

FLÁVIA CRISTINA DOS SANTOS

**PRODUTIVIDADE DE SOJA E RESPOSTA A TÉCNICAS DE
CULTIVO EM SOLOS DE CERRADO COM DIFERENTES
TEXTURAS**

**Tese apresentada à Universidade Federal de
Viçosa, como parte das exigências do Programa
de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de
Plantas, para obtenção do título de “*Doctor
Scientiae*”.**

**VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2006**

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

S237p
2006

Santos, Flávia Cristina dos, 1976-

Produtividade de soja e resposta a técnicas de cultivo em solos de cerrado com diferentes texturas / Flávia Cristina dos Santos. – Viçosa : UFV, 2006. x, 74f. : il. ; 29cm.

Orientador: Júlio César Lima Neves.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 67-74.

1. Soja - Nutrição. 2. Plantas e solo. 3. Soja - Adubos e fertilizantes. 4. Solos - Correção. 5. Física do solo.
I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

CDD 22.ed. 635.6558911

FLÁVIA CRISTINA DOS SANTOS

PRODUTIVIDADE DE SOJA E RESPOSTA A TÉCNICAS DE CULTIVO EM SOLOS DE CERRADO COM DIFERENTES TEXTURAS

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 18 de outubro de 2006

**Roberto Ferreira de Novais
(Co-Orientador)**

Víctor Hugo Alvarez V.

Tuneo Sedyama

Juarez Barbosa Tomé Júnior

**Júlio César Lima Neves
(Orientador)**

A Deus, pelo dom da vida.

Aos meus pais João Ribeiro e Lúdia Domingas pelo apoio, investimento em minha educação, incentivo e amor dedicado incondicionalmente, sem o que não teria chegado tão longe.

A meus irmãos Suzana, Eduardo, Andréa, Míriam e Juarez que mesmo distantes estão sempre torcendo e participando dos principais momentos de minha vida.

A minhas sobrinhas Raíssa, Lúdia, Eduarda e Beatriz que me relaxam e me proporcionam a alegria e o prazer de viver.

Dedico

Ao meu esposo Manoel Ricardo pelo incentivo constante, amor e carinho, uma das razões do meu viver!

Ofereço

AGRADECIMENTOS

À FAPEMIG pela concessão dos nove meses de bolsa.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Solos pelas oportunidades nos cursos que me fizeram a profissional de hoje.

À Embrapa Cerrados, nas pessoas do Dr. Roberto Teixeira e seus chefes-adjuntos, que incentivaram e apoiaram a conclusão deste curso.

Ao meu Orientador, Professor Júlio, pelas dicas, discussões e ensinamentos que muito contribuíram para meu desenvolvimento pessoal e profissional nesses sete anos de convívio.

Ao Professor Novais, um exemplo de dedicação e profissionalismo; pelo apoio, ensinamentos, valiosas discussões, enfim, pelo privilégio do convívio, do qual sentirei muita saudade. Acredito que a gratidão e admiração expressas devam ser compartilhadas com muitos, pela grande contribuição dada à agricultura do país.

Ao professor João Ker, pelos ensinamentos e contribuições neste trabalho e durante minha formação profissional.

Ao Coordenador da UEP-TO, Marcelo Cunha, pela amizade e apoio para que eu pudesse obter este título.

Aos colegas da UEP-TO, Suzinei, Cássia, Luciano e José Marcelo, amigos de todas as horas.

A toda família do meu esposo, que hoje também é minha, pela torcida sempre constante para meu sucesso.

A todos os amigos, funcionários e professores do DPS com quem tive o prazer de conviver por todos esses anos.

Aos amigos, com especial carinho: Solenir, Cacá, Edgley, Roseli, Eliane, Fernanda, Otávia, Gisele, Juberto, que tornaram meus dias em Viçosa mais agradáveis.

Ao amigo Foloni, pelas valiosas discussões, apoio irrestrito e cessão do banco de dados, com quem compartilho esta conquista.

À Fundação MT pela oportunidade da visita e cessão do banco de dados, em especial ao Leandro Zancanaro, Tessaro, Paulo Odoni, Joel e Ana Carolina.

Ao colega da Embrapa, Shizuo Maeda, pela cessão dos dados e constante atenção dispensada.

À Sementes Adriana pela excelente recepção e oportunidade de crescimento profissional, em especial ao Marcelo Lemes, pelos ensinamentos; Marco Túlio e Dirceu.

À SNP Consultoria pelas valiosas informações e apoio à condução do trabalho, com destaque para Rodrigo, Orlando e Rafael.

A todos os produtores e agrônomos que responderam o questionário utilizado nesta tese.

Aos amigos e colegas de Embrapa Tomé, Kurihara e Eufraim pela ajuda, apoio e discussões proveitosas para a realização deste trabalho.

Ao professor Eduardo Couto-UFMT, à Seplan-MT e à Universidade Federal de Santa Maria/CCA/DPS pelo envio de informações.

Ao Prefeito de Natividade-TO, Albani, pelo apoio e interesse neste trabalho.

BIOGRAFIA

FLÁVIA CRISTINA DOS SANTOS, filha de João Ribeiro dos Santos e Lídia Domingas dos Santos, nasceu em São João del-Rei, Minas Gerais, em 12 de agosto de 1976.

Em janeiro de 2000, graduou-se em Agronomia pela Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais.

Em fevereiro de 2000 iniciou o curso de Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas, na Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, defendendo tese em março de 2002.

Em abril de 2002 iniciou o curso de Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas, na Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, defendendo tese em outubro de 2006, quando já atuava como Pesquisadora em Fertilidade do Solo na Embrapa Cerrados/UEP-TO, onde ingressou em dezembro de 2002.

CONTEÚDO

RESUMO	vii
ABSTRACT	ix
1. INTRODUÇÃO	1
2. MATERIAL E MÉTODOS	9
2.1. Composição do banco de dados	9
2.2. Textura do solo e produtividade da soja	11
2.3. Textura do solo, teor e conteúdo de nutrientes na planta	12
2.4. Textura e propriedades químicas do solo	13
2.5. Textura do solo e calagem	14
2.6. Textura do solo e recomendação de fertilizantes	14
2.7. Práticas conduzidas por produtores e agrônomos no manejo da produção de soja em solos de cerrado com diferentes texturas e conhecimento teórico	15
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
3.1. Textura do solo e produtividade da soja	20
3.2. Textura do solo, teor e conteúdo de nutrientes na planta	28
3.3. Textura e propriedades químicas do solo	39
3.4. Textura do solo e calagem	44
3.5. Textura do solo e recomendação de fertilizantes	51
3.6. Práticas conduzidas por produtores e agrônomos no manejo da produção de soja em solos de cerrado com diferentes texturas e conhecimento teórico	56
4. CONCLUSÕES	66
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67

RESUMO

SANTOS, Flávia Cristina dos, D. S., Universidade Federal de Viçosa, outubro de 2006.

Produtividade de soja e resposta a técnicas de cultivo em solos de cerrado com diferentes texturas. Orientador: Júlio César Lima Neves. Co-Orientadores: Roberto Ferreira de Novais e João Carlos Ker.

Nos últimos anos, a agricultura foi marcada pelo avanço da produção de soja em solos mais arenosos do cerrado, tidos como impróprios para essa atividade. Esse fato gerou questionamentos quanto à sustentabilidade e viabilidade técnica, econômica e ambiental da produção de soja. Adicionalmente, esperam-se diferenças nas respostas às técnicas aplicadas e à dinâmica de nutrientes, matéria orgânica (MO), entre outros, no solo e plantas. Diante disso, esse trabalho objetivou avaliar a produtividade de soja e a adoção de técnicas de cultivo em solos de cerrado com diferentes texturas; avaliar o relacionamento entre teores e conteúdos de nutrientes no sistema solo-planta com a textura do solo; relacionar propriedades químicas do solo com textura e histórico de uso e comparar as práticas de correção e fertilização do solo utilizadas por produtores e agrônomos no cultivo da soja com o conhecimento teórico, em solos de diferentes texturas. Para isso, foram utilizados três amplos bancos de dados com informações de plantas de soja e solos com diferentes texturas (teor de argila variando de 30 a 840 g kg⁻¹). Por meio de plotagem dos dados em gráficos e ajustes de equações de regressão, diversos relacionamentos foram gerados com textura: produtividade, teor e conteúdo de nutrientes na planta, propriedades químicas do solo, calagem e adubação da soja e, em alguns casos, separando-se os efeitos por classes texturais: arenosa, média, argilosa e muito argilosa. Alguns relacionamentos envolveram o histórico de uso das áreas. Foi aplicado questionário a produtores e agrônomos para verificar a coerência entre as práticas conduzidas no campo e o conhecimento teórico. A produtividade de soja mostrou tendência de aumento com o teor de argila. Separando-se por classes texturais, a mesma tendência foi verificada apenas nas classes arenosa e argilosa. Nas classes média e muito argilosa houve tendência de queda da produtividade com o aumento do teor de argila. Os nutrientes tiveram relacionamentos variados com a textura e produtividade da soja, merecendo destaque os teores foliares e conteúdos de P e S

nas plantas, que apresentaram aumentos com os teores de argila até valores de 227 e 426 g kg⁻¹, respectivamente, para posteriores decréscimos. Potássio, Ca e Mg se relacionaram positiva e significativamente com teor de argila e produtividade da soja, mostrando limitação, principalmente de K⁺ e Ca²⁺ para a soja cultivada em solos mais arenosos. Quanto aos micronutrientes não houve limitação à produção, à exceção do B. De modo geral, as propriedades químicas do solo (pH, P, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, H+Al e MO) tenderam a aumentar com o teor de argila e histórico de uso dos solos (anos 1, 3 e 5). Especificamente em relação à MO, não foi verificada diminuição em seus teores iniciais com os anos de uso nos solos arenosos. O relacionamento da CTC e MO do solo com o teor de argila seguiu o modelo potencial, evidenciando maiores aumentos para os teores menores de argila. A calagem necessita de manejo mais adequado em solos mais arenosos, pois verificou-se que, para neutralizar o Al³⁺ e atender à demanda da planta em Ca²⁺ e Mg²⁺, vêm sendo aplicadas doses acima de 6 t ha⁻¹, maiores que as recomendáveis. Isso pode provocar problemas futuros, como alcalinização geral do perfil do solo. As doses recomendadas de P e K diminuem com o teor de argila e se relacionam negativamente com a produtividade. Explicações para essas constatações são que as áreas mais arenosas foram incorporadas recentemente ao cultivo e as argilosas são áreas mais velhas, com fertilidade já construída; assim a recomendação de P e K é dependente, nas condições deste trabalho, da produtividade de soja. O questionário aplicado evidenciou algumas incoerências entre as práticas conduzidas no campo por produtores e agrônomos com o conhecimento teórico, principalmente relacionadas à calagem e adubação com P e K. Por exemplo, aplicações de doses mais elevadas de calcário e P em solos arenosos em comparação aos argilosos. Conclui-se que a produtividade de soja independe da textura do solo; condições climáticas e manejo adequados são os principais fatores determinantes, e os solos arenosos apresentam potencial produtivo equivalente aos argilosos.

ABSTRACT

SANTOS, Flávia Cristina dos, D. S., Universidade Federal de Viçosa, October 2006.
Soybean productivity and response to different agricultural practices in cerrado soils with different textures. Adviser: Júlio César Lima Neves. Co-Advisers: Roberto Ferreira de Novais and João Carlos Ker.

In recent years, agriculture has been marked by the advance of soybean production on coarser soils from the cerrado region, considered improper for this activity. This fact gives rise to several questions regarding the sustainability and the technical, economical and environmental viability of soybean production. Additionally, different responses to the applied techniques and in the nutrient and organic matter dynamics are expected in soils and plants. The objectives of this work were to evaluate soybean yield and the agricultural practices adopted for soils with different textural classes; to evaluate the relationship between soils particle size distribution and the nutrient levels and contents in the soil-plant system; to study the relationship between soil chemical characteristics, particle size distribution and use history and compare the liming and fertilization practices currently adopted by soybean farmers and technical consultants with the theoretical recommendations for soils of different textural classes. Three large data bases with information regarding soybean plants and soils with different textures were used (clay content varying of 30 to 840 g kg⁻¹). Graphs and regression equations were used to obtain different relationships with soil texture: crop yield, nutrient level and content in the plants, soil chemical properties, liming and fertilization. In some cases, the effects were separated by textural class: sand, loam, clay and very clayey. Some relationships involved the description of land use history. Farm owners and technical consultants were interviewed in order to compare the agricultural practices currently adopted with the theoretical recommendations. Soybean yields showed an increase trend with increasing clay content. This was true for soils from the sand and clay textural classes whereas for the loam and very clayey soils the yields decreased with increasing clay content. The nutrient levels had varying relationships with soil particle size distribution and soybean yield. The levels and content of P and S in the plants increased with clay content to 426 and 227 and g kg⁻¹, respectively, with posterior decrease. Potassium, Ca and Mg had a significant, positive

relationship with clay content and soybean yield, evidencing limitation mainly of K^+ and Ca^{2+} for the soybean cropped on coarser soils. Micronutrients did not limit soybean yields, except for B. In general, soil chemical properties (pH, P, K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , H+Al and organic matter) tend to present higher values with increasing clay content and land use period (years 1, 3 and 5). For sandy soils, no reduction in the initial organic matter content was verified after soybean cultivation. The relationship of soils cation exchange capacity and organic matter level with the clay content followed the potential model, evidencing larger increases for lower clay contents. It was verified that the lime doses which are currently used by farmers to neutralize soil Al^{3+} and supply Ca^{2+} and Mg^{2+} to soybean plants in sandy soils surpass 6 t ha^{-1} , which is higher than the recommended doses. Therefore, liming needs a more adequate management in order to avoid future problems, such as the general alkalization of the soil profile. The recommended doses of P and K decrease with increasing clay content and are negatively related to productivity. This can be explained by the fact that areas with sandy soils are more recent while the more clayey soils have built a higher nutrient status due to their longer use history. In this work, P and K recommendations depended on soybean productivity. The interviews with land owners revealed some discrepancies between the field practices and the theoretical recommendation, mainly in relation to liming and P and K fertilization. For example, higher doses of lime and P in sandy soils. It is possible to conclude that soybean productivity is independent of soil particle size distribution; climatic conditions and adequate agricultural practices are the determinant factors. Therefore, sandy soils present equivalent productive potential to that observed for clayey soils.

1. INTRODUÇÃO

A cultura da soja é uma das principais *commodities* agrícolas do Brasil, com área plantada de cerca de 22 milhões de hectares e produtividade média de 2.511 kg ha⁻¹ na safra 2005/06, representando 24 % da Balança Comercial do Agronegócio em 2006 (CONAB, IBGE, 2006). A soja também se destaca como umas das principais alternativas na rotação de culturas em sistema plantio direto e, mais recentemente, no sistema integração lavoura-pecuária, como consequência, principalmente, da grande eficiência em fixar N₂. Isto resulta em seu grande potencial de recuperação de pastagens degradadas, aumentando, assim, a capacidade de suporte de gado e de investimentos do pecuarista, além de melhoria do nível tecnológico.

O cultivo da soja no Brasil, mais especificamente na região dos cerrados, ocorreu tradicionalmente sobre solos de textura argilosa, considerados mais férteis em relação aos de textura arenosa. Entretanto, nos últimos anos, a área cultivada com a soja tem-se expandido em solos de textura média e arenosa, principalmente nos Estados da Bahia, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Tocantins. Informações obtidas junto à Fundação Mato Grosso dão conta de que, na safra 2004/05, a área plantada com soja no Mato Grosso cresceu 16,5 %, aumento que se deu, principalmente, pela incorporação de áreas com solos arenosos.

Como principais causas dessa expansão podem ser citados: o menor preço de aquisição da terra; o processo natural de utilização das terras, que avançava inicialmente sobre solos mais argilosos e, a partir do maior custo de aquisição destes, a opção para expansão se desloca para os solos arenosos, principalmente aqueles de pastagens degradadas; e a expansão do sistema integração lavoura-pecuária, uma vez que muitas das áreas que vêm sendo utilizadas com lavouras de soja eram pastagens.

O avanço da cultura em solos de textura arenosa tem gerado questionamentos sobre a viabilidade técnica, econômica e ambiental, e sobre a sustentabilidade da produção agrícola nesses solos. A questão assume relevância quando se tem, aproximadamente, 20 % da área da região dos cerrados, ou seja, em torno de 41 milhões de hectares, ocupada pelos Neossolos Quartzarênicos (Goedert et al., 1980), solos com teores de argila de 0-150 g kg⁻¹.

A nutrição da planta, os estoques e a dinâmica dos nutrientes e da MO do solo, a resposta à tecnologia adotada, o comportamento hídrico dos solos, entre outros, são distintos quando se tem variação da textura, suscitando a preocupação em relação à sustentabilidade da produção dos cultivos.

Dessa forma, para subsidiar o manejo mais adequado do solo e da cultura da soja, envolvendo também o uso racional dos recursos naturais e insumos, visando à sustentabilidade da produção de soja, tornam-se necessários o conhecimento e modelagem das variáveis envolvidas no sistema solo-planta, contemplando diferentes texturas do solo.

A textura do solo representa a proporção relativa das partículas de diferentes tamanhos que o constituem, isto é, argila, silte e areia. Cox & Lins (1984) ressaltam que a textura talvez seja a mais importante propriedade do solo, tendo a vantagem de ser de fácil mensuração. Sendo assim, a textura do solo é um dos principais indicadores da qualidade e produtividade dos solos (Wang et al., 2005), não obstante a importância dos atributos biológicos, químicos e físicos - adicionais à textura (Roming et al., 1995; Sanchez et al., 2003).

Solos férteis são usualmente produtivos, mas nem sempre (Cowan, 2004), pois a produtividade depende de uma série de outros fatores, sendo a fertilidade do solo apenas um deles. Segundo esse autor, em solos com elevados teores de P não seriam esperadas respostas consistentes à aplicação deste nutriente; entretanto, freqüentemente, expressivos ganhos de produtividade são obtidos nesses solos em resposta à adição de P. O contrário também pode ocorrer: solos com baixa disponibilidade de P não responderem à sua adição. Estes fatos indicam que, algumas vezes, os teores extraíveis pelos métodos usuais de avaliação da fertilidade podem não estar relacionados com o que solo poderia fornecer às plantas.

Assim, há necessidade de outras variáveis para avaliação do nutriente disponível serem consideradas, como, por exemplo, o teor de argila, principalmente para elementos como o P (Dalal & Hallsworth, 1976; Holford & Mattingly, 1976; Miranda & Volkweiss, 1981; Delazari et al., 1983; Rheinheimer et al., 2000). Além disso, a textura do solo influencia, direta ou indiretamente: o transporte de nutrientes no solo e o crescimento radicular das plantas (Ruiz et al., 1988). Influencia também os processos ligados à disponibilidade de água, compactação, drenagem, aeração e incidência de pragas e doenças

que, por sua vez, irão refletir na produtividade das culturas. Em trabalho com culturas perenes, Van Laar (1981) verificou que as características físicas do solo facilitaram mais as previsões sobre a qualidade de sítio do que as químicas.

Farrington & Campbell (1970), em estudo com gramíneas cultivadas em solos arenosos do oeste australiano, obtiveram correlação significativa e positiva entre a produtividade total das plantas e o teor de silte e argila dos solos. Miranda & Volkweiss (1981), trabalhando com 12 solos do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, concluíram que o poder tampão de P (PTP) e o teor de argila contribuíram mais do que a concentração de P extraível do solo para explicar a produtividade da soja, bem como a necessidade de fertilizante fosfatado para essa cultura.

O paradigma ainda vigente é que uma terra dita “produtiva” é uma terra cujo solo é de textura argilosa. Entretanto, uma constatação comum entre os sojicultores é a obtenção de produtividades semelhantes ou até maiores em solos de cerrado de textura média e arenosa, comparativamente aos argilosos. Nessa linha, a análise de dados de produtividade de lavouras comerciais de soja, principalmente na região Oeste da Bahia e no Mato Grosso, mostra que os solos de textura mais arenosa alcançam produtividades iguais ou até mesmo superiores às obtidas em solos argilosos, desde que o manejo aplicado seja adequado. Para os sojicultores, esse fato tem sido providencial, uma vez que grandes áreas de expansão da cultura são constituídas de solos de textura média e arenosa.

Lima (2004), em trabalho utilizando dados de 293 talhões com cultivo de soja comercial em Campo Novo do Parecis-MT, divididos em solos de textura argilosa e arenosa-média, evidenciou a sustentabilidade da produção da cultura sob agricultura intensiva nessas condições. A produtividade média de soja elevou-se, ao longo de cerca de dez anos de cultivo, de 3,1 e de 2,6 t ha⁻¹ para os patamares de 3,5 e de 3,3 t ha⁻¹ nos solos argilosos e de textura arenosa-média, respectivamente, fato que também evidencia a maior magnitude de resposta da cultura, em solos arenosos, às técnicas empregadas no processo produtivo.

O acúmulo de nutrientes na planta também sofre influência da textura do solo, principalmente para P, S e Zn. Diversos trabalhos de pesquisa têm mostrado que em solos mais intemperizados, com maior poder tampão de P e teores semelhantes de P-lábil, ocorrem menores concentrações de P na solução, resultando em diminuição na taxa de

absorção deste nutriente pelas plantas (Holford & Mattingly, 1979; Muniz et al., 1985; Mello et al., 1993). Em consequência disso, o nível crítico foliar deverá ser menor e a eficiência de utilização maior em solos com maior poder tampão. Bedin et al. (2003) encontraram menores teores de P nas folhas e nos grãos de soja, variedade Conquista, cultivada em casa de vegetação, em solo argiloso (530 g kg⁻¹ de argila), e maiores em solo arenoso (50 g kg⁻¹ de argila) e de textura média (150 g kg⁻¹ de argila). Essa constatação confirma a tendência geral do comportamento vegetal em solos com diferentes PTP (Muniz et al., 1985; Silva & Braga, 1993; Probert & Moody, 1998). Para S, o trabalho de Silva et al. (1998) com plantas de milho, cultivadas em casa de vegetação em três solos com texturas diferentes (280, 670 e 840 g kg⁻¹ de argila), mostrou relação inversa do conteúdo de S nas plantas e o teor de argila. Couto et al. (1992) obtiveram maiores valores de nível crítico de Zn em plantas de milho cultivadas em casa de vegetação para solos de textura mais arenosa. Por esta razão, recomenda-se que os níveis críticos de P, S e Zn na planta sejam definidos em função de uma variável que estime o poder tampão do solo, como por exemplo, a textura do solo.

As análises químicas do solo avaliam apenas parte do processo de suprimento e absorção dos nutrientes pelas plantas. Resultados de pesquisa evidenciaram que além da fração extraível pelos métodos químicos, outros fatores ligados aos mecanismos de suprimento de nutrientes e absorção pelas raízes (poder tampão; teor de argila; tortuosidade; capacidade de retenção de umidade do solo; comprimento, raio, taxa de crescimento e área superficial de raízes; Vmax; Km; Cmin) desempenham papel fundamental na disponibilidade de nutrientes (Barber, 1995; Braida et al., 1996; Holanda et al., 1999, Novais & Smyth, 1999).

Dessa forma, a inclusão de características de solo relacionadas direta ou indiretamente ao transporte de nutrientes no solo aos métodos de avaliação deve melhorar sensivelmente a predição da disponibilidade de nutrientes para as plantas. Braida et al. (1996) verificaram que a separação de solos do Rio Grande do Sul por classes de teor de argila aumentou os valores dos coeficientes de correlação para os métodos de determinação da disponibilidade de P às plantas de trigo, principalmente para o extrator Mehlich 1. Gianello & Mielniczuk (1981) constataram que, após o K na solução do solo ou seu fator intensidade, o fator que mais afetou a absorção desse nutriente pelo milho foi o teor de

argila, pois este influencia o teor de água no solo, a tortuosidade e o poder tampão de potássio (PTK), fatores que influenciam diretamente a difusão de K no solo.

O processo de difusão de P no solo é grandemente influenciado pelo teor de argila e conteúdo de água no solo (Olsen et al., 1962; Villani et al., 1993). A difusão de P está diretamente relacionada à concentração de P na solução do solo, à quantidade de P adsorvida na fase sólida do solo e em equilíbrio com o P da solução (P-lábil) e inversamente ao PTP, que é a capacidade da fase sólida em renovar a solução com P, à medida que este vai sendo absorvido pelas plantas (Novais & Smyth, 1999). O valor do PTP é diretamente proporcional ao teor de argila do solo, ou seja, solos argilosos apresentam, em geral, maior poder tampão (Miranda & Volkweiss, 1981). O PTP do solo também pode ser estimado pelo fósforo remanescente, com a vantagem dessa medida considerar não só a quantidade de argila, mas também a qualidade (Alvarez et al., 2000). Nesse caso, a relação entre as duas variáveis é inversa: maior valor de fósforo remanescente indica solos com menor PTP, ou mais arenosos. O que limita o uso do fósforo remanescente em substituição ao teor de argila, como medida do PTP do solo, é que ainda não há incorporação desse método nas análises de rotina de diversos laboratórios do país.

No trabalho de Villani et al. (1993), com amostras de dois Latossolos com diferentes texturas e em condições ótimas de umidade do solo, foi observado que no solo com maior teor de argila (670 g kg^{-1}) a difusão foi de duas a três vezes menor que no solo de textura média (160 g kg^{-1} de argila). Enquanto a difusão aumentou 28 % no solo argiloso com a duplicação da dose de P, ela aumentou 81 % no Latossolo de textura média. Isso indica que, em condições ótimas de umidade, podem-se obter melhores resultados em produtividade das culturas aumentando a dose de P em solo mais arenoso. Além disso, ainda que com menor dose aplicada no solo de textura média, mais P chegou até as raízes das plantas, em comparação ao solo argiloso.

Oliveira et al. (1999), em trabalho com três solos de texturas variadas, obtiveram fluxo difusivo de Zn 11,5 e 3,0 vezes maior em solo arenoso do que no argiloso, para as fontes ZnCl_2 e ZnSO_4 , respectivamente. Para esses autores, solos mais argilosos apresentam maior número de sítios de troca, acarretando maior adsorção de Zn e, como conseqüência, menor fluxo difusivo que os arenosos. E o efeito verificado pelo uso de diferentes fontes de Zn foi explicado com base na menor e baixa, respectivamente,

capacidade de adsorção de Cl^- (este como ânion acompanhante do Zn em solução) pelos solos e também à alta solubilidade do ZnCl_2 (Lindsay, 1979).

Outro processo que sofre influência direta da textura do solo é a lixiviação de nutrientes. Solos argilosos possuem maior capacidade de retenção do N, principalmente na forma de NH_4^+ , e de K^+ do que os arenosos.

Reichardt et al. (1979), em estudo com aplicação de 80 kg ha^{-1} de N na forma de sulfato de amônio à cultura do milho num Latossolo arenoso, encontraram perdas por lixiviação do N-fertilizante, a mais de 120 cm de profundidade, da ordem de $9,2 \text{ kg ha}^{-1}$ (11,5 %). Urquiaga Caballero et al. (1986), em um solo com 560 g kg^{-1} de argila (média dos primeiros 120 cm de solo) e aplicação de 42 kg ha^{-1} de N, como sulfato de amônio, obtiveram perdas, extremamente pequenas por lixiviação, do N-fertilizante.

Em Latossolo Vermelho-Escuro fase arenosa (91 g kg^{-1} de argila) (Latossolo Vermelho psamítico), cultivado com soja, foi observada lixiviação de K^+ até a profundidade de 80 cm, principalmente nas doses de 80, 160 e 240 kg ha^{-1} de K_2O e tendo como fonte de K^+ o KCl. Estas doses elevadas foram conseqüências do decréscimo acentuado nos teores de K do solo com um ano de cultivo (baixo PTK do solo e possíveis perdas do K^+ por lixiviação, favorecidas pelo íon acompanhante Cl^-), ou seja, de um teor inicial de 66 mg dm^{-3} de K^+ para 28, 35, 40 e 45 mg dm^{-3} de K^+ para as doses de 40, 80, 160 e 240 kg ha^{-1} de K_2O , respectivamente (Rosolem et al., 1984). E, para manter o teor de K^+ no solo, foi necessário aplicar doses maiores que $80 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de K_2O .

