

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS**

**ABSORÇÃO DE FÓSFORO POR PLANTAS DE SOJA, COM O  
AUMENTO DO pH EM LATOSSOLOS ARGILOSOS**

**CARLOS ALBERTO VIVIANI**

**DOURADOS  
MATO GROSSO DO SUL – BRASIL  
2006**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS**

**ABSORÇÃO DE FÓSFORO POR PLANTAS DE SOJA, COM O  
AUMENTO DO pH EM LATOSSOLOS ARGILOSOS**

**CARLOS ALBERTO VIVIANI**  
**Engenheiro Agrônomo**

**Orientador: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Marlene Estevão Marchetti**

Dissertação apresentada à Universidade  
Federal da Grande Dourados, como requisito à  
obtenção do título de Mestre em Agronomia,  
área de concentração: Produção Vegetal

**DOURADOS**  
**MATO GROSSO DO SUL – BRASIL**  
**2006**

**ABSORÇÃO DE FÓSFORO POR PLANTAS DE SOJA, COM O  
AUMENTO DO pH EM LATOSSOLOS ARGILOSOS**

CARLOS ALBERTO VIVIANI

**Dissertação apresentada à Universidade Federal da Grande Dourados, como  
parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de  
MESTRE EM AGRONOMIA**

Aprovado em: 08 de junho de 2006

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Marlene Estevão Marchetti  
Orientadora  
UFGD/FCA

Prof. Dr. Antonio Carlos Tadeu Vitorino  
Co-Orientador  
UFGD/FCA

Prof. Dr. José Oscar Novelino  
Co-Orientador  
UFGD/FCA

Prof. Dr. Manoel Carlos Gonçalves  
Co-Orientador  
UFGD/FCA

Dr. Amoacy Carvalho Fabrício  
Membro da banca  
Embrapa Agropecuária Oeste

631.41 Viviani, Carlos Alberto  
V598a Absorção de fósforo por plantas de soja, com o aumento do pH em latossolos argilosos / Carlos Alberto Viviani. Dourados, MS : UFGD, 2006. 60 f.

Orientadora: Profª Drª Marlene Estevão Marchetti  
Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) -  
Universidade Federal da Grande Dourados.

1. pH do solo. 2. Latossolo. 3. Calcário. 4. Teor de P.  
5. Fósforo remanescente. 6. Fertilização fosfatada. I.  
Título.

Ficha catalográfica elaborada pelo setor de biblioteca UFGD

## **DEDICO**

*A Deus, por mais uma etapa vencida.*

*Aos meus pais Jamil e Carmem que, em nenhum momento deixaram de me apoiar, sempre me proporcionaram condições e me incentivaram a estudar.*

*À minha esposa Márcia, anjo da guarda presente em todos os meus caminhos, por seu amor, incentivo, amizade e compreensão pela minha ausência.*

*Aos meus filhos, Alberto e Henrique, razão de ser maior do que hoje faço, pela ternura, felicidade e esperança que trouxeram à minha vida. Obrigado por me ensinarem, com tanto amor, a difícil arte de ser pai.*

*À minha irmã Sônia e Famílias Bertão e Bonamigo, por fazerem parte da minha vida.*

## **AGRADECIMENTOS**

Às Universidades Federais de Mato Grosso do Sul – UFMS e da Grande Dourados – UFGD, pela grande oportunidade de crescimento pessoal e profissional no curso de graduação e agora no de mestrado.

À Professora Marlene Estevão Marchetti, orientadora criteriosa e zelosa, pela oportunidade que tive de desfrutar de seus ensinamentos, por seu apoio, paciência, confiança e pelo tempo dispendido nas freqüentes e profícuas trocas de idéia que tanto enriqueceram a mim e tornaram possível a conclusão deste trabalho.

Aos professores José Oscar Novelino, Antonio Carlos Tadeu Vitorino e Manoel Carlos Gonçalves e ao grande amigo Orlando Carlos Martins pela imprescindível colaboração como equipe orientadora e por suas importantes considerações.

Ao pesquisador Dr. Amoacy Carvalho Fabrício, por aceitar o convite para fazer parte da banca examinadora.

Aos funcionários e professores do Programa de Pós-graduação em Agronomia da Universidade Federal da Grande Dourados – UFGD/FCA, impecáveis em seus ofícios, que sempre encontraram disposição para prontamente atender às minhas dificuldades, pela dedicação e ensinamentos transmitidos.

Aos amigos Fábio Garcia Borges, grande parceiro desde a república universitária e Rodrigo de Oliveira Lima pelo fundamental apoio e por suas criteriosas contribuições.

Às Fazendas Paquetá e Ribeirão Agropecuária pelo apoio na realização dos trabalhos e fornecimento de informações.

Ao aluno da graduação Joil Vilhalva Silva por sua colaboração em tantas tarefas e pela grande dedicação no auxílio nas atividades em casa de vegetação e laboratório.

A todos que, em algum momento, dispensaram um pouco de sua atenção, talento e carinho para com este trabalho. Meu sincero obrigado.

## SUMÁRIO

	<b>Página</b>
<b>LISTA DE QUADROS</b> .....	viii
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	ix
<b>LISTA DE APÊNDICES</b> .....	x
<b>INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	1
<b>CAPÍTULO 1</b> .....	3
<b>RESUMO</b> .....	4
<b>ABSTRACT</b> .....	6
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	7
<b>2 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	11
2.1 Caracterização das áreas .....	11
2.2 Tratamentos e delineamento experimental .....	13
2.3 Curvas de neutralização de pH dos solos .....	13
2.4 Aplicação dos tratamentos e realização dos experimentos .....	14
2.5 Características avaliadas .....	15
2.6 Análises estatísticas .....	15
<b>3 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	16
3.1 Disponibilidade de P no solo .....	16
3.2 Fósforo remanescente .....	19
3.3 Produção de massa seca de plantas de soja .....	21
3.4 Fósforo acumulado na massa seca de plantas de soja .....	23
<b>4 CONCLUSÃO</b> .....	25
<b>5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	26
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	32
<b>RESUMO</b> .....	33
<b>ABSTRACT</b> .....	35
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	36
<b>2 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	40

2.1 Caracterização das áreas .....	40
2.2 Tratamentos e delineamento experimental .....	42
2.3 Curvas de neutralização de pH dos solos .....	42
2.4 Aplicação dos tratamentos e realização dos experimentos .....	43
2.5 Características avaliadas .....	44
2.6 Análises estatísticas .....	44
<b>3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>45</b>
3.1 Efeito da aplicação do calcário na linha de plantio .....	45
3.2 Efeito das doses de P .....	47
<b>4 CONCLUSÕES .....</b>	<b>49</b>
<b>5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>50</b>



## LISTA DE QUADROS

	<b>Página</b>
<b>Capítulo 1</b>	
Quadro 1. Resultados das análises químicas e físicas das amostras de solos coletadas antes da aplicação dos tratamentos.....	13
<b>Capítulo 2</b>	
Quadro 1. Resultados das análises químicas e físicas das amostras de solos coletadas antes da aplicação dos tratamentos.....	42
Quadro 2. Produção de massa seca, teores de P, Ca e Mg e conteúdo de P da parte aérea de plantas de soja em função de calcário no sulco de plantio, nos dois solos.....	45
Quadro 3. Produção de massa seca, teor e conteúdo de P da parte aérea de plantas de soja e teor de P no solo em função de adubo fosfatado no sulco de plantio, nos dois solos.....	47

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Página</b>
Figura 1. Teores de P extraído pela resina de troca iônica, em função do pH, para o Latossolo Vermelho distroférico da Fazenda Paquetá.	17
Figura 2. Teores de P extraído pela resina de troca iônica, em função do pH, para o Latossolo Vermelho distrófico da Fazenda Ribeirão.....	17
Figura 3. Teores de P extraído pela resina de troca iônica, em função do pH, para o Latossolo Vermelho distroférico da Fazenda Paquetá.	18
Figura 4. Teores de P extraído pela resina de troca iônica, em função do pH, para o Latossolo Vermelho distrófico da Fazenda Ribeirão.....	18
Figura 5. Teores de P remanescente, em função do pH, para o Latossolo Vermelho distroférico da Fazenda Paquetá.....	19
Figura 6. Teores de P remanescente, em função do pH, para o Latossolo Vermelho distrófico da Fazenda Ribeirão.....	20
Figura 7. Teores de P remanescente, em função do pH, para o Latossolo Vermelho distrófico da Fazenda Ribeirão.....	20
Figura 8. Produção de massa seca de parte aérea de plantas de soja, em função do pH, para o Latossolo Vermelho distroférico da Fazenda Paquetá.....	22
Figura 9. Produção de massa seca de parte aérea de plantas de soja, em função do pH, para o Latossolo Vermelho distrófico Fazenda Ribeirão.....	22
Figura 10. Fósforo acumulado na parte aérea de plantas de soja, em função do pH, para o Latossolo Vermelho distroférico da Fazenda Paquetá.....	23
Figura 11. Fósforo acumulado na parte aérea de plantas de soja, em função do pH, para o Latossolo Vermelho distrófico da Fazenda Ribeirão.....	23

## LISTA DE APÊNDICES

	<b>Página</b>
Apêndice 1. Resumo das análises de variância referentes a massa seca ( $\text{g vaso}^{-1}$ ), teores de P ( $\text{g kg}^{-1}$ ), Ca ( $\text{g kg}^{-1}$ ) e Mg ( $\text{g kg}^{-1}$ ) e total de P acumulado ( $\text{mg vaso}^{-1}$ ) na parte aérea da soja, teores de P ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) e P remanescente ( $\text{mg L}^{-1}$ ) no solo, em função dos níveis de pH, adubo fosfatado (P) e calcário para o LVd da Fazenda Ribeirão. Dourados-MS, 2006.....	56
Apêndice 2. Resumo das análises de variância referentes a massa seca ( $\text{g vaso}^{-1}$ ), teores de P ( $\text{g kg}^{-1}$ ), Ca ( $\text{g kg}^{-1}$ ) e Mg ( $\text{g kg}^{-1}$ ) e total de P acumulado ( $\text{mg vaso}^{-1}$ ) na parte aérea da soja, teores de P ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) e P remanescente ( $\text{mg L}^{-1}$ ) no solo, em função dos níveis de pH, adubo fosfatado (P) e calcário para o LVdf da Fazenda Paquetá. Dourados-MS, 2006.....	56
Apêndice 3. Atributos químicos do solo de cada vaso da Fazenda Ribeirão.....	57
Apêndice 4. Atributos químicos do solo de cada vaso da Fazenda Paquetá.....	58
Apêndice 5. Resultados de análises de tecidos vegetais da Fazenda Ribeirão.	59
Apêndice 6. Resultados de análises de tecidos vegetais da Fazenda Paquetá.	60

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é, atualmente, a principal “commodity” agrícola brasileira na pauta de exportação, tendo assumido o espaço tradicionalmente ocupado pelo café. O Brasil é o segundo maior produtor de soja do mundo, situando-se entre os EUA e a Argentina, com 27,2 % da produção mundial em 2005. No Brasil, segundo levantamento da Fundação Getúlio Vargas, a cadeia produtiva da soja participa com aproximadamente 20 % do PIB do agronegócio, correspondendo a mais de US\$ 35 bilhões ao ano (CONAB, 2005).

No Brasil, os custos de produção são 25% inferiores aos dos EUA (Embrapa, 2005a), porém cerca de 100% superiores aos da Argentina, que dispõe de cerca de 10 milhões de hectares para ingresso no cultivo com soja, praticamente sem necessidade de fertilizantes. Grande parte da área existente no Brasil, disponível para incorporação ao processo produtivo de soja encontra-se em terras sob cerrado. Nestes solos, altamente intemperizados, predominam latossolos ácidos, lixiviados, pobres em nutrientes, especialmente fósforo (P) disponível, são necessários elevados investimentos iniciais em corretivos e fertilizantes, bem como adubações anuais para se corrigir deficiências e desequilíbrios nutricionais que, geralmente, correspondem a cerca de um terço dos custos de produção de soja no Brasil.

Nos últimos anos têm-se observado um aumento real nos custos, impulsionados pelas altas cotações atingidas pelo petróleo e seus derivados, aumento dos preços dos fertilizantes e gastos no controle da ferrugem asiática, permitindo aos agricultores lucratividade cada vez menor na atividade. Tal situação impõe aos agricultores e técnicos trabalharem em níveis de produtividade mais elevados, exigindo-se conhecimentos técnicos que permitam atingir e manter esses níveis de produtividade. A busca de maiores produtividades com maior rentabilidade passa também, de modo geral, pela melhoria dos atributos do solo e da nutrição vegetal.

Em solos de cerrado a fertilização fosfatada geralmente representa a maior parcela dos custos de adubação e, é indispensável, uma vez que o P é um dos nutrientes mais limitantes da produtividade de biomassa nesses solos tropicais. Plantas de cultivo anual, como a soja, imobilizam em toda a sua biomassa aproximadamente 20 kg ha<sup>-1</sup> de P para produzir 3.000 kg de grãos. No entanto, para

que o P esteja disponível para as plantas são necessárias grandes quantidades de fertilizantes fosfatados, pois alguns destes solos podem adsorver quantidades tão altas quanto  $2 \text{ mg cm}^{-3}$  de P (Fernández R., 1995), valor esse equivalente a  $9.200 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ , considerando a camada superficial de 20 cm. Neste sentido, é essencial o desenvolvimento de práticas de manejo que aumentem a eficiência da adubação fosfatada, reduzindo a adsorção de P e permitam à planta recuperar uma maior proporção do nutriente adsorvido pelo solo. Muitos agricultores atingem, atualmente níveis de produtividade elevados, sendo comum áreas com produtividades superiores a  $3.600 \text{ kg ha}^{-1}$  de soja, que impõe a necessidade de um refinamento técnico para que se possa manter ou tentar elevar este nível de produtividade.

Uma questão muito discutida entre técnicos e agricultores é a melhor saturação por bases (V) para se trabalhar em cada situação. Muitos técnicos têm recomendado aos agricultores trabalharem com V mais baixos (35 a 40%), para se evitar problemas de deficiência com micronutrientes, principalmente. Tal prática, no entanto, apesar de minimizar desequilíbrios com micronutrientes, têm limitado a obtenção e manutenção de produtividades mais elevadas.

O uso adequado de calcário para que se possa aproveitar melhor o P aplicado no ano e o residual do solo, especialmente em solos cultivados e adubados por muitos anos, pode ser uma prática viável, uma vez que o calcário tem custo muito inferior aos adubos fosfatados e apresenta efeito residual, podendo significar importante incremento na margem de lucro do agricultor.

Os objetivos deste trabalho foram: a) avaliar o efeito do pH do solo e da aplicação de adubo fosfatado e calcário na linha de plantio em latossolos argilosos com elevados níveis de fertilidade sobre a disponibilidade de P no solo e o acúmulo desse elemento em plantas de soja; b) obter valores de pH do solo mais adequados para a cultura da soja em relação à absorção de P e c) verificar o efeito da aplicação de calcário e de adubo fosfatado na linha de plantio na disponibilidade de P para a soja.

**CAPÍTULO 1**  
**DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO EM DOIS LATOSSOLOS ARGILOSOS E SEU**  
**ACÚMULO EM PLANTAS DE SOJA, EM FUNÇÃO DO AUMENTO DO pH**

# DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO EM DOIS LATOSSOLOS ARGILOSOS E SEU ACÚMULO EM PLANTAS DE SOJA, EM FUNÇÃO DO AUMENTO DO pH

**Autor: Carlos Alberto Viviani**

**Orientadora: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Marlene Estevão Marchetti**

## RESUMO

O melhor aproveitamento do P aplicado no ano e do residual do solo favorecido pelo uso adequado de calcário, especialmente em solos cultivados e adubados por muitos anos, pode ser uma prática economicamente viável, uma vez que o calcário tem custo muito inferior aos adubos fosfatados, podendo significar importante incremento na margem de lucro do agricultor.

Foram realizados dois experimentos em casa de vegetação da Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Grande Dourados, com os seguintes objetivos: avaliar o efeito do aumento do pH do solo e da aplicação de adubo fosfatado e calcário na linha de plantio em dois latossolos argilosos, com elevados níveis de fertilidade, sobre a disponibilidade de P no solo e o acúmulo desse elemento em plantas de soja e obter valores de pH do solo mais adequados para a cultura da soja em relação à absorção de P. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, em esquema fatorial 4x2x2, com quatro repetições, sendo: quatro níveis de pH (pH original de cada solo, 6,0, 6,5 e 7,0, em  $\text{CaCl}_2$  0,01mol L<sup>-1</sup>), duas doses de P (0 e 21,82 mg dm<sup>-3</sup>) e duas doses de calcário (0 e 100 mg dm<sup>-3</sup>), respectivamente para um Latossolo Vermelho distrófico (LVd) de Chapadão do Sul - MS e um Latossolo Vermelho distroférico (LVdf) de Ponta Porã - MS. Em cada unidade experimental (vaso de 4,0 dm<sup>-3</sup>), cultivaram-se quatro plantas de soja cv. BRS 133 até a floração. Avaliou-se: peso da massa seca, teor e acúmulo de P na parte aérea; teor de P e P remanescente no solo.

A disponibilidade de P no solo, avaliada pelos teores de P extraídos pela resina de troca iônica, aumentou significativamente com o pH dos solos. Para o LVdf houve interação significativa entre pH e doses de P, os teores de P no solo aumentaram com o pH e com a aplicação de P. Para o LVd houve interação entre

pH e doses de calcário aplicado na linha de plantio, e na ausência desse houve tendência de aumento dos teores de P no solo com o pH. O P remanescente foi significativamente reduzido pelo aumento do pH em ambos os solos. Nos dois experimentos, com o aumento do pH do solo houve incremento na produção de massa seca e de P acumulado na parte aérea da soja. Em solos argilosos e com alto teor de P a elevação do pH aumenta a disponibilidade de P, proporcionando maior produção de massa seca de soja.

Palavras-chave: calcário, fósforo remanescente, teor de P, fertilização fosfatada.



