos univariados (Beebe et al., 1998).

Na estatística multivariada, não basta conhecer as variáveis isoladas, mas conhecê-las na sua totalidade, pois uma depende da outra e as

informações são fornecidas pelo conjunto e não individualmente (Grobe, 2005). Segundo Fikdalski et al. (2007), os estudos que quantificam a qualidade do solo, de modo geral, possuem inúmeras variáveis, as quais são descritas por meio das estatísticas univariadas, comprometendo, possivelmente, as interpretações e as conclusões destes, por não ser explorada a existência ou dependência entre as variáveis analisadas.

Entre os métodos multivariados, a análise de agrupamento tem como base relações de similaridade ou distâncias entre as variáveis, cujo objetivo primordial é agrupar indivíduos de uma amostra de acordo com as suas características, de tal forma que exista homogeneidade dentro do grupo formado e heterogeneidade entre grupos (Johnson e Wichern, 1998; Hair Jr. et al., 2005).

Esse tipo de análise estatística, na área agronômica, é comumente aplicada em melhoramento genético para seleção de caracteres (Bertan et al., 2006; Cargnelutti Filho et al., 2009); entretanto, está sendo utilizada também na classificação de solos (Yong e Hammer, 2000; Fontana et al., 2008) e no estudo das relações entre os atributos do solo (Freddi et al., 2008; Melém Jr. et al., 2008). Melém Jr. et al. (2008) utilizaram a análise de agrupamento para identificar grupos de municípios do estado do Amapá com solos de propriedades químicas semelhantes e assim descrever a disponibilidade de nutrientes nessas regiões.

Outro método multivariado que pode ser aplicado em estudos de fertilidade de solos é a análise de componentes principais, que consiste em transformar um conjunto de variáveis em outro conjunto, os componentes principais, de mesma dimensão, porém com propriedades importantes em que cada componente principal é uma combinação linear de todas as variáveis originais, são independentes entre si e estimados com o propósito de reter, em ordem de estimação, o máximo de informação, em termos da variação total contida nos dados (Johnson e Wichern, 1998; Morrison, 2003).

A análise de componentes principais, muito utilizada para análises de dados de sensores remotos orbitais, tem sido também empregada para análise de atributos do solo. Splechtna e Klinka (2001), estudando solos florestais em uma região montanhosa do Canadá, utilizaram essa análise

estatística para examinar as relações entre regimes de nutrientes do solo identificados qualitativamente no campo e atributos de fertilidade do solo analisados em laboratório. Estes autores observaram que os três primeiros componentes principais, de todos os atributos de fertilidade estudados, explicaram 60% da variância total entre todas as parcelas consideradas. Do mesmo modo, Cox et al. (2003) que, ao estudarem a relação entre as propriedades do solo e o rendimento da soja em Brooksville (Mississippi - EUA), utilizaram três componentes para atingirem o mínimo da variância total.

No Brasil, Carvalho Jr. et al. (2008), com o objetivo de avaliar atributos químicos e físicos de Argissolos na faixa atlântica brasileira, utilizaram a análise de componentes principais e encontraram que os cinco primeiros componentes corresponderam por 70% da variação dos dados, sendo que essa análise permitiu o melhor entendimento das relações geomorfopedológicas dos Argissolos nos diferentes domínios estudados.

Assim, com a análise de componentes principais é possível encontrar as características que mais descrevem os atributos dos solos, bem como, elaborar modelos estatísticos polinomiais que possam estimar valores para uma variável dependente a partir de n variáveis independentes e verificar de que forma essas variáveis se interagem (Johnson e Wichern, 1998; Hair Jr. et al., 2005).

Desse modo, as análises citadas acima podem auxiliar na compreensão da rede de correlações existente no complexo solo e com base nisto, os objetivos neste trabalho foram: 1) verificar a situação atual dos teores dos micronutrientes Zn, Cu, Mn, Fe e B e do macronutriente S em regiões agrícolas do estado do Mato Grosso utilizando a análise multivariada de agrupamento hierárquico; 2) identificar a correlação entre os teores dos nutrientes citados com os valores de pH, capacidade de troca catiônica, matéria orgânica e argila, utilizando a análise multivariada de agrupamento hierárquico; 3) selecionar variáveis que mais influenciam na fertilidade desses solos por meio da técnica de componentes principais; 4) e a partir destas, elaborar modelos estatísticos que possam ser utilizados para prever valores e explicar de que forma as variáveis se correlacionam.

1.1 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- BEEBE, K.R.; PELL, R.J.; SEASHOLT, M.B. **Chemometrics**: A practical guide. New York: John Wiley e Sons, 1998. 348 p.
- BERTAN, I.; CARVALHO, F.I.F.; OLIVEIRA, A.C.; VIEIRA, E.A.; HARTWIG, I.; SILVA, G.; SHIMIDT, D.A.M.; VALÉRIO, I.P.; BUSATO, C.C.; RIBEIRO, G. Comparação de métodos de agrupamento na representação da distância morfológica entre genótipos de trigo. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 12, n. 3, p. 279-286, 2006.
- CARGNELUTTI FILHO, A.; RIBEIRO, N.D.; JOST, E. Número necessário de experimentos para a análise de agrupamento de cultivares de feijão. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, n.2, p. 371-378, 2009.
- CARVALHO JR., W.; SCHAEFER, C.G.E.R.; CHAGAS, C.S.; FERNANDES FILHO, E.I. Análise multivariada de Argissolos na faixa atlântica brasileira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n. 5, p. 2081-2090, 2008.
- COSTA, A.C.S.; BIGHAM, J.M.; TOMENA, C.A.; PINTRO, J.C. Clay mineralogy and cation exchange capacity of Brazilian soils from water contents determined by thermal analysis. **Thermochimica Acta**, Amsterdam, v. 143, n. 102, p. 73-79, 2004.
- COX, M.S.; GERARD, P.D.; WARDLAW, M.C.; ABSHIRE, M.J. Variability of selected soil properties and their relationships with soybean yield. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 67, n. 4, p. 1296–1302, 2003.
- FIDALSKI, J.; TORMENA, C.A.; SCAPIM, C.A. Espacialização vertical e horizontal dos indicadores de qualidade para um Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 1, p. 9-19, 2007.
- FONTANA, A.; BENITES, V.M.; PEREIRA, M.G.; ANJOS, L.H.C. Substâncias húmicas como suporte à classificação de solos brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 5, p. 2073-2080, 2008.
- FREDDI, O.S.; FERRAUDO, A.S.; CENTURION, J.F. Análise multivariada na compactação de um Latossolo Vermelho cultivado com milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 3, p. 953-961, 2008.
- GROBE, J.R. **Aplicações da estatística multivariada na análise de resultados em experimentos com solos e animais**. 2005. 145 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR, 2005.

HAIR JR, J.F.; ANDERSON, R.E.; TATHAM, R.L.; BLACK, W.C. **Análise multivariada de dados**. Trad. SANT'ANNA, A.S; CHAVES NETO, A.. 5 ed. Porto Alegre: Bookman, 2005. 593 p.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**: pesquisa mensal de previsão e acompanhamento das safras agrícolas no ano civil. Rio de Janeiro: IBGE, 1989. 113p. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/servidor_arquivos_est/. Acesso em: 01 nov. 2009.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**: pesquisa mensal de previsão e acompanhamento das safras agrícolas no ano civil. Rio de Janeiro: IBGE, 2009. 118p. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/servidor_arquivos_est/. Acesso em: 01 jan. 2010.

JOHNSON, R.A.; WICHERN, D.W. **Applied multivariate statistical analysis**. 4 ed. Nova Jersey: Prentice-Hall, 1998. 632 p.

MELÉM JR., N.J.; FONSECA, I.C.B.; BRITO, O.R.; DECAENS, T.; CARNEIRO, M.M.; MATOS, M.F.A.; GUEDES, M.C.; QUEIROZ, J.A.L.; BARROSO, K.O. Análise de componentes principais para avaliação de resultados analíticos da fertilidade de solos de Amapá. **Ciências Agrárias**, Londrina, v. 29, n. 3, p. 499-506, 2008.

MORRISON, D.F. **Multivariate statistical methods**. 4 ed. New York: Duxbury Press, 2003. 415 p.

SEPLAN - Secretaria de estado de Planejamento e Coordenação Geral. **Zoneamento Sócio Econômico Ecológico do estado de Mato Grosso** – 2003. Disponível em: <http://www.zsee.seplan.mt.gov.br/servidordemapas/Run.asp>. Acesso em: 18 nov. 2009.

SOUZA, D.M.G; LOBATO, E. **Cerrado**: correção do solo e adubação. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 226 p.

SPLECHTNA, B.E.; KLINKA, K. Quantitative characterization of nutrient regimes of high-elevation forest soils in the Southern coastal region of British Columbia, Canada. **Geoderma**, Amsterdam, v. 102, n. 1-2, p. 153-174, 2001.

YOUNG, F.J.; HAMMER, R.D. Defining geographic soil bodies by landscape position, soil taxonomy, and cluster analysis. **Science Society of America Journal**, Madison, v. 64, n. 3, p. 989-998, 2000.

CAPÍTULO 2

ANÁLISE DE AGRUPAMENTO DE ATRIBUTOS QUÍMICOS DE SOLOS DE MATO GROSSO

RESUMO- A avaliação da fertilidade de um solo é o primeiro passo para definição das medidas necessárias para a correção da acidez e o manejo da adubação, evitando assim problemas de deficiência ou toxidez nutricional aos vegetais. Assim, o objetivo nesta pesquisa foi avaliar a disponibilidade atual dos teores de S, Zn, Cu, Mn, Fe e B em regiões agrícolas de Mato Grosso, bem como correlacionar esses teores com os valores de pH, capacidade de troca catiônica total (CTC), matéria orgânica (MO) e argila utilizando a análise de agrupamento. Foram estudadas amostras de terra na camada de 0-20 cm de profundidade de 28 municípios. Com a análise de agrupamento dos resultados analíticos, foi possível identificar quatro grupos de municípios que continham amostras de terra com alta semelhança quanto aos teores de argila, matéria orgânica, capacidade de troca catiônica total, pH, S e micronutrientes. Os teores de S, Zn, Cu, Fe, Mn e B, de forma geral, foram considerados adequados para o cultivo da maioria das culturas. Em solos agrícolas do estado de Mato Grosso: a CTC foi altamente dependente da MO e do teor de argila, porém com maior afinidade com a MO; os teores de S foram dependentes da MO, CTC e teor de argila; os teores de Mn, Zn e Cu foram dependentes do pH.

Palavras-chave: análise de agrupamento; fertilidade de solos; análises químicas e físicas de solo; nutrientes.

CLUSTER ANALYSIS OF SOIL CHEMICAL ATTRIBUTES OF MATO GROSSO

ABSTRACT- The evaluation of soil fertility is the first step in defining the measures necessary to correct acidity and fertilizer management, thus avoiding problems of nutritional deficiency or toxicity to plants. The objective of this study was to evaluate the current availability of the levels of S, Zn, Cu, Mn, Fe and B in agricultural regions of Mato Grosso and to correlate these levels with the pH, total cation exchange capacity (CTC), organic matter (MO) and clay using cluster analysis. We studied soil samples at 0-20 cm depth of 28 municipalities. With the cluster analysis of the analytical results it was possible to identify four groups of districts containing soil samples with high similarity in the clay, organic matter, total cation exchange capacity, pH, S and micronutrients. The S, Zn, Cu, Fe, Mn and B, in general, were considered suitable for the cultivation of most crops. For agricultural soils of the state of Mato Grosso: the CTC was highly dependent on organic matter and clay content, but with higher affinity for MO, the levels of S were dependent MO, CTC and clay content, the Mn, Zn and Cu were dependent on pH.

Keywords: cluster analysis, soil fertility, chemical and physical analysis of soil, nutrients.

2.1 INTRODUÇÃO

Por muitos anos a utilização de enxofre (S) e micronutrientes (Zn, Cu, Fe, Mn e B) nas adubações das culturas foi feita de forma secundária

juntamente com outros elementos. Porém, com a busca de maximizar a produtividade e com o surgimento de deficiência no solo, houve aumento na utilização desses elementos entre os agricultores nas últimas décadas (Yamada, 2004), principalmente entre os mais tecnificados.

Esse aumento vem acompanhado de inúmeras pesquisas que comprovam a importância da reposição desses nutrientes ao solo, com conseqüente aumento de produtividade em algumas culturas (Sfredo et al., 1997; Bonfim-Silva et al., 2007; Heinrichs et al., 2008).

No entanto, as informações sobre a disponibilidade de S e micronutrientes nos solos do Brasil são restritas às regiões Sul e Sudeste, o que pouco representa o Cerrado. Entre os trabalhos realizados nessa região, destaca-se o levantamento realizado por Lopes (1984). Esse autor trabalhou com 518 amostras coletadas na profundidade de 0-20 cm em vegetação natural não sendo encontrada deficiência de Fe nos solos em estudo, uma vez que a mineralogia dos mesmos é rica em óxidos de Fe. Entretanto, 95%, 70% e 38% das amostras eram deficientes em Zn, Cu e Mn, respectivamente; os demais micronutrientes e S não foram determinados no estudo. Mais recentemente, Marques et al. (2004) reafirmaram essas informações ao determinarem que os teores totais de Cu, Zn e Mn presentes nesses solos são equivalentes à metade do valor da média mundial.

Ao considerar o estado de Mato Grosso, as informações são ainda mais restritas. Por meio dos poucos estudos realizados, como os de Borkert et al. (2002), Pereira et al. (2002a; 2002b) e Sfredo et al. (2008), tem-se observado que os níveis críticos desses elementos no solo diferem muito dos valores que estão sendo considerados adequados para a região do Cerrado.