A textura do solo é, possivelmente, a característica física mais importante relacionada à sua retenção de água, pois ela determina a área de contato entre as partículas sólidas e a água, e determina a porosidade do solo (Ferreira, 1990).

Lopes (1984) relaciona a baixa capacidade de retenção de água dos solos de cerrado com as características texturais e com os baixos teores de MO dos mesmos. Utilizando 44 amostras de solos de cerrado, esse autor encontrou valores de água disponível de 4,9; 8,5; 9,8 e 9,1 % para solo com < 180 , 180 a 350, 350 a 600 e $> 600 \text{ g kg}^{-1}$ de argila, respectivamente. Isso levou esse autor a alertar quanto aos riscos à agricultura de sequeiro desenvolvida na região de cerrados em solos mais arenosos, devido à baixa retenção de água destes solos e à alta probabilidade de ocorrência de veranicos na região

(Assad et al., 1993), aliadas à limitação imposta ao crescimento do sistema radicular pela toxidez de Al.

Em solos de textura média a arenosa, torna-se importante observar a composição granulométrica da fração areia no comportamento hídrico dos solos. Manfredini et al. (1984) estudaram o efeito da composição granulométrica da fração areia no comportamento hídrico de Latossolos de textura média e Areias Quartzosas (Neossolos Quartzarênicos). Tais solos apresentavam teores de argila e de MO semelhantes, o que permite que as variações quanto ao volume de água retido se devam, essencialmente, à granulometria da fração areia. Observou-se aumento de 45 % na capacidade de armazenamento de água pelos Latossolos em consequência de uma redução de 0,243 mm no diâmetro médio ponderado (DMP) das partículas de areia. Nos Areias Quartzosas (Neossolos Quartzarênicos) a variação foi de 50 % para uma redução de 0,154 mm no DMP.

No manejo da calagem, gessagem e adubação, a textura do solo assume papel de destaque, principalmente com relação à tomada de decisão e recomendação de calcário, gesso e P (Ferreira, 1990).

Em relação à adubação, a textura do solo interfere, entre outros, na dose a ser recomendada, principalmente de P; na taxa de recuperação pela planta e extrator do nutriente aplicado como fertilizante e também tem consequência na resposta da planta à adubação realizada (Santos, 2002). Geralmente, em solos mais argilosos são necessárias doses mais elevadas de P devido ao maior poder de adsorção desses solos. Esta maior adsorção nesses solos leva à menor taxa de recuperação, pela planta e pelo extrator químico, do nutriente aplicado e também se espera menor resposta à adubação, pois o nutriente aplicado via fertilizante fica menos disponível às plantas.

A dinâmica da MO no solo sofre influência de características do solo, com destaque para a textura. Segundo Van Veen et al. (1985), partículas de argila aumentam a estabilidade dos substratos orgânicos e a biossíntese microbiana. Resultados de trabalho desses autores com dois solos de diferentes texturas, 120 e 420 g kg⁻¹ de argila, mostraram que desde dez dias de incubação até o final do experimento, as taxas de decomposição do ¹⁴C orgânico foram cerca de duas vezes maiores no solo arenoso em relação ao argiloso.

Em trabalho de Silva et al. (1994) sobre a redução do teor de MO, como função do tempo de cultivo de cinco anos no sistema convencional, em amostras de solos arenosos,

textura média e argilosos de 0 a 15 cm de profundidade, de 189 lavouras do oeste baiano, não foram verificadas diferenças estatísticas nos valores do coeficiente k (taxa de perda da MO) nas diferentes classes texturais. Contudo, os valores de 0,32; 0,30 e 0,24 % ano⁻¹ nos solos arenosos, textura média e argilosa, respectivamente, evidenciam tendência a maiores perdas nos primeiros. Com base no decréscimo nos teores iniciais de MO, essas perdas foram de 79, 73 e 41 % nos solos arenosos, de textura média e argilosos, respectivamente.

Os principais objetivos deste trabalho foram:

- 1- Avaliar o relacionamento entre produtividade da cultura da soja e adoção de técnicas de cultivo em solos de cerrado com diferentes texturas;
- 2- Avaliar a sustentabilidade da produção de soja, considerando a textura do solo e o histórico de uso;
- 3- Avaliar o relacionamento entre teores e conteúdos de nutrientes no sistema solo-planta de soja com a textura do solo;
- 4- Comparar as práticas conduzidas por produtores e agrônomos no manejo da produção de soja com o conhecimento teórico, em solos de cerrado com diferentes texturas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Esta tese foi desenvolvida com dados de lavouras comerciais de soja dos Estados do Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, envolvendo o relacionamento da produção de soja e adoção de técnicas com a textura do solo. Dessa forma, buscou-se abranger lavouras cultivadas em solos com as mais diversas texturas, com intervalo de argila entre 30 e 840 g kg⁻¹. Cabe ressaltar que a textura do solo envolve a proporção relativa das partículas de areia, silte e argila. Pelo uso mais rotineiro do teor de argila para representar a textura do solo, utilizou-se de seus teores para os relacionamentos testados neste trabalho.

Os relacionamentos entre as diversas variáveis foram feitos por meio de plotagem dos dados em gráficos e ajustes de equações de regressão. A significância estatística utilizada foi: parênteses com o valor da significância do coeficiente, quando esta era acima de 10 %; e ⁰, *, **, *** para os níveis de significância a 10, 5, 1 e 0,1 %, respectivamente.

2.1. Composição do banco de dados

Os bancos de dados utilizado neste trabalho foram:

Banco A: Maeda (2002), referente a lavouras comerciais de soja da região de Dourados, Mato Grosso do Sul, na safra 2000-01. Este banco de dados contém informações sobre análises químicas e físicas de solos e teores foliares e produtividade de soja de 87 talhões situados em 46 fazendas. Abrange teores de argila de 80 a 840 g kg⁻¹.

Banco B: Eng. Agrônomo *M.Sc.* José Marcos Foloni (dados não publicados), referente a lavouras comerciais de soja localizadas nos municípios de Camapuã, Mato Grosso do Sul; Campo Verde, Nova Maringá, Santo Antônio do Leste, Tangará da Serra, Estado do Mato Grosso; nas safras 1998-99 a 2005-06. As informações contidas nesse banco de dados são de análises químicas e físicas de solos e teores foliares e produtividade de soja de um total de 84 talhões de cinco fazendas, em alguns casos, com histórico de uso dos solos. Algumas informações desse banco de dados não contemplam todas as safras do intervalo 1998-99 a 2005-06. Abrange teores de argila de 30 a 600 g kg⁻¹.

Banco C: Fundação MT (dados não publicados), referente a dois experimentos com calagem e adubação potássica, um localizado no município de Itiquira e outro em Sapezal, Mato Grosso. Contém informações de análises químicas e física dos solos (denominados 1 e 2 nos experimentos situados em Itiquira e Sapezal, respectivamente) antes da aplicação dos tratamentos (Quadro 1) e após. Os tratamentos foram duas variedades (Perdiz e Pintado), 13 doses de calcário (combinações de calcário dolomítico (PRNT 78 %) e calcítico (PRNT 66 %), resultando em doses de 5,4 a 11,8 t ha⁻¹), três doses de K₂O (100, 175 e 250 kg ha⁻¹) em 3 safras (2003-04 a 2005-06). As doses de calcário foram aplicadas apenas na primeira safra, e as de potássio em todas. O delineamento experimental foi em blocos casualizados com três repetições, totalizando 234 parcelas (no texto será adotado o nome talhão para uniformizar a linguagem no texto). A área total de cada parcela foi de 243 m². O solo 1 contém 101 g kg⁻¹ de argila e o solo 2 contém 97 g kg⁻¹ (Quadro 1).

Quadro 1. Análises químicas e física dos solos utilizados no experimento, antes da aplicação dos tratamentos

Prof. cm	pH		P -----mg dm ⁻³ -----	K -----cmol _c dm ⁻³ -----	Ca+Mg -----cmol _c dm ⁻³ -----	Al	H+Al	MO -----g kg ⁻¹ -----	Argila
	H ₂ O	CaCl ₂							
Solo 1 - Itiquira									
0-20	4,8	4,2	2,6	33,0	0,3	0,6	2,8	13,4	101
20-40	4,7	4,1	0,6	12,0	0,2	0,6	2,2	9,1	101
Solo 2 - Sapezal									
0-20	4,6	4,0	1,1	9,3	0,2	0,9	3,9	14,2	97

A pluviosidade de todos os municípios de onde foram obtidos os dados deste trabalho encontra-se no quadro 2. Os valores apresentados referem-se apenas às safras utilizadas para compor os bancos A, B e C (2000-01, 1998-99 a 2005-06 e 2003-04 a 2005-06, respectivamente). Entretanto, por falta da informação, não foi possível obter a pluviosidade da última safra, 2005-2006, para Camapuã, Campo Verde, Nova Maringá, Santo Antônio do Leste, Tangará da Serra, Itiquira e Sapezal. Alguns municípios não dispunham de dados da pluviosidade (Campo Verde, Santo Antônio do Leste e Sapezal); assim, utilizaram-se dados dos municípios mais próximos que dispunham de tais informações (Chapada dos Guimarães, Xavantina e Campo Novo do Parecis, respectivamente).

Quadro 2. Pluviosidade, por safra (outubro a setembro), nos municípios do Mato Grosso do Sul e Mato Grosso

Município	Safra							
	98-99	99-00	00-01	01-02	02-03	03-04	04-05	05-06
	-----mm safra ⁻¹ -----							
Dourados-MS			1.478					
Camapuã-MS	1.497	1.914	1.626	2.036	1.878	1.606	1.952	-
Campo Verde-MT ⁽¹⁾	1.959	1.862	2.122	2.411	2.076	1.757	1.628	-
Nova Maringá-MT	1.416	1.414	1.726	1.554	1.690	1.725	1.438	-
Santo Antônio do Leste-MT ⁽²⁾	1.464	1.539	1.044	1.565	1.278	1.727	1.266	-
Tangará da Serra-MT	1.917	1.607	1.543	1.654	1.705	1.688	1.519	-
Itiquira-MT						1.265	1.423	-
Sapezal-MT ⁽³⁾						1.795	1.735	-

^{(1), (2), (3)} Valores referentes aos municípios de Chapada dos Guimarães, Xavantina e Campo Novo do Parecis.
Fonte: ANA (2006).

2.2. Textura do solo e produtividade da soja

Para relacionar textura do solo e produtividade da soja foram utilizados os bancos de dados A (87 talhões localizados em 46 fazendas na região de Dourados, safra 2000-01), B (84 talhões localizados em cinco fazendas nos municípios de Camapuã, Campo Verde, Nova Maringá, Santo Antônio do Leste e Tangará da Serra, safras 1998-99 a 2005-06) e C (quatro talhões localizados nos municípios de Itiquira e Sapezal, safras 2003-04 a 2005-06 – cada talhão foi proveniente do cálculo das médias de produtividade das 117 parcelas de cada uma das duas variedades plantadas por município). Como nem todos os talhões dispunham dos valores de produtividade em todas as safras, calcularam-se as médias das produtividades para a média de anos. Utilizaram-se procedimentos estatísticos de regressões.

Essa relação foi estabelecida considerando toda a amplitude dos dados (175 talhões com argila entre 30 e 840 g kg⁻¹) e por classe textural: arenosa (< 150 g kg⁻¹ de argila, 32 talhões), média (151 a 350 g kg⁻¹ de argila, 44 talhões), argilosa (351 a 600 g kg⁻¹ de argila, 50 talhões) e muito argilosa (> 600 g kg⁻¹ de argila, 49 talhões).

Com dados do banco A (49 talhões), relacionou-se também a produtividade de soja com a classe textural muito argilosa, considerando o sistema plantio convencional (18 talhões) e sistema plantio direto (31 talhões). Não foi possível fazer o mesmo para as outras classes texturais por falta de dados.

Avaliou-se, ainda, a relação entre textura e produtividade de soja com o histórico de uso do solo (anos 1, 3 e 5), utilizando parte dos dados do banco B (56 talhões para o ano 1, 30 para o ano 3 e 22 talhões para o ano 5), com informações das lavouras localizadas nos municípios de Nova Maringá, Santo Antônio do Leste e Tangará da Serra. Para isso, foi considerado como “ano 1” o primeiro ano em que se iniciou a assessoria técnica do responsável pelos dados, Eng. Agrônomo José Marcos FOLONI. Dessa forma, em alguns casos, o “ano 1” refere-se ao primeiro ano de cultivo com soja e, assim, sucessivamente. Em geral, para as áreas arenosas, o ano 1 coincide ao primeiro ano de cultivo, pois essas áreas vêm sendo incorporadas recentemente ao plantio de soja, comumente sucedendo o cerrado ou pasto. Nas áreas argilosas não ocorre essa coincidência, pois essas são as áreas mais velhas das fazendas, com mais de dez anos de plantio de soja.

Essa ressalva é válida para todos os relacionamentos testados neste trabalho que envolvem o histórico de uso. Infelizmente, a não disponibilidade de informações do histórico de uso das áreas antes dessa assessoria não permite análise mais refinada.

2.3. Textura do solo, teor e conteúdo de nutrientes na planta

Para a relação entre textura, teor e acúmulo de nutrientes na planta de soja foi utilizado o banco de dados A (87 talhões localizados em 46 fazendas na região de Dourados, safra 2000-01), parte do B (48 talhões localizados em três fazendas nos municípios de Camapuã, Campo Verde e Santo Antônio do Leste, safras 1998-99 a 2005-06) e parte do C (dois talhões localizados nos municípios de Itiquira e Sapezal, safras 2003-04 a 2005-06 – cada talhão foi proveniente do cálculo das médias de produtividade das 234 parcelas de cada experimento por município), pois não se dispunha de dados dos teores foliares para todos os talhões de soja.

Os teores foliares de N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Fe, Mn e B foram relacionados com textura e com produtividade de soja por meio de regressões. O mesmo foi feito para os conteúdos de nutrientes na planta toda, obtidos a partir das equações geradas por Kurihara (2004). Esse autor desenvolveu equações para estimar a produção de matéria seca das diversas partes da planta de soja em função da matéria seca de grãos (produtividade obtida ou almejada corrigida para 13 % de umidade). Além disso, verificou que as predições dos

acúmulos nas diversas partes da planta, a partir do acúmulo de nutrientes no terceiro trifólio (folha índice), podem ser efetuadas de forma adequada com a análise da folha índice, com ou sem pecíolo, desde que a amostragem seja efetuada no estágio de florescimento pleno. O conteúdo de nutrientes na folha índice é calculado multiplicando-se o peso da matéria seca dessa folha pelo seu teor de nutrientes. Os conteúdos dos nutrientes nas demais partes da planta (caule, pecíolos, trifólios, vagens e grãos) são então estimados em função do conteúdo de nutrientes na folha índice.

Para os nutrientes P, S e Zn foram também feitas relações de seus teores foliares para cada classe textural (arenosa – 20 talhões, média – 30 talhões, argilosa – 38 talhões e muito argilosa – 49 talhões), devido à influência do poder tampão do solo em suas disponibilidades no solo e absorção pelas plantas (Holford & Mattingly, 1979; Muniz et al., 1985; Couto et al., 1992; Mello et al., 1993; Alvarez V., 1996; Silva et al., 1998; Bedin et al., 2003).

2.4. Textura e propriedades químicas do solo

Utilizando parte dos dados do banco B (57 talhões para o ano 1, 51 para o ano 3 e 30 para o ano 5), com informações das lavouras localizadas nos municípios de Nova Maringá, Santo Antônio do Leste e Tangará da Serra avaliaram-se os relacionamentos entre textura e propriedades do solo (pH H₂O, pH CaCl₂ (0,01 mol L⁻¹), P e K (Mehlich 1), Ca, Mg e Al (KCl 1 mol L⁻¹), H + Al (CaHOAc 0,5 mol L⁻¹ a pH 7,0) e MO (Walkey-Black)) com o histórico de uso (anos 1, 3 e 5).

Relacionou-se também a CTC e MO do solo com o teor de argila com os dados dos bancos A (87 talhões localizados em 46 fazendas na região de Dourados, safra 2000-01) e B (84 talhões localizados em cinco fazendas nos municípios de Camapuã, Campo Verde, Nova Maringá, Santo Antônio do Leste e Tangará da Serra, safras 1998-99 a 2005-06), por meio de procedimentos estatísticos de regressões. Como as safras do banco B são variáveis (anos distintos), utilizaram-se os valores médios da CTC e MO.

Além disso, para análise mais refinada, foi calculada a média dos teores de MO do solo para os anos 1 a 7, com dados do banco B (57, 56, 51 e 42 talhões para os anos 1, 2, 3 e 4, respectivamente, dos municípios de Nova Maringá, Santo Antônio do Leste e Tangará

da Serra; 30, 20 e 9 talhões para os anos 5, 6 e 7, respectivamente, dos municípios de Santo Antônio do Leste e Tangará da Serra).

2.5. Textura do solo e calagem

Para avaliar o relacionamento da textura do solo e necessidade de calagem foi utilizado o banco de dados C. Com os dados de 234 talhões do solo 1 (Itiquira) e 234 do solo 2 (Sapezal), nas safras 2003-04 a 2005-06, foram elaborados gráficos relacionando pH em H₂O, teores de Ca²⁺ + Mg²⁺ dos solos e saturação por bases com doses de calcário (5,4 a 11,8 t ha⁻¹). Foi relacionada também a produtividade com as doses de calcário, teores de Ca²⁺ + Mg²⁺ dos solos e saturação por bases.

2.6. Textura do solo e recomendação de fertilizantes

Utilizando parte do banco de dados A (85 talhões, localizados em 45 propriedades da região de Dourados, safra 2000-01) e parte do B (51 talhões, localizados em três fazendas nos municípios de Camapuã, Nova Maringá e Tangará da Serra, safras 1998-99 a 2005-06), foi feito o relacionamento da textura com as doses aplicadas de P₂O₅ e K₂O, e dessas com os teores disponíveis de P e K no solo. Para o P, dividiu-se o teor de P disponível no solo pelo limite superior de seu nível crítico em cada classe textural (arenosa, média, argilosa e muito argilosa), objetivando facilitar a interpretação dos dados, uma vez que os teores de P no solo e, conseqüentemente, seus níveis críticos, sofrem, igualmente, influência do PTP do solo, pelo desgaste do extrator (Mehlich 1) (Bahia Filho et al. 1983). Para isto, foi tomado o valor máximo do limite do teor de P no solo considerado adequado (nível crítico) para culturas anuais de sequeiro: 25, 20, 12 e 6 mg dm⁻³ para as classes texturais arenosa, média, argilosa e muito argilosa, respectivamente (Sousa & Lobato, 2004).

Os talhões do banco B continham doses de P₂O₅ e K₂O aplicadas em diferentes safras, ou anos distintos; dessa forma, foi calculado o valor médio das doses aplicadas pela média dos anos.

Com os mesmos dados, foi feito também o relacionamento entre doses de P₂O₅ e K₂O aplicadas com a produtividade de soja, e da produtividade e teores foliares de P e K com os teores de P e K disponíveis no solo.

2.7. Práticas conduzidas por produtores e agrônomos no manejo da produção de soja em solos de cerrado com diferentes texturas e conhecimento teórico

Foi elaborado um questionário com 28 perguntas e repassado a 20 produtores e dez agrônomos dos Estados do Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, objetivando relacionar a prática executada por produtores e agrônomos no manejo da produção de soja em solos de cerrado com diferentes texturas e o conhecimento teórico atual.

As questões foram elaboradas de forma a contemplar os temas calagem, adubação e sustentabilidade da produção de soja essencialmente. No questionário estas questões se misturam na tentativa de poder confrontar respostas e verificar a coerência das mesmas (por exemplo: questões 8 e 13 sobre calagem).

O questionário foi repassado aos produtores e explicado pelos agrônomos consultores da região; e, aos agrônomos, foi enviado via e-mail para ser respondido, de acordo com as seguintes questões:

Município em que se localiza a propriedade:

Pluviosidade anual (mm) (média dos últimos cinco anos):

Área média de cultivo com soja (ha) (últimos cinco anos):

Duração média de veranicos (dias) que podem ocorrer em jan/fev:

1. Da área da propriedade cultivada com soja, quantos hectares são de:

a) solos argilosos (acima de 35 % de argila):

b) solos de textura média (de 15 a 35 % de argila) (nas localidades são mais conhecidos como solos mistos):

c) solos arenosos (abaixo de 15 % de argila):

Marque com um “X” a letra que julgar mais adequada à sua resposta e, ao lado, a qual tipo de solo sua resposta se refere (caixas à direita). Pode haver, como resposta, uma letra para um tipo de solo e outra para outro tipo (caso 1), ou mesmo, uma letra apenas e esta se aplicar a mais de um tipo de solo (caso 2). Dessa forma, para o caso 1, por exemplo, se marcaria letra **a**) e solo arenoso e letra **b**) e solo argiloso. Para o caso 2, se marcaria, por exemplo, letra **a**) e solo arenoso e textura média.

2. Na sua visão, para o cultivo de soja em solo de cerrado, a correção da fertilidade do solo em fósforo deve ser feita:

a) em toda a camada arável: argiloso text. média arenoso

b) somente no sulco de semeadura, de forma gradual, ao longo dos anos: argiloso text. média arenoso

3. Para a soja cultivada em solo de cerrado, em área de média fertilidade, ou cultivada por mais de três a quatro anos:

- a) é comum a repetição das doses anteriormente utilizadas: argiloso text. média arenoso
- b) tem-se diminuído as doses (P em particular) nos anos subseqüentes: argiloso text. média arenoso
- c) deixa-se de adubar em alguma safra: argiloso text. média arenoso Porquê?

4. Você pensa ser possível manter a sustentabilidade econômica e ambiental do cultivo de soja no cerrado no sistema plantio direto?

- a) não: argiloso text. média arenoso
- b) sim, desde que se consiga viabilizar a rotação de culturas anuais: argiloso text. média arenoso
- c) sim, desde que se consiga viabilizar a integração lavoura-pecuária: argiloso text. média arenoso
- d) sim, em quaisquer situações: argiloso text. média arenoso

5. A produtividade de soja, ao longo dos anos, em solos de cerrado:

- a) sofre variações menores do que 5 sc/ano: argiloso text. média arenoso
- b) sofre variações de 5 a 10 sc/ano: argiloso text. média arenoso
- c) sofre variações acima de 10 sc/ano: argiloso text. média arenoso

6. (Em relação à questão 5) Esta variação se deve principalmente:

- a) ao clima: argiloso text. média arenoso
- b) manejo da cultura antecessora: argiloso text. média arenoso
- c) manejo da calagem: argiloso text. média arenoso
- d) manejo da adubação: argiloso text. média arenoso
- e) outras. Citar:

7. Na sua opinião, a soja cultivada em solo de cerrado de textura arenosa, comparado ao solo de textura argilosa de fertilidade semelhante, em condições de ausência de déficit hídrico (condição boa de chuvas), resulta em potencial produtivo:

- a) inferior;
- b) equivalente;
- c) superior.

8. A recomendação de calcário para a soja cultivada em solo de cerrado tem sido efetuada:

- a) seguindo a análise de solo:
- b) seguindo a análise de solo, mas aplicando mais que o recomendado: argiloso text. média arenoso
- c) seguindo a análise de solo, mas aplicando menos que o recomendado: argiloso text. média arenoso
- d) independente da análise de solo:

9. Qual o método que você utiliza para recomendação de calcário?

- a) Saturação por bases
- b) Neutralização do alumínio e elevação dos teores de cálcio e magnésio (Método de Minas Gerais)
- c) outros. Citar:

10. (Em relação à pergunta 9) Tem sido feita a correção da necessidade de calagem considerando o PRNT do calcário?

- a) sim;
- b) não.

11. Qual a frequência média (anos) de reaplicação de calcário nos solos de textura:

- a) argilosa:
- b) média:
- c) arenosa:

12. (Em relação à pergunta 11) Para a reaplicação de calcário é feita análise de solo?

- a) sim;
- b) não.

13. Em geral, a dose de calcário utilizada para a soja cultivada em solo de cerrado de textura arenosa, comparada ao solo de textura argilosa, tem sido:

- a) inferior;
- b) equivalente;
- c) superior;
- d) muito superior.

14. A recomendação de adubos para a soja cultivada em solo de cerrado tem sido efetuada

- a) seguindo a análise de solo:
- b) seguindo a análise de solo, mas aplicando mais que o recomendado: argiloso text. média arenoso
- c) seguindo a análise de solo, mas aplicando menos que o recomendado: argiloso text. média arenoso
- d) independente da análise de solo:

15. Em geral, a dose de fósforo utilizada para a soja cultivada em solo de cerrado de textura arenosa, comparada ao solo de textura argilosa, tem sido:

- a) inferior;
- b) equivalente;
- c) superior.

16. Na sua visão, para soja cultivada em solo de cerrado de textura arenosa, em área de média fertilidade, é possível reduzir, ou mesmo suprimir a adubação fosfatada, em função do aproveitamento do efeito residual de adubação da cultura antecessora?

- a) sim;
- b) não.

17. Em geral, a dose de potássio utilizada para a soja cultivada em solo de cerrado de textura arenosa, comparada ao solo de textura argilosa, tem sido:

- a) inferior;
- b) equivalente;
- c) superior.

18. Nas áreas cultivadas com soja em solo de cerrado tem sido feita aplicação de potássio em área total antes do plantio (potassagem)?

a) sim: argiloso text. média arenoso

b) não.

19. (Em relação à pergunta 18) Se realizada a potassagem, qual a dose limite aplicada no sulco de plantio

(kg ha⁻¹ de K₂O) que define o uso dessa técnica?

a) argiloso:

b) textura média:

c) arenoso:

20. Para a soja cultivada em solo de cerrado têm-se usado adubações com enxofre?

a) sim; Baseado em: análise de solo análise foliar Sintomas de deficiência

b) não.

21. (Caso a resposta à pergunta 20 tenha sido sim) Em geral, as doses de enxofre utilizadas para a soja cultivada em solo de cerrado de textura arenosa, comparada ao solo de textura argilosa, têm sido:

a) inferiores;

b) equivalentes;

c) superiores.

22. Para a soja cultivada em solo de cerrado têm-se usado adubações com micronutrientes?

a) sim;

Quais micronutrientes são usados: B Cu Fe Mn Zn Co Mo

Qual a fonte dos micros? sais foliares oxissulfatos FTE formulação

b) não.

23. (Caso a resposta à pergunta 22 tenha sido sim) Em geral, as doses de micronutrientes utilizadas para a soja cultivada em solo de cerrado de textura arenosa, comparada ao solo de textura argilosa, têm sido:

a) inferiores;

b) equivalentes;

c) superiores.

24. Na sua visão, a soja cultivada em solo de cerrado de textura arenosa, comparado ao solo de textura argilosa de fertilidade semelhante, em condições de ausência de déficit hídrico, apresenta resposta mais pronunciada ao adubo fosfatado?

- a) não;
- b) sim, desde que aplicado a lanço, antes da semeadura;
- c) sim, desde que aplicado no sulco de semeadura;
- d) sim, desde que aplicado a lanço, antes da semeadura, e também no sulco de semeadura;
- e) sim, independentemente da sua forma de aplicação.

25. Normalmente, nos cultivos de soja, quando verificados sintomas de deficiência de potássio, esses são mais frequentes em:

- a) solos argilosos;
- b) solos de textura média;
- c) solos arenosos;
- d) independente do tipo de solo.

