



**UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA**

DIOGO NÉIA EBERHARDT

**DINÂMICA DO FÓSFORO EM LATOSSOLO DO CERRADO
SOB SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA**

Londrina
2008

DIOGO NÉIA EBERHARDT

**DINÂMICA DO FÓSFORO EM LATOSSOLO DO CERRADO
SOB SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação, em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Agronomia.

Orientadora: Profa. Dra. Maria de Fátima Guimarães

Co-Orientador: Dr. Edemar Joaquim Corazza

Londrina
2008

**Catálogo na publicação elaborada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca Central da Universidade Estadual de Londrina.**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

S237i Santos, Esmael Lopes dos.
Influência do genótipo sobre as concentrações de proteína e óleo em
sementes de soja [Glycine max (L.) Merrill] / Esmael Lopes dos
Santos. – Londrina, 2006.
53f.

Orientador: Cássio Egídio Cavenaghi Prete.
Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de
Londrina, 2006.
Bibliografia: f. 15-24; 47-53.

1. Soja – Sementes – Teses. 2. Plantas oleaginosas – Teses. I. Prete,
Cássio Egídio Cavenaghi. II. Universidade Estadual de Londrina. III.
Título.

CDU 633.34

DIOGO NÉIA EBERHARDT

**DINÂMICA DO FÓSFORO EM LATOSSOLO DO CERRADO
SOB SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação, em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Agronomia.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Maria de Fátima Guimarães
UEL

Prof. Dr. Osmar Rodrigues Brito
UEL

Dr. Robélio Leandro Marchão
EMBRAPA CERRADOS

Profa. Dra. Maria de Fátima Guimarães
Orientadora
Universidade Estadual de Londrina

Londrina, 18 de março de 2008.

DEDICATÓRIA

A minha mãe, Iria Néia Eberhardt, exemplo de vida e superação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pela força e compreensão nas horas mais difíceis e por alcançar mais este objetivo em minha vida.

Ao Departamento de Agronomia da Universidade Estadual de Londrina – PR, pela oportunidade de realização do curso.

Ao *Institut de Recherche Pour le Développement* – IRD, pelo apoio financeiro na realização do experimento e análises.

À Embrapa Cerrados, em especial ao Laboratório de Solos e Microbiologia do Solos, pela oportunidade e apoio para a conclusão do mestrado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CNPq, pela concessão da bolsa de estudos.

A BUNGE Fertilizantes S/A pela colaboração no experimento.

A Prof.^a Dr.^a Maria de Fátima Guimarães, minha orientadora e amiga, acima de tudo pelo incentivo, ensinamentos para a minha vida profissional e pessoal e confiança.

Ao grande amigo e co-orientador, Dr. Thierry Becquer a quem admiro pela grande capacidade e dedicação à pesquisa científica, sempre pronto a ajudar e orientar.

Ao co-orientador Dr. Edemar Joaquim Corazza, pelas sempre boas sugestões.

Agradeço especialmente ao pesquisador Lourival Vilela, por conceder uma de suas unidades experimentais, onde foi realizado todo o trabalho de campo e pelas sugestões.

Aos grandes amigos e companheiros, Pedro Rodolfo Siqueira Vendrame e Robélio Leandro Marchão a quem tenho uma estima especial pelos conselhos, sugestões e alegrias.

À minha família, meus pais, meus irmãos por terem acreditado em mim.

Aos parceiros pesquisadores da Embrapa Cerrados, Álvaro Resende, Fabio Bueno dos Reis Junior.

Aos professores e pesquisadores da Universidade de Estadual de Londrina, Osmar Rodrigues Brito e Marco Antônio Nogueira.

Aos companheiros de morada Pablo Nascimento e Daniel Portugal, pela paciência e incentivo.

Aos colegas de pós-graduação, em especial os amigos Maria Inês Oliveira, Dáfila Lima, Jérémie Garnier, Sophie Raous, José Euripedes Peñuela, Kleber Trabaquini, Norton Polo Benito, Alfredo Richard, Cristine Elizabeth Carneiro e Nagib Melem.

Aos amigos dos laboratórios da Embrapa Cerrados, Lucas Carvalho, Maria Silva, e Nirceu Werneck pelo apoio nas análises e no trabalho de campo.