É importante ressaltar, que tanto a falta quanto o excesso desses nutrientes pode ser prejudicial às culturas, principalmente quanto aos micronutrientes, em que o limite entre deficiência e toxidez é muito estreito. Assim, acredita-se que com o aumento das áreas com sistema de plantio direto, freqüência de calagem e adubação, as concentrações desses nutrientes tenham sido alteradas no solo. Portanto, o conhecimento da

disponibilidade de tais elementos é fundamental para uma recomendação de adubação adequada, evitando assim problemas de deficiência ou toxidez.

Ao discutir a disponibilidade de S e micronutrientes no solo, deve-se levar em consideração as interações existentes com as demais propriedades químicas, entre elas o pH, o teor de matéria orgânica (MO), a capacidade de troca catiônica (CTC) e o teor de argila. Em alguns trabalhos pode-se verificar a interação negativa entre pH elevado e teores de Zn, Cu, Fe, Mn e B (Galvão, 2004; Nascimento et al., 2005; Zanão Jr. et al., 2007), e ao contrario para o S, onde o aumento de pH tem refletido em teores mais elevados desse elemento no solo (Silva et al., 1999).

Há indícios que a situação citada anteriormente ocorra devido a maior mineralização da matéria orgânica que disponibiliza o S orgânico, bem como pela neutralização das cargas positivas que retém esse elemento no solo (Alvarez, 1988; Silva et al., 1999); porém, em solos de textura mais arenosa essa maior disponibilidade pode ser sinônimo de lixiviação, uma vez que facilita o fluxo de S para as camadas mais profundas do perfil (Alvarez, 1988). Por outro lado, enquanto a matéria orgânica pode disponibilizar S e micronutrientes, pela alta relação existente entre esses atributos, poderá ser causa de deficiência de Fe, Cu, Mn e Zn em decorrência de sua ação quelatante sobre esses íons (Oliveira et al., 1998).

Embora, a recomendação de micronutrientes com base na análise química do solo esteja ainda muito limitada, devido aos poucos estudos de calibração para esses nutrientes (Galvão, 2004), esta é ainda uma ferramenta rápida e muito importante para diagnóstico da deficiência de micronutrientes (Fageria, 2000; Yamada, 2004). Diante disso, o objetivo neste trabalho foi avaliar por amostragem e análise de solo a situação atual dos teores dos micronutrientes Zn, Cu, Mn, Fe e B e do macronutriente S em regiões agrícolas do estado de Mato Grosso, bem como correlacionar esses teores com os valores de pH, CTC, MO e argila.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

As amostras de terra estudadas foram coletadas entre maio de 2008 e junho de 2009 em 28 municípios do estado de Mato Grosso cuja área amostrada totalizou 190.703 km². Este trabalho foi desenvolvido junto à empresa de agricultura de precisão Solus Tecnologias Agrícolas em propriedades agrícolas consideradas de elevada produtividade que adotam o sistema de plantio direto e tem como principais culturas a soja, algodão, milho e sorgo.

O processo de amostragem começou com a identificação e medição da área dentro de cada propriedade que seria destinada a agricultura, sendo utilizada como método de amostragem a distribuição sistemática dos pontos (malha de amostragem).

A maioria das propriedades tem sua área destinada ao plantio de espécies agronômicas dividida em partes menores de terra, denominadas de talhões; estes são feitos com o intuito de organizar o trabalho dentro da fazenda para que cada parte ou talhão seja preparado, plantado e colhido dentro de uma ordem cronológica, visto que as propriedades agrícolas do Estado são, em sua maioria, de grandes dimensões e esta divisão torna-se extremamente necessária.

Para a definição e localização dos pontos de amostragem, cada talhão de cada propriedade teve a área percorrida em zigue-zague por um quadriciclo equipado com um amostrador de solo, um receptor GPS (Global Position System) e um computador de bordo com um software específico integrado, que teve como objetivo calcular a área percorrida.

Ao final do percurso, a área e o formato da propriedade foram projetados na tela do computador fazendo a divisão da área em partes homogêneas de cinco hectares, denominadas “*grids*” (Figura 1), onde foram coletadas 10 amostras simples de cada uma dessas partes na profundidade de 0 a 20 cm, sendo que essas amostras simples formaram uma amostra composta que representou cada parte (Figura 2).

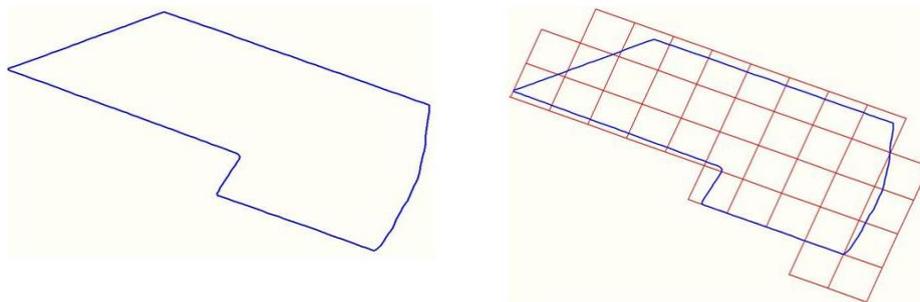


Figura 1. Demonstração da demarcação do talhão e sua posterior subdivisão em *grids*.

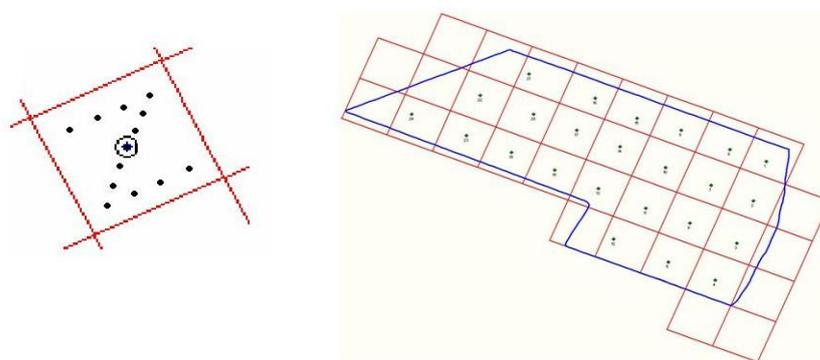


FIGURA 2. Pontos de amostras simples dentro do *grid* e pontos de amostras compostas no *grid* dentro do talhão.

Dessa forma, toda a propriedade agrícola foi amostrada, sendo que as amostras foram encaminhadas para o laboratório para determinação das propriedades químicas e físicas das mesmas. De posse dos resultados analítico das amostras, foi determinada a média de cada talhão obtendo-se ao final 4.556 resultados, os quais foram analisados estatisticamente.

Os municípios e o número de resultados analisados em cada um, conforme descrito acima foram: Alto Taquari (33), Brasnorte (30), Campo Novo dos Parecis (40), Campo Verde (60), Campos de Júlio (27), Cláudia (99), Diamantino (247), Groslândia (12), Ipiranga do Norte (198), Itiquira (24), Jaciara (55), Lucas do Rio Verde (89), Nova Mutum (625), Nova Ubiratã (21), Paranatinga (16), Pedra Preta (13), Porto dos Gaúchos (48), Primavera do Leste (20), Rondonópolis (269), São Gabriel (12), Sapezal (203), Sinop (1003), Sorriso (1097), Santa Rita do Trivelato (84), Tabaporã (16), Tangará da Serra (24), Tapurah (28) e Vera (163). O número de amostras diferente

por município ocorreu por causa da variação do número e tamanho de propriedades nos locais amostrados.

As análises químicas e granulométricas foram realizadas conforme a metodologia da EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (1999) pelo laboratório Agroanálise em Cuiabá, onde foram determinados o pH em CaCl_2 (relação 1:2,5); capacidade de troca catiônica em pH 7 ou capacidade de troca catiônica total (CTC); S por turbidimetria de sulfato de bário; Zn, Cu, Fe e Mn extraídos por Mehlich-1 ($0,0125 \text{ mol L}^{-1}$ de H_2SO_4 e $0,05 \text{ mol L}^{-1}$ de HCl) e quantificados por espectrofotometria de absorção atômica; e o B que foi extraído pelo método da água quente e quantificado por fotolorimetria.

Para a avaliação da matéria orgânica (MO) empregou-se o método da oxidação do carbono por dicromato de potássio e titulação com sulfato ferroso (método Walkley-Black) multiplicando-se o teor de carbono por 1,8. O teor de argila foi determinado pelo método da pipeta.

De posse dos dados e para avaliação regional dos atributos químicos do solo, foi realizada análise multivariada utilizando a técnica de agrupamento hierárquico (Hair Jr. et al., 2005) entre os municípios. Essa análise teve por objetivo reunir, as unidades amostrais em grupos, de tal forma que existisse homogeneidade dentro do grupo e heterogeneidade entre grupos (Johnson e Wichern, 1998; Hair Jr. et al., 2005), isto é, formar grupos de municípios com características químicas semelhantes.

Para realizar a análise de agrupamento foi utilizada como medida de similaridade à distância Euclidiana e o algoritmo de agrupamento pelo Método da Ligação Completa, onde os membros são combinados pela menor distância máxima entre eles (Hair Jr. et al., 2005).

Após divisão dos grupos, foi realizada análise descritiva dos dados, sendo estimado em cada grupo a média e amplitude de variação de cada atributo. Em seguida, foi feita análise de variância (ANOVA) e a comparação pareada das médias pelo teste tukey, considerando nível de significância menor que 0,05 ($p < 0,05$), a fim de verificar diferenças estatísticas entre os grupos. Além disso, com os valores de coeficiente de variação, foi possível

classificar a variabilidade dos dados segundo Warrick e Nielsen (1980) em baixa ($CV < 12\%$), média ($12 < CV < 62\%$) e alta ($CV > 62\%$).

Para os teores de S e micronutrientes foi utilizada distribuição de frequência, sendo realizada a classificação dos níveis de acordo com a Tabela 1. Após serem realizadas as análises descritivas e as interpretações de cada elemento, foi feita outra análise de agrupamento hierárquico, dessa vez entre S, micronutrientes, CTC, MO e pH, a fim de quantificar o grau de dependência entre esses atributos. Todas as análises estatísticas e elaboração dos gráficos foram feitas pelo programa estatístico Minitab versão 15.

TABELA 1. Limites para a interpretação dos teores de enxofre e micronutrientes no solo, para culturas anuais, nos solos do Cerrado

Disponibilidade	B ¹	Cu ¹	Mn ²	Zn ¹	S ³	
					≤ 40% de argila	> 40% de argila
-----mg dm ⁻³ -----						
Baixo	< 0,3	< 0,5	< 5	<1,1	< 2	< 5
Médio	0,3 a 0,5	0,5 a 0,8	5 a 10	1,1 a 1,6	2 a 3	5 a 10
Alto	0,5 a 2	0,8 a 10	10 a 30	1,6 a 10	> 3	> 10
Muito alto ⁴	> 2	> 10	> 30	> 10	-	-

¹Galvão (2004); ²Sfredo et al. (2008); ³Sfredo (2003); ⁴Sfredo et al. (2008)

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com a análise de agrupamento dos resultados analíticos, foi possível identificar quatro grupos de municípios que continham amostras de terra com alta semelhança quanto aos teores de pH, argila, matéria orgânica (MO), capacidade de troca catiônica total (CTC), enxofre (S) e micronutrientes (Zn, Cu, Fe, Mn e B) (Figura 3 e 4).

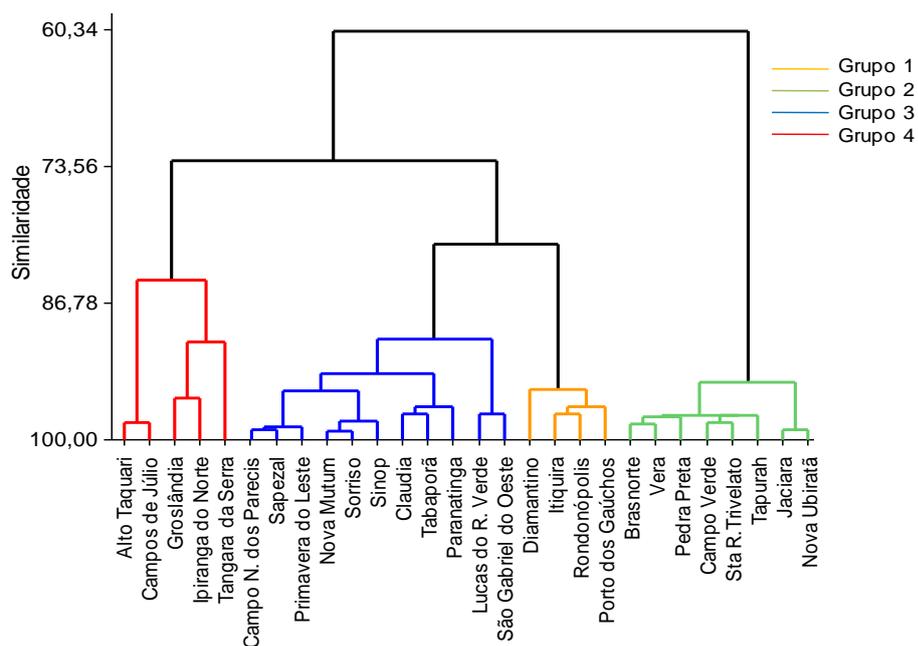


FIGURA 3. Agrupamento hierárquico dos municípios de Mato Grosso por semelhança de alguns atributos químicos do solo, 2009.