26. Para o cultivo de soja em solo de cerrado o fator mais importante para o sucesso da atividade é (Marque apenas uma opção para cada tipo de solo, ou seja, aquela que considerar mais importante):

- a) no solo argiloso calagem adubação cobertura vegetal clima época de plantio variedade
- b) no solo de text. média calagem adubação cobertura vegetal clima época de plantio variedade
- c) no solo arenoso calagem adubação cobertura vegetal clima época de plantio variedade
- d) Outra opção, citar:

27. Em sua propriedade, ou na propriedade que você assessora, a expansão da produção de soja nas áreas mais arenosas, quando existir, se deu devido:

- a) menor preço da terra
- b) menor relação custo/benefício da produção
- c) substituição das áreas de pastagens degradadas por soja
- d) introdução do sistema de integração lavoura-pecuária
- e) outro. Citar:

28. Com toda sua experiência, se você fosse comprar terra, não levando em consideração a relação custo/benefício, você adquiriria:

- a) áreas com solos argilosos;
- b) áreas com solos de textura média;
- c) áreas com solos arenosos.

Espaço livre para algum comentário que julgar importante:

Nome do responsável pelas respostas:

Função na fazenda (proprietário, gerente ou agrônomo):

Endereço:

Telefone:

E-mail:

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As condições climáticas variadas, as diferentes classes de solos, variedades de soja, histórico de uso do solo, etc. interferem em vários dos relacionamentos testados, o que pode ser minimizado quando se tem número considerável de pontos, levando-se à visualização clara de tendências gerais. A estatística utilizada para análise dos dados busca prever essas tendências, por isso, mesmo com alguns coeficientes de determinação baixos (o que é esperado quando se têm dados não controlados e de campo) e coeficientes das equações com significância maior do que 10 %, são apresentadas as equações para melhor discussão e entendimento das tendências dos relacionamentos testados.

3.1. Textura do solo e produtividade da soja

A relação entre textura do solo e produtividade das culturas é contemplada em diversas literaturas (Farrington & Campbell, 1970; Nemeth & Davey, 1974; Miranda & Volkweiss, 1981; Van Laar, 1981; Gerhardt et al., 2001; Bedin et al., 2003) que ressaltam a elevada correlação dessa característica física do solo com produtividade e sua importância para a avaliação da qualidade de sítio.

Quanto à relação entre produtividade e teor de argila, verifica-se relacionamento expresso por modelo potencial entre essas duas variáveis (Figura 1), o que mostra maior aumento da produtividade com os incrementos iniciais do teor de argila (até cerca de 150 g kg⁻¹). É curioso notar as grandes dispersões existentes nas produtividades de soja em solos mais argilosos (acima de 500 g kg⁻¹ de argila). O esperado seriam variações menores pelo maior tamponamento existente quando se têm maiores teores de argila no solo. Separando os dados por classes texturais, nota-se que a relação entre produtividade da soja e teor de argila é positiva para os solos arenosos (Figura 2). Esse fato já era esperado, pois nessa classe textural (< 150 g kg⁻¹ de argila), o incremento no teor de argila é favorável, pois se têm maior acúmulo de água no solo e efeito negativo da argila, principalmente relacionado à fixação do P e outros nutrientes como S e Zn, não se expressa, de modo a compensar o efeito-umidade.

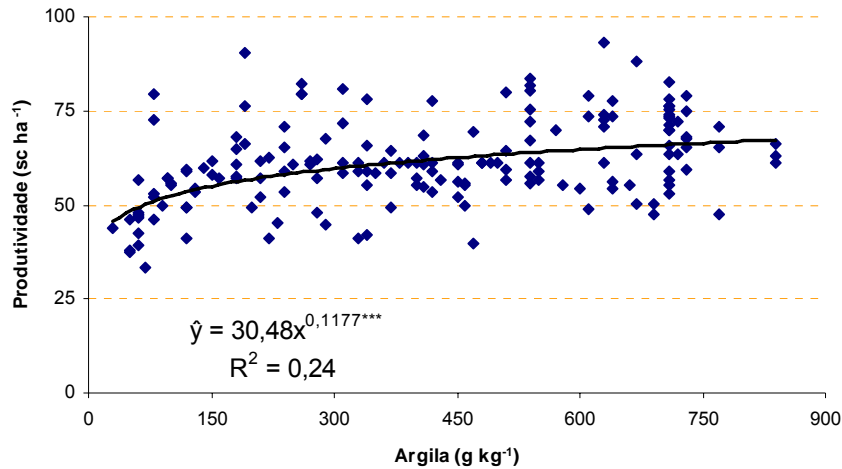


Figura 1. Produtividade da soja em função do teor de argila do solo.

Dados dos bancos A (87 talhões da região de Dourados, safra 2000-01), B (84 talhões nos municípios de Camapuã, Campo Verde, Nova Maringá, Santo Antônio do Leste e Tangará da Serra, médias das safras de 1998-99 a 2005-06) e C (4 talhões, em dois experimentos conduzidos nos municípios de Itiquira e Sapezal, médias das safras 2003-04 a 2005-06). (n=175)

Torna-se importante ressaltar a boa produtividade média de soja nos solos arenosos ($51,5 \text{ sc ha}^{-1}$), bem como alguns valores elevados que esses solos podem atingir, muitas vezes já no primeiro ano de cultivo. A exemplo, têm-se produtividades de mais de 70 sc ha^{-1} , evidenciando o potencial produtivo dos solos arenosos semelhante ou mesmo, em alguns casos, superior ao dos solos mais argilosos. Além disso, como será visto mais adiante, o manejo inadequado da calagem e da adubação com K pode estar limitando a produtividade. Essas constatações levam a se pensar na necessidade de revisão da classe de aptidão desses solos, 5 (n) - aptidão restrita para pastagem natural, segundo Spera et al. (1999), desde que seja adotado todo um conjunto de práticas de manejo adequadas, principalmente relacionadas à obtenção de boa cobertura vegetal. Reforça essa idéia o fato de que grande parte das áreas arenosas que vêm sendo incorporadas ao cultivo de soja é de pastagens degradadas, não implicando aberturas de novas áreas.

A equação gerada para a classe textural arenosa mostra que um incremento de 10 g kg^{-1} no teor de argila do solo aumenta a produtividade de soja em $1,3 \text{ sc ha}^{-1}$ (Figura 2).

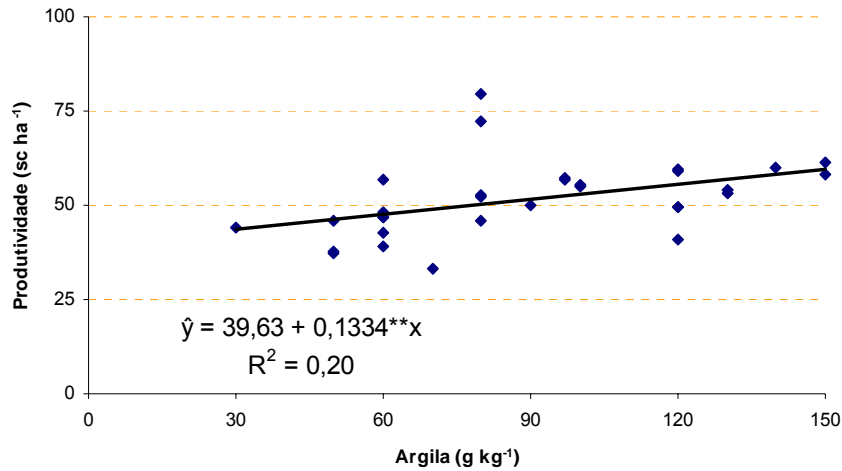


Figura 2. Produtividade da soja em função do teor de argila do solo para a classe textural arenosa.

Dados dos bancos A (dois talhões da região de Dourados, safra 2000-01), B (26 talhões nos municípios de Camapuã, Nova Maringá e Tangará da Serra, médias das safras 1998-1999 a 2005-06) e C (quatro talhões dos experimentos localizados em Itiquira e Sapezal, médias das safras 2003-04 a 2005-06). (n=32)

Entretanto, para a classe textural média (151 a 350 g kg⁻¹ de argila) (Figura 3), a relação entre produtividade e teor de argila foi negativa. Pode-se inferir que com aumento de argila a partir de 150 g kg⁻¹ já se tem maior expressão dos efeitos negativos da argila, principalmente relacionados à dinâmica de P no solo. Entretanto, observam-se valores elevados para o limite inferior da classe (63,3 sc ha⁻¹), evidenciando o elevado potencial produtivo desses solos (média de 61,6 sc ha⁻¹ de soja).

Na classe textural média, o incremento em 10 g kg⁻¹ no teor de argila acarreta uma tendência para decréscimo de 0,15 sc ha⁻¹ de soja (significativo a 30 %); ainda que negativo, o efeito do aumento do teor de argila é pequeno, pois nessa classe textural consegue-se ter um equilíbrio entre os efeitos benéficos e danosos da argila, ou seja, a maior fixação de P, Zn, entre outros nutrientes, é compensada pelo melhor acúmulo de água no solo. Pode-se dizer que não há variação em produtividade com a textura para essa classe textural.

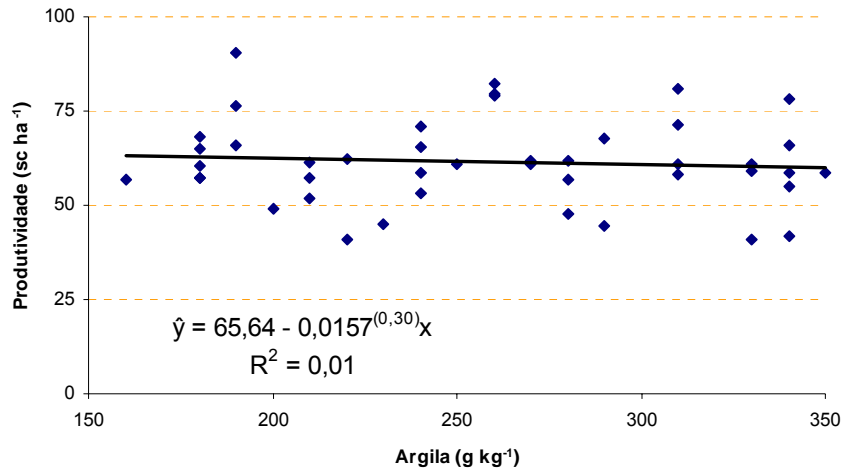


Figura 3. Produtividade da soja em função do teor de argila do solo para a classe textural média.

Dados dos bancos A (18 talhões da região de Dourados, safra 2000-01) e B (26 talhões nos municípios de Campo Verde, Nova Maringá, Santo Antônio do Leste e Tangará da Serra, médias das safras 1998-99 a 2005-06). (n=44)

Para os dados de textura argilosa (Figura 4) observa-se relação positiva e significativa ($P < 0,05$) entre a produtividade de soja e o teor de argila. Esperava-se uma relação inversa, pelos efeitos negativos do maior teor de argila em relação à maior adsorção de P, S e Zn e menor transporte destes nutrientes no solo, principalmente (Holford & Mattingly, 1979; Muniz et al., 1985; Ruiz et al., 1990; Couto et al., 1992; Mello et al., 1993; Villani et al., 1993; Alvarez V., 1996; Silva et al., 1998; Novais & Smyth, 1999), o que limitaria a produtividade. Entretanto, essa relação positiva pode ter sido favorecida pelos valores elevados de produtividade (acima de 75 sc ha^{-1}) na faixa de $500 \text{ a } 550 \text{ g kg}^{-1}$ de argila, áreas estas com mais de dez anos de histórico de uso e fertilidade do solo já construída.

Quando se considera a classe textural muito argilosa (acima de 600 g kg^{-1} de argila) (Figura 5) a correlação entre produtividade de soja e teor de argila volta a ser negativa, com decréscimo de $0,22 \text{ sc ha}^{-1}$ de soja com o aumento de 10 g kg^{-1} no teor de argila.

Novais (1996) ressalta a importância de pesquisas dessa natureza em que se observam as grandes tendências em substituição aos estudos de caso. Em seu relato ele enfatiza o fato de solos arenosos, ou mesmo de textura média, serem mais produtivos que

os argilosos. Argumenta que, assim como os solos mais argilosos, mais tamponados, resistiriam mais às perdas de suas reservas de nutrientes, eles também resistiriam mais aos ganhos. Nos argilosos há forte predomínio do dreno-solo sobre o dreno-planta pelo que se adiciona como fertilizante e corretivo, enquanto nos solos mais arenosos o dreno planta é predominante. A difusão de P em solos mais arenosos também é facilitada (Villani et al., 1993) e a formação de formas não-lábeis de P é menor (Gonçalves et al., 1989). Isso resultaria no elevado potencial produtivo dos solos mais arenosos, principalmente com adoção do nível de alta tecnologia, quando não houver limitação por água. Neste trabalho, em que as condições de clima foram mais favoráveis, ficou evidente o elevado potencial produtivo dos solos arenosos.

É pertinente destacar que em solos arenosos o fator risco está bem mais associado à atividade agrícola. As margens para erros no manejo do solo e planta são bem menores e, em se fazendo tecnicamente tudo certo, se houver déficit hídrico, o rendimento será prejudicado. Dessa forma, é importante conhecer o histórico de pluviosidade local, bem como a distribuição das chuvas, e o potencial de evapotranspiração para avaliar a relação entre essas duas variáveis.

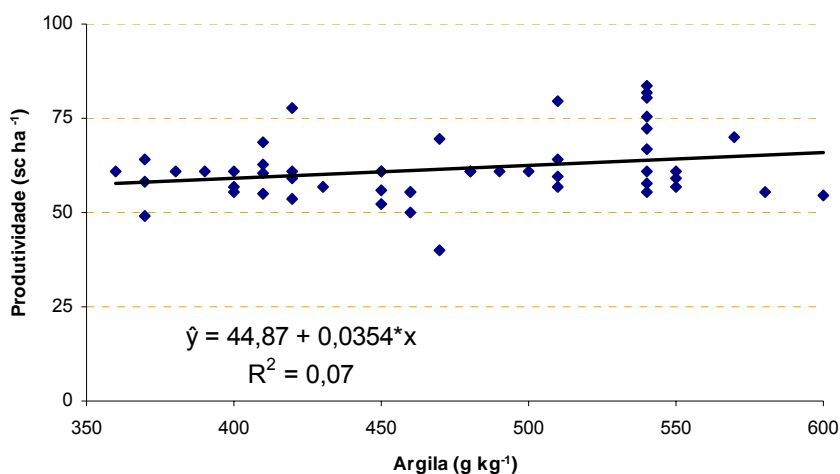


Figura 4. Produtividade da soja em função do teor de argila do solo para a classe textural argilosa.

Dados dos bancos A (18 talhões da região de Dourados, safra 2000-01) e B (32 talhões nos municípios de Campo Verde, Nova Maringá, Santo Antônio do Leste e Tangará da Serra, médias das safras 1998-99 a 2005-06). (n=50)

Alguns consultores do Mato Grosso e Mato Grosso do Sul indicam que a relação pluviosidade:evapotranspiração deve ser acima de 2:1 como um dos pré-requisitos para plantio de soja em solos arenosos. Além disso, em solos arenosos a proporção de areia fina na fração areia deve ser elevada (acima de 80 %). Há ainda que se considerar que, na classe dos Neossolos Quartzarênicos, teores de argila de 60 a 80 g kg⁻¹ e de 130 a 150 g kg⁻¹, por exemplo, resultarão em dinâmica de água e nutrientes, bem como condições de crescimento e desenvolvimento das plantas, bem distintos. Isso indica que o refinamento no manejo do solo e planta deve aumentar à medida que o teor de argila diminui.

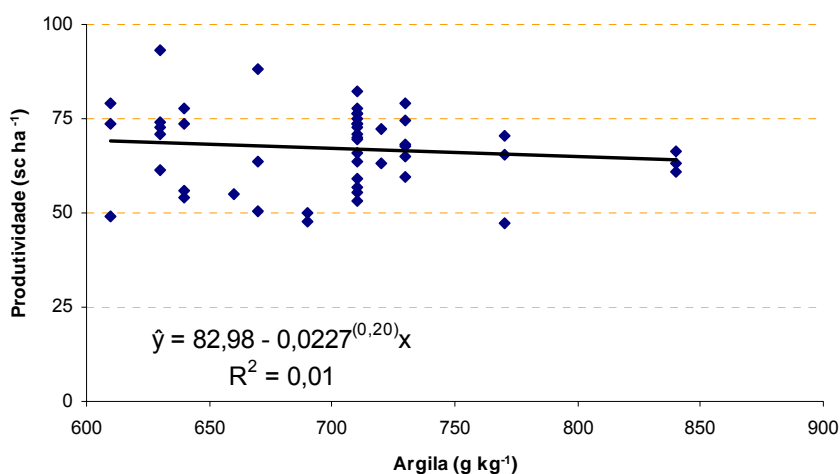


Figura 5. Produtividade da soja em função do teor de argila do solo para a classe textural muito argilosa. Dados dos bancos A (49 talhões da região de Dourados, safra 2000-01). (n=49)

Os dados disponíveis do banco A para a classe textural muito argilosa (49 talhões) também permitiram relacionar a produtividade com o teor de argila, considerando o sistema plantio convencional e o sistema plantio direto (Figura 6). A relação foi direta para o sistema plantio convencional e inversa para o sistema plantio direto, ou seja, há indicação que o aumento do teor de argila é mais danoso para a produtividade de soja no sistema plantio direto. Isso pode ser devido a problemas de compactação do solo, que com os anos de cultivo no sistema plantio direto pode se tornar um problema, principalmente com ocorrência de déficits hídricos, sinalizando a necessidade de revolvimento do solo em algum momento.

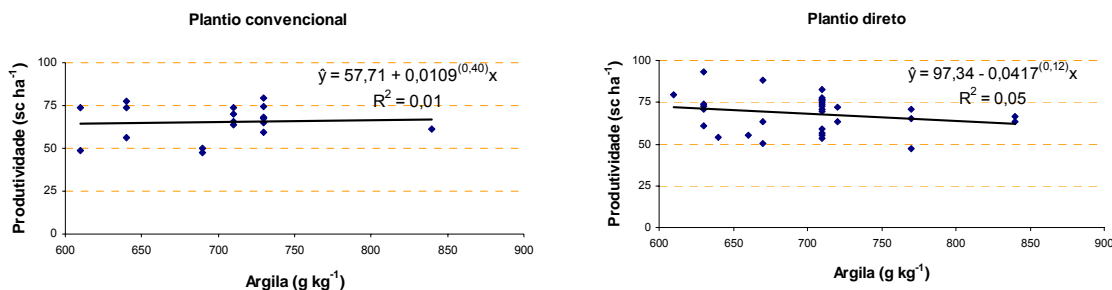


Figura 6. Produtividade da soja em função do teor de argila do solo, considerando o sistema plantio convencional e o plantio direto.

Dados dos bancos A (49 talhões da região de Dourados, safra 2000-01; 18 talhões para o plantio convencional e 31 para o plantio direto). (n=18, plantio convencional) e (n=31, plantio direto).

O histórico de uso do solo é de grande importância para se entender melhor a relação entre textura e produtividade de soja, bem como a interação dessas variáveis com as informações climáticas, principalmente a pluviosidade. Observam-se maiores ganhos em produtividade com o aumento do teor de argila no ano 1 (Figura 7). Cabe ressaltar que, na maioria das vezes, para as áreas arenosas, o ano 1 corresponde ao primeiro ano de cultivo, pois essas áreas vêm sendo incorporadas recentemente ao plantio de soja, comumente sucedendo o cerrado ou pasto. Nas áreas argilosas, o ano 1, normalmente, está associado ao primeiro ano da consultoria do responsável pelo banco de dados, sendo essas as áreas mais velhas das fazendas, com mais de dez anos de plantio de soja. No ano 3, quase não há influência da argila na produtividade de soja (Figura 7). Enquanto no ano 5, a produtividade aumenta até 370 g kg⁻¹ de argila (ponto de máximo da equação), e decresce a partir desse valor (Figura 7). Esses comportamentos bem definidos: aumento da produtividade com argila no ano 1, estabilidade no ano 3 e queda no ano 5 nas áreas mais argilosas, sugerem ser mais fácil obter ganhos em produtividade, com os anos de cultivo, em solos com texturas mais arenosas, desde que adotadas técnicas adequadas. Nos argilosos, estes são mais restritos ou mesmo nem ocorrem. Esse fato é bem relatado por consultores do Mato Grosso e Mato Grosso do Sul e pode ser, em parte, explicado pela perda de estrutura dos solos mais argilosos, de baixa reversibilidade, com os anos de cultivo, resultando em aumento de sua densidade e redução na porosidade total e macroporosidade (Chagas, 2004). Essas modificações acarretam menor armazenamento de água, alterações nas trocas gasosas no solo, dinâmica de nutrientes, entre outros. Observa-se também que o salto em produtividade do ano 1 para o 3 foi maior nas áreas mais

arenosas, em relação às argilosas (Figura 7), pelo maior tamponamento do solo nessas últimas.

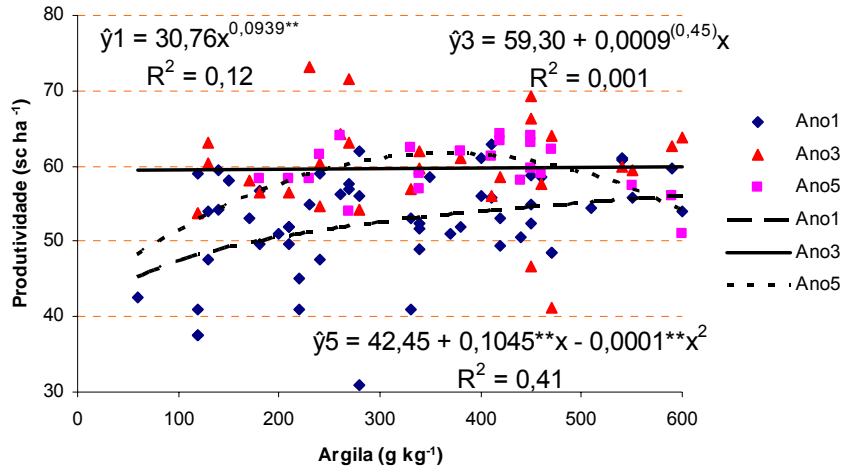


Figura 7. Produtividade da soja em função do teor de argila e do histórico de uso dos solos. Dados do banco B (56 talhões para o ano 1 e 30 para o ano 3, dos municípios de Nova Maringá, Santo Antônio do Leste e Tangará da Serra; 22 talhões para o ano 5, dos municípios de Santo Antônio do Leste e Tangará da Serra). (n=56, 30 e 22 para os anos 1, 3 e 5, respectivamente).

A produtividade em solos arenosos está intimamente relacionada ao regime hídrico local. Em se tratando de ambiente menos tamponado, em que não há espaço para erros, espera-se maior refinamento no manejo do sistema solo-planta. Dessa forma, o que regulará a produtividade será basicamente o clima. Verifica-se que as fazendas localizadas em Nova Maringá, Santo Antônio do Leste e Tangará da Serra, tiveram pluviosidade variando de 1.400 a 1.700, 1.000 a 1.700 e 1.500 a 1.900 mm anuais, e médias de 1.600, 1.400 e 1.700 mm nas últimas sete safras, respectivamente (Quadro 3). Esses valores, que podem ser considerados satisfatórios para a cultura da soja, favorecem a menor influência do clima na variação de produtividade, e possibilita a maior influência de outros fatores, como, por exemplo, da textura dos solos.

3.2. Textura do solo, teor e conteúdo de nutrientes na planta

Embora os dados plotados dessas variáveis sejam observações de lavouras comerciais de soja, nas mais diversas condições de solo e clima, podem-se perceber as tendências gerais (Figuras 8 a 21). Observa-se relação linear e negativa (inversa) entre os teores de N e Cu e os teores de argila (Figuras 8 e 18, respectivamente). Para K, Ca e Mg a relação continua linear, mas positiva (Figuras 11, 12 e 13, respectivamente). Para P, S, Fe e B a relação é quadrática e positiva (Figuras 9, 14, 19 e 21, respectivamente). Para Zn e Mn a relação é quadrática e negativa (Figuras 16 e 20, respectivamente).

Para soja, o N na planta é praticamente todo proveniente da fixação simbiótica. Segundo Hungria et al. (1997), nas condições brasileiras de cultivo, a fixação biológica de N₂ representa, em média, 75 % do N total acumulado pela planta, podendo atingir valores da ordem de 97 %, e o restante é proveniente do solo. Dessa forma, esse nutriente não é limitante à planta, notando-se diminuição em seus teores foliares com o aumento do teor de argila e com a produtividade (Figura 8). A relação inversa do teor foliar de N e produtividade pode indicar efeito de diluição ou mesmo que, plantas mais produtivas, são mais eficientes na utilização deste nutriente (Fageria et al., 1999).

Diversos trabalhos (Holford & Mattingly, 1979; Muniz et al., 1985; Couto et al., 1992; Mello et al., 1993; Alvarez V., 1996; Silva et al., 1998; Bedin et al., 2003) relatam a relação inversa do P, S e Zn com o poder tampão do solo, que pode ser medido pelo teor de argila. Em condições de menor tampão, como as de solos mais arenosos, a passagem do P, S e Zn para a solução é facilitada, o que permite maior absorção pelas plantas desses elementos, gerando maiores teores foliares. Os dados apresentados neste trabalho para todos os teores de argila mostram que para P e S esse comportamento ocorre apenas a partir de 227 e 426 g kg⁻¹ de argila, respectivamente (Figuras 9 e 14). Em menores valores de argila, a fixação desses nutrientes ainda é pequena, o que pode resultar em aumento nos teores com o aumento do teor de argila, que condiciona maior acúmulo de água e, por conseguinte, maior transporte. O fato de se encontrar na literatura citação apenas da relação inversa entre essas duas variáveis passa pela questão de que a maioria dos trabalhos realizados contempla texturas argilosas a muito argilosas e, em algumas situações, texturas médias. Com o cultivo recente da soja em solos mais arenosos foi possível abranger todas

as classes texturais, o que permitiu identificar o comportamento citado. Para Zn, o teor foliar decresceu até 466 g kg⁻¹ de argila para, a partir desse valor, aumentar (Figura 16). Solos mais arenosos possuem, naturalmente, menores teores de Zn (Abreu et al., 2001). Os teores elevados de Zn foliar nos valores de argila menores do que 150 g kg⁻¹ (Figura 16) refletem as adubações elevadas que vêm sendo utilizadas nos solos arenosos. Com aumento do teor de argila, a maior absorção de Zn pode ter sido favorecida pela maior riqueza natural deste nutriente no solo, de forma a compensar, parcialmente, o efeito do poder tampão do solo.

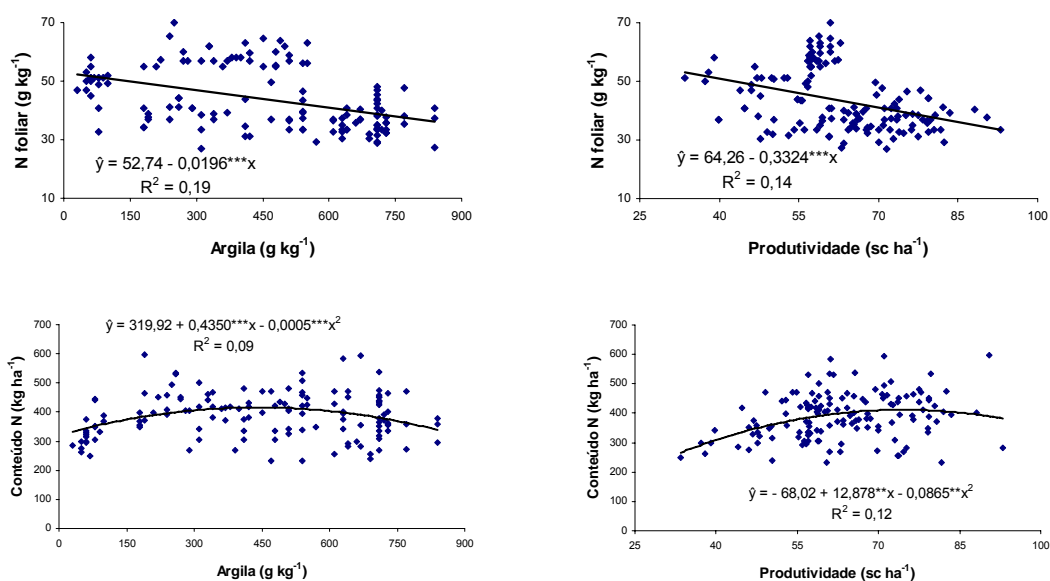


Figura 8. Teor foliar e conteúdo de N total na planta em função do teor de argila e da produtividade de soja.