Às ex-estagiárias da Embrapa, Denise Adriane Santos Sobrinho e Sibeles Neves.

E a todos aqueles que de alguma forma me ajudaram e incentivaram nesta caminhada.

“A ciência está longe de conhecer o mundo de uma maneira perfeita e adequada; ela tem, no entanto, a pretensão legítima de descobrir para nós, em parte, a natureza e as suas leis.”

Jovielt

EBERHARDT, Diogo Néia. **Dinâmica do fósforo em latossolo do cerrado sob sistema de integração lavoura-pecuária**. 2008. 69f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2008.

RESUMO

A integração dos sistemas lavoura-pecuária (ILP) é uma das alternativas para a recuperação da fertilidade dos solos sob pastagens degradadas na região do Cerrado. Este sistema apresenta efeitos positivos sobre a fertilidade e a qualidade do solo, aumentando os teores de carbono orgânico e a atividade biológica do solo, tornando necessário uma nova caracterização da fertilidade do solo, principalmente da biodisponibilidade do P percebida pelas plantas cultivadas. Neste contexto este trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos do sistema de integração lavoura-pecuária, no efeito residual da adubação fosfatada da pastagem na cultura da soja. O estudo foi realizado em área experimental da Embrapa Cerrados, Planaltina-DF, onde foi semeada a pastagem em três subáreas de 1,5 ha, com níveis de adubação 0 (P0), 20 (P1) e 40 (P2) kg ha⁻¹ de P₂O₅, para cada subparcela de pastagem, aplicados anualmente na forma de superfosfato simples. Após quatro anos de pastejo toda a área foi dessecada e foi realizada a semeadura de soja, cv. BRS Valiosa RR, com três níveis de adubação 0 (S0), 50 (S1), 100 (S2) kg ha⁻¹ de P₂O₅ na forma de superfosfato triplo aplicados no sulco de plantio, totalizando 9 faixas de adubação. Uma avaliação da cultura da soja (produtividade e teor de P da planta), teores biodisponíveis de P inorgânico (P-Resina, P-Mehlich e P-Olsen) e do potencial de mineralização do P orgânico (fosfatase ácida) durante todo o ciclo da cultura foi realizada coletando amostras em três épocas, sendo a primeira no período vegetativo (V5.), a segunda em plena floração (R2.) e a terceira no final de maturação (R8.2.). Foram analisados os teores disponíveis de P no solo, a atividade da fosfatase ácida, a produção de matéria seca e o teor acumulado de P pela planta de soja. Os teores de P-Resina, P-Mehlich e P-Olsen tiveram correlações positivas, nas três épocas de amostragem. Diferente dos outros, o extrator Olsen indicou uma tendência de estabilidade com um pequeno aumento nos teores de P ao longo do tempo, principalmente, nas três faixas de adubação com apenas adubação na pastagem (P0S0, P1S0 e P2S0). Todos os extratores apresentaram correlações positivas com a MS produzida pela soja, sendo que o maior coeficiente de correlação foi obtido com a Resina. A acumulação de P pela planta na faixa de adubação P2S0 não foi diferente do P0S2, sugerindo que a adubação antecipada na pastagem pode ser tão eficiente quanto a fertilização direta na cultura da soja, confirmando que o P residual disponível oriundo da pastagem contribuiu para atender a demanda da soja, tanto quanto a adubação fosfatada executada exclusivamente para a referida cultura. Os altos valores de atividade da fosfatase ácida podem ter favorecido a mineralização do P orgânico residual da pastagem, sendo que sua variação entre as épocas de amostragem sugere que este é o principal fator de influência. O efeito residual da adubação na pastagem pode ser observado na faixa de adubação P2S0 que alcançou a produtividade de 3735 kg ha⁻¹ de soja. Já o balanço negativo de P (-5,7 kg ha⁻¹) na pastagem P0, exportado pela produção de carne, corrobora a causa da crescente degradação das pastagens em sistema de caráter extrativista. As faixas de adubação que receberam maiores doses de P na fertilização tiveram maior exportação de P, mas aproximadamente 85 % do P aplicado ficou como resíduo.

Palavras-chave: Estoque de P. Soja. Pastagem. P residual. Adubação antecipada. Balanço de P.