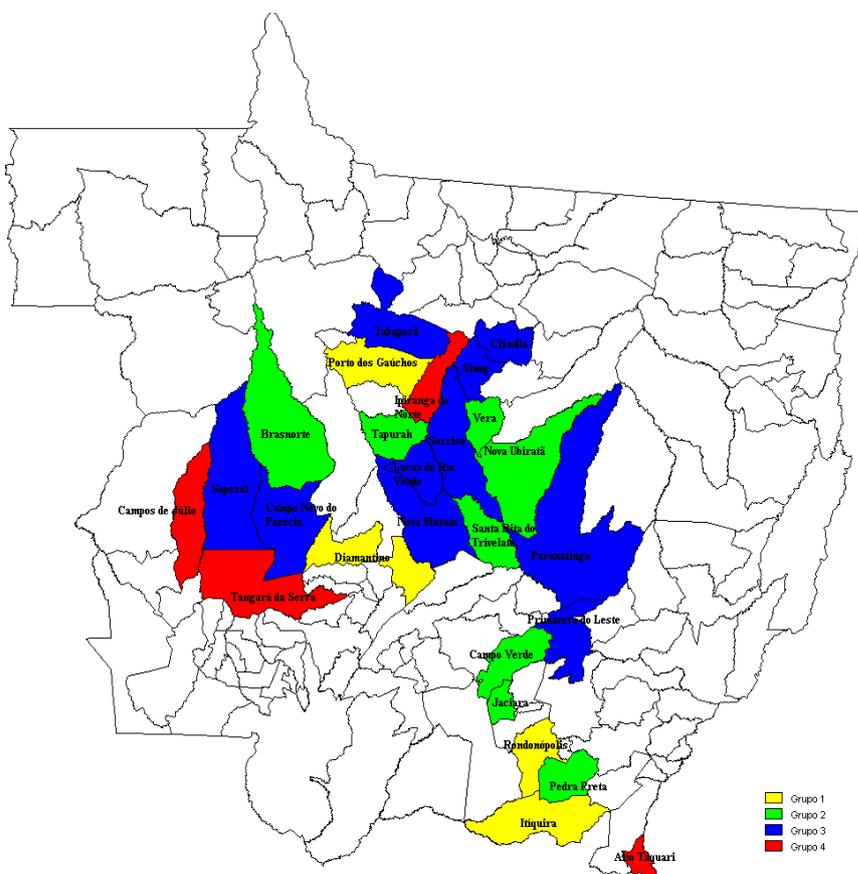


FIGURA 4. Municípios de Mato Grosso por semelhança de alguns atributos químicos do solo, 2009.

Na Tabela 2, pode ser observado o resultado da análise descritiva dos grupos formados, onde foram obtidas medidas estatísticas distintas para cada grupo, demonstrando claramente as diferenças em relação algumas propriedades químicas do solo. Pode-se constatar que os teores de MO e CTC tenderam a aumentar com os valores de argila, e com exceção do Fe e B, os outros nutrientes tenderam a ter maiores teores à medida que essas variáveis aumentaram.

O grupo 1 foi formado por solos mais argilosos com teores médios de MO, CTC, S, Zn, Cu e Mn estatisticamente maiores que os demais grupos e menor média de Fe e B. Os grupos 2 e 3 são formados por solos com textura média e valores médios de MO, CTC, S, Zn, Cu, Fe e B. O grupo 4 foi formado por solos mais arenosos com menores teores médios de MO, CTC, S, Zn e Cu e maior média em Fe e B. Comportamento diferenciado foi obtido para a variável pH, onde foram encontrados maiores valores nos grupos 1 e 4, com médias iguais estatisticamente, não acompanhando tendência com as demais variáveis.

Pela análise descritiva, os coeficientes de variação (CV) foram maiores para o S e os micronutrientes, principalmente para o Cu, o Zn e o Mn. Para o teor de S, os CVs foram classificados como médios, com exceção do grupo 3 que apresentou CV classificado como alto; para Cu e Zn foram todos classificados como altos; para o Mn somente o grupo 2 apresentou CV(%) médio, sendo que o restante dos grupos foram classificados como alta variabilidade; para o Fe e o B os CV foram todos classificados como médio.

Pode-se verificar que os valores de CV encontrados para micronutrientes, estão dentro da faixa de variação normal, como pode ser observado por Couto e Klamt (1999), que ao estudarem a variabilidade espacial de micronutrientes no estado de Mato Grosso, encontraram faixa de variação maior que 50% chegando a 128% no caso do Zn. Segundo Zanão Jr. et al. (2007), a maior variação para os teores de micronutrientes pode ser explicada pelo manejo da adubação, pela amostragem até 20 cm onde ocorre maior concentração de nutrientes e pela característica de cada nutriente avaliado, bem como a mineralogia de cada solo.

TABELA 2. Estatística descritiva de alguns atributos químicos de amostras de solos de Mato Grosso, 2009

Variável	Grupo	Média ¹	CV(%) ²	Mínimo	Mediana	Máximo
pH CaCl ₂	G1	5,19 a	5,02	4,49	5,30	6,20
	G2	5,04 b	5,58	3,99	5,10	6,00
	G3	5,05 b	8,31	4,05	5,00	7,27
	G4	5,20 a	6,23	4,05	5,30	6,21
MO g kg ⁻¹	G1	34,12 a	15,01	21,80	33,60	44,20
	G2	23,59 b	28,18	8,50	25,20	46,00
	G3	20,94 c	27,32	6,50	20,40	43,50
	G4	18,06 d	33,00	5,80	17,40	48,70
CTC cmol _c kg ⁻¹	G1	8,95 a	14,17	5,10	8,70	12,80
	G2	7,24 b	21,33	3,30	6,95	11,60
	G3	6,51 c	33,62	2,50	6,30	36,50
	G4	5,06 d	27,11	3,10	5,00	12,80
Argila g kg ⁻¹	G1	595,23 a	13,08	338,00	597,00	750,00
	G2	425,19 b	39,75	97,00	467,00	800,00
	G3	324,12 c	42,49	70,00	300,00	750,00
	G4	196,99 d	45,32	85,00	180,00	604,00
S mg dm ⁻³	G1	11,29 a	35,63	3,00	9,40	24,00
	G2	9,89 a	39,57	0,80	8,10	57,40
	G3	8,79 b	63,46	0,70	8,80	95,00
	G4	6,56 c	35,51	2,00	7,55	13,10
Zn mg dm ⁻³	G1	4,99 a	63,60	0,70	2,96	14,00
	G2	3,52 b	71,80	0,06	2,80	20,20
	G3	3,04 c	79,98	0,06	2,55	14,00
	G4	2,15 d	89,36	0,01	2,00	13,50
Cu mg dm ⁻³	G1	1,16 a	87,72	0,20	0,80	5,56
	G2	1,11 a	71,55	0,10	0,70	13,00
	G3	0,89 b	68,63	0,06	1,00	8,00
	G4	0,77 c	77,23	0,04	0,60	5,50
Fe mg dm ⁻³	G1	121,77 d	46,55	36,69	114,50	333,00
	G2	163,09 b	41,38	9,00	142,00	377,00
	G3	150,58 c	47,61	19,43	126,00	375,60
	G4	219,54 a	44,98	30,61	189,00	397,00
Mn mg dm ⁻³	G1	17,09 a	80,55	3,50	13,00	84,42
	G2	14,60 b	50,72	1,50	13,20	93,00
	G3	11,74 d	71,19	0,56	9,29	62,30
	G4	13,48 c	75,22	1,17	11,35	85,50
B mg dm ⁻³	G1	0,26 c	22,48	0,12	0,26	0,49
	G2	0,38 b	31,74	0,12	0,37	0,94
	G3	0,27 c	49,27	0,09	0,23	0,61
	G4	0,41 a	30,43	0,14	0,44	0,74

¹Letras iguais não diferem entre si pelo teste Tukey (P<0,05); ²Coefficiente de Variação (%)

De maneira contrária as variáveis apresentadas acima, o pH foi a característica onde se observou maior homogeneidade de dados, seguida pela CTC, as quais tiveram CVs sempre baixos; em seguida a argila e MO tiveram CVs classificados como médios. Com os dados de pH, pode-se concluir que a maioria dos agricultores regionais adotam a prática de calagem e fornecimento de bases ao solo, uma vez que houve pouca variabilidade entre os dados. Em relação a CTC, verifica-se mineralogia homogênea entre as amostras analisadas uma vez que essa variável apresentou baixa variabilidade entre os dados. Do mesmo modo, como as áreas analisadas foram decorrentes de sistema de cultivo de plantio direto, o que mantém a cobertura do solo, justifica os resultados de pouca variabilidade para MO dentro dos grupos formados.

Na Figura 5A, observa-se que, independente do grupo de municípios, os teores de S que mais predominam entre as amostras analisadas está entre 7,5 e 12,5 mg dm⁻³. Utilizando a classificação da Tabela 1, pode-se notar que, para solos mais argilosos, grupos 1 e 2, a maior porcentagem das amostras está classificada como disponibilidade média, com frequências de 53,82% e 67,85%, respectivamente; enquanto para solos mais arenosos, grupos 2 e 3, a maioria das amostras possuem altos teores de S, com frequências de 96,61% e 92,29%, respectivamente (Tabela 3).

Os resultados da distribuição de frequência para os teores de Zn são apresentados na Figura 5B, percebendo-se que na maioria das amostras analisadas os valores estão distribuídos até 4 mg dm⁻³. Todos os grupos tiveram a maioria das amostras com alta disponibilidade de Zn com frequências de 82,99%, 79,64%, 62,37% e 64,76% nos grupos 1, 2, 3 e 4, respectivamente (Tabela 3).

Pode-se perceber com esses resultados, que o atributo Zn é o que mais apresenta contraste com os estudos de levantamento de fertilidade realizados na região dos Cerrados. Lopes (1984) em um levantamento feito nessa região encontrou deficiência de Zn em 95% das amostras analisadas, sugerindo ser esse o elemento mais crítico nesses solos.

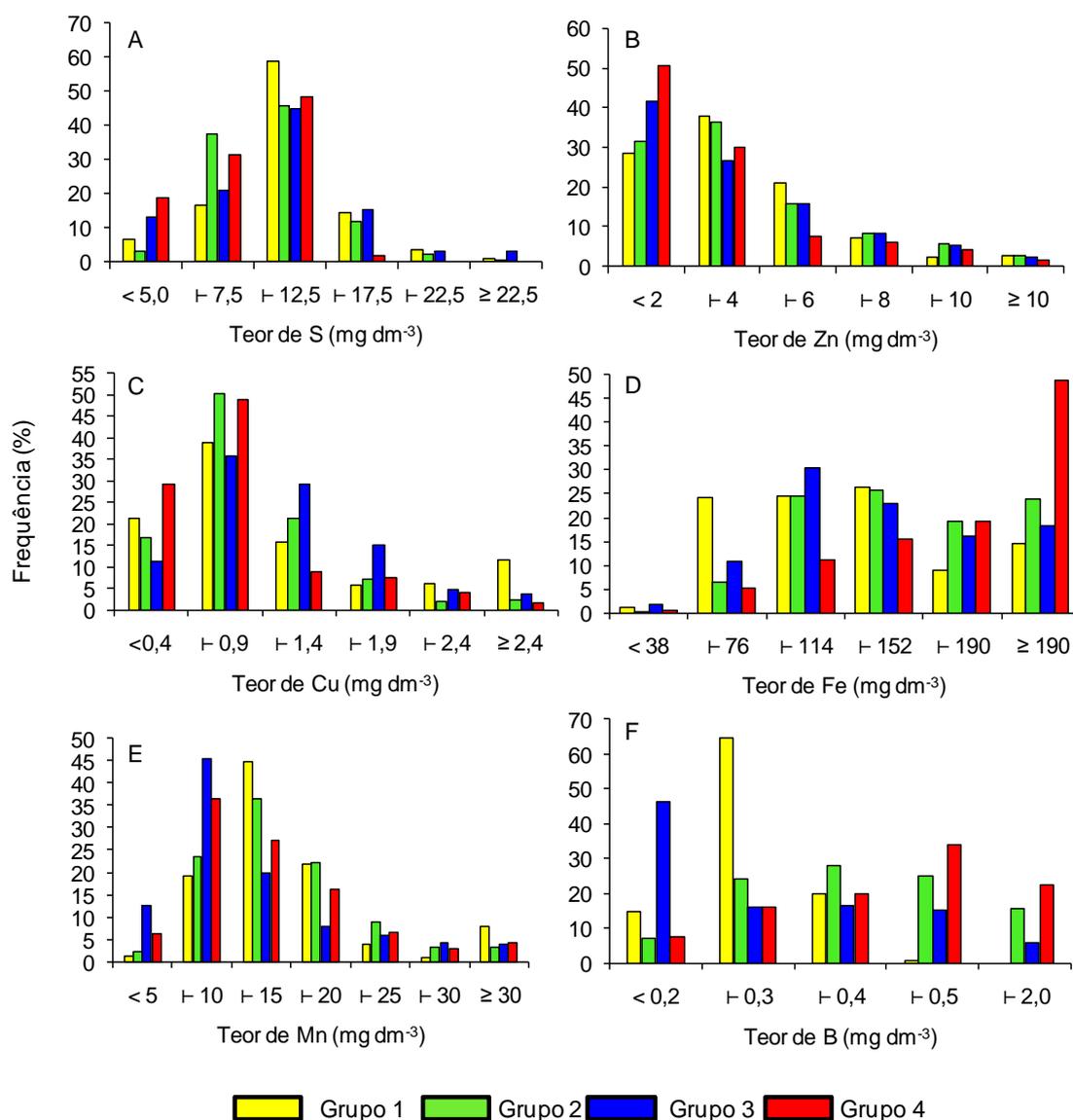


FIGURA 5. Frequência dos teores de enxofre (A), zinco (B), cobre (C), ferro (D), manganês (E) e boro (B) nos grupos de município de Mato Grosso, 2009.