Dados dos bancos A (87 talhões da região de Dourados, safra 2000-01), B (48 talhões nos municípios de Camapuã, Campo Verde e Santo Antônio do Leste, médias das safras 2001-02 e 2002-03) e C (dois talhões nos municípios de Itiquira e Sapezal, médias das safras 2003-04 a 2005-06). (n=137)

Para o P, S e Zn foram relacionados também o teor foliar desses nutrientes com as classes texturais arenosa, média, argilosa e muito argilosa (Figuras 10, 15 e 17). Chama atenção a relação direta e significativa ($P < 0,001$) entre teores foliares de P e argila, na classe textural arenosa (Figura 10a). Além disso, percebe-se com clareza os teores foliares de P mais elevados nas classes texturais arenosa e média, em comparação às argilosa e muito argilosa, indicando que plantas cultivadas em solos argilosos são mais eficientes no uso do P, ou mais “econômicas” (Figura 10a, Figura 10b, Figura 10c e Figura 10d). Os

solos argilosos competem com a planta pelo P, devido seu caráter drenante, e assim menor quantidade desse nutriente é absorvida pelas plantas. Para o S, a inclinação da reta é mais elevada na classe textural arenosa (Figura 15a) em relação às outras classes texturais (Figura 15b, Figura 15c e Figura 15d). Isso evidencia que o fator água em solos menos tampoados possibilita maior absorção desses nutrientes, favorecida por incrementos dos teores de argila ainda que não tão prejudiciais ao transporte de P, principalmente. O contrário é observado para o Zn, que apresentou relação inversa e significativa ($P < 0,10$) com o teor de argila, na classe textural arenosa (Figura 17a), fato já discutido. Entretanto, para a classe textural muito argilosa (Figura 17d), a relação do teor foliar com argila volta a ser negativa, tendência esta que fica mascarada quando da análise com todos os dados de argila (Figura 16).

Santos (2002) estimou CUB (coeficiente de utilização biológica, que representa a relação entre unidade de matéria seca produzida por unidade de nutriente acumulado) de P e S em grãos de soja variáveis com o P remanescente (medida do poder tampão de P no solo). Enquanto para a matéria seca vegetativa mais vagens, o CUB de P foi variável com o P remanescente e produtividade da soja, e para S foi variável apenas com o P remanescente. Kurihara (2004), utilizando dados de 28 lavouras comerciais de soja no Mato Grosso do Sul, verificou que apenas o CUB de P, para as diversas partes da planta (caule, pecíolos, trifólio) ou mesmo parte aérea, variou com o P remanescente e o rendimento de grãos. Para os demais nutrientes, incluindo S e Zn, esse fato não ocorreu. Resultados como esses mostram a importância de se considerar a classe textural para a diagnose do estado nutricional das plantas, o que permite análises mais finas. O que se encontra na literatura são índices ou valores médios de teores de nutrientes na planta, sem qualquer consideração para a textura do solo, o que pode gerar interpretações errôneas em alguns casos, principalmente para P, S e Zn.

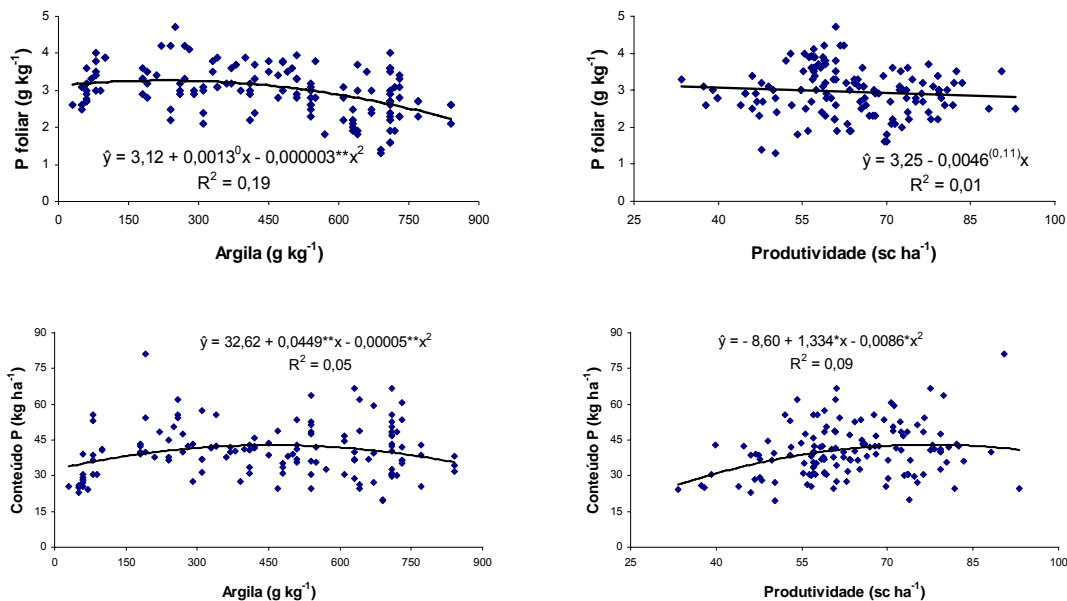


Figura 9. Teor foliar e conteúdo de P total na planta em função do teor de argila e da produtividade de soja.

Dados dos bancos A (87 talhões da região de Dourados, safra 2000-01), B (48 talhões nos municípios de Camapuã, Campo Verde e Santo Antônio do Leste, médias das safras 2001-02 e 2002-03) e C (dois talhões nos municípios de Itiquira e Sapezal, médias das safras 2003-04 a 2005-06). (n=137)

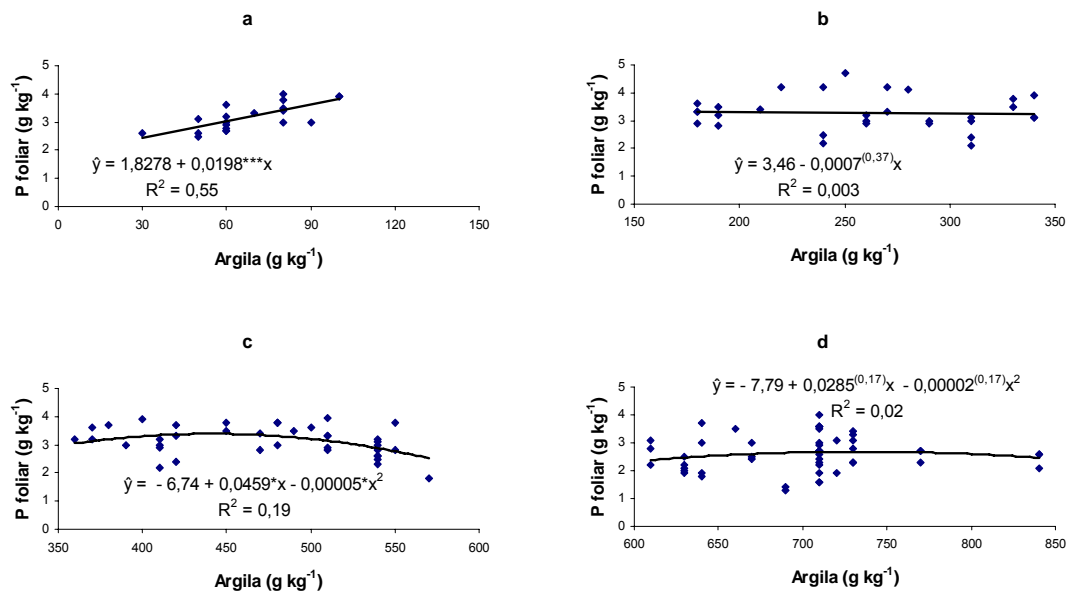


Figura 10. Teor foliar de P em função do teor de argila, na classe textural arenosa (a), média (b), argilosa (c) e muito argilosa (d).

Para classe textural arenosa: dados dos bancos A (dois talhões), B (16 talhões) e C (dois talhões); média: dados dos bancos A (18 talhões) e B (12 talhões); argilosa: dados dos bancos A (21 talhões) e B (17 talhões); muito argilosa: dados do banco A (49 talhões). (n=20, 30, 38 e 49 para as classes texturais arenosa (a), média (b), argilosa (c) e muito argilosa (d), respectivamente)

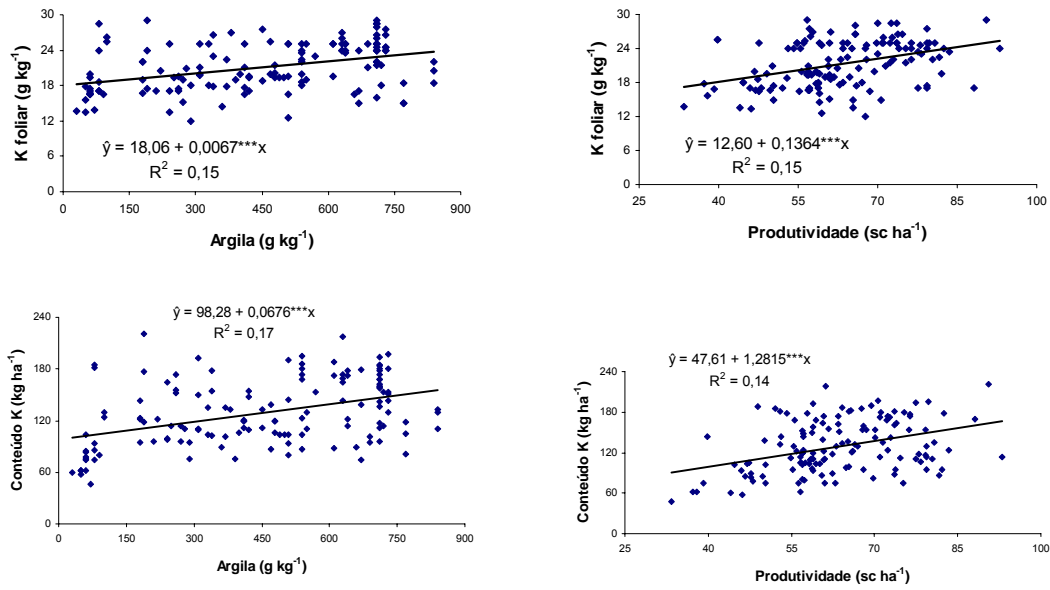


Figura 11. Teor foliar e conteúdo de K total na planta em função do teor de argila e da produtividade de soja.

Dados dos bancos A (87 talhões da região de Dourados, safra 2000-01), B (48 talhões nos municípios de Camapuã, Campo Verde e Santo Antônio do Leste, médias das safras 2001-02 e 2002-03) e C (dois talhões nos municípios de Itiquira e Sapezal, médias das safras 2003-04 a 2005-06). (n=137)

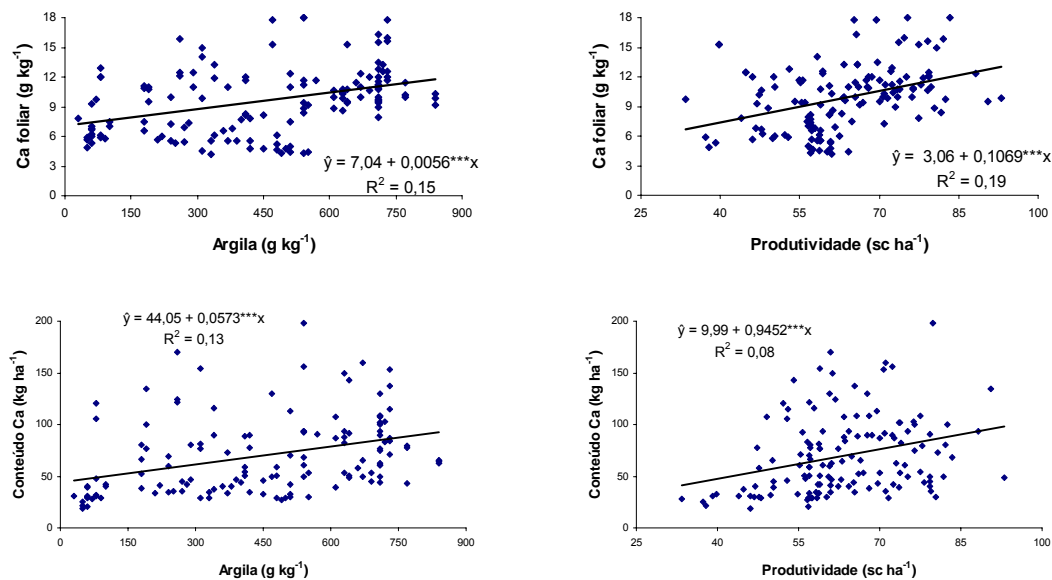


Figura 12. Teor foliar e conteúdo de Ca total na planta em função do teor de argila e da produtividade de soja.

Dados dos bancos A (87 talhões da região de Dourados, safra 2000-01), B (48 talhões nos municípios de Camapuã, Campo Verde e Santo Antônio do Leste, médias das safras 2001-02 e 2002-03) e C (dois talhões nos municípios de Itiquira e Sapezal, médias das safras 2003-04 a 2005-06). (n=137)

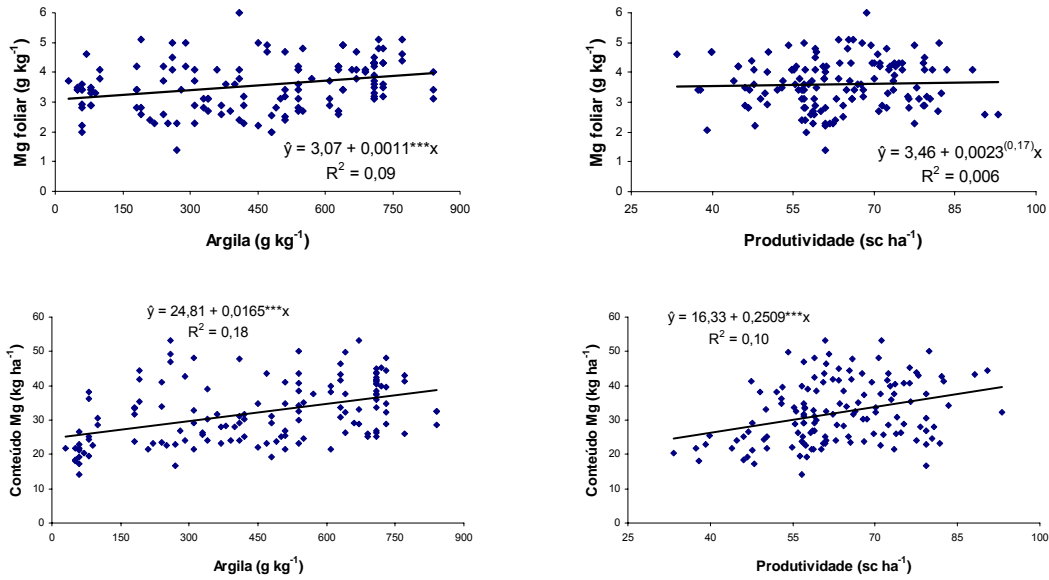


Figura 13. Teor foliar e conteúdo de Mg total na planta em função do teor de argila e da produtividade de soja.

Dados dos bancos A (87 talhões da região de Dourados, safra 2000-01), B (48 talhões nos municípios de Camapuã, Campo Verde e Santo Antônio do Leste, médias das safras 2001-02 e 2002-03) e C (dois talhões nos municípios de Itiquira e Sapezal, médias das safras 2003-04 a 2005-06). (n=137)

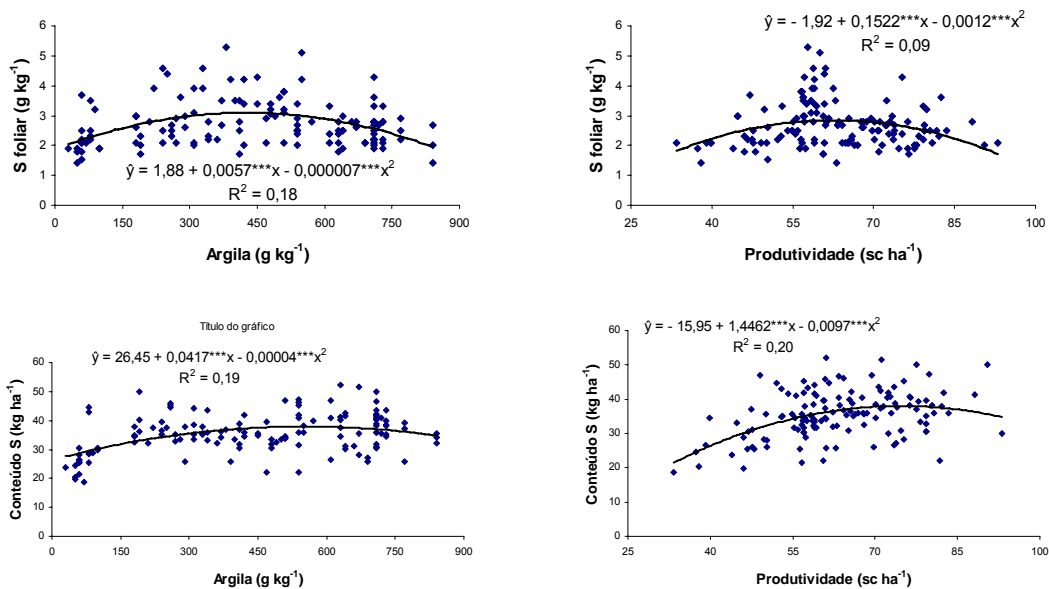


Figura 14. Teor foliar e conteúdo de S total na planta em função do teor de argila e da produtividade de soja.

Dados dos bancos A (87 talhões da região de Dourados, safra 2000-01), B (48 talhões nos municípios de Camapuã, Campo Verde e Santo Antônio do Leste, médias das safras 2001-02 e 2002-03) e C (dois talhões nos municípios de Itiquira e Sapezal, médias das safras 2003-04 a 2005-06). (n=137)

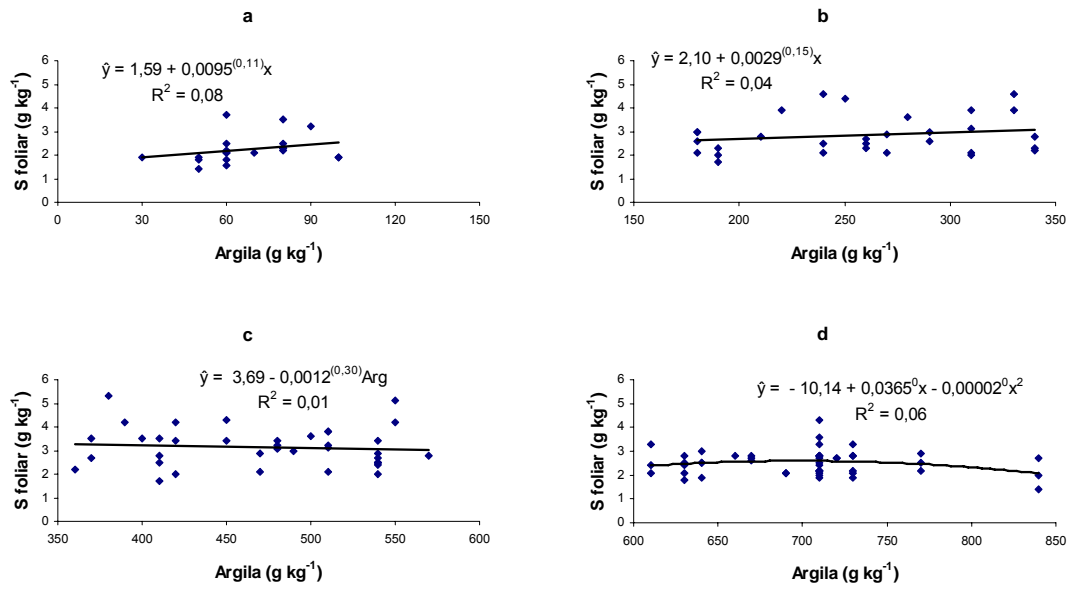


Figura 15. Teor foliar de S em função do teor de argila, na classe textural arenosa (a), média (b), argilosa (c) e muito argilosa (d).

Para classe textural arenosa: dados dos bancos A (dois talhões), B (16 talhões) e C (dois talhões); média: dados dos bancos A (18 talhões) e B (12 talhões); argilosa: dados dos bancos A (21 talhões) e B (17 talhões); muito argilosa: dados do banco A (49 talhões). (n=20, 30, 38 e 49 para as classes texturais arenosa (a), média (b), argilosa (c) e muito argilosa (d), respectivamente)

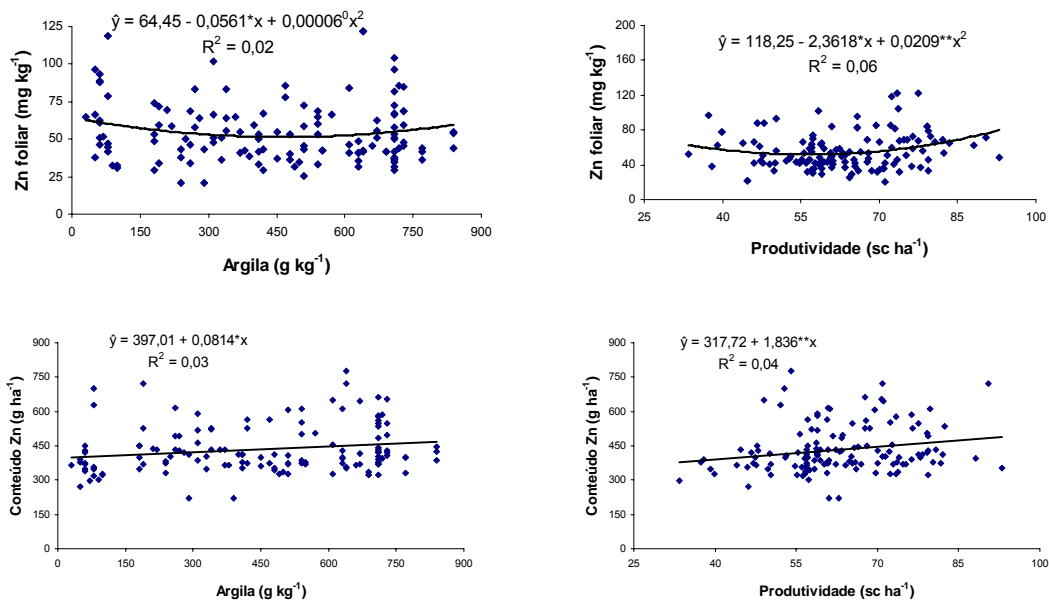


Figura 16. Teor foliar e conteúdo de Zn total na planta em função do teor de argila e da produtividade de soja.

Dados dos bancos A (84 talhões, em 46 fazendas da região de Dourados, safra 2000-01), B (48 talhões, em três fazendas nos municípios de Camapuã, Campo Verde e Santo Antônio do Leste, médias das safras 2001-02 e 2002-03) e C (dois talhões em duas fazendas nos municípios de Itiquira e Sapezal, médias das safras 2003-04 a 2005-06). (n=134)

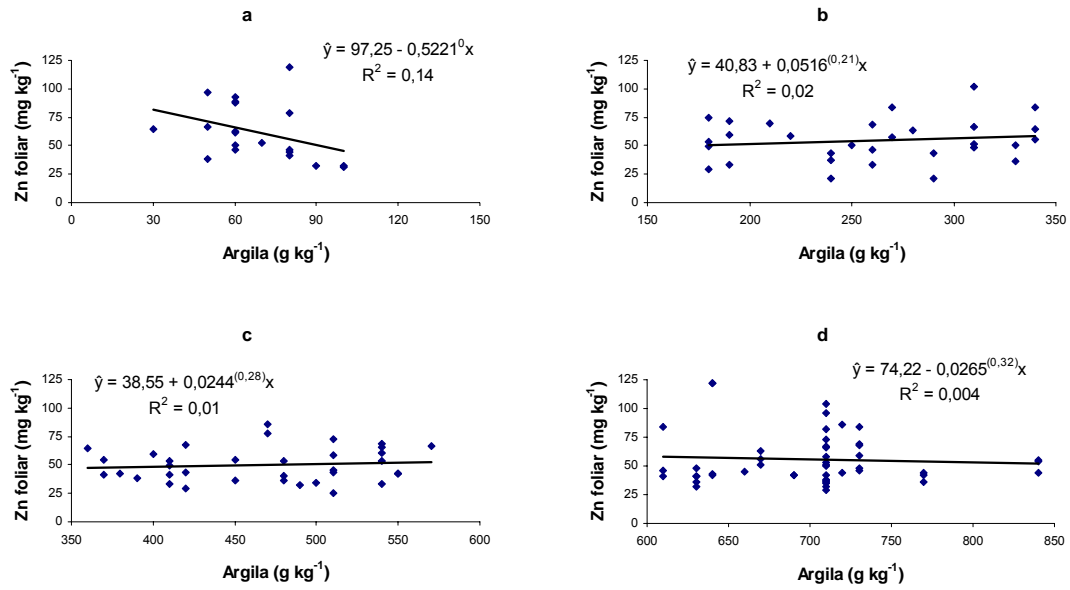


Figura 17. Teor foliar de Zn em função do teor de argila, na classe textural arenosa (a), média (b), argilosa (c) e muito argilosa (d).

Para classe textural arenosa: dados dos bancos A (dois talhões), B (16 talhões) e C (dois talhões); média: dados dos bancos A (18 talhões) e B (12 talhões); argilosa: dados dos bancos A (18 talhões) e B (17 talhões); muito argilosa: dados do banco A (49 talhões). (n=20, 30, 38 e 49 para as classes texturais arenosa (a), média (b), argilosa (c) e muito argilosa (d), respectivamente)

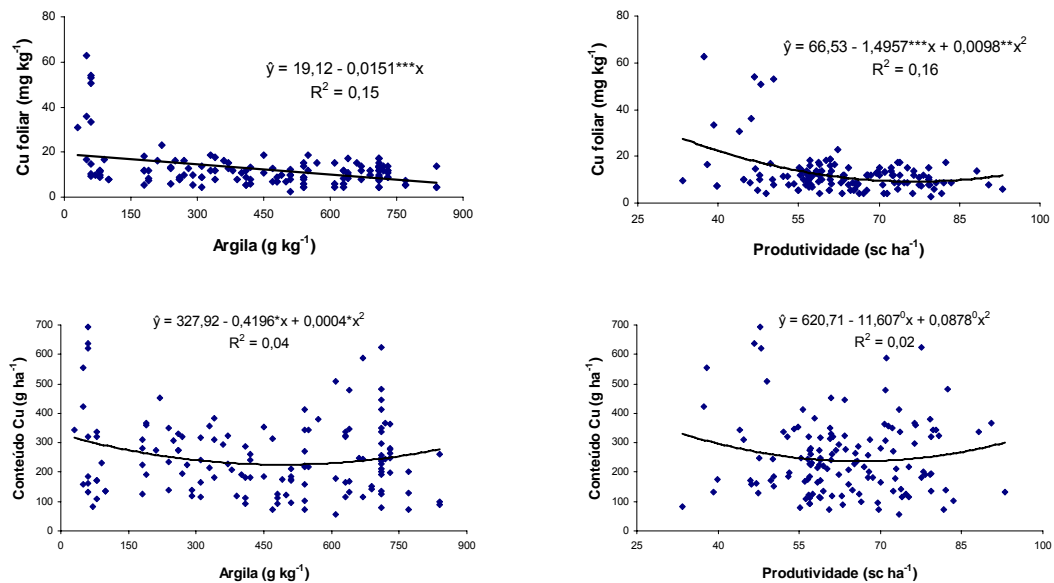


Figura 18. Teor foliar e conteúdo de Cu total na planta em função do teor de argila e da produtividade de soja.