# AVAILABILITY OF PHOSPHORUS IN TWO CLAYEY LATOISOILS AND ITS ACCUMULATION IN SOYBEAN AS A FUNCTION OF THE INCREASE IN PH

Author: Carlos Alberto Viviani

Adviser: Professor Dr. Marlene Estevão Marchetti

## ABSTRACT

To take better advantage of the P applied along the year and of the soil residual by the adequate use of lime, especially in soils cultivated and manured for many years, may be an economically viable practice, as lime is much less expensive than phosphate fertilizers, which may imply important increment in the profit margin for the farmer. Two experiments were carried out in green house at the College of Agricultural Sciences of the Federal University of Dourados, Dourados, State of Mato Grosso do Sul, Brazil, with the following objectives: to evaluate the effect of the increase in the soils pH and application of phosphate fertilizers and lime in the sowing lines in clayey latosols with high fertility levels, on the availability of P in the soil and the accumulation of this element in soy bean plants and to obtain values for the most adequate pH for the soy bean crop with respect to the absorption of P. The experimental design used was of randomized blocks, in 4x2x2 factorial scheme, with four repetitions, as follows: Four levels of pH (original pH of each soil 6.0, 6.5, and 7.0, in  $\text{CaCl}_2$  0,01 mol L<sup>-1</sup>), two doses of P (0 and 21.82 mg dm<sup>-3</sup>), and two doses of lime (0 and 100 mg dm<sup>-3</sup>) respectively for a red dystrophic Latosol (LVd) from the southern highland plane, and red dystrophic Latosol (LVdf) from Ponta Porã, in the State of Mato Grosso do Sul, Brazil. In each experimental unit (4,0 dm<sup>-3</sup> vase), four cv.BRS 133 soy bean plants was grown up till flower emergence. The following was evaluated: weight of dry matter, content of P in the aerial part of the plant and P remaining in the soil. The availability of P in the soil, evaluated by the content of P extract from the ion exchange resin, increased significantly with the pH of the soil. For the PVdf a significant interaction between pH and doses of P, was observed, with the P content of the soil increasing with pH and with the application of P. For LVd an interaction between pH and doses of lime applied in the sowing line was observed, and in its absence a tendency to an increase in the P content in the soil with pH was observed. The P remaining in the soil was significantly reduced by the increase in pH in both soils. In both experiments with increase of the pH of the soil an increase in the production of dry matter and accumulation of P in the aerial part of the plant was observed. In clayey latosols and with high P content the increase in pH increases the availability of phosphorus, leading to a higher production of soy bean dry matter.

Key words: lime, remaining phosphorus, P content, phosphate fertilizers.

## 1 INTRODUÇÃO

O crescimento da produção da soja no Brasil está ligado à expansão dessa cultura na região dos cerrados, viabilizada, essencialmente, pelo desenvolvimento de cultivares adaptados e de associações soja-rizóbio eficientes na fixação biológica de N e pela utilização da prática da calagem e da adubação fosfatada (Raij *et al.*, 1977; Souza *et al.*, 1993; Döbereiner, 1997; Novais e Smyth, 1999). Os solos da região Centro Oeste brasileira ocupam atualmente posição de destaque no cenário agrícola nacional, pois, apesar de serem ácidos e de baixa fertilidade, apresentam condições físicas favoráveis ao desenvolvimento das culturas e relevo plano de fácil mecanização (Piaia, 2000). Solos dessa natureza, uma vez corrigidos quimicamente, apresentam grande potencial agrícola, possibilitando uma agricultura tecnificada com elevadas produtividades.

A acidificação dos solos ocorre de modo especial, em regiões tropicais úmidas e deve-se à substituição de cátions trocáveis ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ) por íons  $\text{H}^+$  e  $\text{Al}^{3+}$  no complexo de troca, absorção de cátions básicos pelas plantas e, também, pelo uso de fertilizantes de caráter ácido. Sob condições de alta precipitação pluviométrica, a percolação da água através do perfil promove a lixiviação de uma grande quantidade de íons que se encontram na solução do solo. Com aumento do pH, o alumínio e a sílica geralmente não permanecem em solução, mas sofrem reações para formarem aluminossilicatos ou óxidos, restando apenas os cátions básicos na solução do solo (ou na forma trocável) em quantidades apreciáveis (Alvarez V. *et al.*, 1993).

O Al em concentração elevada, além de ser tóxico às plantas, pode interferir na disponibilidade de outros nutrientes. O exemplo mais típico desse efeito refere-se à solubilidade do fosfato no solo, que tende a reagir com o Al solúvel, formando fosfatos de Al (P-Al) de baixa solubilidade em solos ácidos. Existem evidências de que a disponibilidade de P em solos ácidos altamente intemperizados é governada, principalmente, pelo fosfato ligado a alumínio, que aparentemente é a forma mais lábil de P no solo (Alvarez V. *et al.*, 1993; Novais e Smyth, 1999), comparando-se às demais formas no solo.

Dentre os atributos do solo o pH, índice que indica o grau de acidez ativa do solo, talvez seja, isoladamente, o mais relevante, no que tange a utilização de fertilizantes. De maneira especial, a disponibilidade de nutrientes contidos no solo,

ou a ele adicionado por meio das adubações é bastante variável em função do pH do solo (Malavolta *et al.*, 1997). A disponibilidade de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), enxofre (S), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e boro (B), tende a aumentar, com a elevação do pH atingindo valores máximos próximos a pH 7,0, enquanto o aumento na disponibilidade de cloro (Cl) e molibdênio (Mo) é praticamente linear até pH 8,0. Por outro lado, a disponibilidade de ferro, cobre, manganês e zinco apresentam relação inversa, ou seja, diminuem com a elevação do pH. O ponto relevante é que os efeitos do pH enfatizam a necessidade de se buscar um meio termo de máxima eficiência (Piaia, 2000).

Assim, a calagem prévia dos solos ácidos, além de proporcionar aumento do pH e da saturação por bases, promove a neutralização do alumínio e de grande parte do ferro e do manganês aumentando a atividade biológica e a eficiência dos fertilizantes, resultando ainda em diminuição na capacidade de fixação via precipitação do P, favorecendo conseqüentemente o desenvolvimento vegetal (Sousa *et al.*, 1989; Lopes e Guilherme, 1992; Vale *et al.*, 1997, Ernani *et al.*, 1996). Provavelmente, os múltiplos efeitos da calagem que proporcionam melhores condições para a expansão do sistema radicular das plantas e, conseqüentemente, maior absorção de nutrientes, condiciona um aumento da produtividade de diversas culturas. Contudo, deve-se evitar a calagem excessiva que pode ocasionar a precipitação de diversos nutrientes do solo, como P, zinco, ferro, cobre, manganês tornando-os indisponíveis para as plantas, acarretando, dentre outras coisas, decréscimos na produção, além de maior predisposição do solo a danos físicos (Sfredo *et al.*, 1996; Alvarez V. *et al.*, 1993).

Em geral, tem-se recomendado a calagem para a cultura da soja para elevar a saturação por bases entre 45 a 60 % (Mascarenhas e Tanaka, 1997; Novais, 1999), o que implica em pH em  $\text{CaCl}_2$  0,01 mol L<sup>-1</sup> do solo em torno de 4,8 a 5,2 (Raij, 1991). Dados obtidos experimentalmente e em propriedades rurais na região dos cerrados têm demonstrado que a produção de grãos de soja aumenta com saturação por bases até 35 %, estabilizando-se entre os valores de 35 a 50 %, com um decréscimo na produção, acompanhado por deficiência de Zn e Mn, quando a saturação de bases ultrapassa 60 % (Souza *et al.*, 1989). Kliemann *et al.* (1997), cultivando soja durante três anos obtiveram aumento de produção devido à aplicação de doses crescentes de superfosfato simples e calcário. Conforme relatado por esses autores, o calcário aumentou a eficiência do superfosfato

simples, no entanto, quantidades excessivas de calcário diminuíram a produtividade.

Em relação ao P, os solos de regiões tropicais, particularmente aqueles mais intemperizados apresentam baixos teores de P disponíveis para as plantas e exigem adequada correção da deficiência de P para entrarem no processo de produção agrícola (Lins *et al.*, 1989; Novelino, 1999). Os solos sob vegetação de cerrado são altamente intemperizados, com baixos valores de pH, além de possuírem quantidades relativamente elevadas de óxido de ferro e de alumínio. Os íons fosfato liberados pela dissolução de fertilizantes fosfatados adicionados a esses solos são instáveis, podendo ser passíveis de reações que levam a precipitação ou adsorção dos mesmos (Sanzonevicz *et al.*, 1987).

Devido ao fato do caráter drenado de P desses solos, principalmente aqueles com maior capacidade tampão de P (FCP), ser muito superior ao caráter fonte, há uma forte competição do solo com a planta pelo P aplicado como fertilizante (Novais e Smyth, 1999). Embora as culturas normalmente necessitem de pequenas quantidades de P, as doses aplicadas ao solo são relativamente elevadas, haja visto que grande parte do P aplicado é adsorvido ao solo tornando-o menos disponível às plantas (Novelino, 1999; Novais e Smyth, 1999; Oliveira *et al.*, 2000).

O conteúdo de matéria orgânica e o tipo de fertilizante utilizado influenciam na capacidade de fixação de P pelos solos (Fasbender, 1984, citado por Neves, 2003). Como alternativa para o manejo adequado da adubação fosfatada em solos com elevado valor de capacidade máxima de adsorção de fosfato (CMAP) tem-se a redução do contato da fonte de P com o solo, particularmente a mais solúvel, por meio da aplicação localizada do fertilizante, utilização de fertilizantes granulares, diminuição do tempo de contato do fertilizante com o solo, ou, até mesmo, o parcelamento da aplicação de P.

Os mecanismos de adsorção de P nos solos, conforme citados anteriormente, são afetados principalmente pela competição com outros ânions e pelo pH, sendo o último, talvez, o fator mais importante neste fenômeno. Por um lado, o pH interfere na quantidade de cargas positivas, ou seja, nos grupamentos protonados da superfície e por outro lado indica o  $pK_a$  ou a constante de dissociação dos ácidos conjugados dos ânions (Cornell e Schwertmann, 2000), como consequência, a adsorção de P deve ser máxima com baixos valores de pH.

Neste sentido, com o aumento do pH, a carga superficial das partículas do solo torna-se cada vez mais negativa, aumentando a repulsão (menor adsorção) entre fosfato e superfície adsorvente, diminuindo o potencial eletrostático do plano de adsorção (Haynes, 1984; Barrow, 1985). Bar-Yosef *et al.* (1988) constataram, para caulinita, aumento na adsorção de P com aumento da força iônica e decréscimo do pH, com valores máximos de adsorção em torno de  $6 \mu\text{mol g}^{-1}$  de P quando trabalhando em pH 6,0. Contudo, conforme já mencionado, com o aumento do pH, diminui a presença da forma  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ , em relação a  $\text{HPO}_4^{2-}$ , esta (bivalente) preferencialmente adsorvida, contrabalanceando o decréscimo no potencial eletrostático do plano de adsorção. Sato e Comerford (2005), avaliando a influência do pH do solo na adsorção e dessorção de P num Ultisol úmido brasileiro, constataram que a adsorção de P diminuiu até 21% e 34% com o aumento do pH de 4,7 para 5,9 e 7,0, respectivamente.

A eficiência da adubação fosfatada depende, dentre outros fatores, do teor inicial de P no solo, da dose de P aplicada, do volume de solo adubado e da distribuição do sistema radicular entre as frações do solo adubadas com P e aquelas não adubadas (Klepker e Anghinoni, 1995). Com relação à distribuição do sistema radicular, Novais e Smyth (1999) advertem que o menor volume de raízes em local restrito, mesmo que rico em P pode não ser suficiente para suprir de todo o P necessário. Esses autores ainda chamam a atenção para a necessidade da fração de solo não fertilizada com P possuir teor mínimo de P disponível, de modo que seja aumentada não somente a absorção de P pela planta, mas também de N.

Assim, os objetivos deste trabalho foram avaliar o efeito do aumento do pH do solo e da aplicação de calcário com adubo fosfatado na disponibilidade de P no solo e o acúmulo desse elemento em plantas de soja e, obter valores de pH do solo adequados para a cultura da soja em relação à disponibilidade de P.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Caracterização das áreas

No período de novembro de 2004 a janeiro de 2005, foram realizados dois experimentos em casa de vegetação da Faculdade de Ciências Agrárias (FCA) da Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), Dourados, MS (22°11'55" S, 054°56'07" W e 452 m de altitude), cujo clima é, segundo Köppen, Mesotérmico Úmido (Mato Grosso do Sul, 1990).

Para realização dos experimentos foram coletadas amostras de dois latossolos de classes representativas dos solos mais utilizados para cultivo de soja no Brasil. Para coleta das amostras foram selecionadas duas áreas cultivadas durante o verão com soja e milho e no inverno com milho safrinha, milheto e aveia, ininterruptamente, por mais de 20 anos, utilizando-se fertilizantes e corretivos para obtenção de elevadas produtividades. Nos últimos 10 anos as duas áreas foram cultivadas sob sistema de cultivo mínimo, com semeadura de milho, milheto ou aveia logo após a colheita da soja ou milho no plantio de verão, ou milheto logo após as primeiras chuvas da primavera.

No experimento 1, foi utilizado o Latossolo Vermelho distrófico (LVd), textura argilosa, originário de deposição detrito-laterítica, coletado no município de Chapadão do Sul (MS). A coleta foi realizada em talhão comercial de soja (18°45'49" S; 052°55'36" W) pertencente à Ribeirão Agropecuária. A altitude média da Ribeirão Agropecuária é de 820 metros e a precipitação média entre 1990 e 2004 foi de 1971 mm anuais, variando entre 1725 e 2216 mm (Ribeirão Agropecuária, 2005<sup>1</sup>).

No experimento 2, foi utilizado o Latossolo Vermelho distroférico (LVdf), textura argilosa, originário da alteração do basalto, coletado no município de Ponta Porã (MS). A coleta foi realizada em talhão comercial de soja (22°21'51" S; 055°06'04" W) pertencente à Fazenda Paquetá. A altitude média da propriedade é de 410 metros e a precipitação média foi de 1376 mm anuais, com valores entre 1152 e 1600 mm, nos últimos 20 anos (Fazenda Paquetá, 2005<sup>2</sup>).

---

<sup>1</sup> Ribeirão Agropecuária, 2005. Comunicação pessoal.

<sup>2</sup> Fazenda Paquetá, 2005. Comunicação pessoal.

As amostras de solo foram coletadas na camada de 0 a 20 cm de profundidade, em áreas sob resteva de soja, tomando-se 20 amostras simples para formar uma amostra composta, que foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira com malha de 2 mm, homogeneizadas, sub-amostradas e analisadas quanto as características químicas e físicas (Quadro 1).

A análise granulométrica foi realizada com dispersão total usando como dispersante o hidróxido de sódio  $1 \text{ mol L}^{-1}$ , de acordo com Embrapa (1997). Na análise química foram determinados o pH em  $\text{CaCl}_2$   $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ , na proporção 1:2,5 (Raij *et al.*, 1987); o P remanescente foi determinado com base nos trabalhos de Alvarez V. e Fonseca (1990) e Alvarez V. *et al.* (2000). A matéria orgânica obtida pela oxidação via úmida com dicromato de potássio  $1 \text{ mol L}^{-1}$ , utilizando a modificação do método descrito em Tedesco *et al.* (1985); P, K, Ca e Mg extraídos por meio da mistura de resinas trocadoras de cátions e ânions (Raij *et al.*, 2001), sendo a determinação do P pelo método colorimétrico, do K por fotometria de chama e o Ca e Mg por espectrofotometria de absorção atômica; o enxofre foi extraído pelo fosfato de cálcio e o extrato foi lido em espectrofotômetro U.V.V a 420 nm; o Al trocável foi extraído por solução de KCl  $1 \text{ mol L}^{-1}$  e determinado por titulação com NaOH  $0,025 \text{ mol L}^{-1}$ ; o H+Al foi estimado por método indireto com solução tampão SMP.

Os micronutrientes ferro (Fe), zinco (Zn), cobre (Cu) e manganês (Mn) foram extraídos com duplo ácido (HCl  $0,05 \text{ mol L}^{-1}$  e  $\text{H}_2\text{SO}_4$   $0,025 \text{ mol L}^{-1}$ ) e determinados por espectrofotometria de absorção atômica e o boro (B) foi extraído pelo método da água quente e determinado em espectrofotômetro U.V.V. a 420 nm.

Quadro 1. Resultados das análises químicas e físicas das amostras de solos coletadas antes da aplicação dos tratamentos.

Atributos	Solos	
	Ribeirão	Paquetá
pH (CaCl <sub>2</sub> )	5,70	5,60
MO (g dm <sup>-3</sup> )	41,00	30,00
P remanescente (mg L <sup>-1</sup> )	16,70	26,70
P resina (mg dm <sup>-3</sup> )	118,00	122,00
K (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	3,60	5,60
Ca (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	71,00	61,00
Mg (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	22,00	20,00
Al (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,00	0,00
H+Al (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	35,00	39,00
SB (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	97,00	87,00
T (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	132,00	126,00
V (%)	73,00	69,00
S (mg dm <sup>-3</sup> )	15,00	5,00
Fe (mg dm <sup>-3</sup> )	16,00	17,00
Mn (mg dm <sup>-3</sup> )	22,20	32,20
Zn (mg dm <sup>-3</sup> )	13,50	6,00
Cu (mg dm <sup>-3</sup> )	2,10	3,80
B (mg dm <sup>-3</sup> )	0,80	0,82
Argila (g kg <sup>-1</sup> )	595	419
Silte (g kg <sup>-1</sup> )	274	129
Areia Total (g kg <sup>-1</sup> )	131	452
Areia Grossa (g kg <sup>-1</sup> )	77	108
Areia Fina (g kg <sup>-1</sup> )	54	344

## 2.2 Tratamentos e delineamento experimental

Em ambos os experimentos os tratamentos, em arranjo fatorial 4 x 2 x 2, consistiram da combinação de quatro níveis de pH em CaCl<sub>2</sub> 0,01M L<sup>-1</sup> (pH original de cada solo, 6,0; 6,5 e 7,0); duas doses de P (0 e 21,82 mg dm<sup>-3</sup> de P, correspondente a 100 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), tendo como fonte o superfosfato triplo comercial e duas doses de uma mistura de CaCO<sub>3</sub> e MgCO<sub>3</sub>, ambos os sais p.a., em relação estequiométrica Ca:Mg de 4:1, simulando um calcário finamente moído (0 e 100 mg dm<sup>-3</sup>, correspondente a 200 kg ha<sup>-1</sup>). O delineamento experimental foi o de blocos casualizados com quatro repetições.