Do mesmo modo, outros autores como Marques et al. (2004), Vendrame et al. (2007) e Pierangeli et al. (2009) em estudos mais recentes na região, encontraram a maioria das amostras estudadas com valores de Zn abaixo do nível crítico indicado para maioria das culturas. Entretanto, no presente estudo, de acordo com Fageria (2000) e Galvão (2004), podem ser verificados bons níveis de Zn nas amostras analisadas. Borkert et al.

(2002) estabeleceu nível crítico adequado para soja no Mato Grosso de 2,5 mg dm⁻³, e no presente estudo, 44,77% das amostras analisadas estão acima desse valor. Diante desses resultados, pode-se inferir que entre a maioria das propriedades agrícolas amostradas ocorre a adubação freqüente e em alta dosagem com o elemento Zn, permanecendo alto resíduo no solo mesmo após extração do elemento pelas culturas, estando essa adubação associada principalmente ao cultivo de milho.

TABELA 3. Porcentagem de amostras, em cada nível de disponibilidade no solo, de acordo com a classificação da Tabela 1

Grupos Disponibilidade	G1	G2	G3	G4
S				
Baixo	6,60	2,88	0,51	1,76
Médio	53,82	67,85	2,88	5,95
Alto	39,58	29,27	96,61	92,29
Muito alto	-	-	-	-
Zn				
Baixo	1,39	4,15	16,44	20,93
Médio	12,85	13,70	18,81	12,78
Alto	82,99	79,64	62,37	64,76
Muito alto	2,79	2,51	2,37	1,54
Cu				
Baixo	28,82	28,03	18,47	45,37
Médio	24,65	31,35	20,68	29,07
Alto	46,53	40,60	60,85	25,55
Muito alto	0,00	0,03	0,03	0,00
Mn				
Baixo	1,39	2,18	12,71	6,39
Médio	19,10	23,55	45,42	36,56
Alto	71,53	71,04	37,97	52,86
Muito alto	7,99	3,24	3,90	4,19
B				
Baixo	14,93	7,15	46,10	7,71
Médio	64,58	24,02	15,93	16,08
Alto	20,49	68,83	37,97	76,21
Muito alto	0,00	0,00	0,00	0,00

Na Figura 5C pode ser visualizada a distribuição de frequências para os teores de Cu, onde verificou-se valores entre 0,4 e 0,9 mg dm⁻³ na maioria das amostras, com 46,53%, 40,60% e 60,85% das amostras dos grupos 1, 2 e 3, respectivamente, classificadas com alta disponibilidade de Cu e somente o grupo 4, representado por solos mais arenosos, tiveram 45,37% das amostras com baixa disponibilidade (Tabela 3).

Geralmente em solos com maiores teores de MO há deficiência de Cu, conforme relatado por Abreu et al. (2001) e Jones et al. (2003) e isso ocorre devido à formação de complexos em formas orgânicas insolúveis. Entretanto, esses autores afirmam que nem todo o Cu orgânico está indisponível e, além disso, poderá ocorrer aumento desse elemento em solução do solo à medida que ocorre mineralização da MO.

Desse modo, verifica-se que os solos com maiores teores médios de MO, grupos 1, 2 e 3, também foram os solos que tiveram maiores teores médios de Cu em relação ao grupo 4, que teve menor teor de MO. Deve-se ressaltar que solos arenosos são naturalmente pobres em Cu (Valadares, 1975; Abreu et al., 2001) e desta forma o teor de Cu decresce com a diminuição de argila.

A distribuição de frequência dos teores de Fe está apresentada na Figura 5D, onde foi observado que as amostras do grupo 2 e 3, que são grupos que possuem teores médios de argila, a distribuição dos dados foi mais homogênea entre as classes, entretanto, para o grupo 1, com solos mais argilosos e mais férteis, e o grupo 4, com solos mais arenosos e menos férteis, verificou-se comportamento contrário. Os teores de Fe no grupo 1 na maioria das amostras ficou entre 76 e 152 mg kg⁻¹, enquanto o grupo 4 foram maiores que 190 mg kg⁻¹ de Fe na maioria das amostras.

Por não existirem dados disponíveis que permitam classificar os níveis de Fe solúvel extraído por Mehlich 1 para esses solos (Abreu et al., 2001) não foi possível avaliar a disponibilidade desse nutriente; entretanto, os valores encontrados podem ser considerados altos, sugerindo disponibilidade adequada (Silveira et al., 2002; Vendrame et al., 2007).

Na Figura 5E pode-se observar a distribuição de frequência dos teores de Mn, onde se percebe que, independente do grupo, na maioria das amostras os teores variaram de 10 e 15 mg dm⁻³, considerados altos em 71,53%, 71,04%, 37,97% e 52,86% das amostras dos grupos 1, 2, 3 e 4, respectivamente (Tabela 3). É importante destacar que Pereira et al. (2002b) estabeleceram 12,5 mg dm⁻³ como nível crítico de Mn para a cultura da soja em Mato Grosso e com base nisso, ao analisar a distribuição dos teores de Mn do presente estudo (Figura 5E), verifica-se que 50,78% das amostras totais ficaram acima desse valor.

Os níveis encontrados para Mn no presente estudo diferem dos resultados de Couto e Klant (1999), que encontraram deficiência localizada de Mn em 95% das amostras de solos estudadas na região sul de Mato Grosso, e também de Lopes (1984), que encontrou deficiência de Mn em 38% das amostras estudadas na região dos Cerrados.

A alta disponibilidade tanto de Mn, quanto de Fe, encontrada nesse trabalho pode ser justificada pela mineralogia desses solos, bem como à adubação em quantidades superiores ao exportado especialmente pela soja, principal cultura cultivada nessas áreas, e ainda à reaplicação anual de Mn (Sfredo et al., 2008).

Com relação aos teores de B, a distribuição de frequência pode ser visualizada na Figura 5F, onde se pode verificar que os grupos 2 e 4 tiveram distribuição aproximadamente uniforme entre as classes; entretanto, no grupo 1, na maioria das amostras os teores variaram entre 0 e 0,3 mg dm⁻³ e para o grupo 3, os teores foram até 0,2 mg dm⁻³. Para o grupo 1, 64,58% das amostras foram classificadas com disponibilidade média; para os grupos 2 e 4, 68,83% e 76,21% das amostras, respectivamente, foram consideradas de disponibilidade alta; e 46,10% das amostras do grupo 3 a disponibilidade foi baixa (Tabela 3).

Pereira et al. (2002a) estabeleceram nível crítico de B para a cultura da soja em Mato Grosso de 0,13 mg dm⁻³, e com isso pode-se observar que 97,86% das amostras do presente estudo estão acima desse valor, indicando boa disponibilidade de B para essa cultura.

Finalmente, ao avaliar a relação existente entre as variáveis em estudo por meio da análise de agrupamento, pode-se observar na Figura 6 a formação de três grupos que possuem alta afinidade entre variáveis. O grupo 1 foi formado pela MO, CTC, argila e S, notando-se que há tendência do teor de MO aumentar com o teor de argila, também sendo verificado por Demattê e Demattê (1993) e Silveira et al. (2002). Do mesmo modo, nota-se que quanto mais argiloso for o solo maior a CTC do mesmo; porém, ocorre maior ligação da CTC com a MO do que com o teor de argila, indicando que o tipo de argila presente é de baixa atividade. De acordo com estes resultados pode-se inferir que a MO contribui de forma efetiva para a manutenção da fertilidade desses solos e sua conservação deve ser priorizada nas práticas agrícolas.

Pierangeli et al. (2009) ao estudarem a fertilidade dos solos da região do Vale do Alto Guaporé em Mato Grosso também evidenciaram que a MO contribui diretamente nos atributos químicos do solo, reforçando os resultados deste estudo.

O grupo 1 também foi formado pelo nutriente S com alta afinidade com a MO, argila e CTC corroborando com os resultados obtidos por Silva et al. (1999), que demonstraram ser o S produto proveniente da mineralização da MO. Outro fato relevante, é que em solos arenosos ocorre maior movimentação de S no perfil, com maior porcentagem de perdas, ao contrário de solos argilosos que retêm mais facilmente esse nutriente (Alvarez, 1988), justificando a forte ligação do S com o teor de argila.

O Grupo 2 foi formado pelo pH, Mn, Zn e Cu com boa relação entre essas variáveis, sendo que diversos autores, entre eles Galvão (2004); Nascimento et al. (2005) e Zanão Jr. et al. (2007) demonstraram que em valores de pH mais elevados ocorre maior possibilidade de haver deficiência desses nutrientes. Conforme Araújo (1998), valores de pH fora da faixa de 5,0 a 6,5 poderá ocorrer deficiência generalizada de Mn, Cu e Zn.

O Grupo 3 foi formado por Fe e B, podendo-se verificar que neste estudo, esses nutrientes foram os que tiveram menor relação com as demais variáveis; todavia, o B é fortemente adsorvido por óxidos de Fe (Fontes et

al., 2001), o que pode explicar a ligação entre esses dois elementos nesses solos.

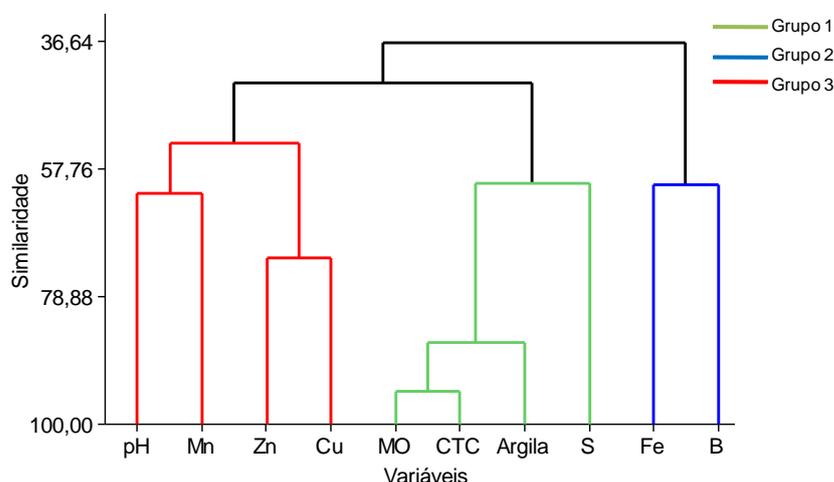


FIGURA 6. Agrupamento hierárquico de alguns atributos químicos dos solos do Mato Grosso, 2009.

2.4 CONCLUSÕES

1. Com a análise de agrupamento dos resultados analíticos, foi possível identificar quatro grupos de municípios que continham amostras de terra com alta semelhança quanto aos teores de argila, matéria orgânica, capacidade de troca catiônica total, pH, S e micronutrientes.
2. Os teores de S, Zn, Cu, Fe, Mn e B, de forma geral, foram considerados adequados para o cultivo da maioria das culturas.
3. Em solos agrícolas do estado de Mato Grosso: a CTC foi altamente dependente da MO e do teor de argila, porém com maior afinidade com a MO; os teores de S foram dependentes da MO, CTC e teor de argila; os teores de Mn, Zn e Cu foram dependentes do pH.

2.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, C.A.; FERREIRA, M.E.; BORKERT, C.M. Disponibilidade e avaliação de elementos catiônicos: zinco e cobre. In.: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P.; VAN RAIJ, B.; ABREU, C.A. (Eds). **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal: CNPq/FAPESP/POTAFÓS, 2001. p. 125-150.

ALVAREZ, V.H. Enxofre: critérios de diagnose para solo e planta, correção de deficiências e excessos. In: BORKERT, C.M.; LANTMANN, A.F. (Eds.). **Enxofre e micronutrientes na agricultura brasileira**. Londrina: Embrapa-CNPS/IAPAR/SBCS, 1988. p. 31-59.

ARAÚJO, M.A.G. Adubação com nutrientes secundários e micronutrientes em plantio direto. In: REUNIÃO SOBRE ASPECTOS BÁSICOS DE FERTILIDADE E MICROBIOLOGIA DO SOLO SOB PLANTIO DIRETO, 1, 1998. Rio Verde. **Resumos...** Passo Fundo: Aldeia Norte, 1998, p. 5-12.

BONFIM-SILVA, E.M.; MONTEIRO, F.A.; SILVA, T.J.A. Nitrogênio e enxofre na produção e no uso de água pelo capim-braquiária em degradação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, n.2, p. 309-317, 2007.

BORKERT, C.M; PEREIRA, L.R.; SFREDO, G.J.; OLIVEIRA JR., A.; ORTIZ, F.R. Calibração de zinco no solo do estado do Mato Grosso. In.: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 24, 2002, São Pedro. **Resumos...** Londrina: Embrapa Soja, 2002. p. 126-127. (Embrapa Soja. Documentos, 185)

COUTO, E.; KLAMT, E. Variabilidade espacial de micronutrientes em solo sob pivô central no sul do estado do Mato Grosso. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 12, p. 2321-2329, 1999.

DEMATTÊ, J.L.I.; DEMATTÊ, J.A.M. Comparação entre as propriedades químicas de solos das regiões da floresta amazônica e do cerrado do Brasil central. **Scientia agrícola**, Piracicaba, v. 50, n. 2, p. 272-286, 1993.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Solos/Embrapa Informática Agropecuária/Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. 370 p.

FAGERIA, N.K. Níveis adequados e tóxicos de zinco na produção de arroz, feijão, milho, soja e trigo em solo de cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.4, n.3, p. 390-395, 2000.