Dados dos bancos A (87 talhões da região de Dourados, safra 2000-01), B (48 talhões nos municípios de Camapuã, Campo Verde e Santo Antônio do Leste, médias das safras 2001-02 e 2002-03) e C (dois talhões nos municípios de Itiquira e Sapezal, médias das safras 2003-04 a 2005-06). (n=137)

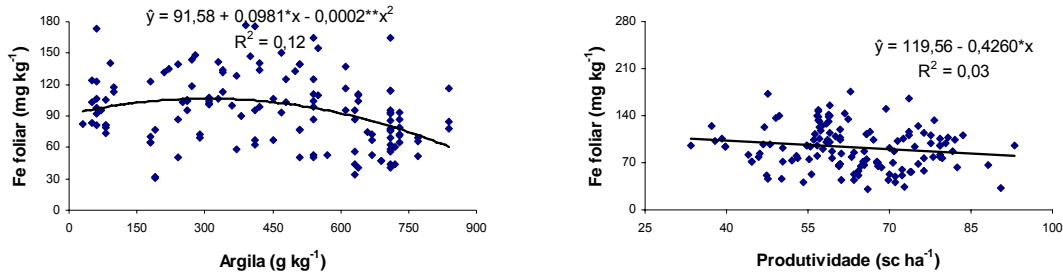


Figura 19. Teor foliar de Fe em função do teor de argila e da produtividade de soja. Dados dos bancos A (86 talhões da região de Dourados, safra 2000-01), B (46 talhões nos municípios de Camapuã, Campo Verde e Santo Antônio do Leste, médias das safras 2001-02 e 2002-03) e C (dois talhões em duas fazendas nos municípios de Itiquira e Sapezal, médias das safras 2003-04 a 2005-06). (n=134)

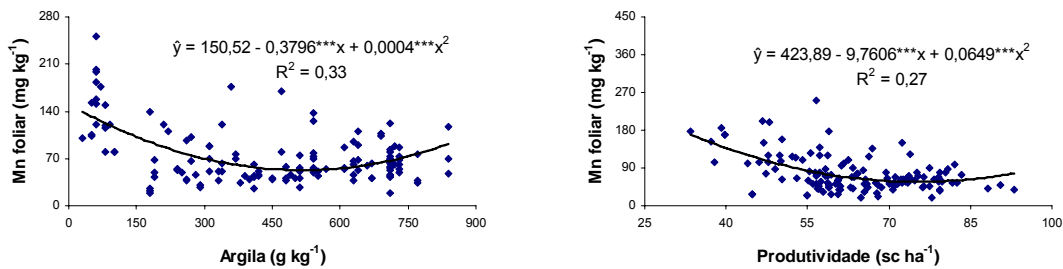


Figura 20. Teor foliar de Mn em função do teor de argila e da produtividade de soja. Dados dos bancos A (87 talhões da região de Dourados, safra 2000-01), B (47 talhões nos municípios de Camapuã, Campo Verde e Santo Antônio do Leste, médias das safras 2001-02 e 2002-03) e C (dois talhões em duas fazendas nos municípios de Itiquira e Sapezal, médias das safras 2003-04 a 2005-06). (n=136)

Merece destaque a correlação positiva e significativa dos teores foliares de K, Ca e Mg com o teor de argila ($r = 0,39^{***}$ para K e Ca e $r = 0,30^{***}$ para Mg) e teores foliares de K e Ca com a produtividade ($r = 0,39^{***}$ e $0,44^{***}$, respectivamente) (Figuras 11, 12 e 13). Isso indica que há necessidade de maiores teores foliares para as produtividades mais elevadas e que esses teores são mais facilmente obtidos em solos mais argilosos. No caso do Ca, pela correlação de seu teor foliar com o teor de argila e produtividade ($r = 0,39^{***}$ e $0,44^{***}$, respectivamente) pode-se supor que sejam necessários mais altos teores desse nutriente no solo para satisfazer a demanda da planta. A recuperação do Ca do solo pela planta está em torno de 50 % (Santos, 2002), valor relativamente baixo. Isso pode ter relação com as elevadas doses de calcário que vêm sendo utilizadas em solos mais arenosos, como será discutido mais adiante.

Para os dados de teores de Ca foliar relacionados com teores de argila e produtividade da soja, é possível visualizar alguns pontos que mostram relação inversa do

teor foliar com argila, principalmente, e com produtividade (Figura 12). Esses pontos pertencem ao banco de dados B (48 talhões localizados nos municípios de Camapuã, Campo Verde e Santo Antônio do Leste) e C (dois talhões, localizados nos municípios de Itiquira e Sapezal). Mas, de qualquer forma, com a junção de todos os dados (mais 87 talhões do banco A) a relação é direta.

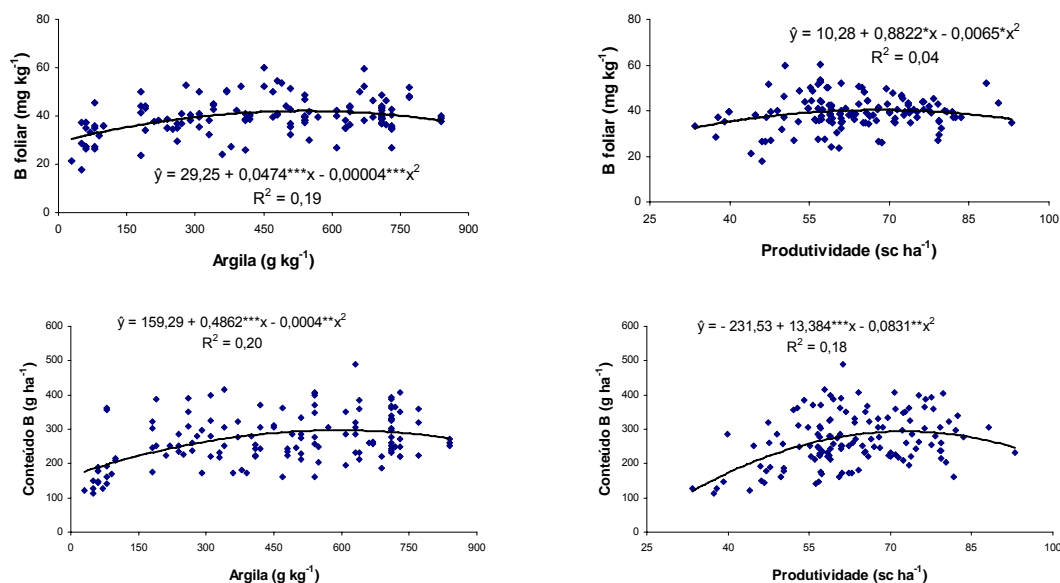


Figura 21. Teor foliar e conteúdo de B total na planta em função do teor de argila e da produtividade de soja.

Dados dos bancos A (87 talhões da região de Dourados, safra 2000-01), B (47 talhões nos municípios de Camapuã, Campo Verde e Santo Antônio do Leste, médias das safras 2001-02 e 2002-03) e C (dois talhões em duas fazendas nos municípios de Itiquira e Sapezal, médias das safras 2003-04 a 2005-06). (n=136)

As relações dos teores foliares de micronutrientes com teor de argila e produtividade de soja são, em sua maioria, inversas; à exceção do B (Figuras 16 e 18 a 21). Isso mostra que esses elementos não são limitantes à produtividade e que não haveria justificativa para preocupações maiores, como têm ocorrido. Os elevados teores de Zn, Cu e Mn nos menores teores de argila e nas mais baixas produtividades de soja (Figuras 16, 18 e 20, respectivamente), podem indicar toxidez na planta pelo excesso de adubações com esses micronutrientes. Solos arenosos são, naturalmente, mais pobres em micronutrientes. Além da pobreza química dos materiais desses solos mais grosseiros, a baixa CTC e teores de MO proporcionam menor retenção desses elementos no solo (Abreu et al., 2001; Borkert et al., 2001). Dessa forma, os elevados teores foliares nos valores mais baixos de argila

estão relacionados a teores elevados no solo, devido ao baixo poder tampão deste, principalmente para Zn, e às adubações com doses elevadas que vêm sendo realizadas nas áreas de solos mais arenosos do cerrado. Esse manejo é realizado, possivelmente, para compensar o efeito da diminuição da disponibilidade desses micronutrientes pela elevação do pH do solo, pelas elevadas doses aplicadas de calcário, como também será visto mais adiante.

O relacionamento do B com a textura e produtividade é diferente dos demais, com aumento dos teores foliares até 540 g kg^{-1} de argila e $67,6 \text{ sc ha}^{-1}$ de soja, respectivamente, para posteriores decréscimos. Assim, os dados deste trabalho mostram que esse micronutriente se apresenta como o mais limitante para a produtividade da soja. Solos mais arenosos são mais pobres nesse micronutriente do que os argilosos. Com aumento do teor de argila se tem maior adsorção deste ânion aos silicatos e óxidos de Fe e Al (Fontes et al., 2001). Além disso, a disponibilidade de B aumenta com o pH, até valores próximos a 6,5; para, a partir daí, diminuir pela precipitação com carbonatos. Assim, o pH mais alto nos solos arenosos (cerca de 7,0), em consequência das doses elevadas de calcário, deve ocasionar precipitação do B e o manejo da adubação nesses solos não deve estar adequado, pois os outros micronutrientes, que têm suas disponibilidades mais afetadas pelo pH do solo do que o B, não são limitantes, possivelmente pelo maior favorecimento do efeito de acidificação da rizosfera.

O conteúdo total de nutrientes na planta foi estimado utilizando as equações desenvolvidas no trabalho de Kurihara (2004). Ferro e Mn não tiveram equações estabelecidas para o conteúdo total na planta no trabalho de Kurihara (2004). Esse autor verificou que as predições dos acúmulos nas diversas partes da planta, a partir do acúmulo de nutrientes na folha índice, podem ser efetuadas de forma adequada com a análise do terceiro trifólio (folha índice), com ou sem pecíolo, desde que a amostragem seja efetuada no estágio de florescimento pleno. Dessa forma, ele desenvolveu equações que estimam o conteúdo de nutrientes nas diversas partes da planta de soja (caule, pecíolos, trifólios, vagens e grãos) a partir do conteúdo de nutrientes na folha índice.

De modo geral, as equações relacionando conteúdo total de nutrientes na planta com teor de argila do solo e produtividade de soja (Figuras 8, 9, 11 a 14, 16, 18 e 21) apresentaram tipos de equações com tendências semelhantes às dos teores foliares com teor

de argila e produtividade. A não coincidência de alguns tipos de equações de teor e conteúdo, por exemplo, equação linear para teor e quadrática para conteúdo, ou vice-versa, (Figuras 8, 9, 16 e 18) deve-se à influência do peso da matéria seca no cálculo do conteúdo total de nutrientes na planta. Dessa forma, algumas das principais análises teóricas deste trabalho podem ser prejudicadas. Por esse fato, foi dada mais ênfase à análise dos teores foliares.

3.3. Textura e propriedades químicas do solo

Foram gerados gráficos relacionando dados de análises químicas dos solos com a textura (Figura 22), considerando o histórico de uso dos solos, para os anos 1 (57 talhões), 3 (51 talhões) e 5 (30 talhões). Todos os talhões pertencem ao banco de dados B, municípios de Nova Maringá, Santo Antônio do Leste e Tangará da Serra, médias das safras 1998-99 a 2005-06. De modo geral, são nítidas as maiores variações nas propriedades químicas do solo nos menores teores de argila, o que é coerente com o menor poder tampão desses solos (Figura 22).

Em relação ao pH em H₂O e em CaCl₂ (0,01 mol L⁻¹) percebe-se aumento de seus valores com o teor de argila apenas no primeiro ano. Nos anos seguintes, 3 e 5, observam-se decréscimos. Em relação aos anos, ocorre aumento do pH com o histórico de uso. Entretanto, os decréscimos dos anos 3 e 5 com o teor de argila, praticamente resultam em retorno do valor de pH ao estado original (ano 1) nos solos mais tamponados (Figura 22).

O P disponível apresenta acréscimos em seus teores com o teor de argila nos anos 1 e 3, e decréscimos no 5 (Figura 22). O extrator utilizado nas análises foi o Mehlich-1. Dessa forma, seria comum esperar maiores valores de P em menores valores de argila, considerando ser o extrator sensível ao poder tampão do solo – pelo seu maior desgaste (Bahia Filho & Braga, 1975; Freire et al., 1979; Lins et al., 1989; Novais & Smyth, 1999). Assim, menores teores de P são extraídos quando o teor de argila aumenta. Entretanto, como as áreas mais arenosas foram incorporadas recentemente ao cultivo de soja, e as argilosas apresentam histórico de uso de mais de dez anos, a maior saturação com P dos colóides do solo com o tempo de cultivo (efeito residual) nestas últimas pode ter favorecido

a maior disponibilidade desse nutriente (anos 1 e 3). No ano 5, ocorre o comportamento normal esperado: redução dos teores disponíveis de P no solo com o teor de argila.

Observa-se aumento nos valores de K, Ca, Mg e H+Al com o aumento do teor de argila, ou seja, elementos como K, Ca e Mg têm suas disponibilidades aumentadas quando o teor de argila aumenta (Figura 22). Maior teor de argila implica maior teor de MO (maior efeito protetor), com essas duas variáveis favorecendo maior adsorção iônica, ou seja, maior retenção no complexo de troca.

Para o Al tem-se queda acentuada em seus teores com a argila logo no primeiro ano de cultivo. Nos anos seguintes, 3 e 5, os teores praticamente são constantes, com ligeiros aumentos (significativos a 10 %) com o teor de argila do solo (Figura 22).

Em geral, há aumento dos teores disponíveis no solo dos principais elementos (P, K, Ca e Mg) com os anos de cultivo, principalmente nos arenosos, dada sua baixa fertilidade natural e menor poder tampão (Figura 22); embora, em algumas situações, esses aumentos ainda não sejam suficientes para atender a demanda da soja. Elementos como K, Ca e Mg têm maior facilidade de atingir níveis de disponibilidade adequados em solos mais argilosos, com os anos de cultivo.

O relacionamento da textura dos solos com a CTC e MO possibilita a avaliação mais apurada dos resultados envolvidos com produção e manejo das culturas, dadas as interações entre essas propriedades do solo.

A textura do solo, por si só, não é suficiente para explicar a variação em produtividade ou mesmo a dinâmica de nutrientes no solo. A argila se relaciona diretamente com a CTC e MO do solo. Portanto, estudar como se dá essa relação enriquece os trabalhos envolvidos com solos e nutrição de plantas.

Os dados de textura e CTC do solo relacionam-se por meio de uma equação potencial (Figura 23a). Naturalmente, num solo com maior teor de argila, maior é a densidade de cargas e a adsorção iônica e, assim, maior é a sua CTC. Aumentos nos teores iniciais de argila (0 a 150 g kg⁻¹, aproximadamente) resultam em maiores aumentos nos valores da CTC do solo (Figura 23a).

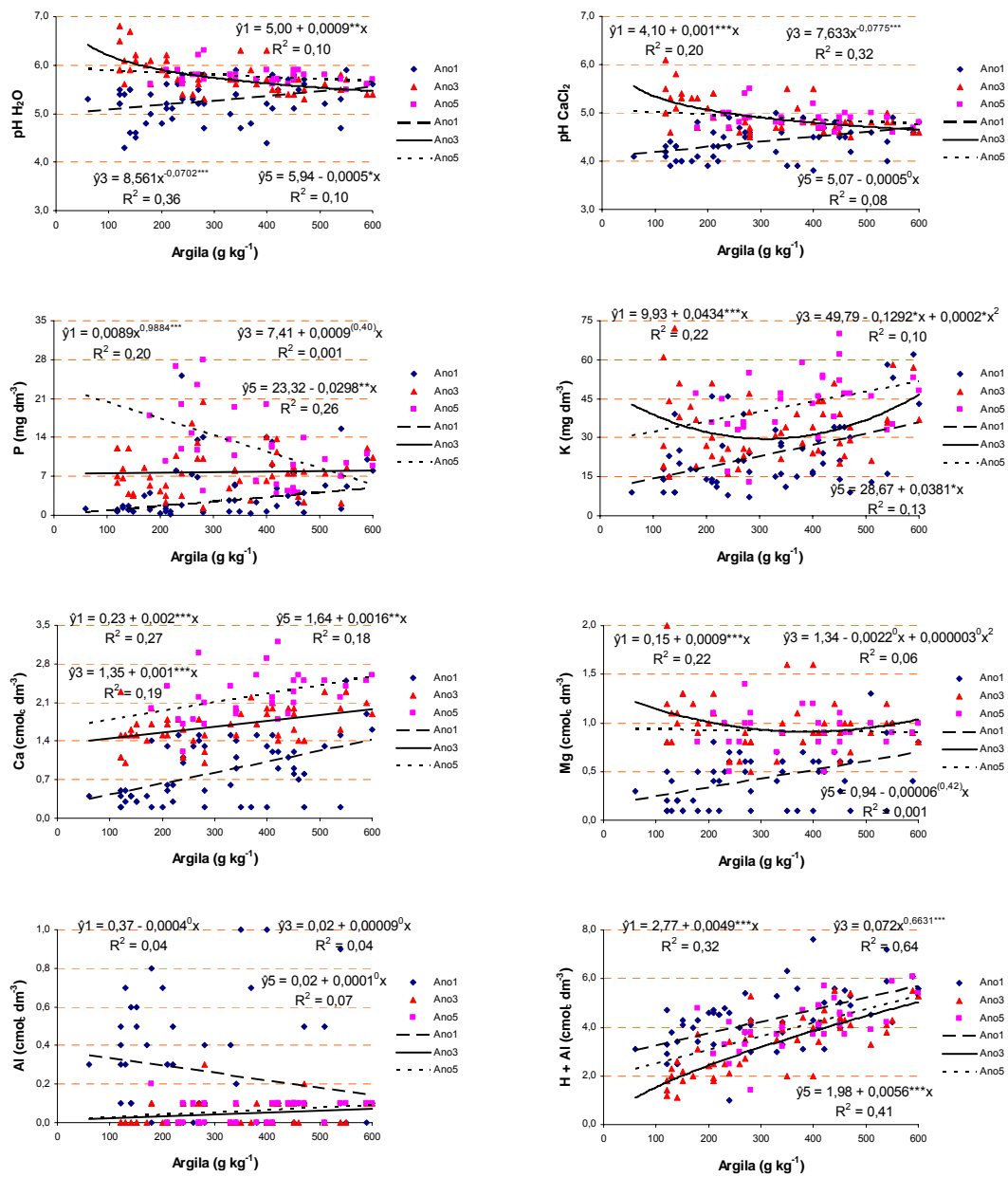


Figura 22. Análise química de solos em relação à textura, com o histórico de uso dos solos. Dados do banco B (57 talhões para o ano 1 e 51 para o ano 3, dos municípios de Nova Maringá, Santo Antônio do Leste e Tangará da Serra; 30 talhões para o ano 5, dos municípios de Santo Antônio do Leste e Tangará da Serra). (n=57, 51 e 30 para os anos 1, 3 e 5, respectivamente)

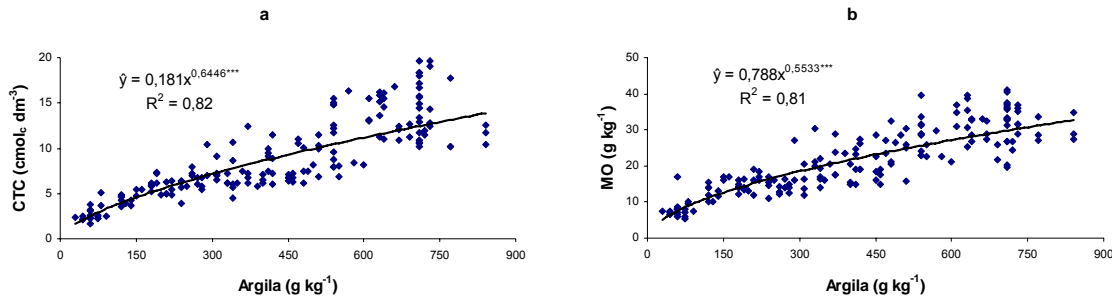


Figura 23. CTC (a) e teor de MO do solo (b) em função do teor de argila do solo. Dados dos bancos A (87 talhões da região de Dourados, safra 2000-01) e B (84 talhões dos municípios de Camapuã, Campo Verde, Nova Maringá, Santo Antônio do Leste e Tangará da Serra, médias das safras de 1998-99 a 2005-06). (n=171)

O efeito protetor da argila na formação de complexos organo-minerais resulta em maior teor de MO em solos mais argilosos, comparativamente aos mais arenosos (Lepsch et al., 1982; Sørensen, 1983; Van Veen et al., 1985; Sagggar et al., 1996; Bosatta & Agren, 1997; Neufeldt et al., 2002; Leite & Mendonça, 2003; Müller & Höper, 2004). Essa afirmativa é comprovada pelo relacionamento entre teor de MO e de argila (Figura 23b). A equação potencial gerada mostra maior aumento no teor de MO com aumento no teor de argila nas classes texturais mais arenosas. Nas classes texturais mais argilosas, o teor de MO continua aumentando com a argila, mas os ganhos são menores.

Utilizando parte do banco de dados B (57 talhões para o ano 1, 51 para o ano 3 e 30 para o ano 5 das lavouras localizadas nos municípios de Nova Maringá, Santo Antônio do Leste e Tangará da Serra, médias das safras 1998-99 a 2005-06), foi possível relacionar o teor de argila e MO com o histórico de uso dos solos (Figura 24). O teor de MO do solo aumenta linearmente com o teor de argila nos anos 1, 3 e 5 (Figura 24). Em relação aos anos, observa-se incremento do ano 1 para o 3, com posterior decréscimo no ano 5, mas os teores permanecem ainda maiores que o estado inicial (ano 1). Como a proteção da MO é menor em solos mais arenosos, a amplitude de variação em seus teores, aumento ou decréscimo, com os anos de cultivo, é maior nos menores teores de argila do solo (ambiente com menor proteção). Essa constatação é bastante evidente em outros trabalhos (Sagggar et al., 1996; Rheinheimer et al., 1998). Muito se questiona sobre o comportamento da MO em solos mais arenosos, no sentido de que seus valores seriam diminuídos com os anos de cultivo. Isso ocorreria em consequência, basicamente do baixo efeito protetor na MO do

solo nessa classe textural. Nesse trabalho, pôde-se ver que isso não ocorreu. Embora os teores de MO tenham diminuído do ano 3 para o 5, eles ainda continuaram maiores que o ano 1, principalmente para os menores teores de argila. Os aumentos de MO em solos com menor teor de argila podem ter sido favorecidos pela pobreza inicial dos solos e pelo aporte de resíduos orgânicos da soja com menor relação C/N (Silva et al., 2004).

Para melhor elucidar a dinâmica de MO nos solos com texturas variadas, foram calculadas as médias dos teores de MO dos anos 1 a 7 (Quadro 3) para cada classe textural: arenosa, média e argilosa. Estas informações foram obtidas a partir dos dados do banco B (57, 56, 51, 42, 30, 20 e 9 talhões para os anos 1 a 7, respectivamente, dos municípios de Nova Maringá, Santo Antônio do Leste e Tangará da Serra). Nota-se que os teores de MO aumentam em todas as classes texturais até o ano 3, para depois decrescer. Nos solos de textura média e argilosa, a partir do ano 3, os teores oscilam entre pequenos decréscimos e aumentos, mas sempre permanecendo com valores mais elevados que o estado inicial (ano 1) (Quadro 3).

O sistema de cultivo dessas lavouras é plantio direto com sucessão milheto-soja. Como já comentado, os restos culturais da soja, mais ricos em N, podem estar favorecendo o aumento no teor de MO do solo, em associação com os resíduos mais recalcitrantes do milheto.

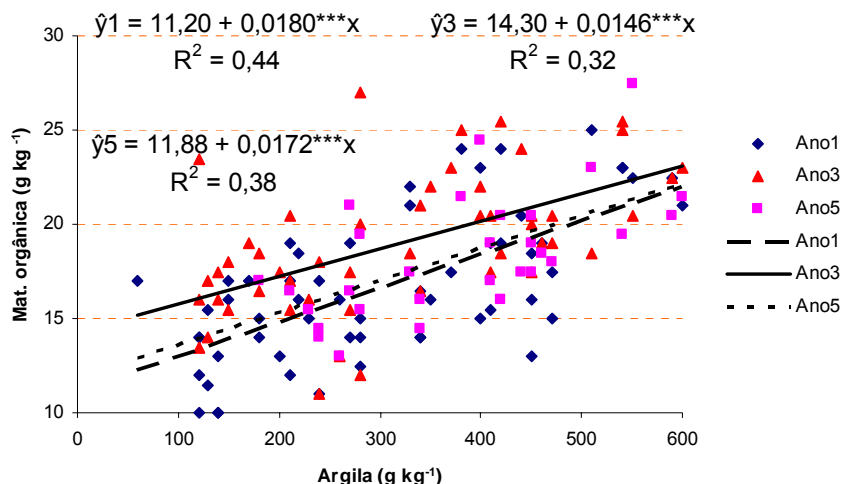


Figura 24. Matéria orgânica do solo em função dos teores de argila, com o histórico de uso dos solos.

Dados do banco B (57 talhões para o ano 1 e 51 para o ano 3, dos municípios de Nova Maringá, Santo Antônio do Leste e Tangará da Serra; 30 talhões para o ano 5, dos municípios de Santo Antônio do Leste e Tangará da Serra). (n=56, 51 e 30 para os anos 1, 3 e 5, respectivamente)

Quadro 3. Teor médio de MO como variável do histórico de uso dos solos, para as classes texturais arenosa, média e argilosa

Ano	Teor médio de MO (g kg ⁻¹)		
	Arenosa	Média	Argilosa
1	13,3	15,8	19,7
2	15,8	16,9	20,3
3	16,5	17,6	21,3
4	15,8	16,4	19,4
5	-	16,2	20,1
6	-	18,1	23,4
7	-	19,0	22,4

Dados do banco B (57, 56, 51 e 42 talhões para os anos 1, 2, 3 e 4, dos municípios de Nova Maringá, Santo Antônio do Leste e Tangará da Serra; 30, 20 e 9 talhões para os anos 5, 6 e 7, dos municípios de Santo Antônio do Leste e Tangará da Serra). (n=57, 56, 51, 42, 30, 20 e 9 para os anos 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7, respectivamente)

3.4. Textura e calagem

As doses recomendadas de calcário são calculadas com base, além de outras características, no teor de argila do solo, direta ou indiretamente. Normalmente, maiores doses são aplicadas em solos com maior poder tampão, ou seja, maior teor de argila (Alvarez V. & Ribeiro, 1999; Sousa & Lobato, 2004).

Entretanto, as recomendações amplamente utilizadas na região central do Brasil para solos mais arenosos têm surpreendido pelos seus elevados valores (5 a 6 t ha⁻¹ de calcário PRNT 80%), muitas vezes superiores às doses aplicadas em solos mais argilosos.

Utilizando o banco de dados C, com resultados de 234 talhões para o solo 1 (S1, Itiquira) e 234 para o solo 2 (S2, Sapezal) (Quadro 1), nas safras 2003-04 a 2005-06, foi possível gerar gráficos relacionando pH em H₂O, teores disponíveis de Ca²⁺ + Mg²⁺ no solo e saturação por bases com doses de calcário aplicadas (5,4 a 11,8 t ha⁻¹) (Figuras 25, 26 e 27). Foram relacionadas também as produtividades com doses de calcário, teores de Ca²⁺ + Mg²⁺ e saturação por bases (Figuras 28, 29 e 30).