## 2.3 Curvas de neutralização de pH dos solos

As curvas de neutralização foram estimadas com base na variação do pH (CaCl<sub>2</sub>) em função de doses de CaCO<sub>3</sub> e MgCO<sub>3</sub>, na relação estequiométrica Ca:Mg de 4:1, correspondentes a 0; 35; 70; 105 e 140 % da acidez potencial (H+Al)



determinada com o acetato de cálcio  $0,5 \text{ mol L}^{-1}$  tamponado à pH 7,0 (Embrapa, 1997).

## 2.4 Aplicação dos tratamentos e realização dos experimentos

Para a realização dos experimentos, todo o volume de solo coletado foi homogeneizado e subdividido em volumes correspondentes ao volume dos vasos de plástico ( $4,0 \text{ dm}^{-3}$ ).

Ao solo de cada vaso adicionou-se corretivo,  $\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$  na relação estequiométrica Ca:Mg de 4:1, nas doses determinadas pelas curvas de neutralização necessárias para obtenção dos valores de pH em  $\text{CaCl}_2$  desejados. O solo e os corretivos foram homogeneizados em sacos de plástico e, em seguida, os sacos contendo o solo foram acondicionados nos vasos de plástico sem drenagem e incubados durante 21 dias, com água deionizada para manter a umidade equivalente a 60% do volume total de poros de cada solo. Após esse período foi feita uma adubação para experimentos em ambientes controlados (Novais *et al.*, 1991) adicionando-se à superfície de cada vaso 133 mL de uma solução, contendo em cada 100 mL: B ( $\text{H}_3\text{BO}_3 - 139,0 \text{ mg}$ ), Cu ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O} - 185,0 \text{ mg}$ ), Fe ( $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O} - 225,1 \text{ mg}$ ), Mn ( $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O} - 395,5 \text{ mg}$ ), Mo ( $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} - 10,3 \text{ mg}$ ) e Zn ( $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} - 527,9 \text{ mg}$ ), todos sais p.a., seguindo-se novo período de incubação de 10 dias.

Após esse período de incubação, em 27 de novembro de 2004, semeou-se 12 sementes de soja cv. BRS 133 por vaso, inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum*. A semeadura foi feita em sulco circular, no qual se aplicaram, primeiramente, a 4 cm de profundidade as doses de P e de calcário misturados uniformemente e, cobrindo-se com uma camada de solo de 2 cm para evitar o contato direto das sementes com o fertilizante e o corretivo. Assim, sobre esta camada de solo se depositaram as sementes de soja que foram imediatamente cobertas com uma camada de 2 cm de solo. Aos 8 dias após plantio (DAP), com a emergência completa das plântulas de soja foi feito o desbaste, deixando-se quatro plântulas uniformes e equidistantes por vaso.

Os vasos foram pesados diariamente e regados na superfície com água deionizada para manter a umidade equivalente a 60% do volume total de poros de cada solo.

Aos 17 DAP foi aplicado sulfato de potássio ( $K_2SO_4$ ) na superfície do solo, na dosagem de  $0,2 \text{ g vaso}^{-1}$ , correspondente a  $100 \text{ kg ha}^{-1}$ . Aos 52 DAP, no início do estágio de diferenciação floral, as plantas foram cortadas rente ao solo, acondicionadas em sacos de papel, secas em estufa com circulação forçada de ar a  $65-70^\circ \text{C}$  até o peso constante.

## **2.5 Características avaliadas**

As plantas secas foram pesadas, para a determinação da massa seca e moídas em moinho tipo Willey, homogeneizadas e passadas em peneiras de  $0,84 \text{ mm}$  de abertura (20 mesh). Foram analisados os teores de P na massa seca da parte aérea, em extratos obtidos por meio da digestão nítrico-perclórica, utilizando-se o método descrito por Malavolta *et al.* (1997). Determinou-se o acúmulo de P nos tecidos da parte aérea, multiplicando-se a quantidade de massa seca produzida pelo teor do elemento no tecido foliar.

Após o corte, todo o conteúdo de solo de cada vaso foi peneirado para eliminação das raízes, seco ao ar e homogeneizado. Amostras de  $0,2 \text{ dm}^3$  de cada unidade experimental (vaso) foram submetidas às análises de rotina e determinação de P remanescente, utilizando-se os mesmos procedimentos laboratoriais das análises anteriores aos tratamentos.

## **2.6 Análises estatísticas**

Foram realizadas, para cada experimento, análises de variância para teor de P e P remanescente no solo, produção de massa seca (MS) e conteúdo de P acumulado na parte aérea das plantas.

Para os caracteres nos quais os efeitos de pH foram significativos, foram ajustadas equações de regressão em função dos valores de pH utilizando-se o aplicativo computacional estatístico SANEST. A partir dessas equações estimou-se para cada característica o valor adequado de pH do solo.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Disponibilidade de P no solo

A disponibilidade de P no solo, dada pelos teores de P extraídos pela resina de troca iônica, aumentaram significativamente com o aumento do pH dos solos (Figuras 1 e 2).

Os teores de P são determinados pela solubilidade dos principais compostos fosfatados no solo, ou seja, fosfatos de Al (P-Al), de Fe (P-Fe) e de cálcio (P-Ca). Como indica Lindsay (1979), a maior disponibilidade de P na solução do solo será determinada na faixa de pH em que conjuntamente os compostos fosfatados apresentem máxima solubilidade. Essa faixa é descrita por Raij (2004) como sendo entre os valores de pH em  $\text{CaCl}_2$  de 5,0 e 6,2. Nos dois experimentos realizados não foi possível determinar faixas ótimas de pH em relação à disponibilidade de P, pois o comportamento das curvas de resposta estimadas foi crescente até o valor máximo de pH estabelecido, ou seja, a máxima disponibilidade de P, para a faixa de pH em  $\text{CaCl}_2$  estudada, ocorreu no pH igual a 7,0 (Figuras 1 e 2).

No entanto, o efeito do aumento do pH de um solo na redução da adsorção de P não é tão direta e simples, pois influenciam também a proporção das formas de P na solução ( $\text{H}_2\text{PO}_4^- / \text{HPO}_4^{2-}$ ), a força iônica da solução e a proporção de cátions mono e bivalentes, fatores que podem mascarar o efeito esperado de maior disponibilidade de P com a calagem (Novais e Smyth, 1999). Esses autores inclusive consideram que a calagem tende a aumentar a adsorção de P em solos ricos em  $\text{Al}^{3+}$ , diminuindo em solos pobres nesse cátion, pois os polímeros de Al recém-formados com a calagem apresentam alta afinidade pelo P.

No experimento com solo da Faz. Paquetá, a interação entre pH e doses de P foi significativa. Os teores de P aumentaram com o pH do solo em ambas as doses de P, sendo que no tratamento que recebeu  $21,82 \text{ mg dm}^{-3}$  de P ( $100 \text{ kg ha}^{-1}$ ), o teor máximo ( $120,6 \text{ mg dm}^{-3}$  de P) foi obtido com pH 6,85. No tratamento sem aplicação de P, o teor máximo de P foi verificado no pH 7,0 (Figura 3).

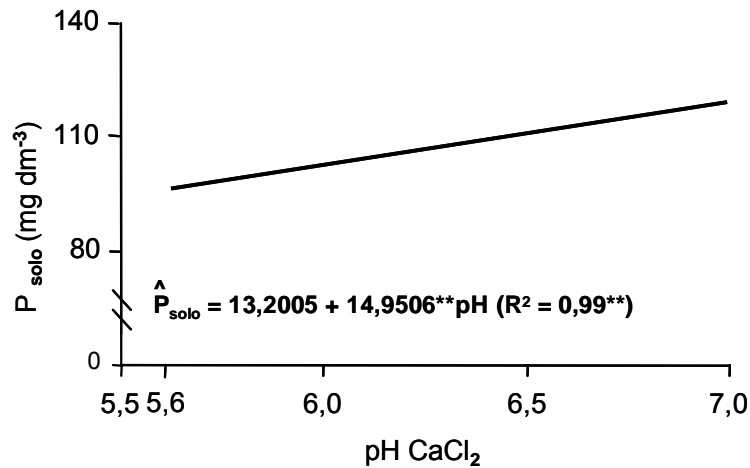


Figura 1. Teores de P extraído pela resina de troca iônica, em função do pH, para o Latossolo Vermelho distroférico da Fazenda Paquetá.

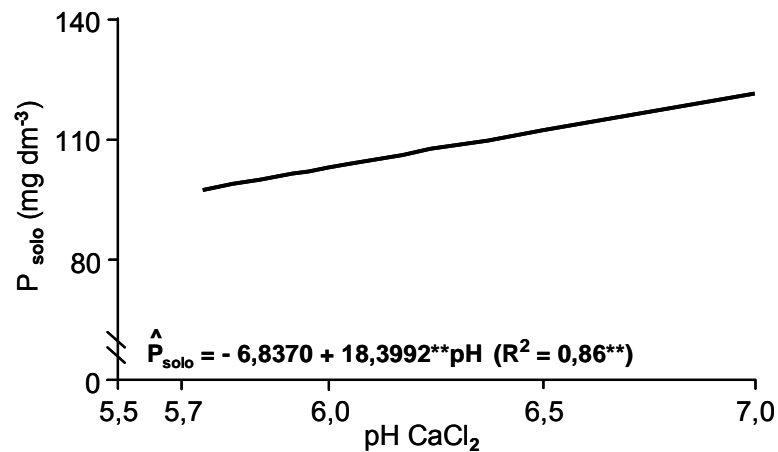


Figura 2. Teores de P extraído pela resina de troca iônica, em função do pH, para o Latossolo Vermelho distrófico da Fazenda Ribeirão.

Esse resultado está de acordo com Sample *et al.* (1980), que afirmaram que a adição de fosfato monocálcico (superfosfato triplo) juntamente com calcário ou em solos alcalinos promove uma retrogradação dos íons fosfatos em solução para formas de fosfatos de cálcio de menor reatividade como o fosfato dicálcico e o fosfato octocálcico. Valores de pH em CaCl<sub>2</sub> acima de 6,5 (pH água de 7,0 a 7,3) já indicam saturação por bases maior do que 90% (Raij *et al.*, 1987), condições suficientes para precipitar o fosfato adicionado reduzindo o aumento dos teores de P extraídos pela resina.

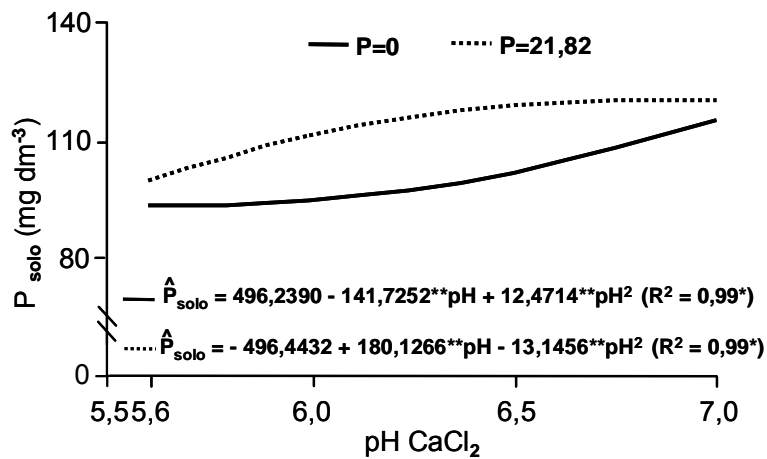


Figura 3. Teores de P extraído pela resina de troca iônica, em função do pH, para o Latossolo Vermelho distrófico da Fazenda Paquetá.

Para o Latossolo Vermelho distrófico da Faz. Ribeirão houve significância para a interação entre pH do solo e doses de calcário na linha de plantio (Figura 4). O tratamento sem a aplicação de calcário na linha apresentou tendência de aumento dos teores de P no solo com o aumento do pH em  $\text{CaCl}_2$  especialmente a partir do valor de pH de 5,9. Com a aplicação de calcário na linha o efeito de aumento dos teores de P no solo com o pH foi menor a partir do pH 6,58 e a curva de resposta que melhor ajustou-se aos dados foi linear. Com o calcário na linha, para cada aumento unitário no valor do pH em  $\text{CaCl}_2$ , há um aumento de  $12 \text{ mg dm}^{-3}$  de P no solo. Esse efeito menos expressivo do aumento do pH do solo com a adição de calcário na linha de plantio deve estar também ligado a um aumento na precipitação de P-Ca.

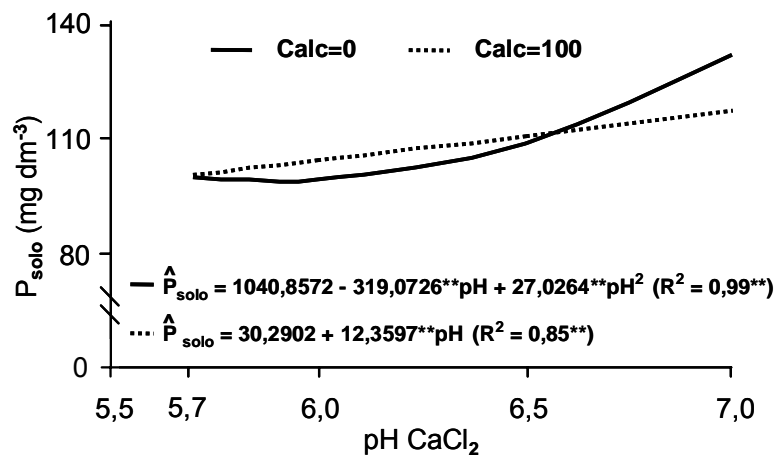


Figura 4. Teores de P extraído pela resina de troca iônica, em função do pH, para o Latossolo Vermelho distrófico da Fazenda Ribeirão.

### 3.2 Fósforo remanescente

O P remanescente foi significativamente reduzido pelo aumento do pH em ambos os solos (Figuras 5 e 6). O P remanescente é uma medida da capacidade tampão de P dos solos sendo que quanto menor seu valor, maior a capacidade tampão de P. Assim, o aumento do pH proporcionou maior capacidade de adsorção dos solos expressa pela redução do valor do P remanescente, principalmente a partir do pH 6,0 em  $\text{CaCl}_2$ . Provavelmente, como não é possível distinguir os processos de adsorção dos de precipitação (Sample *et al.*, 1980), o aumento do pH e da concentração de Ca e Mg deve ter reduzido o P remanescente devido principalmente à precipitação de P-Ca. Para Lindsay (1979), a partir do pH em água de aproximadamente 6,5 a solubilidade de P-Ca tende a controlar a disponibilidade de P especialmente em solos com teores elevados de Ca.

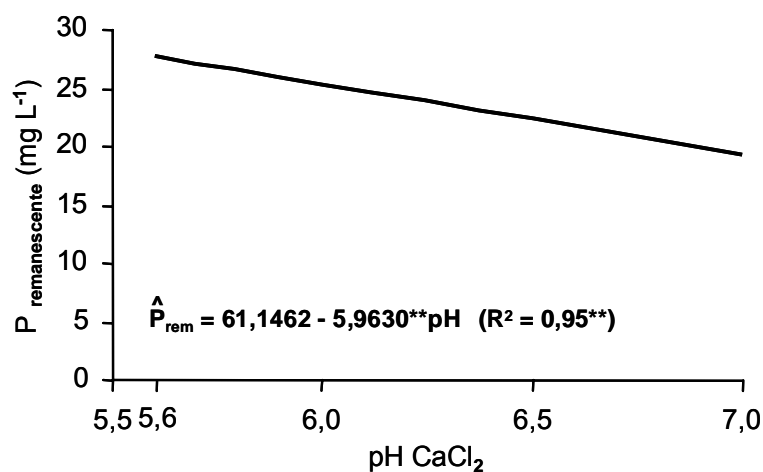


Figura 5. Teores de P remanescente, em função do pH, para o Latossolo Vermelho distroférico da Fazenda Paquetá.

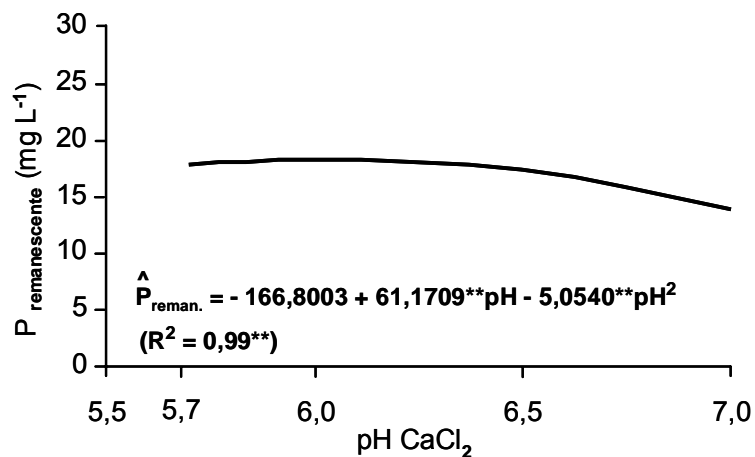


Figura 6. Teores de P remanescente, em função do pH, para o Latossolo Vermelho distrófico da Fazenda Ribeirão.

É importante ressaltar que esse manejo da calagem poderia ser prejudicial para a cultura da soja. No entanto, deve-se levar em consideração que a soja tem elevada capacidade de acidificação da rizosfera devido à fixação biológica de nitrogênio (Marschner, 1995) e com a acidificação da rizosfera grande parte do P-Ca precipitado volta a ficar disponível para as plantas (Novais e Smyth, 1999). Assim, esse manejo para a cultura da soja poderia ser benéfico, pois aumenta a precipitação do P-Ca que pode ser disponibilizado pela soja reduzindo, possivelmente, a adsorção e precipitação em outras formas.