EBERHARDT, Diogo Néia. **Dynamic of the phosphorus in a Cerrado Oxisol under integrated crop-livestock management system**. 2008. 69p. Dissertation (Master's degree in Agronomy) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2008.

ABSTRACT

The integration of crop-livestock systems (ILP) is one of the alternatives to recover the fertility of soils under degraded pastures in the Cerrado region. This system has positive effects on soil fertility and quality, increasing organic carbon contents and soil biological activity, thus requiring a new characterization of soil fertility by identifying soil indicators (physical, chemical, and biological) that are sensitive to changes in P bioavailability perceived by cultivated plants. Within this context, this study aimed to make considerations on the effects of the crop-livestock integration system, on residual effect of phosphate fertilization of pasture on a soybean crop. The study was conducted in an experiment area at Embrapa Cerrados, Planaltina-DF, where the pasture was sown into three subareas of 1,5 ha, which received fertilization levels of 0 (P0), 20 (P1), and 40 (P2) kg ha⁻¹ P₂O₅, for each subfragment of pasture applied annually in the form of single superphosphate. After the fourth year of grazing the entire area was desiccated and soybean cv. BRS Valiosa RR was sown, at three fertilization levels, 0 (S0), 50 (S1), 100 (S2) kg ha⁻¹ of P₂O₅ in the form of triple superphosphate applied in the planting furrow, totaling 9 fertilization zones. A soybean crop evaluation (productivity value and P content by plant), available inorganic P contents (P-Resina, P-Mehlich and P-Olsen), and organic P mineralization potential (acid phosphatase) throughout the crop cycle was done collecting samples in three seasons, as follows: the first in the vegetative period (V5.), the second at full bloom (R2.), and the third at the end of maturation (R8.2.). The available P contents on soil, the activity of acid phosphatase, the drying material production and the P content accumulated by soybean plant were analyzed. P-Mehlich, P-Resin and P-Olsen contents produced positive correlations in the three sampling seasons. Differently from the others, the Olsen extractor indicated a tendency of stability with a small increase in P contents with time, especially in the three fertilization zones where only pasture fertilization was performed (P0S0, P1S0, and P2S0). However, all extractors presented positive correlations with MS produced by soybean, where the best coefficient of correlation was obtained with the Resin. P accumulation by the plant in the fertilization zone P2S0 was not different from P0S2, suggesting that early fertilization in the pasture can be as effective as direct fertilization in the soybean crop. This confirms that the residual P available arising from the pasture contribute to meet the soybean litigation as much as the phosphatase fertilization accomplished exclusively to the aforesaid crop. The high acid phosphatase activity values obtained may have facilitated organic residual P mineralization in the pasture, but its variation between sampling seasons, suggests that this is the main factor of influence. The residual fertilization effect in the pasture can be observed in the fertilization zone P2S0, which reached a productivity value of 3735 kg ha⁻¹ soybean. Conversely, the negative value of P (-5.7 kg ha⁻¹) on P0 pasture, exported by meat production, confirms the reason for increased pasture degradation under systems of an extractivist nature. The fertilization zones that received the highest portions of P during fertilization exported the most P, but approximately 85% of all P applied stayed as residue.

Keywords: P Stock. Soybean. Pasture. Residual P. Early fertilization. P Balance.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 REVISÃO DE LITERATURA	14
2.1 DISPONIBILIDADE DO FÓSFORO NOS LATOSSOLOS	14
2.1.1 Adsorção de fósforo	14
2.1.2 Papel da matéria orgânica.....	16
2.1.3 Papel da atividade biológica - fosfatase ácida.....	17
2.2 EFEITO DO SISTEMA DE MANEJO	20
2.2.1 Sistemas acumuladores de matéria orgânica.....	20
2.2.2 Efeito das adubações antecipadas.....	22
3 ARTIGO A – AVALIAÇÃO DA BIODISPONIBILIDADE DO FÓSFORO EM LATOSSOLO DO CERRADO SOB SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA	26
3.1 RESUMO E ABSTRACT.....	26
3.2 INTRODUÇÃO.....	28
3.3 MATERIAL E MÉTODOS.....	29
3.3.1 Descrição da área	29
3.3.2 Época de amostragem	30
3.3.3 Amostragem de solo.....	30
3.3.4 Amostragem de planta	31
3.3.5 Análises químicas de solo e planta	31
3.3.6 Análises estatísticas	32
3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
3.5 CONCLUSÕES.....	44
4 ARTIGO B – EFEITO DO MANEJO DA ADUBAÇÃO FOSFATADA NO BALANÇO DE FÓSFORO EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA NO CERRADO	45
4.1 RESUMO E ABSTRACT.....	45
4.2 INTRODUÇÃO.....	47
4.3 MATERIAL E MÉTODOS.....	48