Observa-se que aplicações de 5,4 a 11,8 t ha⁻¹ de calcário (PRNT 75 %) na primeira safra proporcionaram aumentos significativos (P<0,001) no pH em H₂O dos solos, mas esses não ultrapassaram o valor de 7,0 (Figura 25). Poder-se-ia pensar em maior aumento nos valores de pH com doses tão elevadas e solos com poder tampão tão baixos, considerando seus baixos teores de argila (101 e 97 g kg⁻¹ para os solos 1 e 2, respectivamente). Entretanto, após pH em H₂O 7,0 já se inicia a precipitação de calcita (Garrels & Christ, 1965), o que reduz a dissolução do calcário, dificultando elevações maiores do pH do solo. Além disso, o baixo dreno de Ca²⁺ e Mg²⁺ do solo contribui para a menor reação do calcário.

As elevações nos teores de Ca²⁺ + Mg²⁺ (Figura 26) e saturação por bases (Figura 27) são representadas por equações lineares e significativas (P<0,001), gerando valores elevados, se comparados aos iniciais. Entretanto, esses aumentos não se expressam, na mesma proporção, em aumentos de produtividade, que permanecem praticamente constantes ou, mesmo, tendem a diminuir (Figuras 28, 29 e 30). Com doses de calcário acima de 5 t ha⁻¹ não há resposta em produtividade da soja (Figura 28). Desde intervalos de 2,0 a 4,4 de Ca²⁺ + Mg²⁺ no solo e de 42 a 94 % de saturação por bases a produtividade se situa em torno de 55 sc ha⁻¹ (Figuras 29 e 30). Dessa forma, o valor dois de Ca²⁺ + Mg²⁺ no solo normalmente utilizado para cálculo de calagem para soja, pelo método da neutralização do Al³⁺ e aumento dos teores de Ca²⁺ + Mg²⁺, é comprovado por esses dados como suficiente para a cultura, bem como o valor de 50 a 60 % pelo método da saturação por bases.

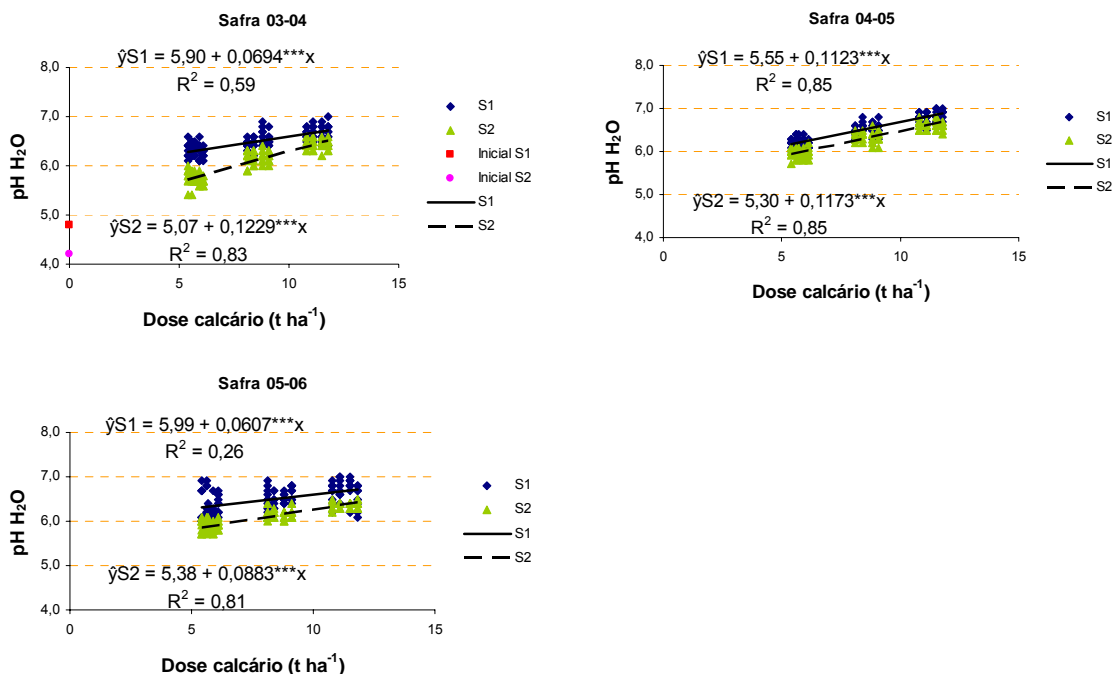


Figura 25. Valor do pH do solo em função da dose de calcário aplicada. Dados do banco C (234 talhões para o solo 1 – S1 e 234 para o solo 2 – S2, localizados no município de Itiquira e Sapezal, respectivamente, para as safras 2003-04 a 2005-06). (n=234 para cada solo em cada safra)

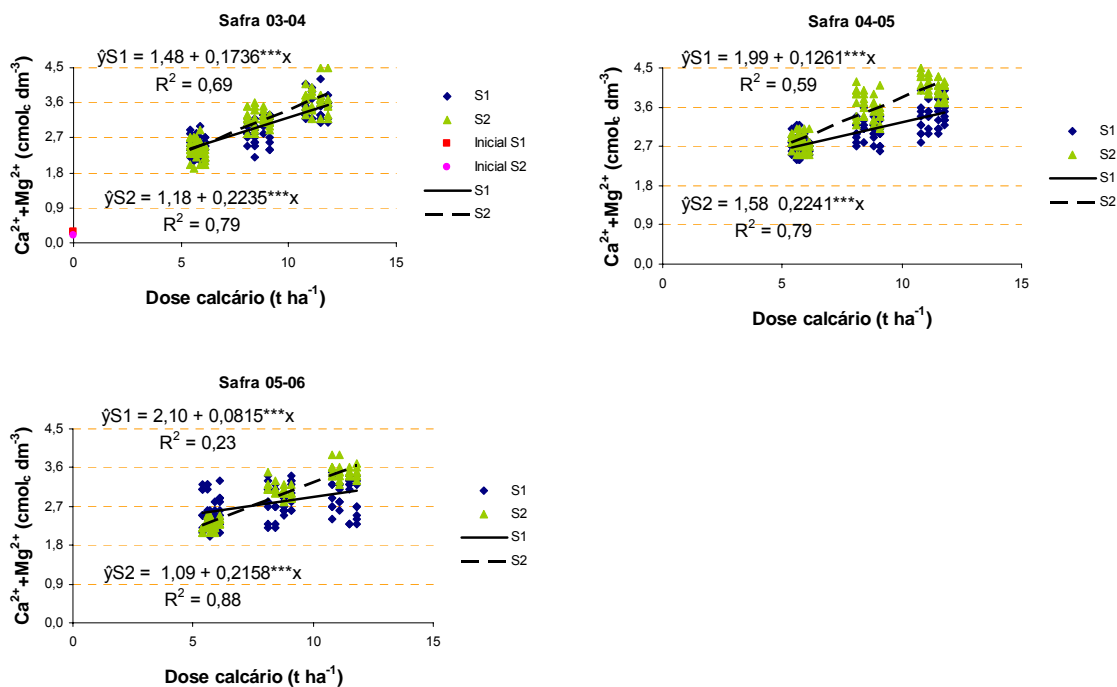


Figura 26. Teor disponível de $Ca^{2+} + Mg^{2+}$ no solo em função da dose de calcário aplicada. Dados do banco C (234 talhões para o solo 1 – S1 e 234 para o solo 2 – S2, localizados no município de Itiquira e Sapezal, respectivamente, para as safras 2003-04 a 2005-06). (n=234 para cada solo em cada safra)

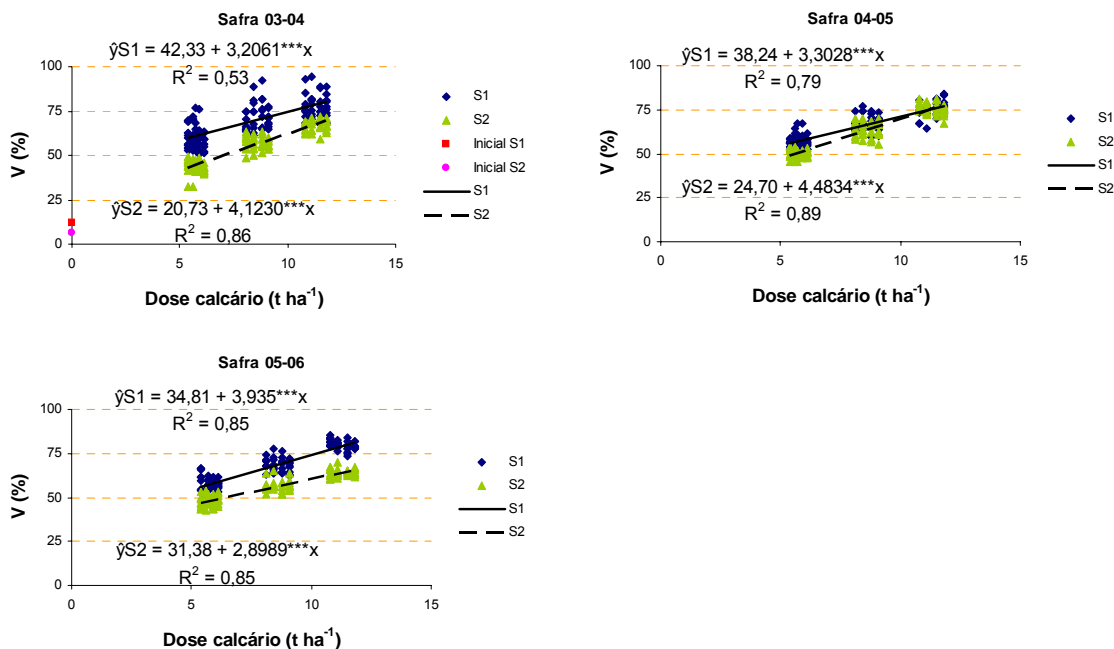


Figura 27. Saturação por bases no solo em função da dose de calcário aplicada. Dados do banco C (234 talhões para o solo 1 – S1 e 234 para o solo 2 – S2, localizados no município de Itiquira e Sapezal, respectivamente, para as safras 2003-04 a 2005-06). (n=234 para cada solo em cada safra)

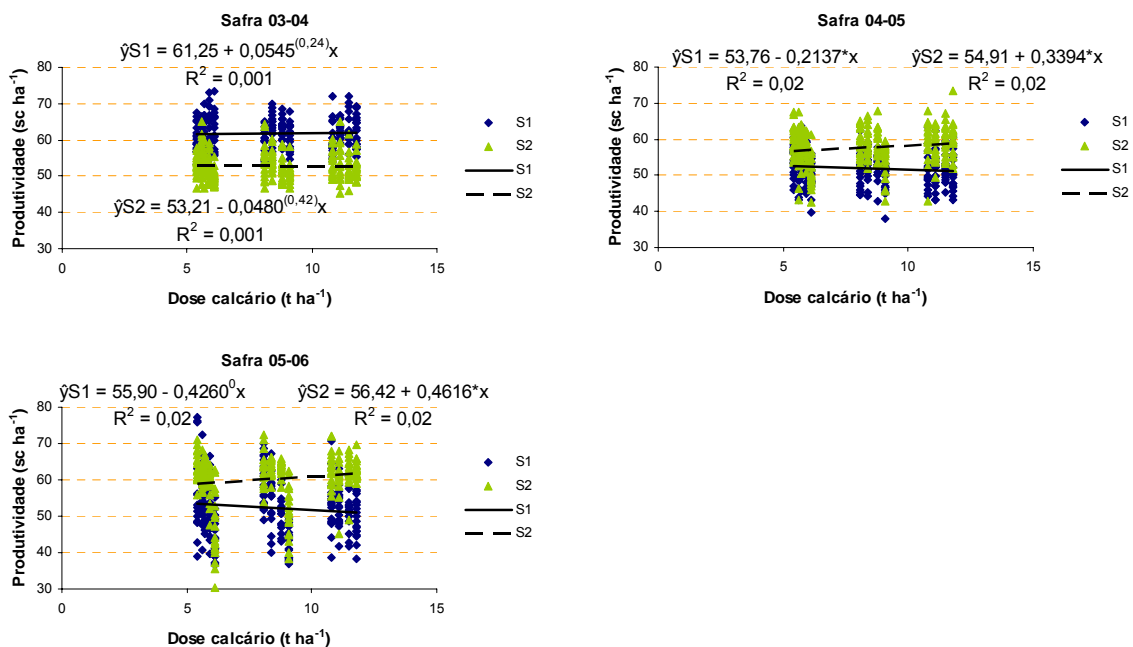


Figura 28. Produtividade de soja em função das doses de calcário. Dados do banco C (234 talhões para o solo 1 – S1 e 234 para o solo 2 – S2, localizados no município de Itiquira e Sapezal, respectivamente, para as safras 2003-04 a 2005-06). (n=234 para cada solo em cada safra)

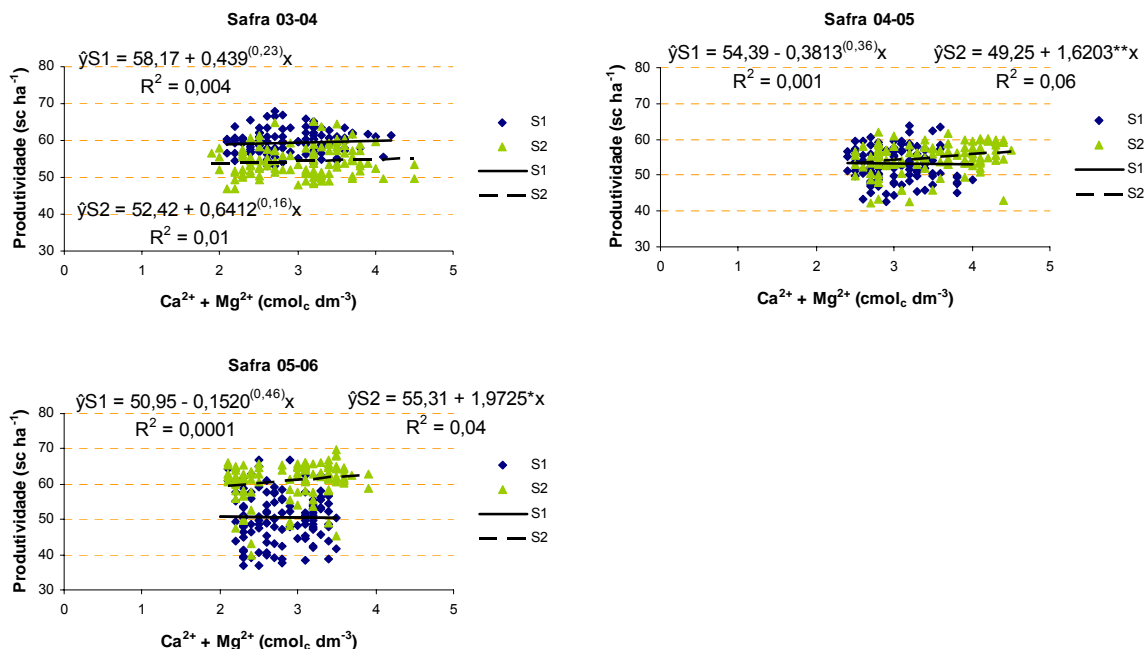


Figura 29. Produtividade de soja em função dos teores $Ca^{2+} + Mg^{2+}$ no solo. Dados do banco C (234 talhões para o solo 1 – S1 e 234 para o solo 2 – S2, localizados no município de Itiquira e Sapezal, respectivamente, para as safras 2003-04 a 2005-06). (n=234 para cada solo em cada safra)

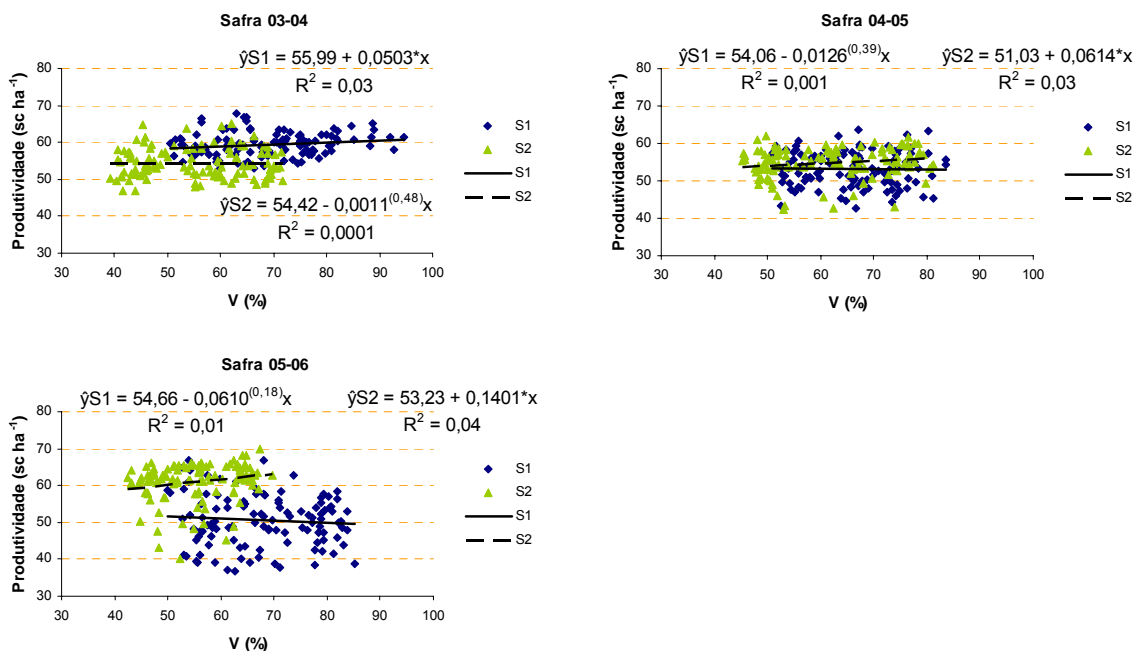


Figura 30. Produtividade de soja em função da saturação por bases no solo. Dados do banco C (234 talhões para o solo 1 – S1 e 234 para o solo 2 – S2, localizados no município de Itiquira e Sapezal, respectivamente, para as safras 2003-04 a 2005-06). (n=234 para cada solo em cada safra)

Entretanto, a correlação entre teor foliar de Ca e argila e, principalmente produtividade ($r = 0,39^{***}$ e $0,44^{***}$, respectivamente (Figura 12)), sugere que sejam necessários teores de Ca no solo mais elevados, pois o valor de recuperação desse nutriente pela planta é baixo (50 %) (Santos, 2002). Para o teor de Mg foliar a correlação com a argila é de $0,30^{***}$, e de apenas $0,07^{(0,17)}$ com a produtividade (Figura 13). A Fundação MS utiliza, para produtividades acima de 60 sc ha^{-1} , os valores de $9,4 \text{ g kg}^{-1}$ para Ca e $3,2 \text{ g kg}^{-1}$ para Mg como teor crítico foliar. A Embrapa utiliza, para produtividades de 55 a 60 sc ha^{-1} , o intervalo de $3,6$ a $20,0 \text{ g kg}^{-1}$ para o Ca e $2,6$ a $10,0 \text{ g kg}^{-1}$ para o Mg. Estes intervalos são bastante amplos e, neste trabalho, os intervalos são menores: $4,3$ a $14,0 \text{ g kg}^{-1}$ de Ca e $2,0$ a $5,0 \text{ g kg}^{-1}$ de Mg (Figuras 12 e 13).

A reação do calcário nos solos mais arenosos é bem menor, basicamente pela baixa acidez, baixo poder de dreno-solo para Ca^{2+} e Mg^{2+} , baixa capacidade de retenção de água, além da maior alternância entre períodos secos e úmidos (Boynton, 1966; Bellingieri, 1983; Plese, 2000). Isso faz com que a dissolução do calcário seja baixa. Bellingieri (1983) alerta para o fato de que extrapolações de dados de laboratório para condições de campo podem representar resultados não satisfatórios, devido às variações em temperatura, umidade e grau de homogeneização do calcário com o solo.

Outro ponto limitante em solos arenosos é a possível perda de seus cátions por lixiviação, fato esse agravado quando se tem maior proporção de areia grossa. Muitas vezes, pela grande profundidade dos Neossolos Quartzarênicos, de modo geral, pode-se supor perda de Ca e Mg por lixiviação para além das profundidades exploradas pelas raízes das plantas, principalmente quando se tem presença de ânions acompanhantes, como NO_3^- , Cl^- e SO_4^{2-} no solo. Algumas análises dos solos 1 e 2 em profundidade (20-30 e 30-40 cm) (dados não apresentados) mostraram aumentos dos teores de $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ nessas camadas. A partir de 40- 60 cm, os teores destes nutrientes foram praticamente iguais aos valores iniciais, evidenciando, possivelmente, perdas para profundidades além das analisadas neste trabalho. A CTC, que já é baixa na camada mais superficial, diminui ainda mais em profundidade, em função da redução no teor de MO, seu principal componente em solos mais intemperizados e arenosos, em particular. Além disso, não seria incorreto pensar em eluviação de partículas mais finas de calcário em profundidade, principalmente em

condições de solos com granulometrias mais grosseiras da fração areia (Caires et al., 1998; Pöttker & Ben, 1998; Petreere & Anghinoni, 2001; Amaral et al., 2004).

Trabalho de Raij et al. (1982), em solo com 440 g kg^{-1} de argila, indicou perdas anuais de 0,59; 0,88 e $1,22 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ para doses de 3, 6 e 9 t ha^{-1} de calcário, PRNT 59 %. Adicionalmente, essas perdas se deram através do perfil, não havendo acúmulo dos cátions abaixo da camada arável do solo, o que sugere que em solos arenosos as perdas seriam bem maiores.

Outro ponto que merece discussão é que 1 t ha^{-1} de calcário, com PRNT = 100 %, corresponde a um aumento de $1 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ na camada de 0-20 cm de profundidade. Os dados apresentados neste trabalho mostram que isso não está ocorrendo (Figura 26). A esse respeito, Raij et al. (1982), em experimento com calagem em milho durante cinco anos, em solo com 440 g kg^{-1} de argila, assinalam para a importância da análise do $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ não solubilizado (residual). Na análise realizada um ano após as aplicações de 3, 6, e 9 t ha^{-1} de calcário, PRNT 59 %, 45, 52 e 67 % do $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ estavam na fração ainda não solubilizada, respectivamente. Dois anos depois os valores eram de 18, 28, 33 %, respectivamente; e, em cinco anos 8, 6 e 7 %. Esses resultados indicam reação quase total do calcário em cinco anos após sua aplicação.

Quaggio et al. (1982), em experimento semelhante em Latossolo Roxo distrófico argiloso, utilizando doses de 0 a 12 t ha^{-1} de calcário, com PRNT 57 %, também avaliaram a fração não solubilizada de $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ e mostrou que ela aumenta com a dose aplicada, atingindo mais de 50 % para as doses de 10 e 12 t ha^{-1} ; a reação total do calcário se deu em três anos. Até os seis meses após a aplicação do calcário não foram verificadas perdas de $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$; após isso, elas foram cerca de 20 % ao ano, considerando profundidades abaixo de 60 cm.

Tudo o que foi discutido aponta para a necessidade de aprimoramento no manejo da calagem nessas condições. Daí a necessidade de uma boa incorporação do calcário no solo para aumentar sua reação e a probabilidade de maior contato das raízes de soja com o Ca^{2+} e Mg^{2+} , aumentando a recuperação pela planta. Essa maior recuperação pode também ser favorecida pela aplicação localizada do calcário. Pode-se pensar também em fontes alternativas de Ca^{2+} e Mg^{2+} no solo, bem como misturas de calcários com diferentes granulometrias, que mantivessem equilíbrio favorável entre a maior dissolução e menor

perda das partículas de calcário em profundidade. Além disso, práticas que favoreçam o acúmulo de MO do solo se tornam essenciais.

A relevância do tema passa também pela necessidade de se considerar todo o sistema de cultivo, e não apenas a cultura da soja, no sentido de como ficariam o crescimento e desenvolvimento de plantas que não acidificam a rizosfera, fenômeno este que pode levar à redução de uma a duas unidades no pH rizosférico (Hinsinger et al., 2006).

A ciência tem como uma de suas bases se antepor ao futuro. Essas doses elevadas de calcário (em torno de 6 t ha^{-1}), utilizadas nas principais regiões produtoras de soja do cerrado, poderão resultar em correção, ou alcalinização, de perfil dos solos arenosos a grandes profundidades? Certa heterogeneidade de perfil de solo é desejável, no sentido de favorecer a absorção de nutrientes que têm sua disponibilidade aumentada em valores de pH mais baixos, como por exemplo, micronutrientes. A homogeneização dos perfis dos solos poderá trazer sérios problemas futuros.

3.5. Textura e recomendação de fertilizantes

A recomendação de fertilizantes, especificamente de P, é influenciada pela textura do solo. Solos intemperizados e mais tamponados, ou seja, com maior teor de argila, devem receber maiores doses de P, pois o dreno-solo é predominante em relação ao dreno-planta (Novais & Smyth, 1999). Assim, parte da adubação realizada é consumida para saturar os sítios de adsorção de óxidos de Fe e Al.

Com os dados do banco A (85 talhões, localizados em 45 fazendas na região de Dourados, na safra 2000-01) e parte do B (51 talhões de três fazendas localizadas nos municípios de Camapuã, Nova Maringá e Tangará da Serra, médias das safras 1998-99 a 2005-06) foram gerados gráficos com as doses de P_2O_5 aplicadas em função do teor de argila do solo e do teor de P disponível/nível crítico de P no solo (Figura 31a e Figura 31b). Os níveis críticos considerados foram 25, 20, 12 e 6 para as classes texturais arenosa, média, argilosa e muito argilosa, respectivamente (Sousa & Lobato, 2004).

Contrariamente ao teoricamente esperado, observa-se uma diminuição das doses com o aumento do teor de argila (Figura 31a). As doses médias anuais de P_2O_5 aplicadas foram 97, 93, 79 e 59 kg ha^{-1} para os solos de textura arenosa, média, argilosa e muito

argilosa, respectivamente. Isso pode ter ocorrido pelo fato de as áreas mais arenosas terem histórico de uso mais recente e, assim, doses mais elevadas de P serem necessárias, pela ausência ou menor residual. As áreas argilosas têm histórico de uso de mais de dez anos, com fertilidade mais bem construída e assim as aplicações foram reduzidas. Todavia, o comportamento apresentado nos gráficos reflete o que está sendo realizado em áreas comerciais do cerrado no que se refere à recomendação de adubações fosfatadas, ou seja, maiores doses de P para solos com menor poder tampão.

As doses de P recomendadas diminuem com o teor de P disponível/nível crítico de P no solo (Figura 31b). No entanto, observa-se que para valores menores do que $1,0 \text{ mg dm}^{-3}/\text{mg dm}^{-3}$ há doses desde 26 até 162 kg ha^{-1} de P_2O_5 , evidenciando desconsideração às análises de solo como critério de estabelecimento de doses de fertilizantes. Nos valores de 1,0 a $6,0 \text{ mg dm}^{-3}/\text{mg dm}^{-3}$, embora as amplitudes sejam menores, também ocorrem variações nas doses aplicadas de P_2O_5 para mesmos valores de P disponível/P nível crítico no solo (Figura 31b). O fato da desconsideração das análises químicas de solo e recomendações de adubação já havia sido relatado por Lima (2004).