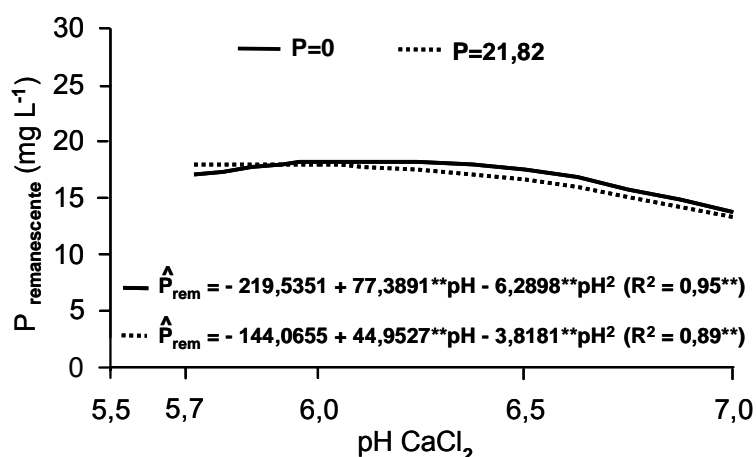


Figura 7. Teores de P remanescente, em função do pH, para o Latossolo Vermelho distrófico da Fazenda Ribeirão.

Analisando as figuras 6 e 7 é possível inferir que para o LVd da Faz. Ribeirão existe um ponto em que ocorre adsorção ou precipitação mínima ( $> P_{rem.}$ ) que poderia estar relacionado com um nível de pH em que a adsorção ou precipitação do P por Al e Fe é mínima, bem como por Ca. Elevando-se o pH a partir deste ponto, ocorre excedente de Ca para retomar a adsorção. Estes valores correspondem a pH 5,89 com a aplicação de P, pH 6,15 sem aplicação de P e pH 6,05 independente de P.

### 3.3 Produção de massa seca de plantas de soja

Nos dois solos o aumento do pH em  $CaCl_2$  do solo promoveu aumento na produção de massa seca (MS) da parte aérea da soja (Figuras 8 e 9). No experimento com o solo da Faz. Paquetá, a resposta foi linear com um aumento de cerca de 11 % entre o pH original e pH 7,0 (Figura 8). No solo da Faz. Ribeirão, a resposta ao aumento do pH do solo foi quadrática, resultando num aumento de 18 % na MS entre valores de pH de 5,7 e 7,0 (Figura 9), com valor mínimo de 23,14 g vaso<sup>-1</sup> de MS no pH 6,02. Considerando-se a relação alométrica entre parte aérea e produção de grão relativamente constante<sup>3</sup> (Santos, 2002), pode-se inferir que esses aumentos na produção de MS também refletem aumento semelhante na produção de grãos.

Esses resultados são interessantes, pois a maioria das pesquisas mostra que a saturação por bases recomendada para a cultura da soja é de 50 a 60 % (Embrapa, 2005b; Fundação MT, 2005; Lima, 2004), ou seja, o pH em  $CaCl_2$  de aproximadamente 5,1 (Raij *et al.*, 1987). De fato, LIMA (2004), estudando a sustentabilidade da produção de soja no Brasil Central, verificou que em solos argilosos e textura média o pH em  $CaCl_2$  variou entre 4,8 a 5,1 na camada de 0 a 15 cm, faixa que se mostrou compatível com a produtividade média de 52 a 58 sc ha<sup>-1</sup> de grãos de soja. Esses valores de pH corresponderam a valores de saturação por bases entre 30 e 49 %.

Para Lima (2004) aqueles valores de pH e saturação por bases, por terem viabilizado produtividades de soja acima de 50 sc ha<sup>-1</sup>, são de grande importância para a recomendação de calagem para a cultura de soja. Por outro lado, esse autor estimou uma correlação positiva e significativa entre o pH em  $CaCl_2$  e produtividade

---

<sup>3</sup> Biomassa total =  $-43400,9 + 14936,7 \text{ Log (produtividade grãos (kg/ha))}$ . Entre 45 e 70 sacos/ha, a relação alométrica é de cerca de 32 % de biomassa de grão em relação a biomassa da parte aérea.



e sugeriu que essa correlação indica que a calagem deveria ser aumentada, tanto nos solos argilosos e especialmente nos de textura arenosa e média.

Vale salientar que, na condição de aumento da saturação por bases, maior atenção deverá ser dada ao fornecimento de alguns micronutrientes, naturalmente baixos sob condições naturais de cerrado (Lopes, 1983), com disponibilidade cada vez menor em níveis mais altos de pH.

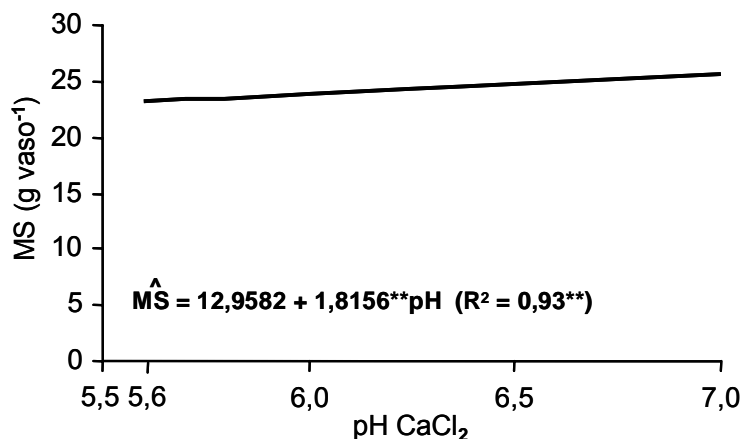


Figura 8. Produção de massa seca de parte aérea de plantas de soja, em função do pH, para o Latossolo Vermelho distroférico da Fazenda Paquetá.

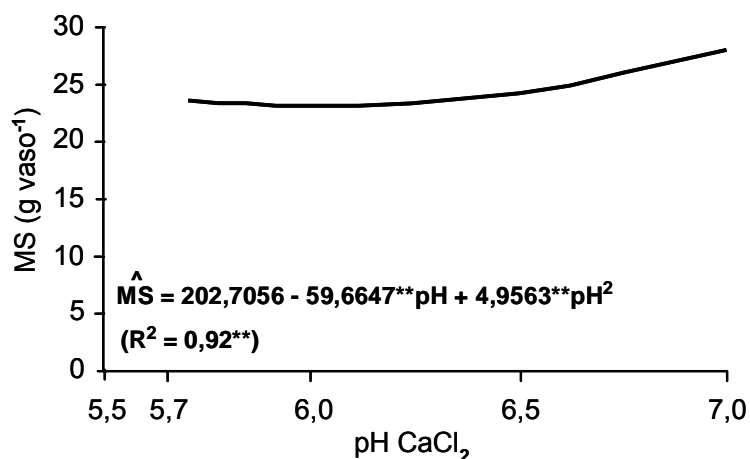


Figura 9. Produção de massa seca de parte aérea de plantas de soja, em função do pH, para o Latossolo Vermelho distrófico Fazenda Ribeirão.

### 3.4 Fósforo acumulado na massa seca de plantas de soja

Para os dois solos, houve efeito significativo do aumento do pH do solo sobre o P acumulado na parte aérea da soja (Figuras 10 e 11). No experimento com o solo da Faz. Paquetá, de modo similar a MS, a resposta do P acumulado foi linear ao aumento do pH do solo, com um aumento de cerca de 7 % em relação ao P acumulado para cada unidade de elevação de pH (Figura 10). No experimento da Faz. Ribeirão houve aumento de cerca de 10 % no P acumulado entre os valores extremos de pH de 5,7 e 7,0. No entanto, no intervalo de pH entre 6,0 e 6,5 as quantidades de P acumulado foram menores do que no valor de pH 5,7 original do solo (Figura 11), sendo mínima (59,00 mg vaso<sup>-1</sup>), no pH 6,19.

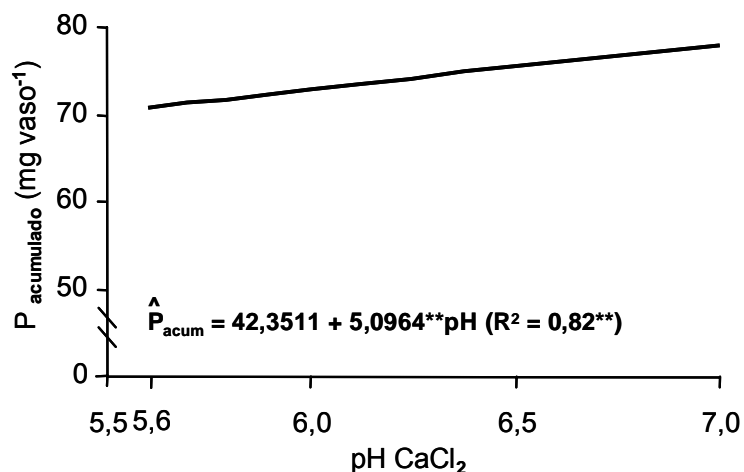


Figura 10. Fósforo acumulado na parte aérea de plantas de soja, em função do pH, para o Latossolo Vermelho distroférrico da Fazenda Paquetá.

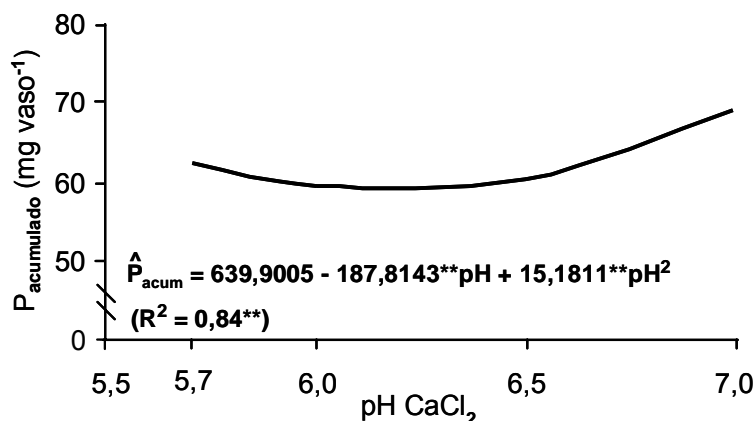


Figura 11. Fósforo acumulado na parte aérea de plantas de soja, em função do pH, para o Latossolo Vermelho distrófico da Fazenda Ribeirão.

É importante destacar que as quantidades de nutrientes acumulados nas plantas é o melhor indicador de disponibilidade do nutriente (Alvarez V., 1996). Assim, pode-se inferir que nos dois experimentos houve aumento da disponibilidade de P com o aumento do pH em  $\text{CaCl}_2$  de 5,5 para 7,0. Esses resultados se juntam às observações de que os teores de P no solo, extraídos pela resina de troca iônica, também aumentaram com o aumento do pH (Figuras 1 a 4) e são indicativos de que, para a cultura da soja, a elevação do pH pode ser uma opção de manejo para aumento da eficiência da adubação fosfatada e da produtividade.

## 4 CONCLUSÃO

Em solos com alto teor de P a elevação do pH aumenta a disponibilidade de P, proporcionando maior produção de massa seca de soja.

## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVAREZ V., V. H. Correlação e calibração de métodos de análise de solos. In: ALVAREZ V., V. H.; FONTES, L. E. F.; FONTES, M. P. F. **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. Viçosa, MG, SBCS; UFV, DPS, p.615-646, 1996.

ALVAREZ V., V. H.; FONSECA, D. M. Determinação de doses de fósforo para determinação da capacidade máxima de adsorção de fosfatos e para ensaios em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.14, p.49-55, 1990.

ALVAREZ V., V. H.; MELLO, J. W. V.; DIAS, L. E. **Acidez e calagem**. Curso de manejo e fertilidade do solo. ABEAS, UFV, 1993. 68p.

ALVAREZ V., V. H.; NOVAIS, R. F.; DIAS, L. E.; OLIVEIRA, J. A. Determinação e uso do fósforo remanescente. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.27-33, 2000.

BAR-YOSEF, B.; KAFKAFI, U.; ROSEMBERG, R.; SPOSITO, G. Phosphorus adsorption by kaolinite and montmorillonite: effects of time, ionic strength and pH. **Soil Science Society of America Journal**, v.52, p.1580-1585, 1988.

BARROW, N. J. Reaction of anions and cations with variable charge soils. **Advanced Agronomy**, v.38, p.183-230, 1985.

CORNELL, R. M.; SCHWERTMANN, U. **The iron oxides: structure, properties, reactions, occurrences and uses**. 2.ed. Wiley-VCH, New York, 2000. 664p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Segundo levantamento da safra agrícola 2004/2005**. Disponível em: <http://conab.gov.br>. Acesso em 15 de julho de 2005.

DÖBEREINER, J. Biological nitrogen fixation in the tropics: social and economic contributions. **Soil Biology & Biochemistry**, v.29, p.771-774, 1997.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Tecnologias de produção de soja** – região central do Brasil – 2005b. 220p. (Embrapa-Soja, Sistemas de Produção 9).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 214p.

EMBRAPA. **Soja / Dados econômicos**. Disponível em: <http://www.cnpso.embrapa.br>. Acesso em 03 de maio de 2005a.

ERNANI, P. R.; FIGUEIREDO, O. R. A.; BECEGATO, V.; ALMEIDA, J. A. Decréscimo da retenção de P pelo aumento do pH. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.20, p.159-162, 1996.

FERNÁNDEZ R., I. E. J. **Reversibilidade de P não-lábil em diferentes solos, em condições naturais e quando submetidos a redução microbiológica ou química**. Viçosa, 1995, 94p. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Viçosa.

FUNDAÇÃO MATO GROSSO – FUNDAÇÃO MT. **Boletim de pesquisa de soja 2005**. n.9, 229p.

HAYNES, R.J. Lime and phosphate in the soil-plant system. **Advances in Agronomy**, v.37, p.249-315, 1984.

KLEPKER, D.; ANGHINONI, I. Crescimento radicular e aéreo do milho em vasos em função do nível de P no solo e da localização do adubo fosfatado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.19, p.403-408, 1995.

KLIEMANN, H. J.; COSTA, A. de V.; SILVA, F. C. Resposta à calagem e fosfatagem por três cultivos de soja em três solos no estado de Goiás. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 26., 1997, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBCS, 1997. CD-ROM.

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

LINDSAY, W. L. **Chemical equilibria in soils**. New York, John Willey & Sons, 1979. 449p.

LINS, I. D. G.; COX, F. R. Effect of extractant and selected soil properties on predicting the correct phosphorus fertilization of soybean. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.53, p.813-816, 1989.

LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G. **Solos sob cerrado: manejo da fertilidade para a produção agropecuária**. São Paulo: ANDA, 1992. 60p. (Boletim técnico, 5).

LOPES, A. S. **Solos sob "Cerrado"**: características, propriedades e manejo. Piracicaba, SP: POTAFOS, 1983. 162p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba, POTAFOS, p.232-258, 1997.

MASCARENHAS, H. A. A.; TANAKA, R. T. Soja. In: RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendação de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. 2ª ed. Ver. Atual. Campinas, IAC, p.202-203, 1997. (Boletim técnico, 100).

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London. Academic Press, 1995. 889p.

MATO GROSSO DO SUL. Secretaria de Planejamento e Coordenação Geral. **Atlas multirreferencial**. Campo Grande: Convênio Governo do Estado/Fundação IBGE, 1990.

NEVES, P. R. **Calagem, fontes e doses de P no cultivo de soja e suas relações com o P recuperado por diferentes extratores.** Dourados, 2003, 61p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

NOVAIS, R. F.; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. F. **Ensaio em ambiente controlado.** In: OLIVEIRA, A. J.; GARRIDO, W. E.; ARAÚJO, J. D.; LOURENÇO, S. Método de pesquisa em fertilidade de solos. Brasília: EMBRAPA - SEA, p.189-253, 1991.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solos e plantas em condições tropicais.** Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399p.

NOVAIS, R. F. Soja. In: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais. **Recomendação para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais (5ª Aproximação).** Viçosa, CFSEMG, p.232-324, 1999.

NOVELINO, J. O. **Disponibilidade de P e sua cinética, em solos sob cerrado fertilizados com fósforo, avaliada por diferentes métodos de extração.** Viçosa, 1999, 70p. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Viçosa.

OLIVEIRA, F. H. T.; NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; CANTARUTTI, R. B.; BARROS, N. F. Fertilidade do solo no sistema plantio direto. In: ALVAREZ V., V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R.; BARROS, N. F.; MELLO, J. W. V.; COSTA, L. M. (eds). **Tópicos em Ciência do Solo.** UFV, Sociedade Brasileira Ciência do Solo, p.393-482, 2000.

PIAIA, F. L. **Efeito da adubação fosfatada com diferentes fontes e saturação por bases na cultura da soja.** Lavras, 2000, 43p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Lavras.

RAIJ, B. V.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. (Ed). **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais.** Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285p.



RAIJ, B. V.; CAMARGO, A. P.; MASCARENHAS, H. A. A.; HIROCE, R.; FEITOSA, C. T.; NERY, C.; LAUN, C. R. P. Efeito de níveis de calagem na produção de soja em solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.1, n.1, p.28-31, 1977.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e adubação**. São Paulo, Agronômica Ceres, 1991. 343p.

RAIJ, B. V. Métodos de diagnose de fósforo no solo em uso no Brasil. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. **Simpósio sobre fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba, SP. POTAFOS, p.563-588, 2004.

RAIJ, B. V.; QUAGGIO, J. A.; CANTARELLA, H.; FERREIRA, M. E.; LOPES, A. S.; BATAGLIA, O. C. **Análise química do solo para fins de fertilidade**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. 170p.

SAMPLE, E. C.; SOPER, R. J.; RACZ, G. J. Reaction of phosphate fertilizers in soils. In: KHASAWNEH, F. E.; SAMPLE, E. C.; KAMPRATH, E. J. **The role of phosphorus in agriculture**. Madison: ASA, CSSA, SSSA, p.263-310, 1980.

SANTOS, F.C. **Sistema de recomendação de corretivos e fertilizantes para a cultura da soja**. Viçosa, 2002, 100p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Viçosa.

SANZONOWICZ, C.; LOBATO, E.; GOEDERT, W. J. Efeito residual da calagem e de fontes de P numa pastagem estabelecida em solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.22, n.3, p.233-243, 1987.

SATO, S.; COMERFORD, N. B. Influência do pH do solo na adsorção e dessorção de fósforo num ultisol úmido brasileiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, n.5, p.685-694, 2005.

SFREDO, G. J.; PALUDZYSZYN FILHO, E.; GOMES, E. R.; OLIVEIRA, M. C. N. Resposta da soja a P e a calcário em Podzólico Vermelho-amarelo de Balsas, MA. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.20, n.3, p.429-432, 1996.