4.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	50
4.5 CONCLUSÕES.....	56
5 CONCLUSÕES GERAIS	57
REFERÊNCIAS.....	58
APÊNDICES	67
APÊNDICE A – Teste de médias na primeira época (V4) de amostragem	68
APÊNDICE B – Teste de médias na terceira época (R8.2) de amostragem	69

INTRODUÇÃO

Cerrado é o segundo maior bioma do Brasil ocupando uma área de 204 milhões de hectares, aproximadamente 24% do território brasileiro. Deste total, Sano et al. (2008) estimaram que 54 milhões são explorados com pastagens cultivadas, dos quais, segundo Vieira e Kichel (1995) e Barcellos (1996), 50 a 80% apresentam algum grau de degradação. De acordo com Vilela et al. (2004) essas pastagens receberam, em média, no período de 1994 a 2002, uma quantidade irrisória de 4 kg ha^{-1} de NPK. A região contribui com cerca 55 % da produção nacional de carne bovina (57,7 milhões de cabeças) (ANUALPEC, 2006) e 60% da produção nacional de soja (30,7 milhões de toneladas de grãos) (Embrapa, 2005), empregando altas tecnologias disponível no mercado agropecuário.

Os Latossolos representam aproximadamente 45,7% dos solos da região do Cerrado (RESENDE et al., 1995). Segundo os mesmos autores são solos muito intemperizados, com teor de argila entre 15% e 80%, pH variando de 4,0 a 5,5, baixa capacidade de troca catiônica, alta capacidade de adsorção aniônica (especialmente fosfato) e teores baixos de fósforo disponível (menores que $1,0 \text{ mg kg}^{-1}$).

A predominância de solos muito intemperizados, na região do Cerrado, com alta capacidade de adsorção e baixa disponibilidade de P para as plantas e a falta de adubações de manutenção contribuem decisivamente para a diminuição da produtividade da pastagem ao longo do tempo, levando a evolução no seu processo de degradação.

Na agricultura tradicional, com aplicação de doses elevadas de fertilizantes fosfatados e preparo do solo com incorporação dos resíduos vegetais, a contribuição do P orgânico como fonte de P inorgânico para o crescimento das plantas é irrelevante, justificando assim a pequena importância que se tem dado ao estudo do P orgânico no Brasil (NOVAIS; SMYTH, 1999). Com a adoção dos sistemas de PD e ILP na região, a contribuição do P orgânico como fonte de P inorgânico para as plantas aumenta, uma vez que os teores de matéria orgânica aumentam com o tempo de adoção desses sistemas.

Deve-se considerar também que na região do Cerrado, dos 204

milhões de hectares, somente em aproximadamente 12 milhões de hectares pratica-se agricultura com altas fertilizações com fósforo, enquanto que 49,5 milhões de hectares apresentam-se sob pastagens cultivadas com baixa fertilização (CORAZZA, 2002), onde a participação do P orgânico na nutrição das plantas pode ser importante.

O uso do sistema de PD em solos do bioma Cerrado só foi possível, segundo Bernardi et al. (2003), com a utilização de plantas de cobertura de alto potencial de produção de biomassa, como milheto, capim pé-de-galinha e, recentemente, com a Integração Lavoura-Pecuária, tendo como base o PD para implantação da cultura anual e o uso de plantas do gênero *Brachiaria*. No entanto, são raros os estudos que avaliam o efeito do cultivo dessas espécies sobre as frações de P do solo, a eficiência na reciclagem de P e, conseqüentemente, a disponibilidade desse nutriente para as culturas subseqüentes.