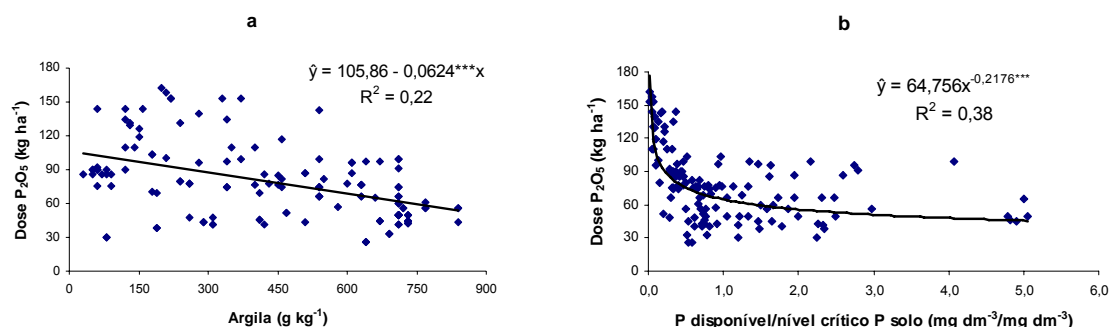


Figura 31. Dose de P_2O_5 aplicada em função do teor de argila do solo (a) e do teor de P disponível/nível crítico de P do solo (b).

Dados dos bancos A (85 talhões da região de Dourados, safra 2000-01) e parte do B (51 talhões nos municípios de Camapuã, Nova Maringá e Tangará da Serra, médias das safras 1998-99 a 2005-06). (n=136)

Com relação às adubações potássicas, observa-se redução da quantidade de K_2O aplicada em função do teor de argila do solo (Figura 32a). As doses médias anuais de K_2O aplicadas foram 125, 97, 81 e 58 kg ha^{-1} para os solos de textura arenosa, média, argilosa e muito argilosa, respectivamente. Estes valores estão muito aquém da quantidade total de K extraída pela soja, como pode ser comprovado pelos números obtidos no modelo

desenvolvido por Santos (2002) para recomendação de corretivos e fertilizantes para esta cultura, em que a extração total de K pela planta, para produtividades de 50 a 60 sc ha⁻¹, é de 120 a 150 kg ha⁻¹ (144 a 180 kg ha⁻¹ de K₂O). O K é um nutriente pouco influenciado pelo tampão do solo devido à natureza de suas ligações iônicas com as cargas do solo. Assim, em solos mais arenosos há necessidade de aplicações mais elevadas de K devido à perda do nutriente por lixiviação, principalmente em condições de precipitação pluvial mais elevada. Além disso, as relações positivas e significativas ($r = 0,39^{***}$) entre teor foliar de K e teor de argila, e teor foliar de K e produtividade (Figura 10) indicam que a planta mais produtiva tem maiores teores de K, o que ocorre em solos mais argilosos. Dessa forma, pode-se inferir que se torna necessário melhorar o manejo desse nutriente em solos arenosos. Plantas de cobertura desempenham papel fundamental pela oportunidade de maior aporte de resíduos, que podem se converter em MO do solo e aumentar a CTC, o que favoreceria a retenção do K. Além disso, a mineralização dessas plantas possibilita um fornecimento mais contínuo de K (e parcelado) à soja, o que favorece sua absorção pela planta e pode levar à diminuição das perdas por lixiviação. Quando essas perdas ocorrerem, as plantas de cobertura ainda podem promover a reciclagem biogeoquímica e recuperar o K de camadas mais profundas. Outra prática sugerida é a potassagem, pois as maiores doses necessárias à demanda da planta em solos arenosos podem causar problemas por efeito salino na germinação das sementes, e o parcelamento em mais de uma aplicação em cobertura aumenta custos e danos mecânicos às plantas.

Quanto ao relacionamento entre doses de K₂O e teores de K no solo (Figura 32b) nota-se redução das doses com aumento do teor, embora haja grande amplitude nas recomendações para valores de K no solo menores que 100 mg dm⁻³ e doses mais constantes nos valores acima desta disponibilidade de K no solo. Esses valores de doses mais constantes de K₂O, cerca de 40 kg ha⁻¹, seriam de manutenção ou sustentabilidade da produção. Todavia, são valores bem abaixo dos 75 kg ha⁻¹ de K₂O exportados pelos grãos de soja para uma produtividade média de 60 sc ha⁻¹ (Santos, 2002), comprometendo a sustentabilidade.

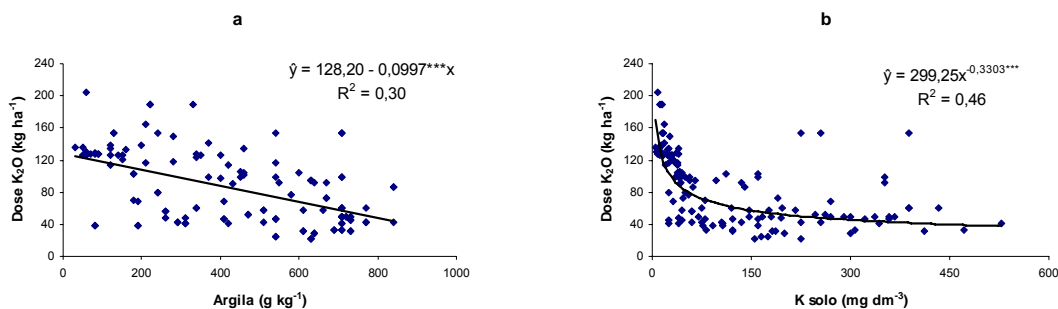


Figura 32. Dose de K_2O aplicada em função do teor de argila (a) e de K disponível do solo (b).

Dados dos bancos A (85 talhões da região de Dourados, safra 2000-01) e parte do B (51 talhões nos municípios de Camapuã, Nova Maringá e Tangará da Serra, médias das safras 1998-99 a 2005-06). (n=136)

Em relação às doses de P_2O_5 aplicadas, observa-se que há redução de seus valores com o aumento da produtividade de soja (Figura 33a). Explicação para esse fato é que as áreas com maior histórico de uso já tiveram sua fertilidade melhorada, principalmente em relação ao P. Dessa forma, apresentam produtividades elevadas e vêm recebendo menores doses desse nutriente, ou seja, para as condições estudadas neste trabalho, quem está determinando a dose a ser aplicada é a produtividade, e não o contrário. Assim, em solos com menores produtividades de soja há maior aplicação de fertilizantes. Essa análise se confirma pelos demais gráficos (Figura 31b, Figura 33b e Figura 33c), em que verifica-se redução da dose de P_2O_5 aplicada com o aumento do teor de P disponível/nível crítico de P no solo (Figura 31b), e aumento na produtividade (Figura 33b) e teor foliar de P (Figura 33c) com o aumento do teor de P disponível no solo.

Para as doses de K_2O aplicadas também se observam os mesmos relacionamentos verificados com o P (Figura 32b, Figura 34a, Figura 34b e Figura 34c), ou seja, a dose recomendada de K_2O é função da produtividade de soja. Maiores doses são aplicadas em áreas menos produtivas. Para as menores produtividades as doses são de correção da fertilidade do solo e, para as maiores produtividades, as doses são de manutenção.

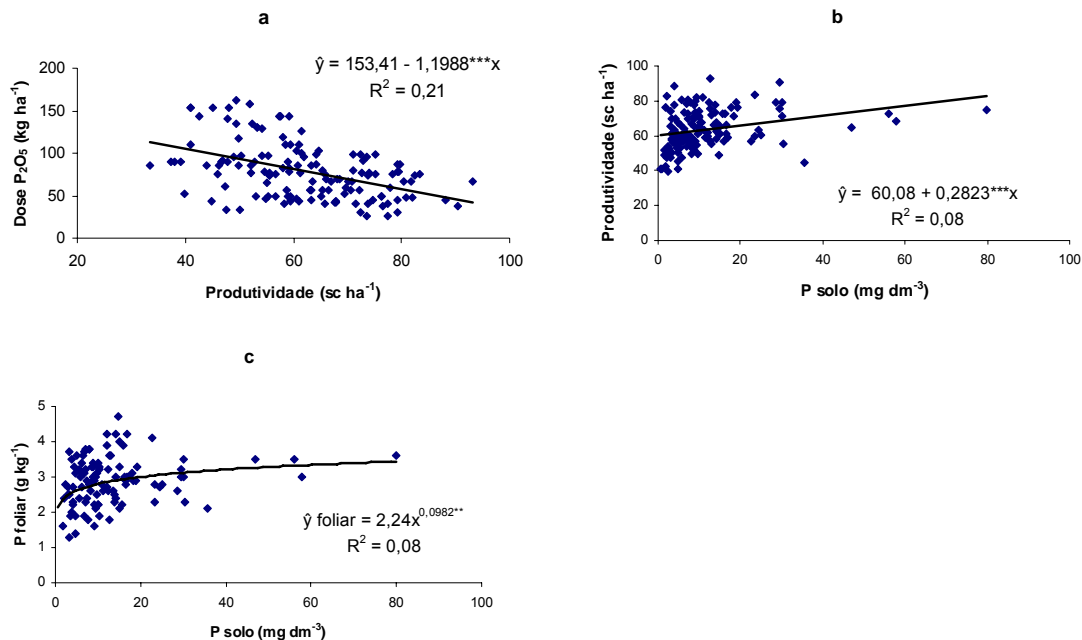


Figura 33. Doses de P_2O_5 aplicadas em função da produtividade de soja (a), produtividade de soja (b) e teor foliar de P (c) em função do teor de P disponível do solo. Dados dos bancos A (85 talhões da região de Dourados, safra 2000-01) e parte do B (51 talhões nos municípios de Camapuã, Nova Maringá e Tangará da Serra, médias das safras 1998-99 a 2005-06). (n=136)

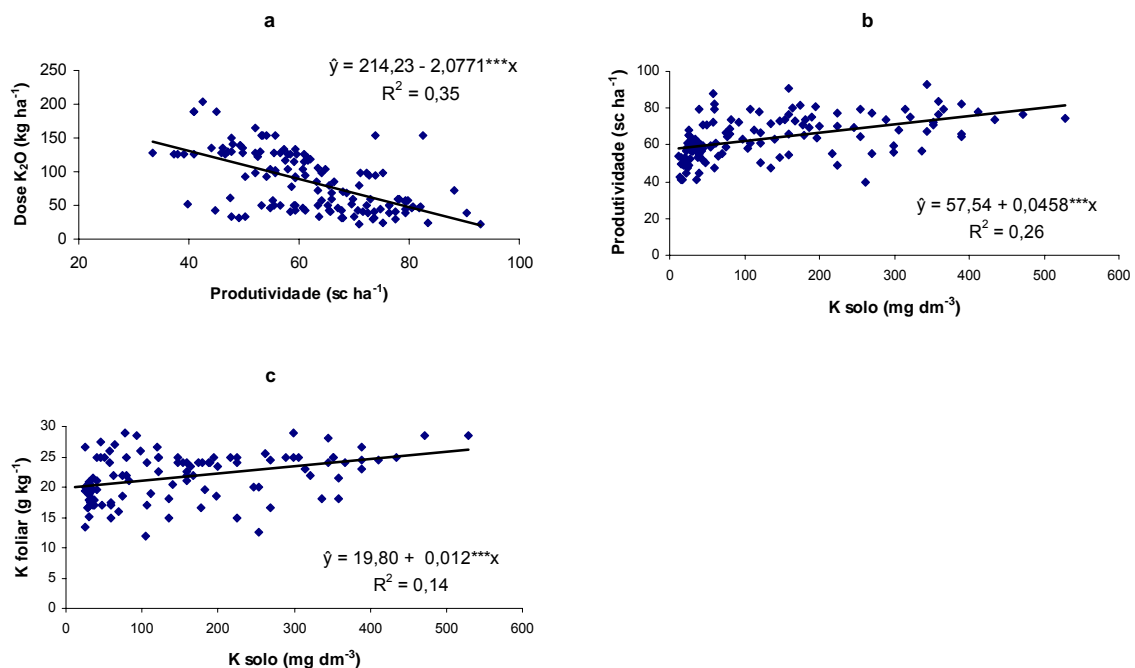


Figura 34. Doses de K_2O aplicadas em função da produtividade de soja (a), produtividade de soja (b) e teor foliar de K (c) em função do teor de K disponível do solo. Dados dos bancos A (85 talhões da região de Dourados, safra 2000-01) e parte do B (51 talhões nos municípios de Camapuã, Nova Maringá e Tangará da Serra, médias das safras 1998-99 a 2005-06). (n=136)

3.6. Práticas conduzidas por produtores e agrônomos no manejo da produção de soja em solos de cerrado com diferentes texturas e conhecimento teórico

O questionário foi respondido por 11 produtores e seis agrônomos. Em relação aos produtores, nove são do Estado do Mato Grosso (Primavera do Leste, São José do Rio Claro, Alto Garças, Campo Novo do Parecis e Diamantino) e dois do Mato Grosso do Sul (Camapuã, Bandeirantes). Esses 11 produtores representam um total de 31.000 ha plantados com soja. Desses 31.000 ha, 39 % são solos de textura argilosa, 22 % de textura média e 39 % de arenosa. Os agrônomos assessoram várias fazendas nos Estados do Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, totalizando mais de 200.000 ha de soja. Pertencem à Fundação Mato Grosso, Sementes Adriana, SNP Consultoria e Geoagronômica Consultoria Ltda.

Com relação à calagem (Quadro 4), percebe-se que a maioria dos produtores e agrônomos faz a recomendação de calagem seguindo a análise de solo (91 e 100 %, respectivamente), com 36 % dos produtores e 50 % agrônomos aplicando mais que o recomendado; principalmente nos solos arenosos e textura média. É interessante confrontar essa resposta com a relacionada à dose utilizada em solos arenosos e comparada com os argilosos. Sessenta e três por cento dos produtores responderam doses equivalentes até muito superiores, e todos os agrônomos responderam que a dose é superior nos arenosos. Assim, verifica-se certa incoerência nas respostas e disparidade entre o conhecimento teórico e as práticas utilizadas por eles, no sentido de que se se está seguindo a análise de solo, a maioria das respostas deveria ser doses inferiores, mas não superiores e muito superiores, uma vez que solos arenosos requerem menores doses de calcário. Além disso, o tempo de reaplicação do calcário nos solos arenosos é menor que nos argilosos, para os produtores (três anos e meio), e para os agrônomos (quatro anos). Essas constatações indicam, como já discutido anteriormente, a necessidade de melhor manejo da calagem em solos mais arenosos. Quanto ao método utilizado para a recomendação do calcário, a maioria dos produtores (55 %) utiliza o da neutralização do Al e elevação dos teores de Ca e Mg no solo (método de MG). Todavia, a maioria dos agrônomos (67 %) utiliza outros métodos, principalmente para os solos arenosos (soma de bases-SB e pH a serem atingidos ou método de MG modificado, com valor de $2,8 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ para $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$). Grande

maioria dos produtores (91 %), e todos os agrônomos, fazem a correção da necessidade de calagem considerando o PRNT do calcário.

Quadro 4. Respostas dos produtores e agrônomos relacionadas à calagem

Nº	Resposta	Produtor		Agrônomo	
		%	Tipo de solo ou anos	%	Tipo de solo ou anos
8	Segue análise de solo para recomendação de calagem	55		50	
	Segue, mas aplica mais que o recomendado	36	27 % arg-med-aren ⁽¹⁾ 9 % aren	50	17 % med-aren 33 % aren
	Segue, mas aplica menos que o recomendado				
	Independente da análise de solo	9			
13	Dose recomendada para solo arenoso é inferior ao argiloso	37			
	Dose recomendada para solo arenoso é equivalente ao argiloso	27			
	Dose recomendada para solo arenoso é superior ao argiloso	27		100	
	Dose recomendada para solo arenoso é muito superior ao argiloso	9			
9	Utiliza método da saturação por bases para recomendação	36		33	
	Utiliza método da neutralização do Al e elevação de Ca e Mg para recomendação (MG)	55			
	Outros	9		67	50 % aren- SB ⁽¹⁾ e pH 17 % aren- método MG modificado
10	Faz correção da necessidade de calagem pelo PRNT do calcário	91		100	
	Não faz correção da necessidade de calagem pelo PRNT do calcário	9			
11 ⁽²⁾	Frequência média de reaplicação de calcário em solos argilosos		4,5 anos		4,5 anos
	Frequência média de reaplicação de calcário em solos de textura média		4,0 anos		4,0 anos
	Frequência média de reaplicação de calcário em solos arenosos		3,5 anos		4,0 anos
12	Para reaplicação do calcário é feita a análise de solo	100		100	
	Não é feita a análise de solo para reaplicação do calcário				

⁽¹⁾ arg = argiloso, med = textura média, aren = arenoso, SB = soma de bases.

⁽²⁾ Foi calculado o valor médio das respostas em anos.

Com relação à adubação (Quadro 5), a maioria dos produtores (64 %) e todos os agrônomos responderam que seguem a análise de solo para a recomendação de adubos.

Quadro 5. Respostas dos produtores e agrônomos relacionadas à adubação e adubação com P

Nº Quest	Resposta Adubação	Produtor		Agrônomo	
		%	Tipo de solo	%	Tipo de solo
14	Segue análise de solo para recomendação de adubação	64		100	
	Segue, mas aplica mais que o recomendado	18	aren		
	Segue, mas aplica menos que o recomendado				
	Independente da análise de solo	18			
3	Para soja cultivada em solo de cerrado, de média fertilidade, é comum a repetição das doses de fertilizantes anteriormente utilizadas	91	28 % arg-med-aren ⁽¹⁾ 9 % arg-aren 18 % med-aren 9 % arg 27 % aren	50	arg-med-aren
	Tem-se diminuído as doses (P em particular) nos anos subseqüentes	9	arg-med-aren	50	arg-med-aren
	Deixa-se de adubar em alguma safra				
Adubação com P					
15	Dose de P recomendada para solo arenoso é inferior ao argiloso	18		50	
	Dose de P recomendada para solo arenoso é equivalente ao argiloso	46		33	
	Dose de P recomendada para solo arenoso é superior ao argiloso	36		17	
16	Reduz, ou mesmo suprime, dose de P em solo arenoso, ao longo dos anos, pelo aproveitamento do efeito residual da cultura antecessora	27		50	
	Não reduz, ou mesmo suprime, dose de P em solo arenoso, ao longo dos anos, pelo aproveitamento do efeito residual da cultura antecessora	73		50	
24	Soja em solo arenoso não apresenta resposta mais pronunciada ao P	46		33	
	Soja em solo arenoso apresenta resposta mais pronunciada ao P aplicado a lanço				
	Soja em solo arenoso apresenta resposta mais pronunciada ao P aplicado no sulco	36			
	Soja em solo arenoso apresenta resposta mais pronunciada ao P aplicado a lanço e no sulco	18			
	Soja em solo arenoso apresenta resposta mais pronunciada ao P independente da sua forma de aplicação			67	
2 ⁽²⁾	Correção da fertilidade do solo em P deve ser feita em toda camada arável	73	37 % arg-med-aren 18 % arg-med 18 % arg	50	17 % arg-med-aren 33 % aren
	Correção da fertilidade do solo em P deve ser feita no sulco de semeadura	64	18 % arg-med-aren 9 % med-aren 37 % aren	67	50 % arg-med-aren 17 % arg-med

⁽¹⁾ arg = argiloso, med = textura média, aren = arenoso.

⁽²⁾ A porcentagem ultrapassa 100 % devido à possibilidade de mais de uma opção para resposta.

Dezoito por cento dos produtores aplicam mais adubos nos solos arenosos. Essa reposta poderia ser justificada pelo fato de os solos arenosos estarem sendo incorporados recentemente ao cultivo da soja e, assim, necessitarem de maiores doses de implantação. Enquanto os argilosos, com maior histórico de uso, já têm sua fertilidade melhorada, sendo utilizadas apenas doses de manutenção. Entretanto, verifica-se que as doses de fertilizantes aplicadas vêm sendo repetidas ao longo dos anos por 91 % dos produtores e 50 % dos agrônomos.

Quanto à adubação com P (Quadro 5), a maioria dos produtores (82 %), e metade dos agrônomos, aplicam doses mais elevadas de P nos solos arenosos, se comparados aos argilosos. Novamente, verifica-se incoerência nas respostas dadas pelos produtores e agrônomos e distanciamento do conhecimento teórico, em que, devido ao maior poder de adsorção do P em solos mais argilosos, doses mais elevadas deste nutriente são necessárias para atender à demanda da planta. Essa resposta pode ter ligação com o fato de que 73 % dos produtores e 50 % dos agrônomos responderam não ser possível reduzir a dose de P em solos arenosos em função do não aproveitamento do P residual de adubação da cultura antecessora e também pela resposta de 46 % dos produtores no sentido de que a soja cultivada em solo arenoso não apresenta resposta mais pronunciada ao adubo fosfatado. Quanto à forma de aplicação do P, é mais comum a aplicação em toda camada arável para 73 % dos produtores, principalmente nos solos argilosos e textura média. Enquanto a correção da fertilidade do solo em P no sulco de semeadura é mais comum para os agrônomos (67 %), para todos os tipos de solos (50 %) e nos argilosos e textura média (17 %). Mais uma vez, observa-se distanciamento do referencial teórico e a prática executada por produtores e agrônomos. Em função do maior PTP do solo argiloso, resultados de pesquisa (Bullen et al., 1983; Machado et al., 1983) evidenciam maior eficiência das aplicações no sulco de semeadura em relação à aplicação em área total e incorporada. Na aplicação localizada pode-se obter resultado semelhante à aplicação a lanço, com menor dose, o que resulta em ganho econômico.

As adubações com K (Quadro 6) são equivalentes ou superiores nos solos arenosos em comparação aos argilosos para todos os produtores e agrônomos. Solos arenosos podem apresentar maior perda de K por lixiviação, assim, requerem doses mais elevadas de K.

Quadro 6. Respostas dos produtores e agrônomos relacionadas às adubações com K, S e micronutrientes

Nº	Resposta	Produtor		Agrônomo	
Quest	Adubação com K	%	Tipo de solo ou dose	%	Tipo de solo ou dose
17	Dose de K recomendada para solo arenoso é inferior ao argiloso				
	Dose de K recomendada para solo arenoso é equivalente ao argiloso	18			
	Dose de K recomendada para solo arenoso é superior ao argiloso	82		100	
18	Faz potassagem	45	arg-med	67	17 % arg-med 50 % arg
	Não faz potassagem	55	aren ⁽¹⁾	33	aren ⁽¹⁾
19 ⁽²⁾	Dose limite no sulco de plantio que define a potassagem em solo argiloso		45 kg ha ⁻¹		50 kg ha ⁻¹
	Dose limite no sulco de plantio que define a potassagem em solo de textura média		45 kg ha ⁻¹		40 kg ha ⁻¹
	Dose limite no sulco de plantio que define a potassagem em solo arenoso		45 kg ha ⁻¹		30 kg ha ⁻¹
25	Deficiência de K em plantas de soja é mais comum em solos argilosos				
	Deficiência de K em plantas de soja é mais comum em solos de text. média				
	Deficiência de K em plantas de soja é mais comum em solos arenosos	73		100	
	Deficiência de K em plantas de soja independe do tipo de solo	27	arg-med-aren ⁽³⁾		
Adubação com S					
20	Tem sido feita adubação com S	82		100	
	Não tem sido feita adubação com S	18			
21	Dose de S recomendada para solo arenoso é inferior ao argiloso				
	Dose de S recomendada para solo arenoso é equivalente ao argiloso	55		50	
	Dose de S recomendada para solo arenoso é superior ao argiloso	45		50	
Adubação com micronutrientes					
22	Tem sido feita adubação com micronutrientes	100		100	
	Não tem sido feita adubação com micronutrientes				
23	Dose de micronutrientes recomendada para solo arenoso é inferior ao argiloso			17	
	Dose de micronutrientes recomendada para solo arenoso é equivalente ao argiloso	73		50	
	Dose de micronutrientes recomendada para solo arenoso é superior ao argiloso	27		33	

⁽¹⁾ Embora não houvesse a opção, nesta questão do questionário, para tipo de solo, os produtores e agrônomos reforçaram o “não” para solos arenosos.

⁽²⁾ Foi calculado o valor médio das respostas em kg ha⁻¹.

⁽³⁾ arg = argiloso, med = textura média, aren = arenoso.

Com estas doses mais elevadas nos solos arenosos, podem ocorrer danos às sementes e raízes de plantas de soja por efeito salino do adubo potássico. Uma alternativa para evitar isso, e ainda atender à demanda da planta em K, pode ser a prática da potassagem para esses solos. Entretanto, a potassagem, realizada por 45 e 67 % dos produtores e agrônomos, respectivamente, é em solos argilosos e textura média, havendo ênfase entre eles da não realização para os solos arenosos. Além disso, a dose limite de K_2O que define o uso dessa técnica é a mesma para todos os produtores, independente do tipo de solo (45 kg ha^{-1} de K_2O). Embora os agrônomos responderam doses limites de K_2O menores para os arenosos (30 kg ha^{-1}) eles não utilizam esta prática nestes solos. Essas constatações, aliadas à verificação pela maioria dos produtores (73 %), e por todos os agrônomos, de aparecimento de sintomas de deficiência de K com mais frequência nas plantas em solos arenosos, além do já discutido no texto, confirmam o mau manejo desse nutriente em solos arenosos, um dos fatores limitantes a produtividades mais elevadas.

Quanto ao S (Quadro 6), 82 % dos produtores e todos os agrônomos têm feito adubação com esse nutriente, sendo as doses aplicadas em solos arenosos equivalentes ou superiores aos argilosos.

As adubações com micronutrientes são realizadas por todos os produtores e agrônomos, e abrangem todos os elementos, com menor ocorrência do Fe (Quadro 6). Há também uma equivalência das fontes utilizadas, ou seja, sais hidrossolúveis para aplicações foliares, FTE, formulações e, em menor escala, de oxissulfatos. Em geral, as doses utilizadas nos solos arenosos, em relação aos solos argilosos, são equivalentes para 73 % dos produtores e superiores para 17 % deles. Entre os agrônomos, 17 % responderam que as doses são inferiores nos solos arenosos em relação aos argilosos, equivalentes para 50 % e superiores para 33 %. Estas respostas justificam os elevados teores foliares de micronutrientes que vêm sendo encontrados em plantas em solos arenosos, não sendo estes limitantes; alguma exceção deve ser feita ao B, como já discutido.

Com relação à sustentabilidade da produção de soja (Quadro 7), 27 % dos produtores e 17 % dos agrônomos responderam não ser possível mantê-la no sistema plantio direto (SPD) no cerrado, para os três tipos de texturas dos solos. Quarenta e cinco por cento dos produtores e 67 % dos agrônomos acreditam ser possível, desde que se viabilize a rotação de culturas, para todos os tipos de solos. Cinquenta e quatro por cento

dos produtores e 33 % dos agrônomos responderam ser possível, desde que se viabilize a integração lavoura-pecuária, para todos os tipos de solos, com mais ênfase nos argilosos e arenosos. Vinte e sete por cento dos produtores e 17 % dos agrônomos acreditam ser possível em quaisquer situações.

Quadro 7. Respostas dos produtores e agrônomos relacionadas à sustentabilidade da produção de soja

N ^o Quest	Resposta Sustentabilidade da produção de soja	Produtor		Agrônomo	
		%	Tipo de solo ou opinião	%	Tipo de solo ou opinião
4 ⁽¹⁾	Não é possível manter a sustentabilidade econômica e ambiental do cultivo de soja no cerrado no SPD	27	9 % arg-med-aren ⁽²⁾ 9 % med-aren 9 % aren	17	arg-med-aren
	É possível desde que se viabilize a rotação de culturas	45	27 % arg-med-aren 18 % arg	67	33 % arg-med-aren 17 % arg-med 17 % aren
	É possível desde que se viabilize a Integração Lavoura-Pecuária (ILP)	54	27 % arg-med-aren 9 % arg 18 % aren	33	16 % arg 17 % aren
	É possível em quaisquer situações	27	9 % arg-med-aren 9 % arg-med 9 % arg	17	arg-med-aren
5 ⁽¹⁾	A produtividade de soja, ao longo dos anos, sofre variações menores que 5 sc ano ⁻¹	36	18 % arg-med-aren 18 % arg-med	50	arg-med-aren
	A produtividade de soja, ao longo dos anos, sofre variações entre 5 e 10 sc ano ⁻¹	54	27 % arg-med-aren 9 % arg-med 18 % aren	67	17 % arg-med-aren 34 % arg 16 % med
	A produtividade de soja, ao longo dos anos, sofre variações maiores que 10 sc ano ⁻¹	36	9 % arg-med-aren 27 % aren	50	aren
6 ⁽¹⁾	A variação na produtividade de soja se deve, principalmente, ao clima	91	36 % arg-med-aren 9 % med-aren 46 % aren	100	50 % arg-med-aren 17 % arg-aren 33 % aren
	A variação na produtividade de soja se deve, principalmente, ao manejo da cultura antecessora	27	18 % arg-med-aren 9 % arg	50	17 % med-aren 33 % aren
	A variação na produtividade de soja se deve, principalmente, ao manejo da calagem	36	18 % arg-med-aren 9 % arg 9 % aren	67	17 % arg-med-aren 50 % aren
	A variação na produtividade de soja se deve, principalmente, ao manejo da adubação	18	9 % arg-med-aren 9 % med-aren	34	aren

⁽¹⁾ A porcentagem ultrapassa 100 % devido à possibilidade de mais de uma opção para resposta.