SOUZA, D. M. G.; LOBATO, E.; MIRANDA, L. N. Correção do solo e adubação da cultura da soja. In: Simpósio sobre a cultura da soja, 1, 1992, Uberaba. **Anais...** Piracicaba: POTAFÓS, p.137-158, 1993.

SOUZA, D. M. G.; MIRANDA, L. N.; LOBATO, E.; CASTRO, L. H. R. Métodos para determinar a necessidade de calagem em solos dos cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.13, n.2, p.193-198, 1989.

TEDESCO, M. J.; VOLKWEISS, S. J.; BOHNEN, H. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre. Departamento de Solos/Faculdade de Agronomia/UFRS, 1985. 190p.

VALE, F. R.; GUILHERME, L. R. G.; GUEDES, G. A. de A.; FURTINI NETO, A. E. **Fertilidade do solo: dinâmica e disponibilidade de nutrientes**. Lavras: ESAL/FAEPE, 1997. 171p.

## **CAPÍTULO 2**

### **APLICAÇÃO DE CALCÁRIO E ADUBO FOSFATADO AO SOLO E A ABSORÇÃO DE FÓSFORO EM PLANTAS DE SOJA**

# APLICAÇÃO DE CALCÁRIO E ADUBO FOSFATADO AO SOLO E A ABSORÇÃO DE FÓSFORO EM PLANTAS DE SOJA

**Autor: Carlos Alberto Viviani**  
**Orientadora: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Marlene Estevão Marchetti**

## RESUMO

O melhor aproveitamento do P aplicado no ano e do residual do solo favorecido pelo uso adequado de calcário, especialmente em solos cultivados e adubados por muitos anos, pode ser uma prática economicamente viável, uma vez que o calcário tem custo muito inferior aos adubos fosfatados, podendo significar importante incremento na margem de lucro do agricultor.

Com o manejo sugerido de aplicação de calcário na linha de plantio com o fertilizante fosfatado, deseja-se que a disponibilidade de P para as plantas de soja seja controlada pela gradativa solubilização dos P-Ca condicionada pela acidificação da rizosfera.

Foram realizados dois experimentos em casa de vegetação da Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Grande Dourados, com o seguinte objetivo: avaliar os efeitos da aplicação de calcário na linha de plantio juntamente com o adubo fosfatado em dois latossolos argilosos com elevados níveis de fertilidade na produção de massa seca e absorção de P pela soja. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, em esquema fatorial 4x2x2, com quatro repetições, sendo quatro níveis de pH (pH original de cada solo, 6,0, 6,5 e 7,0, em  $\text{CaCl}_2$  0,01M L<sup>-1</sup>), duas doses de P (0 e 21,82 mg dm<sup>-3</sup>) e duas doses de calcário (0 e 100 mg dm<sup>-3</sup>), respectivamente para um Latossolo Vermelho distrófico (LVd) de Chapadão do Sul - MS e um Latossolo Vermelho distroférico (LVdf) de Ponta Porã - MS. Em cada unidade experimental (vaso de 4,0 dm<sup>3</sup>), cultivaram-se quatro plantas de soja cv. BRS 133 até a floração. Avaliou-se teor e acúmulo de P, teores de Ca e Mg e peso da massa seca da parte aérea.

Verificou-se que a aplicação de calcário na linha de plantio não influencia a absorção de P pelas plantas de soja. A adubação fosfatada influencia o teor e o

acúmulo de P pelas plantas de soja, e para o LVdf aumenta a produção de massa seca.

Palavras-chave: pH do solo, latossolo, *Glycine max*, calagem, efeito residual.

# APPLICATION OF LIME AND PHOSPHATE FERTILIZER TO SOIL AND THE ABSORPTION OF PHOSPHORUS IN SOY BEAN PLANTS

Author: Carlos Alberto Viviani

Adviser: Professor Dr. Marlene Estevão Marchetti

## ABSTRACT

To take better advantage of the P applied along the year and of the soil residual by the adequate use of lime, especially in soils cultivated and manured for many years, may be an economically viable practice, as lime is much less expensive than phosphate fertilizers, which may imply important increment in the profit margin for the farmer.

With the management suggested to apply lime on the sowing line along with phosphate fertilizer, the aim is that the availability of P for the soy bean plant be controlled by the gradative dissolving of the P-Ca by the acidification of the rizosphere.

Two experiments were carried out in green house at the College of Agricultural Sciences of the Federal University of Dourados, Dourados, in the State of Mato Grosso do Sul, Brazil, with the following objectives: to evaluate the effect of the increase in the soils pH and application of phosphate fertilizers and lime in the sowing lines in clayey latosoils with high fertility levels, on the production of dry matter and absorption of P by the soy bean plant. The experimental design used was of randomized blocks, in 4x2x2 factorial scheme, with four repetitions, as follows: Four levels of pH (original pH of each soil 6.0, 6.5, and 7.0, in  $\text{CaCl}_2$  0,01 mol L<sup>-1</sup>), two doses of P (0 and 21.82 mg dm<sup>-3</sup>), and two doses of lime (0 and 100 mg dm<sup>-3</sup>), respectively for a red dystrophic Latosoil (LVd) from the southern highland plane, and red dystrophic Latosoil (LVdf) from Ponta Porã, in the State of Mato Grosso do Sul, Brazil. In each experimental unit (4,0 dm<sup>-3</sup> vase), four cv.BRS 133 soy bean plants was grown up till flower emergence. The following was evaluated: weight of dry matter, contents of P, Ca and Mg in the dry matter of the aerial part of the plant and the accumulation of P in the tissues of the aerial part.

It was found that the application of lime in the sowing line doe not influence the absorption of P by the soy bean plant. The application of phosphate fertilizer influences the content and accumulation of P by the soy bean plants, and for the LVdf it increases the production of dry matter.

Key words: Soil pH, latosoil, Glycine max, liming, residual effect.

## 1 INTRODUÇÃO

A calagem e, principalmente, a adubação fosfatada nos solos da região do cerrado brasileiro são práticas indispensáveis para a obtenção de altas produtividades, uma vez que a calagem além de minimizar o efeito da acidez, melhora as condições químicas e biológicas, favorece o desenvolvimento do sistema radicular, aumentando a absorção de nutrientes e água pelas plantas. A baixa disponibilidade de P é uma importante limitação ao crescimento das plantas nesse ambiente, sendo agravada pela alta capacidade de muitos desses solos adsorverem esse elemento, que por meio de reações com componentes do solo formam compostos de baixa solubilidade, dificultando a manutenção de P disponível na solução do solo.

Em geral, tem-se recomendado a calagem para a cultura da soja para elevar a saturação por bases entre 45 a 60 % (Mascarenhas e Tanaka, 1997; Novais, 1999), o que implica em pH em  $\text{CaCl}_2$  do solo em torno de 4,8 a 5,2 (Raij, 1991). Dados obtidos experimentalmente e em propriedades rurais da região dos cerrados têm demonstrado que a produção de grãos de soja aumenta com saturação por bases a partir de 35 %, estabilizando-se entre os valores de 35 a 50 %, com um decréscimo na produção, acompanhado por deficiência de Zn e Mn, quando a saturação de bases ultrapassa 60 % (Souza *et al.*, 1989). Kliemann *et al.* (1997), cultivando soja durante três anos encontraram aumento de produção devido à aplicação de doses crescentes de superfosfato simples e calcário. Conforme relatado por esses autores, o calcário aumentou a eficiência do superfosfato simples, no entanto, quantidades excessivas de calcário diminuíram a produtividade.

Nesses solos, devido à alta fixação de P, a quantidade desse elemento na solução do solo é muito baixa (inferior a  $0,1 \text{ mg L}^{-1}$ ). Dessa forma, deve ocorrer reposição constante de P, através da dessorção do P-lábil, que se encontra em equilíbrio dinâmico com o P na solução do solo, uma vez que as plantas absorvem P da solução do solo.

O mecanismo envolvido no fenômeno de adsorção de P pelo solo, se dá em fases, onde a fase inicial é rápida e ocorre atração eletrostática seguida da adsorção por oxidróxidos, através de trocas de ligantes (quimiossorção), como  $\text{OH}^-$  e  $\text{OH}_2^+$ , da superfície dos óxidos, por fosfato da solução (Barrow, 1985; Goldeberg e

Sposito, 1985; Sanyal e De Datta, 1991). É uma ligação predominantemente covalente (“adsorção específica”), ao contrário, por exemplo, do  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{Cl}^-$ , adsorvidos por atração eletrostática (“adsorção não específica”) (Barrow, 1983, 1985; Cornell e Schwertmann, 2000).

A adsorção específica de ânions por óxidos de Fe e de Al se caracteriza pela presença de ligações químicas formadas com a superfície adsorvente. Os ânions especificamente adsorvidos (ex.:  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ) apresentam afinidade com a superfície hidroxilada e deslocam os ligantes associados ao cátion da estrutura (Haynes, 1984; Nye e Staunton, 1994; Linquist *et al.*, 1997). Assim, os oxigênios, protonados ou não, da superfície dos óxidos são substituídos por ânions que entram em coordenação octaédrica com  $\text{Fe}^{3+}$  e  $\text{Al}^{3+}$ . Neste caso, trata-se de um processo lento que pode levar anos para atingir o equilíbrio, devendo ser, também, responsável pela diminuição da disponibilidade de P de solos recém fertilizados, com o aumento do tempo de contato do P com esses solos (Barrow, 1985).

Fontes e Weed (1996), trabalhando com amostras sintéticas ou de solos observaram que a adsorção de P relaciona-se tanto qualitativamente quanto quantitativamente para diferentes componentes do solo, principalmente goethita, hematita, gibbsita e óxidos de Fe e Al mal cristalizados. Neste sentido, dentre os fatores que influenciam a capacidade máxima de adsorção de P (CMAP) pelo solo, Sanchez e Uehara (1980) citam como principais os constituintes de melhor e de pior cristalização da fração argila, o alumínio trocável e a matéria orgânica. Em se tratando dos constituintes mineralógicos, Fox e Searley (1978) os apresentam com a seguinte ordem crescente de CMAP: quartzo, alumínio na matéria orgânica, argila 2:1, argila 1:1 e óxidos cristalinos e mal cristalizados de ferro e de alumínio sendo, os óxidos mal cristalizados, apontados como os principais responsáveis pela adsorção de P em solos sob vegetação de cerrado (Lopes e Cox, 1979; Novelino, 1999).

No entanto, esse possível efeito da calagem sobre a diminuição da adsorção de P e maior absorção de P por plantas de soja deve ser analisada cuidadosamente, por existirem resultados contraditórios (Raij *et al.*, 1977; Sanchez e Ueraha, 1980; Sfredo *et al.*, 1996; Bedin *et al.*, 2003). Raij *et al.* (1977) verificaram aumento da produção de soja com a calagem e o aumento do pH do solo em  $\text{H}_2\text{O}$  até o valor 6,0, mas os teores de P nas plantas não variaram significativamente. Sfredo *et al.* (1996), por sua vez, não verificaram interação significativa da calagem



e da adubação fosfatada em um Podzólico distrófico, ao passo que Bedin *et al.* (2003) constataram que a aplicação tanto de calcário calcítico quanto dolomítico juntamente com superfosfato triplo diminuiu os teores de P e a produção de massa seca de parte aérea e de grãos de soja em solos com diferentes capacidades tampão de fosfato.

Ernani *et al.* (1996) avaliando o decréscimo da retenção de P, em vinte solos com diferentes FCP, pelo aumento do pH, constataram que o efeito foi variável conforme cada tipo de solo. Esses autores concluíram que a retenção de P diminuiu com o aumento do pH na maioria dos solos, porém com maior magnitude para valores médios próximos de 5,8. Concluíram também que a elevação do pH reduziu em 50 % a quantidade média de P necessária para manter  $0,2 \text{ mg L}^{-1}$  de P na solução do solo.

A adsorção de P no solo compete vantajosamente com as culturas e, nesse sentido, existem trabalhos reportando os mecanismos embora não completamente elucidados, envolvidos nesse fenômeno. Contudo, os mecanismos que governam a cinética da dessorção de P no solo, ainda carecem de estudos mais esclarecedores.

As formas de P do solo têm diferentes capacidades de dessorção e abastecimento da solução do solo, de acordo com sua natureza química e energia de ligação. Na avaliação da fertilidade do solo, independente da sua natureza química, o P é dividido, de acordo com a sua facilidade de reposição à solução do solo, em formas lábeis, moderadamente lábeis e não lábeis (Gatiboni *et al.*, 2005).

Campello *et al.* (1994) estudando a reversibilidade de P não-lábil para P-lábil, avaliaram a cinética dessa reação por meio de extrações sucessivas em amostras de seis latossolos, na ausência e presença de calagem, a uma dose de  $300 \text{ mg dm}^{-3}$  de P no solo, comparativamente a não adição de P. Estes autores relataram que o total de P-lábil recuperado pela resina variou, em média, de 35 a 57% dependendo das características do solo, como teor de argila, matéria orgânica, óxidos de alumínio e CMAP. Relataram também que a calagem e os intervalos entre cada seqüência de três extrações não influenciaram significativamente o teor de P-lábil recuperado. Diante de tal constatação, os autores concluíram que a participação do P não-lábil reversível a lábil, medida pela resina, foi mínima.

Igualmente ao fenômeno de adsorção, tem-se observado que a dessorção de P no solo é governada principalmente pela fase mineral do solo, denominada compartimento geoquímico (Cross e Schlesinger, 1995). Assim, como a adsorção

correlaciona-se inversamente com a dessorção, seria de se esperar que solos mais goethíticos, por terem, em geral, maior área específica, em condições comparáveis, tenderiam a dessorver menos P que os hematíticos conforme reportado por Torrent *et al.* (1994). Em se tratando da gibbsita, seu papel na dessorção também é relevante e diferenciado. Nesse sentido, Fernández R. (1995) avaliando a dessorção de P em latossolos brasileiros, por extrações sucessivas com resina trocadora de ânions (RTA), constatou que, embora a contribuição da goethita para adsorção de P pelos solos tenha sido maior (70,8 %) em relação à gibbsita (29,2%), este último mineral parece estar mais envolvido na qualidade dessa retenção, restringindo a dessorção de P, mais que o primeiro mineral.

Ker (1995), avaliando a dessorção de P aplicado em 26 solos pela RTA verificou que embora a transformação de P-lábil em não-lábil dependa do caráter oxidico dos solos, sua dessorção foi particularmente dependente do teor de gibbsita ( $r = - 0,58^{**}$ ) e não tanto do teor de goethita ( $r = - 0,34^*$ ). Ainda de acordo com o autor, uma vez que a significância da correlação é mais expressiva para gibbsita, pode-se dizer que quanto mais gibbsítico for o solo maior será a resistência a dessorção. Nesta condição, a formação de P não-lábil deverá ser maior (Novais e Smyth, 1999). Com relação à presença de gibbsita em solos, Lins e Cox (1989) mencionam que solos com baixo teor de argila, em torno de  $21 \text{ dag kg}^{-1}$  e, predominantemente gibbsítico, inviabilizam o cultivo econômico da soja, dada a grande dose de P requerida. Entretanto, esta afirmação não condiz com o sistema atual de uso do solo, onde imensas áreas com estas características já estão incorporadas ao processo produtivo com elevadas produtividades.

O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos da aplicação de calcário na linha de plantio juntamente com o adubo fosfatado em dois latossolos argilosos com elevados níveis de fertilidade na produção de massa seca e absorção de P pela soja.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Caracterização das áreas

No período de novembro de 2004 a janeiro de 2005, foram realizados dois experimentos em casa de vegetação da Faculdade de Ciências Agrárias (FCA) da Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), Dourados, MS (22°11'55" S, 054°56'07" W e 452 m de altitude), cujo clima é, segundo Köppen, Mesotérmico Úmido (Mato Grosso do Sul, 1990).

Para realização dos experimentos foram coletadas amostras de dois latossolos de classes representativas dos solos mais utilizados para cultivo de soja no Brasil. Para coleta das amostras foram selecionadas duas áreas cultivadas durante o verão com soja e milho e no inverno com milho safrinha, milheto e aveia, ininterruptamente, por mais de 20 anos, utilizando-se fertilizantes e corretivos para obtenção de elevadas produtividades. Nos últimos 10 anos as duas áreas foram cultivadas sob sistema de cultivo mínimo, com semeadura de milho, milheto ou aveia logo após a colheita da soja ou milho no plantio de verão, ou milheto logo após as primeiras chuvas da primavera.

No experimento 1, foi utilizado o Latossolo Vermelho distrófico (LVd), textura argilosa, originário de deposição detrito-laterítica, coletado no município de Chapadão do Sul (MS). A coleta foi realizada em talhão comercial de soja (18°45'49" S; 052°55'36" W) pertencente à Ribeirão Agropecuária. A altitude média da Ribeirão Agropecuária é de 820 metros e a precipitação média entre 1990 e 2004 foi de 1971 mm anuais, variando entre 1725 e 2216 mm (Ribeirão Agropecuária, 2005<sup>4</sup>).

No experimento 2, foi utilizado o Latossolo Vermelho distroférico (LVdf), textura argilosa, originário da alteração do basalto, coletado no município de Ponta Porã (MS). A coleta foi realizada em talhão comercial de soja (22°21'51" S; 055°06'04" W) pertencente à Fazenda Paquetá. A altitude média da propriedade é de 410 metros e a precipitação média foi de 1376 mm anuais, com valores entre 1152 e 1600 mm, nos últimos 20 anos (Fazenda Paquetá, 2005<sup>5</sup>).

---

<sup>4</sup> Ribeirão Agropecuária, 2005. Comunicação pessoal.

<sup>5</sup> Fazenda Paquetá, 2005. Comunicação pessoal.

As amostras de solo foram coletadas na camada de 0 a 20 cm de profundidade, em áreas sob resteva de soja, tomando-se 20 amostras simples para formar uma amostra composta, que foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira com malha de 2 mm, homogeneizadas, sub-amostradas e analisadas quanto as características químicas e físicas (Quadro 1).