FONTES, R.L.F.; ABREU, C.A.; ABREU, M.F. Disponibilidade e avaliação de elementos aniônicos. In: In.: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P.; VAN RAIJ, B.; ABREU, C.A. (Ed). **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal: CNPq/FAPESP/POTAFÓS, 2001. p. 187-212.

GALRÃO, E.Z. Micronutrientes. In.: SOUZA, D.M.G; LOBATO, E. (Ed). **Cerrado: correção do solo e adubação**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p. 185-226.

HAIR JR, J.F.; ANDERSON, R.E.; TATHAM, R.L.; BLACK, W.C. **Análise multivariada de dados**. Trad. SANT'ANNA, A.S; CHAVES NETO, A.. 5 ed. Porto Alegre: Bookman, 2005. 593 p.

HEINRICHS, R.; MOREIRA, A.; FIGUEIREDO, P.A.M.; MALAVOLTA, E. Atributos químicos do solo e produção do feijoeiro com a aplicação de calcário e manganês. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 3, p. 1157-1164, 2008.

JOHNSON, R.A.; WICHERN, D.W. **Applied multivariate statistical analysis**. 4 ed. Nova Jersey: Prentice-Hall, 1998. 632 p.

JONES, D.L.; DENNIS, P.G.; OWEN, A.G.; VAN HEES, P.A.W. Organic acid behavior in soils - Misconceptions and knowledge gaps. **Plant and Soil**, v. 248, n 1-2, p. 31-41, 2003.

KLIEMAN, H.J.; MALAVOLTA, E. Disponibilidade de enxofre em solos brasileiros. VI. Avaliação conjunta das análises de solo e plantas em função da produção de matéria seca e absorção de enxofre pelo milho. **Anais das Escolas de Agronomia e Veterinária**, Goiânia, v. 24, n. 1, p. 36-48, 1994.

LOPES, A.S. **Solos sob "cerrado"**: Características, propriedades e manejo. 2 ed. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1984. 162 p.

MARQUES, J.J.; SCHULZE, D.G.; CURI, N.; MERTZMAN, S.A. Trace element geochemistry in Brazilian Cerrado soils. **Geoderma**, Amsterdam, v. 121, n. 1-2, p. 31-43, 2004.

NASCIMENTO, C.W.A.; LEITE, P.V.V.; NASCIMENTO, R.S.M.P.; MELO, É. E.C. Influência da calagem no fracionamento e na disponibilidade de manganês em solos de Pernambuco. **Agropecuária Técnica**, Areia, v. 26, n. 1, p. 22-28, 2005.

OLIVEIRA, I.P.; KLUTHCOUSKI, J.; BALBINO, L.C.; BUSO, L.H.; YOKOYAMA, L.P.; MAGNABOSCO, C.U.; SCARPATI, M.T.V. **Sistema Barreirão**: emprego de micronutrientes na recuperação de pastagens. Santo Antônio de Goiás: Embrapa-Centro Nacional de Pesquisa Arroz e Feijão, 1998. 36 p. (Circular Técnica, 30)

PEREIRA, L.R.; BORKERT, C.M.; CASTRO, C.; SFREDO, G.L.; OLIVEIRA JR., A.; OLIVEIRA NETO, W. Calibração de boro para a cultura da soja em solo do Mato Grosso. In.: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 24, 2002, São Pedro. **Resumos...** Londrina: Embrapa Soja, 2002a. p. 123-124. (Embrapa Soja. Documentos 185)

PEREIRA, L.R.; BORKERT, C.M.; SFREDO, G.L.; OLIVEIRA JR., A.; ORTIZ, F.R. Calibração de manganês para a cultura da soja em Mato Grosso. In.: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 24, 2002, São Pedro. **Resumos...** Londrina: Embrapa Soja, 2002b. p. 122-123. (Embrapa Soja. Documentos 185)

PIERANGELI, M.A.P.; EGUCHI, E.S.; RUPPIN, R.F.; COSTA, R.B.F.; VIEIRA, D.F. Teores de As, Pb, Cd e Hg e fertilidade de solos da região do Vale do Alto Guaporé, sudoeste do estado de Mato Grosso. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 39, n. 1, p. 61-70, 2009.

SFREDO, G. J.; KLEPKER, D.; ORTIZ, F. R.; OLIVEIRA NETO, W. Enxofre: níveis críticos para a soja, nos solos do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29, 2003, Ribeirão Preto. **Resumos...** Botucatu: UNESP; Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. 1 CD-ROM.

SFREDO, G.J.; OLIVEIRA JUNIOR, A.de; SIBALDELLI, R.N.R.; MORAIS, J.Z. Níveis críticos de manganês em três solos de cerrado. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 30, 2008, Rio Verde. **Resumos...** Londrina: Embrapa Soja, 2008. p. 299-301. (Embrapa Soja. Documentos, 304).

SFREDO, G.S.; BORKERT, C.M.; NEPOMUCENO, A.L.; OLIVEIRA, M.C.N. Eficácia de produtos contendo micronutrientes, aplicados via sementes, sobre produtividade e teores de proteína da soja. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, Viçosa, v. 21, n. 1, p. 41-45, 1997.

SILVA, C.A.; VALE, F.R.; ANDERSON, S.J.; KOBAL, A.R. Mineralização de nitrogênio e enxofre em solos brasileiros sob influência da calagem e fósforo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 9, p.1679-1689, 1999.

SILVEIRA, P.M.; CUNHA, A.A. Variabilidade de micronutrientes, matéria orgânica e argila de um Latossolo submetido a sistemas de preparo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 9, p. 1325-1332, 2002.

VALADARES, J.M.A.S. Cobre em solos do Estado de São Paulo. I. Cobre total. **Bragantia**, Campinas, v. 34, n. 4, p. 125-132, 1975.

VENDRAME, P.R.S.; BRITO, O.R.; QUANTIN, C.; BECQUER, T.
Disponibilidade de cobre, ferro, manganês e zinco em solos sob pastagens na Região do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 6, p. 859-864, 2007.

WARRICK, A.W.; NIELSEN, D.R. Spatial variability of some physical properties of the soil. In: HILLEL, D. (Ed). **Applications of soil physics**. New York: Academic Press, 1980. p. 319-344.

YAMADA, T. Deficiência de micronutrientes, ocorrência, detecção e correção: o sucesso da experiência brasileira. **Informações agronômicas**, Piracicaba, n. 105, 12 p., 2004. (Encarte técnico)

ZANÃO JR., L.A.; LANA, R.M.Q.; GUIMARÃES, E.C. Variabilidade espacial do pH, teores de matéria orgânica e micronutrientes em profundidade em um Latossolo Vermelho sob semeadura direta. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 4, p. 1000-1007, 2007.

CAPÍTULO 3

ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS E REGRESSÃO MÚLTIPLA DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DE SOLOS DE MATO GROSSO

RESUMO- Entender a rede de relações existentes entre os atributos do solo é fator determinante para o correto manejo da adubação e assim, os métodos estatísticos univariados podem omitir relações necessárias à correta tomada de decisão. Desta forma, o objetivo neste trabalho foi estudar a correlação entre os atributos químicos de solos do estado de Mato Grosso por meio da técnica de análise de componentes principais e desenvolver modelos de regressão múltipla que possam ser utilizados para prever valores e explicar como os atributos se interagem. Para tal, foram analisadas, quanto à textura e atributos químicos amostras de terra retiradas na camada de 0-20 cm de profundidade de 28 municípios do Estado. A análise de componente principal foi capaz de reduzir as 21 variáveis originais para seis componentes principais que representaram 80% da variação total dos dados. As variáveis que representaram maior parte da variância total dos dados foram a matéria orgânica (MO), a saturação (V%) e soma de bases (SB), a capacidade de troca catiônica (CTC) e o pH. Com base na análise de regressão, foi possível afirmar que, nos solos agrícolas de Mato Grosso, a CTC está em função da MO e Argila; o P é a variável influenciada por maior número de atributos, tais como pH, Ca, Mg, S, Al, Argila e micronutrientes; o Zn influenciado pelo pH, P,

MO, Argila, CTC e Cu; o Cu pelo pH, P, MO, Argila, CTC, Zn e Fe; e por fim, o Fe pelo P, Ca, Mg, Al, Argila, Cu, Mn, S e B.

Palavras-chave: fertilidade do solo; análise multivariada; agricultura de precisão.

PRINCIPAL COMPONENTS ANALYSIS AND MULTIPLE REGRESSION OF SOIL CHEMICAL ATTRIBUTES OF MATO GROSSO

ABSTRACT-Understanding the network of relationships between the soil attributes is a decisive factor for the proper management of fertilizers and thus the univariate methods may omit relations necessary for the correct decision. Thus, the objective of this work was to study the correlation between the chemical properties of soils of the state of Mato Grosso using the technique of principal component analysis and develop multiple regression models that can be used for predicting and explaining how the attributes are interact. To this end, were analyzed for texture and chemical attributes of soil samples were collected at 0-20 cm depth of 28 municipalities. The principal component analysis was able to reduce the 21 original variables to six main components that accounted for 80% of the total variation of the data. The variables that accounted for most of the total variance of the data included organic matter (MO), saturation (V%) and total bases (SB), the total cation exchange capacity (CTC) and pH. Based on regression analysis, it can be said that agricultural soil in Mato Grosso, the CTC is a function of organic matter and clay; the P variable is influenced by many attributes, such as pH, Ca, Mg, S Al, clay and micronutrients; Zn influenced by pH, P, MO, clay, CTC, and Cu; the Cu in pH, P, MO, clay, CTC, Zn and Fe; and finally, Fe with P, Ca, Mg, Al, clay, Cu, Mn, S and B.

Keywords: soil fertility, analysis multivariate, precision agriculture.

3.1 INTRODUÇÃO

Nos solos do estado de Mato Grosso há predomínio de minerais silicatados 1:1 e óxidos de Fe e Al caracterizando solos altamente intemperizados, e por conta disso, ácidos, com baixa fertilidade e capacidade de troca catiônica (CTC) também baixa (Costa et al., 2004). Apesar disso, o Cerrado Mato-Grossense ocupa posição de destaque na produção brasileira de grãos e isso se deve principalmente ao desenvolvimento de tecnologias, como a correção da acidez e programas de adubação, que propiciaram a introdução desses solos no processo produtivo agrícola.

Todavia, na maioria dos casos, somente o fornecimento de insumos não é suficiente para garantir, por um longo período de tempo, produtividade máxima das culturas. É necessário, também, conhecer a relação existente entre os atributos que compõe o complexo solo para que sejam adotados sistemas de manejo adequados a cada situação, evitando perdas no sistema produtivo.

Vários estudos têm sido realizados com a finalidade de descrever a disponibilidade de nutrientes e a relação entre diversos elementos nos solos dos Cerrados, dentre eles Demattê e Demattê (1993), Gomes et al. (2004) e Siqueira Neto et al. (2009). Entretanto, observa-se que para explicar essa relação, na quase totalidade, são utilizados recursos estatísticos que não consideram a complexa correlação existente entre as inúmeras variáveis estudadas. Esse é um erro importante, pois ao avaliar a capacidade produtiva de um solo é relevante considerar as relações existentes entre os atributos como um todo e não como características isoladas. Como exemplo, cita-se a matéria orgânica que exerce influência sobre diversos fatores do solo como o aumento da CTC (Chang et al., 2001; Ding et al., 2002; Gomes et al., 2004; Fox e Metla, 2005); a disponibilidade de nutrientes (Wander e Yang, 2000; Siqueira Neto et al., 2009) entre outros.

Outra relação importante é a do pH com a saturação por bases (V%) e a saturação de alumínio (m%), onde a medida que o complexo de troca do solo fica mais rico em bases, principalmente em Ca e Mg, o pH aumenta

neutralizando o alumínio solúvel (Demattê e Demattê, 1993) e com isso diminuindo o m%. O aumento do pH influencia também na disponibilidade de micronutrientes (Galvão, 2004; Zanão Jr. et al., 2007), bem como a disponibilidade de um determinado elemento pode influenciar na disponibilidade de outro (Han, et al., 2005; Jara et al., 2006; Shtangeeva et al., 2009) e assim por diante.

Para explicar essa rede de correlações, pode-se utilizar técnicas estatísticas multivariadas como a análise de componentes principais. Esse método consiste em uma análise de interdependência que permite transformar um conjunto de variáveis iniciais correlacionadas entre si, em outro conjunto de variáveis não correlacionadas, que resultam em combinações lineares do conjunto inicial (Silva e Padovani, 2006). Os componentes principais são apresentados por ordem decrescente de importância, isto é, o primeiro explica o máximo possível da variabilidade dos dados originais, já o segundo o máximo possível da variabilidade ainda não explicada no primeiro componente, sendo que o último componente é o que dará menor contribuição para a explicação da variabilidade total dos dados originais (Johnson e Wichern, 1998; Morrison, 2003).

Cada variável original está associada ao componente principal por meio de um coeficiente de ponderação chamado de autovetor, cujo valor absoluto determina a importância da característica para o componente principal (Johnson e Wichern, 1998; Morrison, 2003). Dessa forma, de posse das características que mais descrevem os atributos dos solos é possível elaborar modelos estatísticos polinomiais que possam estimar valores para uma variável dependente a partir de n variáveis independentes, bem como verificar de que forma essas variáveis se correlacionam (Johnson e Wichern, 1998; Hair Jr. et al., 2005).

Assim, o objetivo neste trabalho foi estudar a correlação entre os atributos químicos de solos do estado de Mato Grosso por meio da técnica de análise de componentes principais e desenvolver modelos de regressão múltipla que possam ser utilizados para prever valores e explicar como os atributos se interagem.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

As amostras de terra estudadas foram coletadas entre maio de 2008 e junho de 2009 em 28 municípios do estado de Mato Grosso cuja área amostrada totalizou 190.703 km². Este trabalho foi desenvolvido junto à empresa de agricultura de precisão Solus Tecnologias Agrícolas em propriedades agrícolas consideradas de elevada produtividade que adotam o sistema de plantio direto e tem como principais culturas a soja, algodão, milho e sorgo.