⁽²⁾ arg = argiloso, med = textura média, aren = arenoso.

Quadro 7. Continuação

Nº	Resposta	Produtor		Agrônomo	
		%	Tipo de solo ou opinião	%	Tipo de solo ou opinião
7	A soja cultivada em solo arenoso de cerrado apresenta potencial produtivo inferior ao solo argiloso	18		17	
	A soja cultivada em solo arenoso de cerrado apresenta potencial produtivo equivalente ao solo argiloso	64		33	
	A soja cultivada em solo arenoso de cerrado apresenta potencial produtivo superior ao solo argiloso	18		50	
26	Fator mais importante para o sucesso do cultivo de soja em solo argiloso	40	calagem	80	adubação
		40	adubação	20	clima
		20	clima		
	Fator mais importante para o sucesso do cultivo de soja em solo de textura média	40	calagem	60	adubação
40		adubação	20	clima	
		20	clima	20	cobertura vegetal
	Fator mais importante para o sucesso do cultivo de soja em solo arenoso	18	calagem	50	calagem/adubação
		46	clima	50	clima
		36	cobertura vegetal		
27	Expansão do cultivo da soja para áreas mais arenosas foi devido ao menor preço da terra	18		33	
	Foi devido à menor relação custo/benefício da produção				
	Foi devido à substituição de pastagens degradadas por soja	37		33	
	Foi devido à introdução do sistema ILP	27		17	
	Outro	18	Terra arenosa era a ainda disponível na fazenda	17	Aproveitamento de terras marginais
28	Com toda experiência, compraria terras em áreas com solos argilosos	45		100	
	Com toda experiência, compraria terras em áreas com solos de text. média	45		33 ⁽¹⁾	
	Com toda experiência, compraria terras em áreas com solos arenosos	10			

⁽¹⁾ Dois agrônomos responderam, além de solos argilosos, também textura média.

Quanto às variações em produtividade (Quadro 7), a maioria dos produtores (54 %) e dos agrônomos (67 %) registraram ser entre 5 a 10 sc ha⁻¹ ano⁻¹, com citações para todos os três tipos de texturas de solos. Variações maiores do que 10 sc ha⁻¹ ano⁻¹ foram registradas por 36 % dos produtores e 50 % dos agrônomos, com ênfase para os solos arenosos. Essas variações foram atribuídas ao clima por 91 % dos produtores e por todos os agrônomos, para todos os tipos de solos, mas com ênfase para os arenosos. O segundo fator mais citado como possível limitante foi a calagem (36 e 67 % dos produtores e agrônomos, respectivamente), principalmente para os solos arenosos. Esta ênfase dada à calagem para

os solos arenosos reforça a necessidade de melhoria do manejo da calagem em solos arenosos, já comentada anteriormente.

Em relação ao potencial produtivo, 82 % dos produtores e 83 % dos agrônomos responderam que a soja cultivada em solo arenoso apresenta potencial produtivo equivalente a superior à soja cultivada em solo argiloso.

Para os solos argilosos e textura média os agricultores consideram, igualmente, a calagem (40 %) e adubação (40 %) os fatores mais importantes para o sucesso do cultivo de soja. Os agrônomos consideram a adubação (80 e 60 % para os solos argilosos e textura média, respectivamente). Para os solos arenosos, os produtores consideram o clima (46 %) e a cobertura vegetal (36 %) como fatores mais importantes. Para os agrônomos são a calagem/adubação (50 %) e o clima (50 %).

Para os produtores os principais motivos de expansão do cultivo de soja para solos mais arenosos foram a substituição de pastagens degradadas pela soja (37 %) e a introdução do sistema integração lavoura-pecuária (27 %). Para os agrônomos foi o menor preço da terra (33 %) e a substituição de pastagens degradadas pela soja (33 %).

Por fim, perguntados sobre a compra de terra, não levando em consideração a relação custo/benefício, 45 % dos produtores comprariam áreas com solos argilosos, outros 45 % áreas com solos e textura média e 10 % áreas com solos arenosos. Todos os agrônomos responderam que comprariam áreas com solos argilosos, e dois (33 %) citaram, além dos argilosos, também os de textura média. Nenhum agrônomo compraria área com solos arenosos.

De forma geral, as maiores incoerências em relação ao conhecimento teórico são verificadas para a calagem e adubação de P e K, o que confirma, em muitos casos, o tradicionalismo no manejo da calagem e adubação, natural entre muitos produtores e agrônomos, além de confirmar, também, os problemas relacionados ao manejo do K e do Ca em discussões anteriores neste trabalho.

Há coincidência nas respostas de produtores e agrônomos para a maioria das perguntas, mas algumas disparidades são verificadas em relação à dose de calagem recomendada para solo arenoso em relação ao argiloso (superior para 27 % dos produtores e para 100 % dos agrônomos), métodos de recomendação de calagem, repetição das doses de adubos nos anos subseqüentes para 91 % dos produtores e 50 % dos agrônomos e o tipo

de terra a ser adquirida: solos argilosos e textura média para os produtores e predomínio dos argilosos para os agrônomos.

No espaço deixado para comentários, um produtor relatou que “Em solo arenoso, a distribuição do calcário bem feita é importantíssima; a adubação equilibrada e profunda e produzir o máximo de palhada”. Outro produtor comentou: “Solos argilosos são seguros, podemos trabalhar mais confiavelmente em relação ao clima. Solos arenosos são perigosos, necessitam de um plantio direto bem feito com correção (calagem) e excelente cobertura vegetal (palhada)”.

Um agrônomo fez o seguinte comentário: “Os solos arenosos se adaptam bem ao cultivo de soja, mas são mais limitados para safrinha, milho no verão e algodão. Por isso, a longo prazo, são mais limitados e perigosos, caso ocorra entrada de nematóides ou outras pragas ou doenças para a cultura cultivada (soja no caso)”.

4. CONCLUSÕES

1. O cultivo da soja em solos arenosos apresenta potencial produtivo equivalente ou mesmo superior aos solos argilosos, desde que seja adotado manejo adequado; entretanto, verifica-se a ocorrência de manejo inadequado principalmente da calagem e adubação potássica nos solos arenosos;

2. A sustentabilidade da produção de soja independe da textura do solo, sendo os principais determinantes desse fator as condições climáticas e o manejo;

3. Os nutrientes que mais se relacionaram com a produtividade de soja foram K e Ca;

4. As práticas de manejo da produção de soja utilizadas por produtores e agrônomos mostraram algumas incoerências com o conhecimento teórico, principalmente relacionadas à calagem, adubação fosfatada e potássica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, C.A.; FERREIRA, M.E. & BORKERT, C.M. Disponibilidade e avaliação de elementos catiônicos: zinco e cobre. In: Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura. FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P.; RAIJ, B. van & ABREU, C.A. eds. Jaboticabal, SP: CNPq/FAPESP/POTAFOS, 2001, 600p.

ALVAREZ V., V.H. & RIBEIRO, A.C. Calagem. In: CFSEMG. Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 5^a Aproximação. ANTÔNIO CARLOS RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G. & ALVAREZ V., V.H. eds. Viçosa, MG. 1999, 359p.

ALVAREZ V., V.H.; NOVAIS, R.F.; DIAS, L.E. & OLIVEIRA, J.A. Determinação e uso do fósforo remanescente. Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 25:27-32, 2000.

ALVAREZ V., V.H. Correlação e calibração de métodos de análise de solos. In: O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado. ALVAREZ V., V.H.; FONTES, L.E.F. & FONTES, M.P.F. eds. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. p.615-646.

AMARAL, A. S.; ANGHINONI, I.; HINRICHS, R. & BERTOL, I. Movimentação de partículas de calcário no perfil de um Cambissolo em plantio direto. R. Bras. Ci. Solo, 28:359-367, 2004.

AMARAL SOBRINHO, N.M.B.; VELLOSO, A.C.X.; COSTA, L.M. & OLIVEIRA, C. Formas químicas de zinco e sua absorção por plantas de milho cultivadas em solo tratado com resíduo siderúrgico. R. Bras. Ci. Solo, 18:313-320, 1994.

ANA – Agência Nacional de Águas. Sistema de Informações hidrológicas – Hidroweb. Disponível em: <<http://www.hidroweb.ana.gov.br>> Acesso em: 30 ago. 2006.

ASSAD, E.D.; SANO, E.E.; MASUTOMO, R.; CASTRO, L.H.R. & SILVA, F.A.M. Veranicos na região dos cerrados brasileiros: frequência e probabilidade de ocorrência. Pesq. Agrop. Bras., 28:993-1003, 1993.

BAHIA FILHO, A.F.C. & BRAGA, J.M. Fósforo em Latossolos do estado de Minas Gerais. I. Intensidade e capacidade tampão de fósforo. Experimentiae, 19:17-32, 1975.

BAHIA FILHO, A.F.C.; BRAGA, J.M.; RIBEIRO, A.C. & NOVAIS, R.F. Sensibilidade de extratores químicos à capacidade tampão de fósforo. R. Bras. Ci. Solo, 7:243-249, 1983

BARBER, S.A. Soil nutrient bioavailability. A mechanistic approach. New York, Wiley-Interscience, 1995. 414p.

BEDIN, I.; FURTINI NETO, A.E.; RESENDE, A.V.; FAQUIN, V.; TOKURA, A.M. & SANTOS, J.Z.L. Fertilizantes fosfatados e produção da soja em solos com diferentes capacidades tampão de fosfato. R. Bras. Ci. Solo, 27:639-646, 2003.

BELLINGIERI, P.A. Avaliação em laboratório da eficiência de diferentes frações granulométricas de calcários agrícolas. Piracicaba, 1983. 99p. (Tese de Doutorado)

BORKERT, C.M.; PAVAN, M.A. & BATAGLIA, O.C. Disponibilidade e avaliação de elementos catiônicos: ferro e manganês. In: Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura. FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P.; RAIJ, B. van & ABREU, C.A. eds. Jaboticabal, SP: CNPq/FAPESP/POTAFOS, 2001, 600p.

BOSATTA, E. & AGREN, G. Theoretical analyses of soil texture effects on organic matter dynamics. Soil Biol. Biochem., 29:1633-1638, 1997.

BOYNTON, R.S. Chemistry and technology of lime and limestone. Washington. 1966. 520p.

BRAIDA, J.A.; CAMARGO, F.A.O.; ROSSO, I.J.; GIANELLO, C. & MEURER, E.J. Comparação de métodos de determinação da disponibilidade de fósforo do solo para as plantas. R. Bras. Ci. Solo, 20:345-347, 1996.

BULLEN, C. W., SOPER, R. J. & BAILEY, D. Phosphorus nutrition of soybeans as affected by placement of fertilizer phosphorus. Can. J. Soil Sci., 63: 199-210, 1983.

CAIRES, E.F.; CHUEIRI, W.A.; MADRUGA, E.F. & FIGUEIREDO, A. Alterações de características químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na superfície em sistema de cultivo sem preparo do solo. R. Bras. Ci. Solo, 22:27-34, 1998.

CHAGAS, A.C. Propriedades físicas, mecânicas, químicas e micromorfológicas de um Latossolo Vermelho sob cerrado e submetido a dois sistemas de manejo, em Dom Aquino, MT. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2004. 68p. (Tese de Mestrado)

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/download/indicadores/0207-balanca-saldo.pdf>> Acesso em: 31 mai. 2006.

COUTO, C.; NOVAIS, R.F.; TEIXEIRA, J.L.; BARROS, N.F. & NEVES, J.C.L. Níveis críticos de Zn no solo e na planta para o crescimento de milho em amostras de solos com diferentes valores de fator capacidade. R. Bras. Ci. Solo, 16:79-87, 1992.

COWAN, D. Soil Fertility versus Soil Productivity. Disponível em: <http://www.agtest.com/articles/Soil_Fer.htm> Acesso em: 07 mai. 2006.

COX, F.R. & LINS, D.G. A phosphorus soil test interpretation for corn grown on acid soils varying in crystalline clay content. Commun. Soil Sci. Plant Anal., 15:1481-1491, 1984.

DALAL, R.C. & HALLSWORTH, E.G. Evaluation of the parameters of soil phosphorus availability factors in predicting yield response and phosphorus uptake. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 40:541-546, 1976.

DELAZARI, P.C.; BRAGA, J.M. & NOVAIS, R.F. Parâmetros de fósforo em função de características químicas e físicas de solos. *R. Bras. Ci. Solo*, 7:55-60, 1983.

FAGERIA, N.K.; STONE, L.F. & SANTOS, A.B. Maximização da eficiência de produção das culturas. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia; Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. 294p.

FARRINGTON, P. & CAMPBELL, N.A. Properties of deep sandy soils and the growth of lovegrass, *Eragrostis curvula* (Schrud) Nees. *Aust. J. Soil Res.*, 8:123-132, 1970.

FERREIRA, M.M. Física do Solo. Esal/Faepe. 1990. 63p.

FONTES, R.L.F.; ABREU, C.A. & ABREU, M.F. Disponibilidade e avaliação de elementos aniônicos. In: Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura. FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P.; RAIJ, B. van & ABREU, C.A. eds. Jaboticabal, SP: CNPq/FAPESP/POTAFOS, 2001, 600p.

FREIRE, F.M.; NOVAIS, R.F.; BRAGA, J.M.; FRANÇA, G.E.; SANTOS, H.L. & SANTOS, P.R.R.S. Adubação fosfatada para a cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) baseada no fósforo disponível em diferentes extratores químicos e no fator capacidade. *R. Bras. Ci. Solo*, 3:105-111, 1979.

GARRELS, R.M. & CHRIST, C.L. Solutions, minerals, and equilibria. New York, Harper and Row, 1965. 450p.

GERHARDT, E.J.; FINGER, C.A.G.; LONGHI, S.J. & SCHUMACHER, M.V. Contribuição da análise multivariada na classificação de sítios em povoamentos de *Araucaria augustifolia* (Bert.) O. Ktze., baseada nos fatores físicos e morfológicos do solo e no conteúdo de nutrientes da serapilheira. *Ciência Rural*, 11:41-57, 2001.

GIANELLO, C. & MIELNICZUK, J. Características químicas e físicas do solo que afetam a absorção de potássio por plantas de milho. *R. Bras. Ci. Solo*, 5:109-114, 1981.

GOEDERT, W.J.; LOBATO, E. & WAGNER, E. Potencial agrícola da região dos cerrados brasileiros. *Pesq. Agrop. Bras.*, 15:1-17, 1980.

GONÇALVES, J.L.M.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; NEVES, J.C.L. & RIBEIRO, A.C. Cinética de transformação de fósforo-lábil em não-lábil, em solos de cerrado. *R. Bras. Ci. Solo*, 13:13-24, 1989.

HINSINGER, P.; PLASSARD, C. & JAILLARD, B. Rhizosphere: a new frontier for soil biogeochemistry. *J. Geoch. Explor.*, 88:210-213, 2006.

HOLANDA, F.S.R.; MENGEL, D.B.; BERTONI, J.C.; CARVALHO, J.G. & PAULA, M.B. Avaliação da sensibilidade de alguns parâmetros em um modelo de absorção de fósforo e potássio pela cultura do milho (*Zea mays* L.). Ciênc. e Agrotec., 23:24-30, 1999.

HOLFORD, I.C.R. & MATTINGLY, G.E.G. Effects of phosphate buffering on the extraction of labile phosphate by plants and by soil tests. Aust. J. Soil Res., 17:511-514, 1979.

HOLFORD, I.C.R. & MATTINGLY, G.E.G. Phosphate adsorption and plant availability of phosphate. Plant Soil, 44:377-389, 1976.

HUNGRIA, M.; VARGAS, M.A.T. & CAMPO, R.J. A inoculação da soja. Londrina: EMBRAPA-CNPSo, 1997. 28p. (EMBRAPA-CNPSo. Circular Técnica, 17; EMBRAPA-CPAC. Circular Técnica, 34)

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção Agrícola Municipal. Disponível em:
<<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/acervo/acervo2.asp?ti=1&tf=99999&e=v&p=PA&z=t&o=10>> Acesso em: 31 mai. 2006.

KURIHARA, C.H. Demanda de nutrientes pela soja e diagnose de seu estado nutricional. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2004. 101p. (Tese de Doutorado)

LEITE, L.F.C. & MENDONÇA, E.S. Modelo Century de dinâmica da matéria orgânica do solo: Equações e pressupostos. Ciência Rural, 33:679-686, 2003.

LEPSCH, I.F.; SILVA, N.M. & ESPIRONELO, A. Relação entre a matéria orgânica e textura de solos sob cultivo de algodão e cana-de-açúcar, no estado de São Paulo. Bragantia, 41:231-236, 1982.

LIMA, R.O. Sustentabilidade da produção de soja no Brasil Central: características químicas do solo e balanço de nutrientes no sistema solo-planta. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2004. 65p. (Tese de Mestrado)

LINDSAY, W.L. Chemical equilibria in soils. New York, John Wiley & Sons. 1979. 450p.

LINS, I.D.G.; COX, F.R. & SOUSA, D.M.G. Teste de um modelo matemático para otimizar a adubação fosfatada na cultura da soja em solos sob cerrado com diferentes teores e tipos de argila. R. Bras. Ci. Solo, 13:65-73, 1989.

LOPES, A.S. & COX, F.R. Relação de características físicas, químicas e mineralógicas com fixação de fósforo em solos sob cerrado. R. Bras. Ci. Solo, 3:82-88, 1979.

LOPES, A.S. Solos sob “cerrado”: características, propriedades e manejo. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1984, 162p.: il.

- MACHADO, R.P.; NOVAIS, R.F.; BORGES, A.C. & SEDIYAMA, C.S. Efeito de localização de diferentes doses de fósforo no vaso sobre o comportamento da soja. R. Ceres, 30:308-318, 1983.
- MAEDA, S. Interpretação do estado nutricional de soja pelo DRIS no Mato Grosso do Sul. Curitiba, PR, Universidade Federal do Paraná, 2002. 107p. (Tese de Doutorado)
- MANFREDINI, S.; PADOVESE, P.P. & OLIVEIRA, J.B. Efeito da composição granulométrica da fração areia no comportamento hídrico de Latossolos de textura média e Areias Quartzosas. R. Bras. Ci. Solo, 8:13-16, 1984.
- MELLO, J.W.V.; RIBEIRO, A.C.; NOVAIS, R.F. & ALVAREZ V., V.H. Concentrações críticas de fósforo em plantas de arroz cultivadas em solos inundados. R. Bras. Ci. Solo, 17:211-216, 1993.
- MIRANDA, L.N. & VOLKWEISS, S.J. Relações entre a resposta da soja à adubação fosfatada e alguns parâmetros do solo. R. Bras. Ci. Solo, 5:58-63, 1981.
- MÜLLER, T. & HÖPER, H. Soil organic matter turnover as a function of the soil clay content: consequences for model applications. Soil Biol. Bioch., 36:877-888, 2004.
- MUNIZ, A.S.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F. & NEVES, J.C.L. Nível crítico de fósforo na parte aérea da soja como variável do fator capacidade de fósforo do solo. R. Bras. Ci. Solo, 9:237-243, 1985.
- NEMETH, J.C. & DAVEY, C.B. Site factors and net primary productivity of Young Loblolly Pine and slash plantations. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 38:968-970, 1974.
- NEUFELDT, H.; RESCK, D.V.S. & AYARZA, M.A. Texture and land-use effects on soil organic matter in Cerrado Oxisols, Central Brazil. Geoderma, 107:151-164, 2002.
- NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399 p.
- NOVAIS, R.F. A pesquisa em fertilidade do solo (no país) – como a vejo (e a sinto). In: O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado. ALVAREZ V.,V.H; FONTES, L.E.F. & FONTES, M.P.F. eds. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo; UFV, 1996. p.397-409.
- OLIVEIRA, M.F.G.; NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L.; ALVES, V.M.C. & VASCONCELLOS, C.A. Fluxo difusivo de zinco em amostras de solo influenciado por textura, íon acompanhante e pH do solo. R. Bras. Ci. Solo, 23:609-615, 1999.
- OLSEN, S.R.; KEMPER, W.D. & JACKSON, R.D. Phosphate diffusion to plant roots. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 26:222-227, 1962.

- PETRERE, C. & ANGHINONI, I. Alterações de atributos químicos no perfil do solo pela calagem superficial em campo nativo. R. Bras. Ci. Solo, 25:885-895, 2001.
- PLESE, L.P.M. Efeito da umidade do solo na reatividade das frações granulométricas de um calcário. Piracicaba, 2000. 49p. (Tese de Mestrado)
- PÖTTKER, D. & BEN, J.R. Calagem para uma rotação de culturas no sistema de plantio direto. R. Bras. Ci. Solo, 22:675-684, 1998.
- PROBERT, M.E. & MOODY, P.W. Relating phosphorus quantity, intensity, and buffer capacity to phosphorus uptake. Aust. J. Soil Res., 36:389-393, 1998.
- QUAGGIO, J. A.; MASCARENHAS, H.A.A. & BATAGLIA, O.C. Resposta da soja a aplicações crescentes de calcário em Latossolo Roxo distrófico de cerrado. II. Efeito residual. R. Bras. Ci. Solo, 6:113-118, 1982.
- RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H.; CAMARGO, A.P. & SOARES, E. Perdas de cálcio e magnésio durante cinco anos em ensaio de calagem. R. Bras. Ci. Solo, 6:33-37, 1982.
- REICHARDT, K.; LIBARDI, P.L.; VICTÓRIA, R.L. & VIEGAS, G.P. Dinâmica do nitrogênio num solo cultivado com milho. R. Bras. Ci. Solo, 3:17-20, 1979.
- RHEINHEIMER, D.S.; ANGHINONI, I. & KAMINSKI, J. Depleção do fósforo inorgânico de diferentes frações provocada pela extração sucessiva com resina em diferentes solos e manejos. R. Bras. Ci. Solo, 24:345-354, 2000.
- RHEINHEIMER, D.S.; KAMINSKI, J.; LUPATINI, G.C. & SANTOS, E.J.S. Modificações em atributos químicos de solo arenoso sob sistema de plantio direto. R. Bras. Ci. Solo, 22:713-721, 1998.
- ROMING, D.E.; GARLYND, M.J.; HARRIS, R.F. & MCSWEENEY, K. How farmers assess soil health and quality. J. Soil Water Cons., 50:229-236, 1995.
- ROSOLEM, C.A.; NAKAGAWA, J. & MACHADO, J.R. Adubação potássica da soja em Latossolo Vermelho-Escuro fase arenosa. Pesq. Agrop. Bras., 19:1319-1326, 1984.
- RUIZ, H.A.; FERNANDES, B.; NOVAIS, R.F. & ALVAREZ V., V.H. Efeito da umidade do solo sobre o volume e conteúdo de fósforo no exsudato xilemático de soja. R. Bras. Ci. Solo, 12:39-42, 1988.
- RUIZ, H.A.; FERNANDES, B.; NOVAIS, R.F. & ALVAREZ V., V.H. Teor, acúmulo e distribuição de fósforo em plantas de soja em relação ao conteúdo de água do solo. R. Bras. Ci. Solo, 14:181-185, 1990.
- SAGGAR, S.; PARSHOTAM, A.; SPARLING, G.P.; FELTHAM, C.W. & HART, P.B.S. ¹⁴C-labelled ryegrass turnover and residence times in soils varying in clay content and mineralogy. Soil Biol. Biochem., 28:1677-1686, 1996.

SANCHEZ, P.A.; PALM, C.A. & BUOL, S.W. Fertility capability soil classification: a tool to help assess soil quality in the tropics. *Geoderma*, 114:157-185, 2003.

SANTOS, F.C. Sistema de recomendação de corretivos e fertilizantes para a cultura da soja. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2002. 64p. (Tese de Mestrado)

SHUMAN, L.M. Zinc adsorption isotherms for soil clays with and without iron oxides removed. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 40:349-352, 1976.

SILVA, D.J.; ALVAREZ V., V.H. & RUIZ, H.A. Fluxo de massa e difusão de enxofre para raízes de milho em solos ácidos de Minas Gerais. *R. Bras. Ci. Solo*, 22:109-114, 1998.

SILVA, I.R.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F. & SILVA, E.F. Manejo de resíduos e matéria orgânica do solo em plantações de eucalipto: uma questão estratégica para a manutenção da sustentabilidade. *Boletim Informativo da R. Bras. Ci. Solo*, 29:10-20, 2004.

SILVA, J.E.; LEMAINSKI, J. & RESCK, D.V.S. Perdas de matéria orgânica e suas relações com a capacidade de troca catiônica em solos da região de cerrados do oeste baiano. *R. Bras. Ci. Solo*, 18:541-547, 1994.

SILVA, J.T.A. & BRAGA, J.M. Influência de características físicas e químicas sobre o fator capacidade tampão de fósforo em Latossolos do Estado de Minas Gerais. *R. Ceres*, 41:575-583, 1993.

SØRENSEN, L.H. The influence of stress treatments on the microbial biomass and the rate of decomposition of humified matter in soils containing different amounts of clay. *Plant Soil*, 75:107-119, 1983.

SPERA, S.T.; REATTO, A.; MARTINS, E.S.; CORREIA, J.R. & CUNHA, T.J.F. Solos areno-quartzosos no Cerrado: problemas, características e limitação ao uso. Planaltina: Embrapa Cerrados, 1999. (Documentos/Embrapa Cerrados, n.7)

SOUSA, D.M.G. & LOBATO, E. Correção da acidez do solo. In: Cerrado: correção do solo e adubação. Djalma Martinhão Gomes de Sousa, Edson Lobato eds. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 416p.

URQUIAGA CABALLERO, S.S.; LIBARDI, P.L.; REICHARDT, K.; MORAES, S.O. & VICTÓRIA, R.L. Lixiviação do nitrogênio proveniente do solo e do fertilizante ($^{15}\text{NH}_4$) $_2\text{SO}_4$ durante o ciclo de uma cultura de feijão. *Pesq. Agrop. Bras.*, 21:25-31, 1986.

VAN LAAR, A. Biomass parameters in studies of the effect of site and silviculture on production. In: Iufro World Congress, 17., 1981, Kyto. p.120-124.

VAN VEEN, J.A.; LADD, J.N. & AMATO, M. Turnover of carbon and nitrogen through the microbial biomass in a sandy loam and a clay soil incubated with [$^{14}\text{C}(\text{U})$]Glucose and [^{15}N](NH_4) $_2\text{SO}_4$ under different moisture regimes. *Soil Biol. Biochem.*, 17:747-756, 1985.

VILLANI, E.M.A.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; FONTES, L.E.F. & NEVES, J.C.L. Difusão de fósforo em solos com diferentes texturas e níveis de umidade. R. Bras. Ci. Solo, 17:343-347, 1993.

WANG, Q.; OTSUBO, K. & ICHINOSE, T. Digital map sets for evaluation of land productivity. Disponível em: <<http://www.iscgm.org/html4/pdf/forum2000/DrQinxueWang.pdf>> Acesso em: 06 out. 2005.