A análise granulométrica foi realizada com dispersão total usando como dispersante o hidróxido de sódio  $1 \text{ mol L}^{-1}$ , de acordo com Embrapa (1997). Na análise química foram determinados o pH em  $\text{CaCl}_2$   $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ , na proporção 1:2,5 (Raij *et al.*, 1987); o P remanescente foi determinado com base nos trabalhos de Alvarez V. e Fonseca (1990) e Alvarez V. *et al.* (2000). A matéria orgânica obtida pela oxidação via úmida com dicromato de potássio  $1 \text{ mol L}^{-1}$ , utilizando a modificação do método descrito em Tedesco *et al.* (1985); P, K, Ca e Mg extraídos por meio da mistura de resinas trocadoras de cátions e ânions (Raij *et al.*, 2001), sendo a determinação do P pelo método colorimétrico, do K por fotometria de chama e o Ca e Mg por espectrofotometria de absorção atômica; o enxofre foi extraído pelo fosfato de cálcio e o extrato foi lido em espectrofotômetro U.V.V a 420 nm; o Al trocável foi extraído por solução de KCl  $1 \text{ mol L}^{-1}$  e determinado por titulação com NaOH  $0,025 \text{ mol L}^{-1}$ ; o H+Al foi estimado por método indireto com solução tampão SMP.

Os micronutrientes ferro (Fe), zinco (Zn), cobre (Cu) e manganês (Mn) foram extraídos com duplo ácido (HCl  $0,05 \text{ mol L}^{-1}$  e  $\text{H}_2\text{SO}_4$   $0,025 \text{ mol L}^{-1}$ ) e determinados por espectrofotometria de absorção atômica e o boro (B) foi extraído pelo método da água quente e determinado em espectrofotômetro U.V.V. a 420 nm.

Quadro 1. Resultados das análises químicas e físicas das amostras de solos coletadas antes da aplicação dos tratamentos.

Atributos	Solos	
	Ribeirão	Paquetá
pH (CaCl <sub>2</sub> )	5,70	5,60
MO (g dm <sup>-3</sup> )	41,00	30,00
P remanescente (mg L <sup>-1</sup> )	16,70	26,70
P resina (mg dm <sup>-3</sup> )	118,00	122,00
K (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	3,60	5,60
Ca (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	71,00	61,00
Mg (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	22,00	20,00
Al (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,00	0,00
H+Al (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	35,00	39,00
SB (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	97,00	87,00
T (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	132,00	126,00
V (%)	73,00	69,00
S (mg dm <sup>-3</sup> )	15,00	5,00
Fe (mg dm <sup>-3</sup> )	16,00	17,00
Mn (mg dm <sup>-3</sup> )	22,20	32,20
Zn (mg dm <sup>-3</sup> )	13,50	6,00
Cu (mg dm <sup>-3</sup> )	2,10	3,80
B (mg dm <sup>-3</sup> )	0,80	0,82
Argila (g kg <sup>-1</sup> )	595	419
Silte (g kg <sup>-1</sup> )	274	129
Areia Total (g kg <sup>-1</sup> )	131	452
Areia Grossa (g kg <sup>-1</sup> )	77	108
Areia Fina (g kg <sup>-1</sup> )	54	344

## 2.2 Tratamentos e delineamento experimental

Em ambos os experimentos os tratamentos, em arranjo fatorial 4 x 2 x 2, consistiram da combinação de quatro níveis de pH em CaCl<sub>2</sub> 0,01M L<sup>-1</sup> (pH original de cada solo, 6,0; 6,5 e 7,0); duas doses de P (0 e 21,82 mg dm<sup>-3</sup> de P, correspondente a 100 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), tendo como fonte o superfosfato triplo comercial e duas doses de uma mistura de CaCO<sub>3</sub> e MgCO<sub>3</sub>, ambos os sais p.a., em relação estequiométrica Ca:Mg de 4:1, simulando um calcário finamente moído (0 e 100 mg dm<sup>-3</sup>, correspondente a 200 kg ha<sup>-1</sup>). O delineamento experimental foi o de blocos casualizados com quatro repetições.

## 2.3 Curvas de neutralização de pH dos solos

As curvas de neutralização foram estimadas com base na variação do pH (CaCl<sub>2</sub>) em função de doses de CaCO<sub>3</sub> e MgCO<sub>3</sub>, na relação estequiométrica Ca:Mg de 4:1, correspondentes a 0; 35; 70; 105 e 140 % da acidez potencial (H+Al)

determinada com o acetato de cálcio  $0,5 \text{ mol L}^{-1}$  tamponado à pH 7,0 (Embrapa, 1997).

## 2.4 Aplicação dos tratamentos e realização dos experimentos

Para a realização dos experimentos, todo o volume de solo coletado foi homogeneizado e subdividido em volumes correspondentes ao volume dos vasos de plástico ( $4,0 \text{ dm}^{-3}$ ).

Ao solo de cada vaso adicionou-se corretivo,  $\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$  na relação estequiométrica Ca:Mg de 4:1, nas doses determinadas pelas curvas de neutralização necessárias para obtenção dos valores de pH em  $\text{CaCl}_2$  desejados. O solo e os corretivos foram homogeneizados em sacos de plástico e, em seguida, os sacos contendo o solo foram acondicionados nos vasos de plástico sem drenagem e incubados durante 21 dias, com água deionizada para manter a umidade equivalente a 60% do volume total de poros de cada solo. Após esse período foi feita uma adubação para experimentos em ambientes controlados (Novais *et al.*, 1991) adicionando-se à superfície de cada vaso 133 mL de uma solução, contendo em cada 100 mL: B ( $\text{H}_3\text{BO}_3$  – 139,0 mg), Cu ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  – 185,0 mg), Fe ( $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  – 225,1 mg), Mn ( $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  – 395,5 mg), Mo ( $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  – 10,3 mg) e Zn ( $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  – 527,9 mg), todos sais p.a., seguindo-se novo período de incubação de 10 dias.

Após esse período de incubação, em 27 de novembro de 2004, semeou-se 12 sementes de soja cv. BRS 133 por vaso, inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum*. A semeadura foi feita em sulco circular, no qual se aplicaram, primeiramente, a 4 cm de profundidade as doses de P e de calcário misturados uniformemente e, cobrindo-se com uma camada de solo de 2 cm para evitar o contato direto das sementes com o fertilizante e o corretivo. Assim, sobre esta camada de solo se depositaram as sementes de soja que foram imediatamente cobertas com uma camada de 2 cm de solo. Aos 8 dias após plantio (DAP), com a emergência completa das plântulas de soja foi feito o desbaste, deixando-se quatro plântulas uniformes e equidistantes por vaso.

Os vasos foram pesados diariamente e regados na superfície com água deionizada para manter a umidade equivalente a 60% do volume total de poros de cada solo.

Aos 17 DAP foi aplicado sulfato de potássio ( $K_2SO_4$ ) na superfície do solo, na dosagem de  $0,2 \text{ g vaso}^{-1}$ , correspondente a  $100 \text{ kg ha}^{-1}$ . Aos 52 DAP, no início do estágio de diferenciação floral, as plantas foram cortadas rente ao solo, acondicionadas em sacos de papel, secas em estufa com circulação forçada de ar a  $65-70^\circ \text{C}$  até o peso constante.

## **2.5 Características avaliadas**

As plantas secas foram pesadas, para a determinação da massa seca e moídas em moinho tipo Willey, homogeneizadas e passadas em peneiras de  $0,84 \text{ mm}$  de abertura (20 mesh). Foram analisados os teores de P, Ca e Mg na massa seca da parte aérea, em extratos obtidos por meio da digestão nítrico-perclórica, utilizando-se o método descrito por Malavolta *et al.* (1997). Determinou-se o acúmulo de P nos tecidos da parte aérea, multiplicando-se a quantidade de massa seca produzida pelo teor do elemento no tecido foliar.

## **2.6 Análises estatísticas**

Foram realizadas, para cada experimento, análises de variância para produção de massa seca (MS), teores de P, Ca e Mg e conteúdo de P acumulado na parte aérea das plantas. Para os caracteres onde P e calcário foram significativos, aplicou-se o teste t ( $t=\sqrt{F}$ ), a 5% de probabilidade.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Efeito da aplicação do calcário na linha de plantio

Em ambos os experimentos realizados não se verificou efeito significativo ( $F > 0,05$ ) para a produção de massa seca da soja, teor e acúmulo de P e teores de Ca e Mg na massa seca da parte aérea da soja para a aplicação de calcário no sulco de plantio (Quadro 2).

Quadro 2 – Produção de massa seca, teores de P, Ca e Mg e conteúdo de P da parte aérea de plantas de soja em função de calcário no sulco de plantio, nos dois solos.

Dose calcário mg dm <sup>-3</sup>	Massa seca g vaso <sup>-1</sup>	Teor de P g kg <sup>-1</sup>	Teor de Ca g kg <sup>-1</sup>	Teor de Mg g kg <sup>-1</sup>	Conteúdo de P plantas mg vaso <sup>-1</sup>
Experimento 1 – LVd da Fazenda Ribeirão					
0	25,17a	2,52a	15,10a	5,68a	63,15a
100	24,50a	2,57a	15,27a	5,77a	62,70a
Experimento 2 – LVdf da Fazenda Paquetá					
0	24,76a	3,03a	14,37a	5,10a	74,58a
100	23,93a	3,11a	14,26a	5,15a	74,08a

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste t ( $t = \sqrt{F}$ ).

Com a aplicação de calcário e de adubo fosfatado no sulco de plantio, ocorre aumento de pH e das concentrações de  $\text{Ca}^{2+}$  e de fosfatos em solução até o limite de soluções concentradas, condições que favorecem a precipitação de fosfatos de Ca (P-Ca) ou a dissolução do adubo fosfatado mais lentamente (Lindsay, 1979; Sample *et al.*, 1980; Novais e Smyth, 1999). Na medida em que os produtos da solubilização do calcário e do adubo fosfatado são consumidos por meio da absorção e adsorção há maior liberação de P adicionado não solubilizado (Sample *et al.*, 1980; Novais e Smyth, 1999).

Vale destacar que o P-Ca formado no sulco de plantio, quando se aplica calcário e fertilizante fosfatado, apresenta menor disponibilidade para as plantas quando comparado ao P-Al formado em condições ácidas. No entanto, no caso da



soja, essa estratégia pode ser vantajosa, pois além da absorção de Ca e P, a posterior solubilização de P-Ca é garantida pela gradativa acidificação da rizosfera em consequência da fixação biológica de N (Novais e Smyth, 1999).

No entanto, os resultados indicam que essa hipótese, ou seja, que a aplicação de calcário na linha de plantio aumenta o crescimento e a absorção de P pelas plantas de soja, não pode ser aceita para os solos e nas condições estudadas. Ao mesmo tempo, considerando que o melhor indicador de disponibilidade de nutrientes é o conteúdo desses na planta, pode-se afirmar que o calcário aplicado na linha de plantio não aumentou os teores de P, Ca e Mg nas plantas de soja.

Com o manejo sugerido de aplicação de calcário com o fertilizante fosfatado, deseja-se que a disponibilidade de P para as plantas de soja seja controlada pela gradativa solubilização dos P-Ca condicionada pela acidificação da rizosfera. Assim, considerando que os solos continham teores de Ca e Mg e saturação por base elevados, maiores que 60 e 20 mmol dm<sup>-3</sup> e 70% respectivamente, espera-se não só que a disponibilidade de P tenham sido suficiente para o máximo crescimento das plantas, mas também que tenha sido controlada pela solubilização do P-Ca.

O uso de calcário na linha não influenciou significativamente os teores de Ca e Mg, corroborando a afirmação de que o suprimento desses nutrientes pelos solos foi suficiente no fornecimento adequado às plantas de soja (Quadro 2).

De fato, na literatura, os relatos sobre a eficiência da adoção desta técnica são controversos (Abrahão e Rosito, 1976; Ben *et al.*, 1980, 1981; Carvalho e Meurer, 1980; Nakayama, 1984). Abrahão e Rosito (1976), por exemplo, comparando o efeito da aplicação de calcário a lanço, na linha e misturado com adubo no sulco de plantio da soja constataram que a adubação corretiva e manutenção com P e calagem foram mais eficientes que os outros tratamentos. Constataram, também, que a aplicação de calcário e adubo no sulco proporcionou melhores produtividades em relação à mesma quantidade aplicada a lanço.

Considerando os resultados desse trabalho, pode-se inferir que em solos com pH, saturação por bases e disponibilidade de P elevados, o calcário na linha de plantio não traria vantagens, pois o solo tem capacidade de suprir as demandas desses nutrientes pela planta.

### 3.2 Efeito das doses de P

Em solos tropicais com alto fator capacidade, o P é o nutriente mais limitante à produção vegetal (Holford, 1997). Assim se espera que a adubação fosfatada eleve a produtividade das plantas. De fato, no experimento com solo da Faz. Paquetá a produção de massa seca da soja foi significativamente maior no tratamento em que foi feita a adubação fosfatada. No entanto, não houve resposta significativa no solo da Faz. Ribeirão (Quadro 3). Esses resultados são controversos, mas deve-se considerar que, em princípio, não se espera aumento elevado de produção em solos com teores de P superiores ao nível crítico, como para os dos solos estudados (Raij *et al.*, 1997).

Quadro 3 – Produção de massa seca, teor e conteúdo de P da parte aérea de plantas de soja e teor de P no solo em função de adubo fosfatado no sulco de plantio, nos dois solos.

Dose de P mg dm <sup>-3</sup>	Massa seca g vaso <sup>-1</sup>	Teor de P g kg <sup>-1</sup>	Conteúdo de P plantas mg vaso <sup>-1</sup>	Teor de P no solo mg dm <sup>-3</sup>
Experimento 1 – LVd da Fazenda Ribeirão				
0	24,55a	2,46a	60,02a	101,44a
21,82	25,12a	2,63b	65,83b	112,59b
Experimento 2 – LVdf da Fazenda Paquetá				
0	22,45a	3,15a	70,66a	99,16a
21,82	26,25b	2,98b	78,00b	119,00b

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si a 1% de probabilidade pelo teste t ( $t=\sqrt{F}$ ).

Os teores de P nas plantas de soja foram significativamente influenciados pela adubação fosfatada em ambos os experimentos, aumentou quando se adicionou superfosfato triplo ao solo da Faz. Ribeirão e diminuiu no LVdf da Faz. Paquetá. O conteúdo de P, no entanto, foi significativamente maior quando se adicionou P aos solos (Quadro 3). Considerando que a disponibilidade dos nutrientes é melhor expressa por meio do conteúdo desses nas plantas (Alvarez V., 1996) é interessante notar que nos dois casos a adubação fosfatada foi responsável por um aumento de cerca de 10 % no conteúdo de P pelas plantas.

Esses resultados de teor e conteúdo de P relacionam-se com o resultado de massa seca, ou seja, no solo da Faz. Paquetá a disponibilidade de P pode ter sido limitante para o crescimento máximo da soja. Com a adição de P e aumento de sua disponibilidade, a produção de massa seca teve um aumento proporcionalmente maior do que a absorção, levando a um efeito de diluição no teor de P. Esse efeito é claro quando se avalia que a produção de massa seca aumentou 17% nesse experimento, ao passo que a absorção de P, representada pelo conteúdo, aumentou 10%. Por outro lado, no experimento 1 com o solo da Faz. Ribeirão, a produção de massa seca não foi limitada pela disponibilidade de P, mas com o aumento desta disponibilidade as plantas absorveram mais P levando ao aumento do teor.

Destaca-se que os teores de P em toda parte aérea e em todos os tratamentos são maiores do que o teor em folhas de soja no início do florescimento utilizado para classificação como suficiente (Embrapa, 2005) e superiores aos teores encontrados em experimentos em casa de vegetação (Muniz, *et al.*, 1985).

## **4 CONCLUSÕES**

Em latossolos argilosos com elevado nível de fertilidade o calcário finamente moído aplicado na linha de plantio não influencia a absorção de P pelas plantas de soja. Além disso, a adubação fosfatada influencia o teor e acúmulo de P pelas plantas de soja e para o LVdf aumenta a produção de massa seca.

## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAHÃO, J. R.; ROSITO, C. **Efeito da aplicação de calcário a lanço, em linha e misturado com adubo no sulco de plantio da soja.** Trigo e Soja, Porto Alegre, v.16, p.3-5, 1976.

ALVAREZ V., V. H. Correlação e calibração de métodos de análise de solos. In: ALVAREZ V., V. H.; FONTES, L. E. F.; FONTES, M. P. F. **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado.** Viçosa, MG, SBCS; UFV, DPS, p.615-646, 1996.

ALVAREZ V., V. H.; FONSECA, D. M. Determinação de doses de fósforo para determinação da capacidade máxima de adsorção de fosfatos e para ensaios em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.14, p.49-55, 1990.

ALVAREZ V., V. H.; NOVAIS, R. F.; DIAS, L. E.; OLIVEIRA, J. A. Determinação e uso do fósforo remanescente. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.27-33, 2000.

BARROW, N. J. A mechanistic model for describing the sorption and desorption of phosphate by soil. **Soil Science Society of America Journal**, v.34, p.733-750, 1983.

BARROW, N. J. Reaction of anion and cations with variable-charge soils. **Advances in Agronomy**, v.38, p.183-230, 1985.

BEN, J. R.; VIEIRA, S. A.; KOCHHANN, R. A.; BERTAGNOLLI, P. F.; VELLOSO, J. A. R. de O.; DAL'PIAZ, R. **Avaliação do efeito da aplicação de calcário na linha de semeadura para a cultura de soja.** In: Reunião conjunta de pesquisa de soja da região sul, 8, Cruz Alta, 1980. Resultados de pesquisa em soja obtidos no Centro Nacional de Pesquisa de Trigo em 1979/80; atividade regional do Centro Nacional de Pesquisa de Soja. Passo Fundo, EMBRAPA-CNPT, p.56-65, 1980.

BEN, J. R.; AMBROSI, I.; VIEIRA, S. A.; BERTAGNOLLI, P. F.; VELLOSO, J. A. R. de O.; KOCHHANN, R. A.; DAL'PIAZ, R. **Avaliação do efeito da aplicação de calcário na linha de semeadura para a cultura da soja.** In: Reunião de pesquisa de soja da região sul, 9, Passo Fundo, 1981. Soja: resultados de pesquisa, 1980-1981. Passo Fundo, EMBRAPA-CNPT, p.98-105, 1981.

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. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, n.3, p.639-646, 2003.