O processo de amostragem começou com a identificação e medição da área dentro de cada propriedade que seria destinada a agricultura, sendo utilizada como método de amostragem a distribuição sistemática dos pontos (malha de amostragem).

A maioria das propriedades tem sua área destinada ao plantio de espécies agronômicas dividida em partes menores de terra, denominadas de talhões; estes são feitos com o intuito de organizar o trabalho dentro da fazenda para que cada parte ou talhão seja preparado, plantado e colhido dentro de uma ordem cronológica, visto que as propriedades agrícolas do Estado são, em sua maioria, de grandes dimensões e esta divisão torna-se extremamente necessária.

Para a definição e localização dos pontos de amostragem, cada talhão de cada propriedade teve a área percorrida em zigue-zague por um quadriciclo equipado com um amostrador de solo, um receptor GPS (Global Position System) e um computador de bordo com um software específico integrado, que teve como objetivo calcular a área percorrida.

Ao final do percurso, a área e o formato da propriedade foram projetados na tela do computador fazendo a divisão da área em partes homogêneas de cinco hectares, denominadas “*grids*” (Figura 1), onde foram coletadas 10 amostras simples de cada uma dessas partes na profundidade de 0 a 20 cm, sendo que essas amostras simples formaram uma amostra composta que representou cada parte (Figura 2).

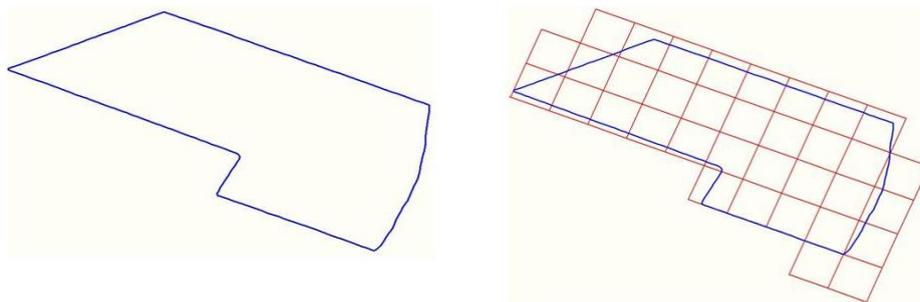


Figura 1. Demonstração da demarcação do talhão e sua posterior subdivisão em *grids*.

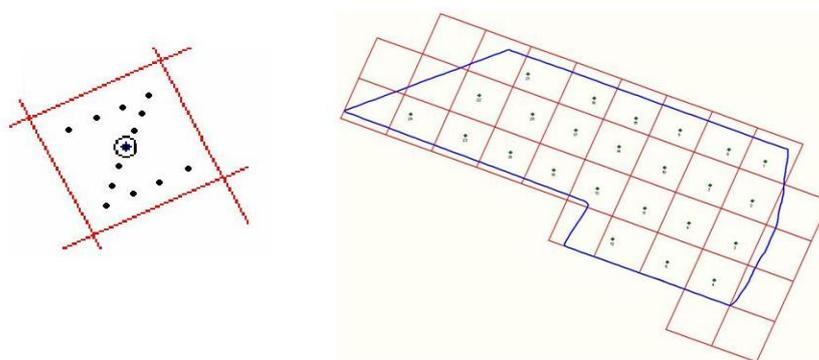


FIGURA 2. Pontos de amostras simples dentro do *grid* e pontos de amostras compostas no *grid* dentro do talhão.

Dessa forma, toda a propriedade agrícola foi amostrada, sendo que as amostras foram encaminhadas para o laboratório para determinação das propriedades químicas e físicas das mesmas. De posse dos resultados analítico das amostras, foi determinada a média de cada talhão obtendo-se ao final 4.556 resultados, os quais foram analisados estatisticamente.

Os municípios e o número de resultados analisados em cada um, conforme descrito acima foram: Alto Taquari (33), Brasnorte (30), Campo Novo dos Parecis (40), Campo Verde (60), Campos de Júlio (27), Cláudia (99), Diamantino (247), Groslândia (12), Ipiranga do Norte (198), Itiquira (24), Jaciara (55), Lucas do Rio Verde (89), Nova Mutum (625), Nova Ubiratã (21), Paranatinga (16), Pedra Preta (13), Porto dos Gaúchos (48), Primavera do Leste (20), Rondonópolis (269), São Gabriel (12), Sapezal (203), Sinop (1003), Sorriso (1097), Santa Rita do Trivelato (84), Tabaporã (16), Tangará da Serra (24), Tapurah (28) e Vera (163). O número de amostras diferente

por município ocorreu por causa da variação do número e tamanho de propriedades nos locais amostrados.

A descrição dos solos estudados foi realizada conforme mapa de solos de Mato Grosso (SEPLAN - Secretaria de Estado do Planejamento e Coordenação Geral, 2003) verificando-se que nas regiões como Sinop, Sorriso, Lucas do Rio Verde, Groslândia, Vera, Santa Rita do Trivelato, Nova Mutum, Cláudia, Tapurah, Porto dos Gaúchos e Sapezal entre outras aqui representadas, ocorre um predomínio de Latossolo Vermelho Distrófico e Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico. No município de Diamantino, além da presença de Latossolos são encontradas manchas de Neossolo Litólico Álico. Em Campo Novo dos Parecis, além de Latossolos Vermelho, há ocorrência de Neossolo Quartzarênico Álico, e nos municípios de Campo Verde, Rondonópolis e Itiquira, além de Latossolos, há também Argissolos Vermelho Amarelo Álico e Vermelho Amarelo Eutrófico, Cambissolo Eutrófico, Neossolo Quartzarênico Álico Distrófico e Neossolo Litólico Álico e Distróficos.

Segundo a SEPLAN (2003), o clima dominante na maior parte da região é Aw utilizando-se a classificação de Köppen, caracterizado pela temperatura média anual próxima aos 26°C e com índice pluviométrico local por volta dos 2.000 mm anuais, sendo, portanto, considerado alto. A porção sul do estado é marcada pela seca reduzindo-se de forma gradativa a medida que avança rumo à região norte. Aproximadamente 95% das chuvas ocorrem no período de outubro a abril; por outro lado, o período de maio a setembro é considerado seco.

As análises químicas e granulométricas foram realizadas conforme a metodologia da Embrapa (1999) pelo laboratório Agroanálise em Cuiabá, onde foram determinados o pH em CaCl_2 (relação 1:2,5); P, K, Zn, Cu, Fe e Mn extraídos por Mehlich-1 ($0,0125 \text{ mol L}^{-1}$ de H_2SO_4 e $0,05 \text{ mol L}^{-1}$ de HCl) sendo o P quantificado por fotolorimetria, o K por fotômetro de chama e os micronutrientes por espectrofotometria de absorção atômica; o Al, Ca, Mg trocáveis, extraídos por $\text{KCl } 1 \text{ mol L}^{-1}$; Al+H, extraídos por solução de acetato de cálcio $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ em pH 7 e titulados com $\text{NaOH } 0,0606 \text{ mol L}^{-1}$; o S por

turbidimetria de sulfato de bário e o B por extração em água quente, sendo ambos quantificados por fotolorimetria.

Para a avaliação da matéria orgânica (MO) empregou-se o método da oxidação do carbono por dicromato de potássio e titulação com sulfato ferroso (método Walkley-Black) multiplicando-se o teor de carbono por 1,8. O teor de argila foi determinado pelo método da pipeta com sedimentação após dispersão em uma solução de NaOH.

Com os resultados das análises do complexo sortivo, foram calculados a soma de bases (SB), a saturação por bases (V%), a capacidade de troca catiônica em pH 7 (CTC) e a saturação por alumínio (m%).

Quanto ao estudo dos dados, inicialmente foi realizada análise de componentes principais para verificar a relação entre as variáveis, sendo o ponto de partida a matriz de correlação entre as características analisadas (Johnson e Wichern, 1998). Os coeficientes dos autovetores foram utilizados para avaliar a importância de cada variável em cada componente principal escolhido, bem como a relação entre as variáveis, sendo que esses valores funcionaram como coeficientes de correlação (Gomes et al., 2004), onde, coeficientes de autovetores de mesmo sinal indica correlação positiva e sinal diferente indica correlação negativa (Morrison, 2003).

Após a seleção dos componentes principais e análises das variáveis em cada componente, foi realizada análise de correlação entre os componentes principais e as variáveis, de acordo com Johnson e Wichern (1998), sendo posteriormente realizada soma dos quadrados dos coeficientes de correlação. Esse procedimento foi necessário para identificar e selecionar as variáveis que exercem maior influência sobre os demais atributos do solo, sendo que as variáveis de maior importância apresentam maior soma de quadrados.

Depois de selecionada as variáveis e verificada a relação entre elas, foi realizada análise de regressão múltipla elaborando modelos que representassem os dados amostrados. A adequação dos modelos foi testada e então, escolhidas as equações que apresentaram variância constante e distribuição aproximadamente normal dos resíduos pelo teste

Ryan-Joiner neste caso considerando uma probabilidade maior que 0,10 ($p > 0,10$) (Draper e Smith, 1998; Johnson e Wichern, 1998; Hair Jr. et al., 2005). Todas as análises estatísticas e elaboração dos gráficos foram feitas pelo programa estatístico Minitab versão 15.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Entre os métodos que auxiliam na escolha do número de componentes a serem avaliados, pode-se utilizar a análise do gráfico do cotovelo (*scree plot*) (Figura 4). Nesse gráfico, inicialmente a linha que une os autovalores dos componentes tem ângulo de inclinação maior, devido a maior representatividade da variação total, e depois decrescem se aproximando de uma reta horizontal, onde o ponto no qual isso começa acontecer é considerado indicativo do número máximo de fatores a serem extraídos (Hair Jr. et al., 2005).

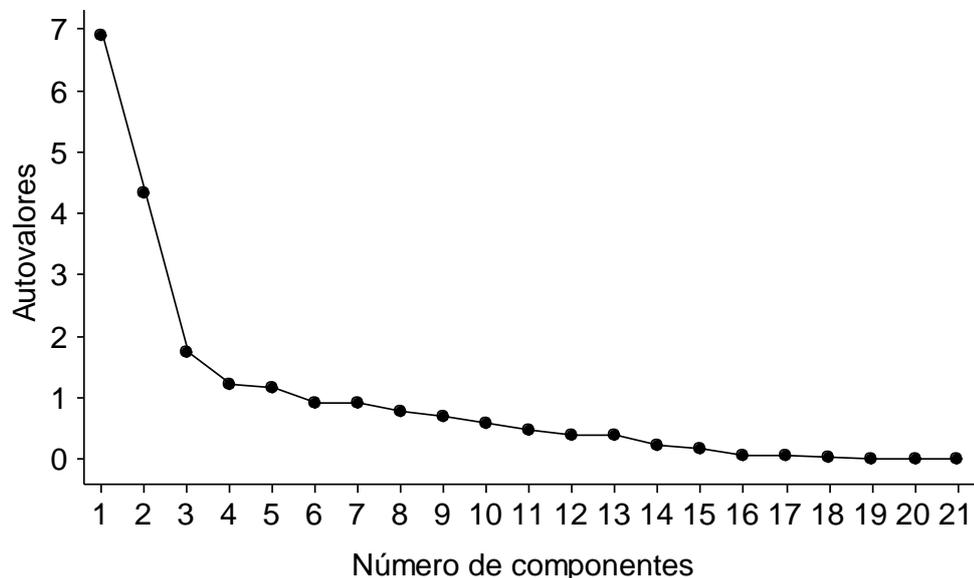


FIGURA 4. Gráfico do cotovelo (*Scree plot*) para os dados considerando a matriz de correlação amostral.

Observa-se na Figura 4 que a variação passa a ser menor a partir do quarto componente principal; por tanto, por esse método, o número de componentes ideal para explicar a variação dos dados seria quatro; porém,

Johnson e Wichern (1998) pré-estabeleceram um percentual mínimo próximo de 80% a ser explicado da variância total para determinar o número adequado de componentes. Desse modo, ao aceitar até o quarto componente, conforme encontrado pelo gráfico de *scree plot* (Figura 4), seria possível explicar apenas 69,40% da variância total (Tabela 1). Assim, foi adotado o segundo critério, pois com ele são selecionados para estudo seis componentes principais, os quais explicam juntos 80,08% da variância total (Tabela 1).

TABELA 1. Autovalores e percentual acumulado da variância total explicado por componente principal (CP)

Componente principal	Autovalor	Proporção	Percentual acumulado
CP1	6,9470	0,3290	0,3290
CP2	4,4490	0,2107	0,5397
CP3	1,9215	0,0910	0,6307
CP4	1,3358	0,0633	0,6940
CP5	1,2965	0,0614	0,7554
CP6	0,9594	0,0454	0,8008
CP7	0,9488	0,0450	0,8458
CP8	0,7665	0,0360	0,8818
CP9	0,6865	0,0320	0,9138
CP10	0,5797	0,0270	0,9408
CP11	0,4321	0,0200	0,9608
CP12	0,3900	0,0180	0,9788
CP13	0,2834	0,0130	0,9918
CP14	0,1907	0,0060	0,9978
CP15	0,1685	0,0020	0,9998
CP16	0,0539	0,0002	1,0000
CP17	0,0422	0,0000	1,0000
CP18	0,0208	0,0000	1,0000
CP19	0,0004	0,0000	1,0000
CP20	0,0004	0,0000	1,0000
CP21	0,0000	0,0000	1,0000

Na maioria dos estudos são utilizados apenas os dois primeiros componentes, o que é considerado suficiente para explicar os dados e pela facilidade de interpretação (Gomes et al., 2004; Fox e Metla, 2007; Vendrame et al., 2007; Freddi et al., 2008). Todavia, houve a necessidade de um número elevado de componentes principais, no presente estudo, decorrente da

complexa relação existente entre as características estudadas, bem como da variação no material de origem de cada solo e o grande número de variáveis estudadas. Isto está de acordo com Cox et al. (2003) que, ao estudarem a relação entre as propriedades do solo e o rendimento da soja em Brooksville (Mississippi), utilizaram três componentes para atingirem o mínimo da variância total. Do mesmo modo, Carvalho Jr. et al. (2008) em pesquisas na faixa atlântica brasileira utilizaram cinco componentes para explicar relações entre propriedades de solos da classe Argissolo.