O sistema de rotação de culturas anuais (soja, milho, sorgo, dentre outras) com pastagens é uma alternativa que possibilita a recuperação da fertilidade dos solos degradadas. Este sistema conhecido como integração lavoura-pecuária (ILP) apresenta efeitos positivos sobre a fertilidade (GREEN et al., 2007) e a qualidade do solo (MARCHÃO et al., 2007), aumentando os teores de carbono orgânico e a atividade biológica (GREEN et al., 2007) bem como sobre a rentabilidade econômica e a geração de empregos; além de aumentar a preservação ambiental diminuindo a pressão sobre ecossistemas amazônicos (KLUTHCOUSKI et al., 2003). Neste estudo de caso o método de integração lavoura-pecuária utilizado foi a implantação em sistema de plantio direto da cultura da soja após quatro anos de pastagens.

A utilização de sistemas que favorecem o acúmulo de matéria orgânica (MO) ou resíduos vegetais na superfície do solo, como o sistema Plantio Direto (PD) e a ILP incluindo o PD, alteram a dinâmica do P, principalmente nos horizontes superficiais. Ocorrem aumentos nos teores de fósforo orgânico (Po) e da participação da biota do solo na ciclagem de P associado à diminuição da retenção de P nos óxidos do solo. O aumento da participação destes processos em sistemas acumuladores de MO, torna necessário uma nova caracterização da fertilidade do solo que identifique indicadores (físicos, químicos e biológicos) do solo, sensíveis às mudanças da biodisponibilidade do P percebida pelas plantas cultivadas nestes diferentes sistemas de cultivo e de rotações de culturas.

Neste contexto este trabalho teve como objetivo analisar os efeitos do sistema de integração lavoura-pecuária, avaliando o efeito residual da adubação fosfatada realizada em quatro anos de pastagens na cultura da soja. Os dados obtidos foram apresentados na forma de dois artigos. O primeiro trata dos teores de P biodisponível no solo para soja em sistemas de ILP, do potencial de mineralização de P orgânico pela atividade da fosfatase ácida e do efeito residual da adubação fosfatada realizada em quatro anos de pastagens. O segundo trata das relações entre a adubação fosfatada realizada durante quatro anos de pastagens e o primeiro ano de cultivo de soja, além da acumulação de P no solo e da produção de soja e carne em sistema de ILP.

2 REVISÃO DE LITERATURA

A deficiência de P é a principal restrição para a produtividade agrícola e afeta uma área de mais de 2 bilhões de hectares em todo mundo. Nos Latossolos e Argissolos, solos muito intemperizados e ácidos, ocorre mais de 70% da deficiência de P dos solos tropicais, e destes aproximadamente 50% são encontrados na América tropical (FAIRHURST et al., 1999).

Devido a esses problemas e por ser um recurso não-renovável e relativamente de baixas concentrações na biosfera há a necessidade de se desenvolver tecnologias que aumentem o aproveitamento dos fertilizantes fosfatados aplicado no solo, principalmente em solos onde óxidos de ferro e alumínio favorecem uma forte sorção do P solúvel dos fertilizantes.

Para melhorar a eficiência do P aplicado é imprescindível maximizar a reciclagem do P nos resíduos agrícolas e fertilizantes orgânicos e minerais através de plantas mais eficientes na absorção de P e de sistemas que aumentem o teor de matéria orgânica e formas de P orgânico diminuindo a fixação de fosfato aos óxidos do solo.

2.1 DISPONIBILIDADE DO FÓSFORO NOS LATOSSOLOS

2.1.1 Adsorção de Fósforo

Na região do Cerrado a deficiência de P é a principal restrição agrônômica (GOEDERT, 1983), devido à predominância de solos intemperizados ricos em óxidos de ferro e alumínio e argilas do grupo da caulinita, caracterizando-os como solos de alta capacidade de sorção e baixa disponibilidade deste para as plantas. A sorção pelo solo ocorre tanto pela precipitação do P solúvel com formas iônicas de Fe, Al e Ca, como pela sua adsorção pelos óxidos e hidróxidos de Fe e Al (NOVAIS; SMYTH, 1999).

A sorção de P é influenciada por vários atributos do solo podendo-

se destacar entre eles o pH, a mineralogia da fração argila, o grau de cristalinidade dos óxidos de Fe e Al, e o teor de matéria orgânica do solo (NOVAIS; SMYTH, 1999).