CAMPELLO, M. R.; NOVAIS, R. F.; FERNÁNDEZ R., I. E.; FONTES, M. P. F.; BARROS, N. F. Avaliação da reversibilidade de P não-lábil para lábil em solos com diferentes características. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.18, p.157-165, 1994.

CARVALHO, T. A. A.; MEURER, E. J. Aplicação de calcário a lanço e em linhas para o cultivo de soja. **Revista Brasileira da Ciência do Solo**, v.4, n.3, p.170-173, 1980.

CORNELL, R. M.; SCHWERTMANN, U. **The iron oxides: structure, properties, reactions, occurrences and uses.** 2.ed. Wiley-VCH, New York, 2000. 664p.

CROSS, A. F.; SCHLESINGER, W. H. A literature review and evaluation of the Hedley fractionations: Applications to the biogeochemical cycle of soil phosphorus in natural ecosystems. **Geoderma**, v.64, p.197-214, 1995.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solo.** 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 214p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Tecnologias de produção de soja – região central do Brasil – 2005.** 220p. (Embrapa-Soja, Sistemas de Produção 9).

ERNANI, P. R.; FIGUEIREDO, O. R. A.; BECEGATO, V.; ALMEIDA, J. A. Decréscimo da retenção de P pelo aumento do pH. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.20, p.159-162, 1996.

FERNÁNDEZ R, I. E. J. **Reversibilidade de P não-lábil em diferentes solos, em condições naturais e quando submetidos a redução microbiológica ou química**, Viçosa, 1995, 94p. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Viçosa.

FONTES, M. P. F.; WEED, S. B. Phosphate adsorption by clays from Brazilian Oxisols: relationships with specific surface area and mineralogy. **Geoderma**, Amsterdam, v.72, p.37-51, 1996.

FOX, R. L.; SEARLEY, P. G. F. E. Phosphate adsorption by soil of the tropics. In: DROSDOFF, M. **Diversity of soils in tropics**. Madison: American Soc. of Agronomy, p.97-119, 1978.

GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D. S. Modificações nas formas de P do solo após extrações sucessivas com Mehlich-1, Mehlich-3 e resina trocadora de ânions. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.363-371, 2005.

GOLDEBERG, S.; SPOSITO, G. On the mechanism of specific phosphate adsorption by hydroxylated mineral surface: A review. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.16, p.801-821, 1985.

HAYNES, R. J. Lime and phosphate in the soil-plant system. **Advances in Agronomy**, v.37, p.249-315, 1984.

HOLFORD, I. C. R. Soil phosphorus: its measurement, and its uptake by plants. **Australian Journal of Soil Research**, v.35, n.1, p.227-239, 1997.

KER, J. C. **Mineralogia, sorção e dessorção de fosfato, magnetização e elementos traços de Latossolos do Brasil**, UFV, 1995, 181p. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Viçosa.

KLIEMANN, H. J.; COSTA, A. de V.; SILVA, F. C. Resposta à calagem e fosfatagem por três cultivos de soja em três solos no estado de Goiás. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 26, 1997 Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBCS, 1997. CD-ROM.

LINDSAY, W. L. **Chemical equilibria in soils**. New York, John Willey & Sons, 1979. 449p.

LINQUIST, B. A.; SINGLETON, P.W.; YOST, R. S.; CASSMAN, K. G. Aggregate size effects on the sorption and release of phosphorus in a Ultisol. **Soil Science Society of America Journal**, v.61, p.160-166, 1997.

LINS, I. D. G.; COX, F. R. Effect of extractant and selected soil properties on predicting the correct phosphorus fertilization of soybean. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.53, p.813-816, 1989.

LOPES, A. S.; COX, F. R. Relação de características físicas, químicas e mineralógicas com a fixação de P em solos sob cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.3, p.82-88, 1979.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba, POTAFOS, p.232-258, 1997.

MASCARENHAS, H. A. A.; TANAKA, R. T. Soja. In: RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendação de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. (2ª ed. Versão Atualizada). Campinas, IAC, 1997. p.202-203. (Boletim técnico, 100).

MATO GROSSO DO SUL. Secretaria de Planejamento e Coordenação Geral. **Atlas multireferencial**. Campo Grande: Convênio Governo do Estado/Fundação IBGE, 1990.

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 do fósforo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.9, n.3, p.237-244, 1985.



NAKAYAMA, L. H. I.; BARBO, C. V. S.; FABRÍCIO, A. C. Aplicação de calcário em latossolo roxo sob cultura de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.8, n.3, p.309-312, 1984.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. **P em solos e plantas em condições tropicais**. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399p.

NOVAIS, R. F. Soja. In: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais. **Recomendação para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais (5ª Aproximação)**. Viçosa, CFSEMG, p.232-324, 1999.

NOVAIS, R. F.; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. F. Ensaio em ambiente controlado. In: OLIVEIRA, A. J.; GARRIDO, W. E.; ARAÚJO, J. D.; LOURENÇO, S. **Método de pesquisa em fertilidade de solos**. Brasília: EMBRAPA - SEA, p.189-253, 1991.

NOVELINO, J. O. **Disponibilidade de P e sua cinética, em solos sob cerrado fertilizados com P, avaliada por diferentes métodos de extração**. Viçosa, 1999, 70p. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Viçosa.

NYE, P. H.; STAUNTON, S. The self-diffusion of strongly adsorbed anions in soil: a two-path model to simulate restricted access to exchange sites. **European Journal of Soil Science**. v.45, p.145-152, 1994.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e adubação**. São Paulo, Agronômica Ceres, 1991. 343p.

RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Ed). **Recomendação de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. 2ª ed. Ver. Atual. Campinas, IAC, 1997. 285p. (Boletim técnico, 100)

RAIJ, B. V.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. (Ed). **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico, 2001. 285p.

RAIJ, B. V.; CAMARGO, A. P.; MASCARENHAS, H. A. A.; HIROCE, R.; FEITOSA, C. T.; NERY, C.; LAUN, C. R. P. Efeito de níveis de calagem na produção de soja em solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.1, n.1, p.28-31, 1977.

RAIJ, B. V.; QUAGGIO, J. A.; CANTARELLA, H.; FERREIRA, M. E.; LOPES, A. S.; BATAGLIA, O. C. **Análise química do solo para fins de fertilidade**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. 170p.

SAMPLE, E. C.; SOPER, R. J.; RACZ, G. J. Reaction of phosphate fertilizers in soils. In: KHASAWNEH, F. E.; SAMPLE, E. C.; KAMPRATH, E. J. **The role of phosphorus in agriculture**. Madison: ASA, CSSA, SSSA, p.263-310, 1980.

SANCHEZ, P. A.; UEHARA, G. Management considerations for acid with phosphorus fixation capacity. In: KHASAWNEH, F. E.; SAMPLE, E. C.; KAMPPRATH, E. J. (Eds.). **The role of phosphorus in agriculture**. Madison: Soil Science Society of America, p.263-310, 1980.

SANYAL, S. K.; DE DATTA, S. K. Chemistry phosphorus transformation in soil. **Advances in Soil Science** . v.16, p.1-120, 1991.

SFREDO, G. J.; PALUDZYSZYN FILHO, E.; GOMES, E. R.; OLIVEIRA, M. C. N. Resposta da soja a P e a calcário em Podzólico Vermelho-amarelo de Balsas, MA. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.20, n.3, p.429-432, 1996.

SOUZA, D. M. G.; MIRANDA, L. N.; LOBATO, E.; CASTRO, L. H. R. Métodos para determinar a necessidade de calagem em solos dos cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.13, n.2, p.193-198, 1989.

TEDESCO, M. J.; VOLKWEISS, S. J.; BOHNEN, H. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre. Departamento de Solos/Faculdade de Agronomia/UFRS, 1985. 190p.

TORRENT, J.; SCHWERTMANN, U.; BARRÓN, V. Phosphate sorption by natural hematites. **European Journal of Soil Science**. v.45, p.45-51, 1994.

**Apêndice 1.** Resumo das análises de variância referentes à massa seca ( $\text{g vaso}^{-1}$ ), teores de P ( $\text{g kg}^{-1}$ ), Ca ( $\text{g kg}^{-1}$ ) e Mg ( $\text{g kg}^{-1}$ ) e total de P acumulado ( $\text{mg vaso}^{-1}$ ) na parte aérea da soja, teores de P ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) e P remanescente ( $\text{mg L}^{-1}$ ) no solo, em função dos níveis de pH, adubo fosfatado (P) e calcário para o LVd da Fazenda Ribeirão. Dourados-MS, 2006

Causas da variação	G.L.	Quadrados médios						
		Massa seca $\text{g vaso}^{-1}$	P foliar $\text{g kg}^{-1}$	Ca foliar $\text{g kg}^{-1}$	Mg foliar $\text{g kg}^{-1}$	P acumulado $\text{mg vaso}^{-1}$	P no solo $\text{mg dm}^{-3}$	P remanescente $\text{mg L}^{-1}$
pH	3	77,2354**	0,0721 <sup>ns</sup>	19,0286**	1,6064**	351,4165**	2063,0573**	66,9707**
P	1	5,2208 <sup>ns</sup>	0,4556**	0,7439 <sup>ns</sup>	0,4472*	539,0528**	6300,3906**	0,4730 <sup>ns</sup>
Filler	1	7,1552 <sup>ns</sup>	0,0352 <sup>ns</sup>	0,5076 <sup>ns</sup>	0,1269 <sup>ns</sup>	3,3128 <sup>ns</sup>	54,3906 <sup>ns</sup>	2,2880 <sup>ns</sup>
pH x P	3	0,8912 <sup>ns</sup>	0,0262 <sup>ns</sup>	1,6032 <sup>ns</sup>	0,1459 <sup>ns</sup>	5,1539 <sup>ns</sup>	151,9740 <sup>ns</sup>	8,1842**
pH x Calcário	3	1,4950 <sup>ns</sup>	0,0305 <sup>ns</sup>	0,5609 <sup>ns</sup>	0,0935 <sup>ns</sup>	17,7878 <sup>ns</sup>	219,8073*	1,0609 <sup>ns</sup>
P x Calcário	1	2,3413 <sup>ns</sup>	0,0006 <sup>ns</sup>	0,8100 <sup>ns</sup>	0,0328 <sup>ns</sup>	6,9823 <sup>ns</sup>	34,5156 <sup>ns</sup>	3,9498 <sup>ns</sup>
pH x P x Calcário	3	0,5998 <sup>ns</sup>	0,0252 <sup>ns</sup>	0,6153 <sup>ns</sup>	0,0350 <sup>ns</sup>	32,2281 <sup>ns</sup>	75,5156 <sup>ns</sup>	0,5111 <sup>ns</sup>
Resíduo	45	3,0800	0,0456	0,3775	0,0785	18,1145	75,3462	1,2392
Média Geral		24,8375	2,5434	15,1844	5,7242	62,9263	109,0781	16,7453
C. V. %		7,066	8,397	4,046	4,895	6,764	7,958	6,648

\*\* : significativo a 1% pelo teste t ( $t=\sqrt{F}$ )

\* : significativo a 5% pelo teste t ( $t=\sqrt{F}$ )

ns: não significativo

**Apêndice 2.** Resumo das análises de variância referentes à massa seca ( $\text{g vaso}^{-1}$ ), teores de P ( $\text{g kg}^{-1}$ ), Ca ( $\text{g kg}^{-1}$ ) e Mg ( $\text{g kg}^{-1}$ ) e total de P acumulado ( $\text{mg vaso}^{-1}$ ) na parte aérea da soja, teores de P ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) e P remanescente ( $\text{mg L}^{-1}$ ) no solo, em função dos níveis de pH, adubo fosfatado (P) e calcário para o LVdf da Fazenda Paquetá. Dourados-MS, 2006

Causas da variação	G.L.	Quadrados médios						
		Massa seca $\text{g vaso}^{-1}$	P foliar $\text{g kg}^{-1}$	Ca foliar $\text{g kg}^{-1}$	Mg foliar $\text{g kg}^{-1}$	P acumulado $\text{mg vaso}^{-1}$	P no solo $\text{mg dm}^{-3}$	P remanescente $\text{mg L}^{-1}$
pH	3	20,9126*	0,0984 <sup>ns</sup>	5,3130**	3,7001**	186,9433*	1320,4740**	221,8385**
P	1	231,5344**	0,4590**	0,7768 <sup>ns</sup>	0,8906**	861,4263**	1991,3906**	1,0504 <sup>ns</sup>
Filler	1	11,0142 <sup>ns</sup>	0,1040 <sup>ns</sup>	0,1971 <sup>ns</sup>	0,0375 <sup>ns</sup>	4,0034 <sup>ns</sup>	6,8906 <sup>ns</sup>	1,4398 <sup>ns</sup>
pH x P	3	9,7031 <sup>ns</sup>	0,0258 <sup>ns</sup>	0,2853 <sup>ns</sup>	0,1299 <sup>ns</sup>	52,1748 <sup>ns</sup>	164,5990**	1,3203 <sup>ns</sup>
pH x Calcário	3	0,9730 <sup>ns</sup>	0,0148 <sup>ns</sup>	0,2612 <sup>ns</sup>	0,0168 <sup>ns</sup>	28,9918 <sup>ns</sup>	50,6823 <sup>ns</sup>	0,9780 <sup>ns</sup>
P x Calcário	1	6,6757 <sup>ns</sup>	0,0264 <sup>ns</sup>	0,0001 <sup>ns</sup>	0,0088 <sup>ns</sup>	99,9968 <sup>ns</sup>	3,5156 <sup>ns</sup>	0,8102 <sup>ns</sup>
pH x P x Calcário	3	1,8133 <sup>ns</sup>	0,0301 <sup>ns</sup>	0,3745 <sup>ns</sup>	0,0501 <sup>ns</sup>	12,1202 <sup>ns</sup>	27,8906 <sup>ns</sup>	0,7795 <sup>ns</sup>
Resíduo	45	6,1743	0,0465	0,5778	0,0911	45,6048	38,3684	2,5508
Média Geral		24,3514	3,0691	14,3117	5,1242	74,3313	107,0156	23,7281
C. V. %		10,204	7,023	5,311	5,891	9,085	5,788	6,731

\*\* : significativo a 1% pelo teste t ( $t=\sqrt{F}$ )

\* : significativo a 5% pelo teste t ( $t=\sqrt{F}$ )

ns: não significativo

### Apêndice 3. Atributos químicos do solo de cada vaso da Fazenda Ribeirão

Tratamentos <sup>a</sup>	Repetições	pH (CaCl <sub>2</sub> )	pH (H <sub>2</sub> O)	P (mg dm <sup>-3</sup> )	P remanescente (mg L <sup>-1</sup> )
pH5,7 P0 C0	A	5,5	6,1	92,0	14,5
	B	5,6	6,1	96,0	17,4
	C	5,5	6,1	89,0	16,0
	D	5,6	6,1	91,0	18,9
pH5,7 P0 C1	A	5,6	6,1	84,0	18,4
	B	5,6	6,1	82,0	17,6
	C	5,6	6,2	93,0	16,2
	D	5,6	6,1	98,0	16,7
pH5,7 P1 C0	A	5,5	6,0	103,0	18,2
	B	5,6	6,1	108,0	18,2
	C	5,5	6,1	113,0	17,9
	D	5,6	6,1	106,0	19,2
pH5,7 P1 C1	A	5,6	6,1	116,0	18,9
	B	5,5	6,1	151,0	18,4
	C	5,6	6,1	103,0	19,2
	D	5,6	6,2	99,0	18,7
pH6,0 P0 C0	A	5,9	6,4	90,0	18,9
	B	6,0	6,4	88,0	18,4
	C	5,9	6,4	88,0	18,9
	D	6,0	6,4	91,0	17,4
pH6,0 P0 C1	A	5,9	6,4	97,0	19,7
	B	6,0	6,4	96,0	19,6
	C	6,0	6,4	99,0	20,0
	D	6,0	6,4	92,0	18,4
pH6,0 P1 C0	A	5,9	6,4	104,0	17,7
	B	6,0	6,4	130,0	17,4
	C	5,9	6,3	113,0	16,0
	D	6,0	6,3	99,0	17,7
pH6,0 P1 C1	A	6,0	6,4	104,0	15,5
	B	6,0	6,3	110,0	15,8
	C	6,0	6,4	116,0	18,7
	D	6,1	6,4	109,0	18,9
pH6,5 P0 C0	A	6,4	6,8	103,0	16,0
	B	6,4	6,8	104,0	16,2
	C	6,4	6,8	99,0	17,2
	D	6,4	6,8	106,0	17,2
pH6,5 P0 C1	A	6,4	6,8	98,0	17,4
	B	6,5	6,9	98,0	19,2
	C	6,4	6,9	93,0	19,5
	D	6,5	6,9	110,0	16,0
pH6,5 P1 C0	A	6,4	6,7	110,0	15,5
	B	6,5	6,8	116,0	16,9
	C	6,5	6,8	110,0	17,9
	D	6,4	6,8	116,0	19,2
pH6,5 P1 C1	A	6,5	6,8	115,0	17,9
	B	6,4	6,8	116,0	17,2
	C	6,5	6,8	124,0	18,9
	D	6,4	6,8	104,0	16,9
pH7,0 P0 C0	A	6,9	7,2	116,0	14,1
	B	6,9	7,2	121,0	14,2
	C	6,9	7,2	121,0	14,2
	D	6,9	7,2	118,0	12,8
pH7,0 P0 C1	A	6,9	7,2	117,0	13,4
	B	6,9	7,3	95,0	14,0
	C	7,0	7,3	101,0	15,5
	D	6,9	7,3	107,0	14,7
pH7,0 P1 C0	A	6,9	7,2	142,0	15,3
	B	6,9	7,2	147,0	14,1
	C	6,9	7,2	141,0	13,3
	D	6,9	7,2	149,0	13,0
pH7,0 P1 C1	A	6,9	7,2	145,0	13,6
	B	6,9	7,2	130,0	12,6
	C	6,9	7,2	134,0	12,1
	D	6,9	7,2	125,0	12,3

<sup>a/</sup> P0 e C0 correspondem aos tratamentos com ausência de fósforo e calcário, respectivamente;  
P1 corresponde à dose de 21,82 mg dm<sup>-3</sup> de fósforo;  
C1 corresponde à dose de 100 mg dm<sup>-3</sup> de calcário.