O primeiro componente explica 32,9% da variação total (Tabela 1) e pode ser considerado como o detentor das relações mais importantes no complexo solo, sendo seus autovetores observados na Tabela 2. Os principais valores estão associados a MO, CTC, SB e ao Ca, com correlações positivas entre esses atributos.

O aumento da CTC em função da MO, indicado pela correlação positiva, ocorre devido a geração de cargas negativas pela quebra nas cadeias de C que formam os radicais R-COH (carboxila) e R-OH (hidroxila), bem como, pela elevada superfície específica da MO (Rajj, 1991). Com o aumento na capacidade do solo em reter cátions ocorre simultaneamente aumento na SB e, no caso em estudo, isso se deve principalmente ao aumento de Ca no complexo sortivo, conforme evidenciado nas relações do primeiro componente principal. Esses resultados também foram evidenciados por Siqueira Neto et al. (2009), que ao estudarem a relação entre carbono orgânico e propriedades químicas em solo do Cerrado sob diferentes usos, observaram maiores teores de Ca associados a maiores teores de MO e CTC.

Com base nesse primeiro componente, foi elaborado um modelo estatístico para estimar valores da CTC. Embora argila não tenha sido considerada significativa nesse componente, foi incluída no modelo a fim de comparar a contribuição da MO com o teor de argila à CTC. A equação linear múltipla que mais se adequou aos dados, com R^2 de 0,96, está expressa na eq. (1):

$$CTC = 1,83 + 0,20MO + 0,0004Argila \quad (1)$$

A contribuição da MO à CTC nesse caso foi de 200 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$, enquanto o teor de argila contribuiu com 0,4 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$. Verifica-se que a contribuição da argila é muito menor que às cargas da caulinita que varia de 1 a 10 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ (Ma e Eggleton, 1999) sugerindo que a fração argila destes solos é dominada por óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio (Costa et al., 2004). Oorts et al. (2003) citaram que em solos tropicais a MO é responsável por 75 a 85% da CTC, mesmo com teores significativamente inferiores aos teores de argila do solo.

TABELA 2. Autovetores dos seis primeiros componentes principais (CP)

Variáveis	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6
pH ¹	0,1630	-0,3980	-0,0560	0,0100	-0,0440	0,0530
P ²	-0,0490	-0,1400	0,5150	-0,0140	-0,1320	-0,4020
K ²	0,2410	0,0710	0,0780	0,1860	-0,0810	-0,0710
Ca ³	0,3040	-0,1300	0,0030	-0,0340	-0,2920	0,0690
Mg ³	0,2830	-0,1450	-0,1000	-0,1190	-0,1560	0,0830
Al ³	-0,1560	0,3500	0,0380	0,0200	-0,2960	0,2570
H ³	-0,1750	0,3780	0,0540	-0,0850	-0,0060	-0,1780
MO ⁴	0,3785	0,0230	0,0060	-0,0050	-0,0410	-0,0100
S ²	0,0700	0,1240	-0,0400	0,5730	-0,0980	0,4710
Zn ²	0,1570	0,0070	-0,4340	0,1000	0,3450	-0,1030
Cu ²	0,0740	-0,0020	-0,4340	0,2700	0,2120	0,4500
Fe ²	-0,1050	-0,0170	-0,3920	0,4820	-0,0370	-0,1270
Mn ²	0,1040	-0,0780	0,2040	0,4880	-0,3060	0,3310
B ²	0,0280	-0,1330	-0,3030	0,1990	0,2980	0,1460
SB ³	0,3290	-0,1390	-0,0200	-0,0490	-0,2790	0,0740
V%	0,1710	-0,4070	-0,0630	-0,0040	-0,0020	0,0390
CTC ³	0,3330	0,1470	0,0200	-0,0850	-0,2320	-0,0290
m%	-0,1760	0,3240	0,0240	0,0290	-0,2910	0,2890
Areia ⁴	-0,2860	-0,2280	0,1210	0,0130	-0,2210	-0,0290
Silte ⁴	0,2770	0,1620	-0,1030	0,0690	0,2330	0,1640
Argila ⁴	0,2880	0,2290	-0,1200	-0,0290	0,2100	0,0010

¹CaCl₂; ²mg dm⁻³; ³cmol_c dm⁻³; ⁴g kg⁻¹

O segundo componente explica 21,07% da variação total (Tabela 1) e têm como principais autovetores as variáveis que estão relacionadas à acidez do solo, sendo elas V%, pH, H⁺, Al³⁺ e m% (Tabela 2), ou seja, a

medida que o complexo de troca do solo fica mais rico em bases, principalmente o Ca, o pH sobe neutralizando o H^+ e o Al^{3+} , conforme demonstrado por Demattê e Demattê (1993) em estudo comparando as propriedades químicas dos solos da Floresta Amazônica com os do Cerrado, e Cox et al. (2003) em solos do estado do Mississippi (EUA).

No terceiro componente a variação explicada é de 9,10% (Tabela 1) e têm como principais medidas o P, Zn, Cu, Fe e B (Tabela 2). Foi observada correlação negativa entre o P com o Zn, Cu, Fe e o B, sendo que os dois últimos atributos se correlacionam positivamente entre si. Comumente, aplicações de P tendem a aumentar a precipitação e/ou sorção de Zn e Cu, especialmente em solos ricos em óxidos de Fe e Al hidratados, porque aumentam as cargas negativas dos sistemas desses óxidos (Alloway, 2008).

Diversos trabalhos na literatura evidenciam a interação entre esses nutrientes reduzindo a absorção de Zn e Cu pelas culturas com a aplicação de P, havendo precipitações desses elementos no solo (Mandal e Mandal, 1990; Rhoads et al. 1992; Gianquinto et al., 2000; Alloway, 2008).

A respeito da interação entre P e Fe já é bem conhecida e citada na literatura (Mehadi et al., 1990; Falcão e Silva, 2004; Ernani, 2008). A ligação entre esses elementos ocorre por adsorção específica onde ocorre substituição de uma hidroxila ligada ao FeOH por $H_2PO_4^-$ formando uma ligação de caráter estável (Falcão e Silva, 2004; Ernani, 2008). Também poderá ocorrer precipitados de Fe na forma de $Fe(PO_4)_3$ em valores de pH muito baixos (Ernani, 2008). Com relação ao B, a condição de ânion e em concentrações elevadas poderá competir com o P pelos mesmos sítios de adsorção (Ernani, 2008) o que explica a interação negativa encontrada nesse componente principal.

Por meio das relações observadas no segundo componente principal, foi possível encontrar modelos para estimar valores de Zn, Cu, Fe e P no solo. Para o Zn a equação que melhor se ajustou, com R^2 de 0,70, está expressa na eq. (2):

$$\sqrt{Zn} = -7,32 + 2,41pH - 0,22pH^2 + 0,06P - 0,0007P^2 - 0,00002MO^2 + 0,0008argila + 0,24CTC - 0,0054 CTC^2 + 0,70Cu - 0,0863Cu^2 \quad (2)$$

Percebe-se pela equação que a disponibilidade de Zn está em função do pH, P, CTC e Cu de forma quadrática, ou seja, há aumento nos teores de Zn conforme aumentam esses atributos até um limite máximo onde os teores de Zn começam a reduzir. Com a MO o coeficiente é quadrático e negativo, ou seja, há redução dos teores de Zn de forma quadrática e isso se deve pela ação quelatizante da MO sobre esse elemento, tornando-o indisponível em solução (Oliveira et al., 1998). Por outro lado, os teores de Zn aumentam com os teores de argila.

Para o Cu a equação que melhor se ajusta está expressa na eq. (3), com R² de 0,77:

$$\sqrt{Cu} = -2,81 + 1,45pH - 0,1461pH^2 - 0,0017P - 0,007MO - 0,0002MO^2 + 0,0004argila - 0,000005argila^2 + 0,03 CTC + 0,08 Zn - 0,002 Zn^2 \quad (3)$$

A disponibilidade desse elemento está em função do pH, argila e Zn de forma quadrática; entretanto, o P e MO agem reduzindo os teores de Cu no solo. A relação do P e Cu já foi citada anteriormente. O mesmo mecanismo que explica a interação entre MO e Zn, também explica a interação entre MO e Cu (Oliveira et al., 1998). McBride et al. (1997), em condições de campo, após quinze anos de aplicação de lodo, verificaram que parte do Cu solúvel aparecia na forma organicamente complexada.

A equação que explica os teores de Fe nos solos em estudo, com R² de 0,40, está demonstrada na eq. (4):

$$\sqrt{Fe} = 1,6610 - 0,1121 P + 0,00071 P^2 - 0,3126 Ca - 0,6654 Mg - 6,5900 Al - 12,2210 Al^2 + 8,7360 e^{Al} + 0,0042 Argila - 0,00001 Argila^2 + 0,0386 Mn - 0,0001 Mn^2 \quad (4)$$

Nesse caso não foi possível encontrar equação que explicasse maior variabilidade do Fe no solo, ou seja, este modelo explica apenas 40% da variação do Fe. A dificuldade de encontrar um modelo mais adequado está principalmente no fato do Fe presente nesses solos fazer parte da mineralogia e muitas vezes é independente das reações do solo. Todavia, o modelo foi aceito por apresentar algumas relações importantes como as interações negativas com o P, Ca, Mg e Al, e interação positiva com argila e Mn.

O elemento P foi o que apresentou modelo mais complexo com a equação expressa na eq. (5) com R² de 0,79:

$$\sqrt{P} = - 11,9510 + 5,3880 \text{ pH} - 0,5620 \text{ pH}^2 + 0,3750 \text{ Ca} - 0,0086 \text{ Ca}^2 - 1,1632 \text{ Mg} + 0,3751 \text{ Mg}^2 - 4,0610 \text{ Al} - 5,5790 \text{ Al}^2 + 4,9290 e^{\text{Al}} - 0,0119 \text{ Argila} + 0,00001 \text{ Argila}^2 + 0,3589 \text{ Zn} - 0,0163 \text{ Zn}^2 - 0,2714 \text{ Cu} + 0,0179 \text{ Cu}^2 - 0,0084 \text{ Fe} + 0,00001 \text{ Fe}^2 + 0,0156 \text{ Mn} - 0,00006 \text{ Mn}^2 - 0,0435 \text{ S} + 0,0013 \text{ S}^2 + 2,2805 \text{ B} - 3,13 \text{ B}^2 \quad (5)$$

Isso evidencia que para um correto manejo de adubação fosfatada deve-se considerar todas as relações com os demais atributos do solo. Esse elemento está em função do pH, Ca, Mg, Al, argila, Zn, Cu, Fe, Mn, S e B de forma quadrática.

O quarto componente principal representa 6,33% da variação total (Tabela 1), sendo que as principais relações são entre o S, Fe e Mn que possuem correlações positivas entre si, conforme demonstrado na Tabela 2.

O quinto componente explica 6,14% da variação total (Tabela 1) e têm como principais nutrientes o Zn, Cu e Mn, sendo que os dois primeiros elementos se correlacionam de forma positiva entre si e negativamente com o Mn (Tabela 2).

O sexto e último componente analisado representa 4,54% da variação total (Tabela 1) sendo o Cu, S, P e o Mn os nutrientes principais (Tabela 2). Nesse componente, o Cu, S e o Mn tiveram correlação positiva entre si e correlação negativa com o P. A relação entre P e Cu já foi referenciada anteriormente. Entre o P e Mn a relação é semelhante a relação de sorção

e/ou precipitação que ocorre com o Fe (Ernani, 2008). No caso do P e S, sabe-se que estes dois nutrientes estão na forma aniônicas e por conta disso são facilmente fixados em minerais de carga variável, como em óxidos e hidróxidos de Fe, Al e Mn; porém, o P compete mais intensamente pelos sítios de sorção inibindo a fixação do S (Jara et al., 2006) explicando a relação negativa entre eles conforme pode-se notar no modelo acima.

De modo geral, como P tem grande afinidade pelos sítios de sorção, sua adição ao solo promove o deslocamento de parte dos demais ânions dos sítios de sorção para a solução do solo (Ernani, 2008). Em decorrência disso, a disponibilidade desses ânions para as plantas pode aumentar nos períodos subsequentes à adubação fosfatada.

Por meio da análise de correlação entre cada componente e variável analisada e da soma dos quadrados dos coeficientes de correlação, foi possível caracterizar, de forma geral, as variáveis quanto ao grau de influência sobre os demais atributos do solo como demonstrado na Tabela 3.

Esses resultados reforçam a importância da MO como promotora da melhoria da fertilidade dos solos da região, uma vez que esse atributo teve maior soma de quadrados ($SQ = 1,00$) (Tabela 3). Assim, práticas de manejo, como plantio direto e manutenção da cobertura vegetal do solo, podem ser adequadas para melhorar os níveis de MO e elevar a fertilidade desses solos como demonstrado por Wander e Yang (2000), Ding et al. (2002), Fox e Metla (2005) e Siqueira Neto et al. (2009).