O P orgânico, principalmente diésteres (ATP, Glucose-6-P, etc.), além do carbono orgânico solúvel, é formado na decomposição da matéria orgânica, e tem potencial na competição com o P inorgânico por sítios de sorção (LESSA; ANDERSSO, 1996). A sorção de P orgânico é similar ao mecanismo de troca de ligantes que ocorre com o P inorgânico e a MO (ANDERSON et al. 1974; MCKERCHER; ANDERSON 1989 in GUPPY et al. (2005)).

A inibição da sorção de P foi observada com altas (ANDERSON et al., 1974) e baixas (EVANS, 1985) adições de inositol hexametáfosfato. Entretanto, Evans (1985) encontrou outros fósforos orgânicos (Po), como ácido fítico, que não tinham efeito sobre a sorção de P. Diferentemente desses autores, Leytem et al. (2002) demonstraram que o P orgânico, na forma de ATP, foi preferencialmente sorvido em relação ao fósforo inorgânico em solos intemperizados.

A estabilidade dos complexos entre ácidos orgânicos de baixo peso molecular com metais (Fe e Al) é outro fator que afeta a sorção de P. Quanto mais estável os complexos, mais eficiente a prevenção da sorção de P. Geralmente, solos ricos em óxidos (gibbsita, goethita) apresentam grande inibição da sorção de P devido a capacidade que estes solos têm de formar complexos estáveis entre os óxidos de Fe e Al e ácidos orgânicos (GUPPY et al., 2005).

Iyamuremye, et al. (1996) concluíram que em solos com alta capacidade de adsorção, os resíduos orgânicos diminuem a sorção de fósforo, aumentam a quantidade de fósforo na solução de equilíbrio e o fósforo disponível em diferentes extratores. Baseados na relação de P inorgânico e P orgânico na solução do solo e suas mudanças, Chapman et al. (1997), concluíram que o P orgânico na solução do solo é controlado tanto pela atividade biológica como pelos processos de sorção.

Em solos neutros e ácidos a dinâmica do P inorgânico é dominada pela sorção do PO_4^{3-} nos minerais de argila e nos óxidos de Fe e Al. A adsorção, fixação e oclusão ocorrem predominantemente em solos ácidos. Isto é um grande problema para solos muito intemperizados e ricos em óxidos de Fe e Al, como os Ferralsols e Sesquisols, especialmente nas regiões tropicais. Neste

caso, os ácidos orgânicos de baixo e grande pesos moleculares, como os ácidos fúlvicos e húmicos, competem com o P por sítios de sorção diminuindo a adsorção de P e conseqüentemente aumentando a sua disponibilidade (LEINWEBER et al., 2002).

A MO tem uma atuação como componente na sorção do P, mas o efeito favorável que bloqueia a fixação de P é transitório, entretanto, segundo Afif et al. (1995) o efeito transitório de retardar a fixação de P deve ser explorado em solos intemperizados, como os da região do Cerrado.

2.1.2 Papel da Matéria Orgânica

O conteúdo de carbono orgânico (C) no solo e as propriedades químicas são usualmente influenciados pelas práticas agrícolas e pelos resíduos vegetais dos cultivos, particularmente na superfície do solo (ESSINGTON; HOWARD, 2000). Inicialmente, na sua forma lábil, a matéria orgânica fornece energia e carbono para a fauna e microrganismos do solo, e contém a principal reserva de nutrientes biodisponíveis (ZINN, 1998).

Em Latossolos não perturbados o P orgânico é a fonte dominante de P disponível para as plantas, indicando que a importância do P orgânico aumenta com a idade dos solos ou para solos muito intemperizados (CROSS; SCHLESINGER, 1995). Tiessen et al. (1992) concluíram que é vital que a decomposição da liteira e das raízes, seja lenta para que a liberação dos nutrientes pela mineralização seja em taxas compatíveis com a absorção minimizando assim a fixação dos nutrientes mineralizados.

Considerando que a fração orgânica lábil encontra-se fracamente ligada à fase sólida do solo e, portanto, mais acessível a mineralização, ela tem uma relação íntima com o P biodisponível, sugerindo que as frações de P orgânico lábil devem ocupar um papel importante na fertilidade do solo (biodisponibilidade), maior do que antes reconhecido, principalmente em solos de baixa fertilidade natural (GUERRA et al., 1996). O P orgânico pode representar até 3% da matéria orgânica dos solos (SIQUEIRA; FRANCO, 1988), mas em solos tropicais este valor pode ser menor que 1%, como observado por Chapuis

Lardy et al. (2002).