#### Apêndice 4. Atributos químicos do solo de cada vaso da Fazenda Paquetá

Tratamentos <sup>a</sup>	Repetições	pH (CaCl <sub>2</sub> )	pH (H <sub>2</sub> O)	P (mg dm <sup>-3</sup> )	P remanescente (mg L <sup>-1</sup> )
pH5,6 P0 C0	A	5,6	6,3	86,0	25,2
	B	5,6	6,3	96,0	27,4
	C	5,5	6,2	99,0	27,7
	D	5,6	6,3	94,0	26,4
pH5,6 P0 C1	A	5,6	6,3	99,0	26,8
	B	5,6	6,3	96,0	28,4
	C	5,6	6,2	96,0	26,0
	D	5,6	6,2	85,0	26,0
pH5,6 P1 C0	A	5,5	6,1	95,0	27,2
	B	5,6	6,2	99,0	28,1
	C	5,6	6,2	105,0	27,7
	D	5,6	6,2	111,0	27,7
pH5,6 P1 C1	A	5,6	6,2	93,0	26,3
	B	5,6	6,2	94,0	25,2
	C	5,6	6,2	99,0	29,3
	D	5,6	6,3	102,0	28,1
pH6,0 P0 C0	A	5,9	6,5	72,0	27,7
	B	6,0	6,5	97,0	24,5
	C	6,0	6,6	94,0	24,8
	D	6,0	6,6	99,0	27,7
pH6,0 P0 C1	A	5,9	6,5	99,0	28,6
	B	6,0	6,6	98,0	28,1
	C	6,0	6,6	100,0	24,1
	D	6,1	6,6	96,0	26,4
pH6,0 P1 C0	A	6,0	6,5	116,0	27,2
	B	5,9	6,5	98,0	28,4
	C	5,9	6,5	116,0	26,6
	D	5,9	6,4	112,0	21,8
pH6,0 P1 C1	A	6,0	6,6	108,0	25,2
	B	6,1	6,5	115,0	28,1
	C	6,0	6,5	109,0	29,4
	D	6,0	6,5	120,0	26,6
pH6,5 P0 C0	A	6,4	6,8	109,0	20,4
	B	6,4	6,8	103,0	22,5
	C	6,4	6,8	105,0	22,2
	D	6,4	6,8	100,0	19,7
pH6,5 P0 C1	A	6,4	6,9	108,0	23,5
	B	6,4	6,8	102,0	22,9
	C	6,4	6,9	93,0	20,1
	D	6,4	6,9	99,0	20,6
pH6,5 P1 C0	A	6,4	6,8	124,0	21,3
	B	6,4	6,8	116,0	24,4
	C	6,4	6,7	115,0	22,6
	D	6,5	6,9	118,0	20,1
pH6,5 P1 C1	A	6,4	6,8	119,0	22,0
	B	6,5	6,9	121,0	23,4
	C	6,4	6,7	120,0	23,4
	D	6,5	6,9	114,0	20,0
pH7,0 P0 C0	A	6,9	7,3	119,0	16,2
	B	6,9	7,3	116,0	20,0
	C	6,8	7,2	108,0	20,8
	D	6,9	7,3	117,0	20,2
pH7,0 P0 C1	A	6,9	7,3	116,0	19,7
	B	6,9	7,3	124,0	20,2
	C	6,9	7,4	115,0	21,2
	D	6,9	7,3	106,0	19,2
pH7,0 P1 C0	A	6,8	7,2	123,0	19,7
	B	6,9	7,3	118,0	19,5
	C	6,9	7,3	116,0	18,4
	D	6,9	7,3	118,0	20,4
pH7,0 P1 C1	A	6,9	7,3	123,0	20,5
	B	6,9	7,3	118,0	18,2
	C	6,9	7,3	126,0	18,2
	D	6,9	7,3	122,0	18,4

<sup>a/</sup> P0 e C0 correspondem aos tratamentos com ausência de fósforo e calcário, respectivamente;  
P1 corresponde à dose de 21,82 mg dm<sup>-3</sup> de fósforo;  
C1 corresponde à dose de 100 mg dm<sup>-3</sup> de calcário.

## Apêndice 5. Resultados de análises de tecidos vegetais da Fazenda Ribeirão

Tratamentos <sup>a</sup>	R <sup>b</sup>	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Zn	Cu	Mn	B	Na
		(g kg <sup>-1</sup> )							(mg kg <sup>-1</sup> )				
pH5,7 P0 C0	A	37,15	2,32	16,70	13,90	5,15	2,03	160	142	11	127	56	48
	B	40,55	2,61	16,40	13,25	5,20	2,17	167	174	8	145	55	43
	C	39,96	2,78	16,45	14,75	5,70	2,36	238	202	7	228	54	47
	D	35,52	2,15	15,30	14,10	5,40	2,08	172	150	11	145	50	53
pH5,7 P0 C1	A	36,41	2,44	15,65	14,80	5,50	2,11	199	156	11	135	52	52
	B	37,15	2,51	17,30	14,35	5,35	2,11	120	163	11	141	54	60
	C	37,89	2,71	19,15	14,70	5,65	2,23	231	176	9	162	51	67
	D	40,55	2,77	18,00	14,75	5,65	2,39	209	202	11	187	51	62
pH5,7 P1 C0	A	38,03	2,40	15,15	14,25	5,50	2,16	145	157	8	135	54	63
	B	39,07	2,76	16,40	14,60	5,65	2,46	201	206	8	242	55	53
	C	37,15	2,85	16,55	14,50	5,30	2,33	190	175	8	155	51	60
	D	35,82	2,75	18,80	14,40	5,25	2,15	169	175	10	165	47	62
pH5,7 P1 C1	A	35,67	2,61	18,35	14,05	5,45	2,14	175	179	8	135	51	84
	B	40,84	2,88	20,45	14,80	5,85	2,49	136	165	9	147	54	64
	C	39,81	2,83	17,15	14,85	5,55	2,29	194	130	9	101	54	52
	D	35,82	2,67	18,00	13,95	5,20	2,22	146	192	6	204	48	53
pH6,0 P0 C0	A	39,22	2,63	20,25	15,05	5,75	2,44	155	216	8	262	51	92
	B	38,48	2,72	18,60	14,90	5,70	2,38	187	182	11	155	50	53
	C	36,56	2,58	19,40	15,50	5,65	2,23	146	189	9	166	47	65
	D	33,30	2,09	20,65	15,15	5,25	2,19	107	145	7	127	40	57
pH6,0 P0 C1	A	38,48	2,94	20,50	15,10	5,75	2,31	218	206	8	246	52	78
	B	34,78	2,65	18,60	14,75	5,60	2,14	166	186	9	169	45	49
	C	34,49	2,72	23,50	14,70	5,70	2,20	177	143	8	124	50	72
	D	28,87	1,99	16,15	13,60	4,75	1,82	114	155	5	165	44	46
pH6,0 P1 C0	A	38,63	2,90	20,40	14,75	5,90	2,33	306	226	10	248	52	72
	B	36,11	2,65	17,40	14,30	5,40	2,14	658	172	7	159	46	54
	C	31,09	2,59	19,60	13,90	5,55	2,08	150	123	6	102	46	62
	D	28,42	2,29	16,25	14,05	5,15	2,00	154	159	10	156	40	53
pH6,0 P1 C1	A	33,60	2,37	17,80	12,90	5,00	2,07	139	197	7	194	43	56
	B	30,35	2,54	18,90	14,75	5,85	2,15	168	157	7	125	47	64
	C	35,82	2,60	21,00	15,15	5,80	2,14	201	150	10	130	47	71
	D	36,26	2,80	20,75	15,00	5,65	2,14	172	179	4	177	49	59
pH6,5 P0 C0	A	43,65	2,28	15,50	14,80	5,50	2,17	125	154	7	149	49	50
	B	37,59	2,67	16,60	14,60	5,85	2,34	174	145	9	118	52	48
	C	33,89	2,51	19,20	14,80	5,55	2,08	162	143	7	126	47	65
	D	35,37	2,51	18,25	14,85	5,60	2,25	127	214	8	259	45	52
pH6,5 P0 C1	A	36,26	2,55	17,75	14,75	5,80	2,25	191	212	8	223	47	75
	B	38,48	2,44	16,75	14,35	5,70	2,27	137	145	7	129	48	36
	C	36,41	2,39	17,55	14,45	5,35	2,08	146	135	11	124	48	46
	D	29,61	1,85	16,15	13,15	4,95	1,67	111	116	7	117	41	54
pH6,5 P1 C0	A	35,08	2,12	15,35	15,35	5,60	2,03	126	146	5	165	43	48
	B	39,07	2,76	18,50	15,60	6,30	2,16	125	189	8	173	53	51
	C	38,63	2,65	19,25	15,25	5,95	2,13	143	171	9	170	50	57
	D	39,96	2,76	17,70	14,80	5,75	2,25	133	182	10	183	47	52
pH6,5 P1 C1	A	38,03	2,49	16,55	15,65	6,10	2,14	159	193	6	199	48	54
	B	41,43	2,83	16,80	16,00	6,05	1,88	143	208	6	225	52	46
	C	39,96	2,55	17,40	14,80	5,55	2,18	159	139	7	123	50	51
	D	37,00	2,65	19,05	16,65	6,35	2,27	158	133	8	115	46	59
pH6,5 P1 C1	A	35,52	2,31	14,30	16,30	6,00	2,13	129	191	9	195	48	64
	B	35,37	2,24	14,75	17,65	6,10	2,06	160	165	4	148	47	53
	C	39,96	2,48	15,05	16,35	5,85	2,08	136	114	8	98	49	45
	D	35,67	2,14	15,65	15,65	5,65	2,11	127	172	5	200	44	36
pH7,0 P0 C1	A	38,48	2,09	14,70	16,20	5,85	1,99	147	122	8	111	43	41
	B	36,70	2,51	17,25	16,30	6,25	2,19	122	142	7	143	48	43
	C	41,88	2,68	16,80	17,50	6,40	2,25	147	163	9	165	49	48
	D	39,22	2,43	15,95	17,40	6,35	2,22	148	129	4	143	44	46
pH7,0 P1 C0	A	34,04	2,26	15,30	15,30	5,80	2,01	108	152	5	169	44	59
	B	39,22	2,83	18,90	17,35	6,75	2,41	126	175	6	177	50	74
	C	37,89	2,51	16,35	16,30	5,85	2,17	124	192	8	219	49	59
	D	38,03	2,54	14,70	16,75	6,15	2,23	181	144	10	145	50	45
pH7,0 P1 C1	A	40,99	2,53	14,60	16,80	6,30	2,20	177	129	6	121	46	40
	B	38,63	2,82	16,75	18,35	6,70	2,14	169	163	10	169	47	53
	C	40,99	2,70	15,30	16,75	6,20	2,14	147	116	7	111	49	45
	D	42,32	2,60	15,60	17,45	6,40	2,14	151	153	11	164	43	46

<sup>a</sup>/ P0 e C0 correspondem aos tratamentos com ausência de fósforo e calcário, respectivamente;

P1 corresponde à dose de 21,82 mg dm<sup>-3</sup> de fósforo;

C1 corresponde à dose de 100 mg dm<sup>-3</sup> de calcário.

<sup>b</sup>/R corresponde às repetições.

## Apêndice 6. Resultados de análises de tecidos vegetais da Fazenda Paquetá

Tratamentos <sup>a</sup>	R <sup>b</sup>	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Zn	Cu	Mn	B	Na
		(g kg <sup>-1</sup> )							(mg kg <sup>-1</sup> )				
pH5,6 P0 C0	A	40,84	3,39	22,60	16,55	5,40	2,40	199	170	6	164	59	69
	B	39,51	2,98	20,80	14,95	4,95	2,25	179	166	6	179	56	54
	C	38,77	3,09	23,45	14,10	4,95	2,27	189	144	9	173	50	58
	D	43,65	3,23	21,75	14,45	4,85	2,35	151	210	10	278	54	66
pH5,6 P0 C1	A	37,44	2,98	22,70	13,95	4,75	2,13	150	132	7	150	55	59
	B	44,10	3,23	22,10	15,65	5,60	2,31	254	159	6	178	61	51
	C	40,25	3,51	24,00	15,55	5,00	2,36	253	159	8	185	56	66
	D	42,17	3,27	21,95	14,90	5,10	2,41	199	163	9	191	56	55
pH5,6 P1 C0	A	40,70	3,14	19,60	15,00	4,95	2,41	198	162	7	182	54	54
	B	43,21	2,90	21,00	14,15	4,95	2,36	168	109	4	117	55	43
	C	36,56	3,14	23,70	15,10	4,80	2,35	165	151	4	190	55	53
	D	42,17	3,24	22,80	14,80	5,15	2,46	218	153	11	195	56	60
pH5,6 P1 C1	A	38,63	3,15	23,60	16,10	5,35	2,25	203	178	5	214	57	63
	B	40,84	3,16	22,55	14,15	4,80	2,19	210	154	8	183	62	53
	C	38,77	2,78	18,70	14,90	4,65	1,91	190	135	7	155	56	45
	D	39,96	3,06	21,25	14,30	4,75	2,23	215	156	8	184	51	53
pH6,0 P0 C0	A	40,70	2,86	20,55	14,95	5,10	2,23	205	134	5	149	57	52
	B	39,22	3,23	21,35	14,70	5,15	2,29	240	144	8	170	55	45
	C	32,12	3,00	21,90	14,30	4,40	2,10	188	135	6	162	51	64
	D	40,10	2,87	19,75	14,80	4,90	2,27	206	180	6	200	52	42
pH6,0 P0 C1	A	42,91	3,07	19,50	13,30	4,50	2,44	185	117	5	124	54	39
	B	42,47	3,45	20,90	14,55	5,05	2,39	207	165	5	178	60	51
	C	43,65	3,29	20,05	14,40	4,75	2,30	174	164	8	192	59	40
	D	39,96	2,98	21,45	13,90	4,65	2,21	253	123	10	118	54	57
pH6,0 P1 C0	A	35,67	2,90	21,35	14,90	4,80	2,08	210	96	8	97	53	76
	B	35,52	2,70	19,90	13,00	3,90	2,07	152	84	8	91	48	51
	C	40,99	2,86	19,20	13,80	4,15	2,22	179	105	8	115	48	50
	D	39,22	2,91	19,75	13,35	4,10	2,13	158	108	10	121	49	53
pH6,0 P1 C1	A	37,44	2,33	18,50	13,00	3,95	1,99	153	92	6	117	49	33
	B	45,13	2,98	19,60	14,85	4,55	2,42	221	135	11	140	59	47
	C	39,36	3,10	20,60	13,55	4,80	2,36	252	115	8	129	59	59
	D	40,99	2,83	19,20	13,80	4,20	2,37	215	114	6	128	52	78
pH6,5 P0 C0	A	39,96	2,93	20,05	13,55	4,80	2,37	247	126	10	133	55	70
	B	39,96	3,07	20,20	13,30	5,25	2,27	186	136	11	151	59	61
	C	45,87	3,18	20,80	13,60	5,50	2,36	206	155	9	207	56	47
	D	44,69	3,14	19,60	12,80	5,30	2,37	192	168	12	222	53	51
pH6,5 P0 C1	A	41,43	3,12	19,45	13,15	5,10	2,19	189	121	10	142	55	35
	B	41,58	3,12	20,25	14,45	5,65	2,29	166	112	9	139	55	44
	C	39,22	3,36	21,30	14,05	5,40	2,23	158	113	10	141	54	51
	D	39,96	3,25	23,35	13,85	5,35	2,15	189	117	11	145	52	62
pH6,5 P1 C0	A	38,63	3,09	20,40	14,00	5,35	2,28	191	131	10	162	51	66
	B	42,47	3,06	20,65	13,15	5,05	2,33	165	125	10	153	47	45
	C	41,43	2,87	19,35	13,45	4,80	2,25	150	121	8	148	51	47
	D	42,62	3,20	20,10	14,50	5,45	2,44	226	107	10	134	53	52
pH6,5 P1 C1	A	39,22	3,09	20,85	14,15	5,35	2,23	205	145	9	199	54	66
	B	42,17	3,20	21,40	13,55	5,30	2,36	174	109	8	141	55	44
	C	45,43	3,25	20,10	13,30	5,20	2,46	178	129	8	160	51	48
	D	39,22	2,78	19,35	13,15	4,70	2,22	197	113	9	129	46	43
pH7,0 P0 C0	A	38,18	3,14	20,75	15,05	5,90	2,28	266	142	6	199	54	63
	B	36,56	3,20	20,25	14,30	5,40	2,27	185	140	8	199	55	50
	C	38,48	3,06	21,55	15,35	6,05	2,33	167	115	7	158	50	41
	D	39,96	3,12	20,85	14,90	5,40	2,46	212	123	11	165	51	46
pH7,0 P0 C1	A	34,78	2,78	20,50	14,15	5,50	1,58	135	111	7	131	40	46
	B	38,48	3,72	23,35	13,35	6,20	1,94	239	128	15	147	45	49
	C	40,99	3,23	19,75	13,65	5,60	1,98	162	164	7	236	51	52
	D	48,24	3,07	17,50	17,00	6,25	2,27	202	202	14	286	49	46
pH7,0 P1 C0	A	39,96	2,53	18,65	14,30	5,50	1,93	221	102	10	116	46	41
	B	36,26	2,65	18,10	14,75	5,55	2,04	156	119	9	154	46	40
	C	40,99	2,78	18,25	14,70	5,50	2,08	130	114	8	140	46	39
	D	41,58	3,46	20,10	15,15	5,90	1,75	227	133	12	159	47	41
pH7,0 P1 C1	A	39,36	2,83	18,50	14,30	5,50	2,07	202	121	6	159	46	29
	B	39,51	3,09	20,30	15,10	5,85	2,14	144	164	9	198	48	43
	C	47,20	3,19	19,30	14,00	5,65	2,32	168	130	11	184	48	46
	D	45,28	3,25	19,70	14,15	5,70	2,23	157	107	11	142	50	42

<sup>a/</sup> P0 e C0 correspondem aos tratamentos com ausência de fósforo e calcário, respectivamente;

P1 corresponde à dose de 21,82 mg dm<sup>-3</sup> de fósforo;

C1 corresponde à dose de 100 mg dm<sup>-3</sup> de calcário.

<sup>b/</sup>R corresponde às repetições.