Depois da MO, as variáveis de maior destaque são V%, SB, CTC e pH, na respectiva ordem apresentada. As variáveis que tiveram menor grau de relação com os demais atributos foram o K e B, respectivamente (Tabela 3).

De maneira mais ampla, percebe-se que a manutenção da MO e a correção da acidez do solo, devem ser alvos de programas de adubação, uma vez que constituem os atributos que mais se destacaram nos solos em estudo. Caso essas condições não sejam prioritárias, o fornecimento de nutrientes via adição de fertilizantes minerais pode constituir uma técnica ineficiente para melhoria da fertilidade desses solos. Do mesmo modo, ficou evidenciado que a adubação fosfatada deve ser fornecida de maneira

cautelosa, pois observou-se uma forte interação de P com os micronutrientes, e caso seja fornecida em excesso poderá causar deficiência desses nutrientes nas culturas cultivadas.

Tabela 3. Coeficientes de correlação entre cada componente principal e variável analisada

Variáveis	CP1*	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6	SQ
MO⁵	0,9976	0,0485	0,0083	-0,0058	-0,0467	-0,0098	1,0000
V%	0,4507	-0,8585	-0,0873	-0,0046	-0,0023	0,0382	0,9492
SB⁴	0,8672	-0,2932	-0,0277	-0,0566	-0,3177	0,0725	0,9481
CTC⁴	0,8777	0,3101	0,0277	-0,0982	-0,2642	-0,0284	0,9475
pH²	0,4296	-0,8395	-0,0776	0,0116	-0,0501	0,0519	0,9007
Argila ⁵	0,7591	0,4830	-0,1663	-0,0335	0,2391	0,0010	0,8955
Al ⁴	-0,4112	0,7382	0,0527	0,0231	-0,3370	0,2517	0,8943
H ⁴	-0,4613	0,7973	0,0749	-0,0982	-0,0068	-0,1743	0,8941
Areia ⁵	-0,7538	-0,4809	0,1677	0,0150	-0,2516	-0,0284	0,8920
m%	-0,4639	0,6834	0,0333	0,0335	-0,3313	0,2831	0,8744
Ca ⁴	0,8013	-0,2742	0,0042	-0,0393	-0,3325	0,0676	0,8339
P ³	-0,1292	-0,2953	0,7139	-0,0162	-0,1503	-0,3938	0,7914
Silte ⁵	0,7301	0,3417	-0,1428	0,0797	0,2653	0,1606	0,7727
S ³	0,1845	0,2615	-0,0554	0,6623	-0,1116	0,4613	0,7694
Cu ³	0,1950	-0,0042	0,6016	0,3121	0,2414	0,4408	0,7499
Mn ³	0,2741	-0,1645	0,2828	0,5640	-0,3484	0,3242	0,7268
Mg ³	0,7459	-0,3058	-0,1386	-0,1375	-0,1776	0,0813	0,7262
Zn ³	0,4138	0,0148	0,6016	0,1156	0,3928	-0,1009	0,7112
Fe ³	-0,2768	-0,0359	-0,5434	0,5571	-0,0421	-0,1244	0,7007
K ³	0,6352	0,1498	0,1081	0,2150	-0,0922	-0,0695	0,4972
B ³	0,0738	-0,2805	-0,4200	0,2300	0,3393	0,1430	0,4490

*CP = componente principal; ²CaCl₂; ³mg dm⁻³; ⁴cmol_c dm⁻³; ⁵g kg⁻¹

3.4 CONCLUSÕES

1. A análise de componentes principais reduziu as 21 variáveis originais (MO, V%, SB, CTC, pH, argila, areia, silte, H⁺, Al³⁺, m%, Ca, Mg, K, P, S, Cu, Mn, Mg, Zn, Fe e B) para seis componentes principais que representaram 80% da variação total dos dados.

2. As variáveis que mais se destacaram no complexo de relações do solo foram MO, V% e SB, CTC e pH.
3. Com base nos modelos de regressão, nos solos agrícolas de Mato Grosso: a CTC foi mais dependente do pH, MO, V% e Argila; o elemento P é a variável dependente do maior número de atributos estando em função do pH, Ca, Mg, S, Al, Argila e micronutrientes; o Zn é mais dependente do pH, P, MO, Argila, CTC e Cu; o Cu do pH, P, MO, Argila, CTC, Zn e Fe; e por fim, o Fe do P, Ca, Mg, Al, Argila, Cu, Mn, S e B.

3.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLOWAY, B.J. **Zinc in soils and crop nutrition**. 2 ed. Brussels (Belgium) and Paris (France): International Zinc Association and International Fertilizer Industry Association. 2008. 139 p.

CARVALHO JR., W.; SCHAEFER, C.G.E.R.; CHAGAS, C.S.; FERNANDES FILHO, E.I. Análise multivariada de Argissolos na faixa atlântica brasileira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n. 5, p. 2081-2090, 2008.

CHANG, C.W.; LAIRD, D.A.; MAUSBACH, M.J.; HURBURGH JR., C.R. Near-infrared reflectance spectroscopy–principal components regression analyses of soil properties. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 65, n. 2, p. 480-490, 2001.

COSTA, A.C.S.; BIGHAM, J.M.; TOMENA, C.A.; PINTRO, J.C. Clay mineralogy and cation exchange capacity of Brazilian soils from water contents determined by thermal analysis. **Thermochimica Acta**, Amsterdam, v. 143, n. 102, p. 73-79, 2004.

COX, M.S.; GERARD, P.D.; WARDLAW, M.C.; ABSHIRE, M.J. Variability of selected soil properties and their relationships with soybean yield. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 67, n. 4, p. 1296–1302, 2003.

DEMATTÊ, J.L.I.; DEMATTÊ, J.A.M. Comparação entre as propriedades químicas de solos das regiões da floresta amazônica e do cerrado do Brasil central. **Scientia agrícola**, Piracicaba, v. 50, n. 2, p. 272-286, 1993.

DING, G.; NOVAK, J.M.; AMARASIRIWARDENA, D.; HUNT, P.G.; XING, B. Soil organic matter characteristics as affected by tillage management. **Soil Science Society America Journal**, Madison, v. 66, n. 2, p. 421–429 (2002).

DRAPER, N.R.; SMITH, H. **Applied Regression Analysis**. 3 ed. New York: John Wiley e Sons, 1998. 706 p.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Solos/Embrapa Informática Agropecuária/Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. 370 p.

ERNANI, P.R. **Química do solo e disponibilidade de nutrientes**. Lages: O Autor, 2008. 230 p.

FALCÃO, N.P.S.; SILVA, J.R.A. Características de adsorção de fósforo em alguns solos da Amazônia Central. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 34, n. 3, p. 337 – 342, 2004.

FOX, G.A.; METLA, R. Soil property analysis using principal components analysis. **Science Society of America Journal**, Madison, v. 69, n. 6, p. 1782–1788, 2005.

FREDDI, O.S.; FERRAUDO, A.S.; CENTURION, J.F. Análise multivariada na compactação de um Latossolo Vermelho cultivado com milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 3, p. 953-961, 2008.

GALRÃO, E.Z. Micronutrientes. In.: SOUZA, D.M.G; LOBATO, E. (Ed). **Cerrado: correção do solo e adubação**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p. 185-226.

GIANQUINTO, G.; ABU-RAYYAN, A.; TOLA, L.D.; PICCOTINO, D.; PEZZAROSSA, B. Interaction effects of phosphorus and zinc on photosynthesis, growth and yield of dwarf bean grown in two environments. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 220, n. 1-2, p. 219-228, 2000.

GOMES, J.B.V.; CURI, N.; MOTTA, P.E.F.; KER, J.C.; MARQUES, J.J.G.S.M.; SHULZE, D.G. Análise de componentes principais de atributos físicos, químicos e mineralógicos do solos do bioma cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n.1, p. 137-153, 2004.

HAIR JR, J.F.; ANDERSON, R.E.; TATHAM, R.L.; BLACK, W.C. **Análise multivariada de dados**. Trad. SANT'ANNA, A.S; CHAVES NETO, A. 5 ed. Porto Alegre: Bookman, 2005. 593 p.

HAN, S.Z.; TANG, C.; SONG, C.Y.; WANG, S.Y.; QIAO, Y.F. Phosphorus characteristics correlate with soil fertility of albic luvisols. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 270, n. 1-2, p. 47-56, 2005.

JARA, A.A.; VIOLANTE, A.; PIGNA, M.; MORA, M.L. Mutual interactions of sulfate, oxalate, citrate, and phosphate on synthetic and natural allophanes. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 70, n. 2, p. 337-346, 2006.

JOHNSON, R.A.; WICHERN, D.W. **Applied multivariate statistical analysis**. 4 ed. Nova Jersey: Prentice-Hall, 1998. 632p.

MA, C.; EGGLETON, R.A. Cation exchange capacity of kaolinite. **Clays and Clay Minerals**, Amsterdam, v. 47, n. 2, p. 174-180, 1999.

MANDAL, B.; MANDAL, L.N. Effect of phosphorus application on transformation of zinc fraction in soil and on the zinc nutrition of lowland rice. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 121, n. 1-2, p. 115-123, 1990.

McBRIDE, M.B.; RICHARDS, B.K.; STEENHUIS, T.; RUSSO, J.J.; SAUVE, S. Mobility and solubility of toxic metals and nutrients in soil fifteen years after sludge application. **Soil Science**, New Brunswick, v. 162, n. 7, p. 487-500, 1997.

MEHADI, A.A.; TAYLOR, R.W.; SHUFORD, J.W. Prediction of fertilizer phosphate requirement using the Langmuir adsorption maximum. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 122, n. 1-2, p. 267-270, 1990.

MORRISON, D.F. **Multivariate statistical methods**. 4 ed. New York: Duxbury Press, 2003. 415 p.

OLIVEIRA, I.P.; KLUTHCOUSKI, J.; BALBINO, L.C.; BUSO, L.H.; YOKOYAMA, L.P.; MAGNABOSCO, C.U.; SCARPATI, M.T.V. **Sistema Barreirão**: emprego de micronutrientes na recuperação de pastagens. Santo Antônio de Goiás: Embrapa-Centro Nacional de Pesquisa Arroz e Feijão, 1998. 36p. (Circular Técnica, 30)

OORTS, K.; VANLAUWE, B.; MERCKX, R. Cation exchange capacities of soil organic matter fractions in a Ferric Lixisol with different organic matter inputs. **Agriculture, Ecosystem and Environment**, Amsterdam, v. 100, n. 2-3, p. 161-171, 2003.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Agronômica Ceres, Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1991. 343p.

RHOADS, F.M.; BARNETT, R.D.; OLSON, S.M. Copper toxicity and phosphorus concentration in Florida – 502 oats. **Soil and Crop Science Society of Florida**, Orlando, v. 51, n. 1, p. 18-20, 1992.

SEPLAN-MT. **Secretaria de estado de Planejamento e Coordenação Geral**. Zoneamento Sócio Econômico Ecológico do estado de Mato Grosso

– 2003. Disponível em: <http://www.zsee.seplan.mt.gov.br/servidordemapas/>
Acesso em 18 de novembro 2008.

SHTANGEEVA, I.; ALBER, D.; BUKALIS, G.; STANIK, B.; ZEPEZAUER, F. Multivariate statistical analysis of nutrients and trace elements in plants and soil from northwestern Russia. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 322, n. 1-2, p. 219–228, 2009.

SILVA, N.R.; PADOVANI, C.R. Utilização de componentes principais em experimentação agrônômica. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 21, n. 4, p. 98-113, 2006.

SIQUEIRA NETO, M.C.; PICCOLO, M.C.; SCOPEL, E.; COSTA JR., C.; CERRI, C.C.; BERNOUX, M. Carbono total e atributos químicos com diferentes usos do solo no Cerrado. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v.31, n.4, p. 709-717, 2009.

VENDRAME, P.R.S.; BRITO, O.R.; QUANTIN, C. BECQUER, T. Disponibilidade de cobre, ferro, manganês e zinco em solos sob pastagens na Região do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 6, p. 859 – 864, 2007.

WANDER, M.M.; YANG, X. Influence of tillage on the dynamics of loose and occluded particulate and humified organic matter fractions. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 32, n. 13, p. 1151–1160, 2000.

ZANÃO JR., L.A.; LANA, R.M.Q.; GUIMARÃES, E.C. Variabilidade espacial do pH, teores de matéria orgânica e micronutrientes em profundidade em um Latossolo Vermelho sob semeadura direta. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 4, p. 1000-1007, 2007.

CONCLUSÕES

1. Em solos agrícolas do estado de Mato Grosso, os teores de S e micronutrientes estão em níveis adequados para a maioria das culturas cultivadas;
2. Em um programa de adubação para o Estado em estudo, deve-se priorizar o manejo da conservação da MO e a correção da acidez do solo, posteriormente deve-se corrigir os nutrientes deficientes;
3. Com base nos modelos de regressão, para os solos de Mato Grosso, a CTC está em função da MO e Argila, sendo mais dependente da MO do que da Argila; o elemento P é a variável influenciada por maior número de atributos, estando a sua disponibilidade em função do pH, Ca, Mg, S, Al, Argila e micronutrientes; o Zn tem disponibilidade em função do pH, P, MO, Argila, CTC e Cu; o Cu em função do pH, P, MO, Argila, CTC, Zn e Fe; e por fim, o Fe em função do P, Ca, Mg, Al, Argila, Cu, Mn, S e B.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)