Segundo Stewart e Tiessen (1987) com o aumento da deficiência de P no solo, tanto as plantas quanto os microrganismos competem pelo P inorgânico solúvel, obrigando as plantas a suprir uma parte da demanda do P por P inorgânico liberado da mineralização. Lilienfein et al. (1996) e Motta et al. (2002) utilizando fracionamento de Hedley para P, em solos de Cerrado e pastagens, concluíram que o P orgânico extraído por NaOH, P de baixa disponibilidade ou pouco lábil, foi a fração mais importante destes solos, corroborando os resultados obtidos por Cross e Schlesinger (1995).

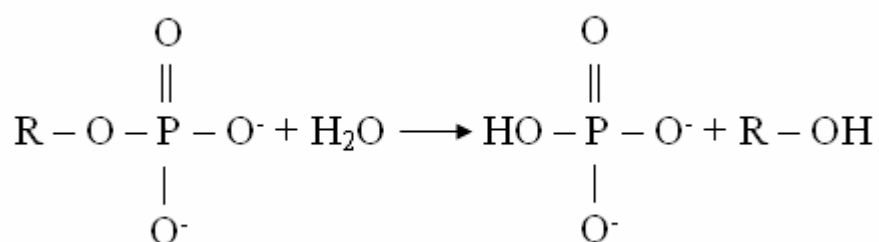
Nos sistemas em que não se utiliza o revolvimento do solo, como o PD e a ILP seguida de PD, o P orgânico provido dos restos vegetais das culturas e dos microrganismos do solo torna-se relevante na disponibilização de fósforo para as plantas. Por outro lado no sistema de preparo convencional o P orgânico é um componente limitado. Assim, observa-se uma lacuna de trabalhos para determinação ou quantificação da participação do P orgânico na disponibilização do P para as plantas e microrganismos em sistemas acumuladores de MO.

2.1.3 Papel da Atividade Biológica - Fosfatase Ácida

O ciclo dos nutrientes no solo envolve reações químicas, físico-químicas e bioquímicas, sendo que os processos bioquímicos mediados por microrganismos, raízes vegetais e fauna do solo ocorrem através da atuação de enzimas. Estas enzimas desempenham papel importante sendo responsáveis pela mineralização do P orgânico e conseqüentemente pela disponibilização de P para as plantas e microrganismos (DICK; TABATABAI, 1993).

As enzimas responsáveis pelo processo de mineralização do P orgânico em P inorgânico solúvel são denominadas fosfatases. As fosfatases englobam um grande grupo de enzimas que catalisam a hidrólise de ésteres e anidridos de H_3PO_4 . A atividade da fosfatase ácida no solo cresce com o aumento de C orgânico e assim como outros complexos enzimáticos, também é afetada pelo pH, umidade e temperatura (NAHAS, 1994).

As fosfatases ácidas recebem esta denominação devido ao fato de apresentarem níveis ótimos de atividade em condições de acidez (TABATABAI, 1994; NAHAS, 1991) e por predominarem em solos ácidos. Elas hidrolisam uma grande variedade de fosfomonoésteres como β -Naftil fosfato, p -Nitrofenil fosfato, β -Glicerofosfato e Fenilfosfato. Segundo Alef et al. (1995), sua reação básica é a seguinte:



A imobilização do P inorgânico por microrganismos e sua liberação gradual com a renovação microbiana do solo protege o P das reações físico-químicas de adsorção, se esta liberação for sincronizada com a crescente demanda de P pelas plantas ou de uma nova geração de microrganismos (MAGID et al., 1996).

As plantas também têm um papel importante, pois desenvolveram vários mecanismos para melhorar e ampliar a aquisição de P do solo. A fosfatase ácida liberada pelas plantas são importantes catalisadores na hidrólise das formas orgânicas de P (RICHARDSON et al., 2005). Estudos de Chen et al. (2002) e George et al. (2002) mostraram que a diminuição de P orgânico na rizosfera das plantas está associada com o aumento da atividade da fosfatase.

Segundo Zibilske e Bradford (2003) mudanças na distribuição do C no perfil do solo em sistemas que não revolvem o solo, como o PD integrado com pastagens, garantem um aumento da atividade microbiana próximo da superfície dos solos. Segundo os autores essas mudanças incluem as transformações dos nutrientes mediadas por enzimas extracelulares produzidas pelos microrganismos do solo e plantas.

Em sistemas com baixa fertilização de P, a pequena imobilização de P por formas orgânicas, como biomassa da planta e MO viva e morta, pode ser utilizada para indicar um sistema em fase de degradação devido aos baixos níveis de ciclagem do P (CIAT, 1999). Segundo Carneiro (1999) a fosfatase ácida foi o parâmetro mais sensível e preciso para detectar alterações provocadas no solo

pelos sistemas de manejo e sazonalidade do clima.

Oberson et al. (2001), em Oxisols ácidos na Colômbia, encontraram valores de atividade de fosfatase ácida em área de savana, gramíneo consorciada com leguminosa e arroz de 270, 223 e 145 μg de *p*-nitrofenol $\text{g}^{-1} \text{h}^{-1}$, respectivamente; os valores mais altos, foram atribuídos ao efeito combinado da grande atividade biológica, baixa disponibilidade de P inorgânico e alta disponibilidade de substrato orgânico.

Mendes e Vivaldi (2001) num estudo sobre as propriedades microbiológicas de solos, sob diferentes fitofisionomias do bioma Cerrado, observaram em amostras coletadas num Cerradão, na época chuvosa em profundidade de 0-5 cm, valores médios de atividade da fosfatase de 2.421 μg de *p*-nitrofenol g^{-1} de solo h^{-1} , valores altos comparados com os encontrados na literatura.

Segundo Baligar et al., (1988), em áreas onde os níveis de P disponíveis são baixos, a adição de P inorgânico, num primeiro momento, estimula a atividade da fosfatase. A atividade da fosfatase ácida em latossolos sob pastagem e pastagem consorciada com leguminosa foram maiores do que no Cerrado nativo, correspondendo a 892, 947 e 549 μg de *p*-nitrofenol g^{-1} de solo h^{-1} , respectivamente (RENZ et al., 1997). Segundo Conte et al. (2002) a redução do efeito inibidor sobre a atividade da fosfatase, em solos com altas concentrações de P sob sistema de PD, pode ser devido a alta afinidade do P com os colóides organominerais do solo que favorece a adsorção dos ânions fosfato diminuindo sua disponibilidade.

Oberson et al. (2001) concluíram que os resultados da mineralização do C, a disponibilidade de substrato estimada pelas frações de P orgânico e MO particulada e a atividade da fosfatase sugerem que a mineralização de P é mais importante no fornecimento de P disponível em solos com sistemas de gramíneo-leguminosas que em solos de savana e arroz. Conseqüentemente, os autores sugerem que a combinação de doses baixas de fertilizante fosfatado com pastagens de gramíneas consorciada com leguminosa adaptadas às condições dos Oxisols promovem uma ciclagem e uma eficiente utilização de P, tornado-se uma estratégia alternativa à agricultura em Oxisols pobres em P.

Costa e Lovato (2004) concluíram que plantas de cobertura

micorrízicas (aveia-preta *Avena strigosa* e ervilhaca *Vicia sp.*) e não-micorrízicas (nabo forrageiro *Raphanus sativus var. oleiferus* e tremoçobranco *Lupinus albus*) têm efeito regulador na atividade enzimática ligada a mineralização de fosfatos orgânicos no solo, e que esse efeito depende do caráter micorrízico ou não micorrízico das espécies utilizadas, e esta influência persiste durante os cultivos subseqüentes. Entretanto, Oberson et al. (2001) indicam que ainda precisa ser investigado se as culturas cultivadas em rotações após pastagem poderiam se beneficiar da dinâmica orgânica distinta de P em solos sob pastagem (gramíneo-leguminosa), e que um método direto para quantificar a mineralização do P orgânico deve ser desenvolvido e testado nestes sistemas.

2.2 EFEITO DO SISTEMA DE MANEJO

2.2.1 Sistemas Acumuladores de Matéria Orgânica

Os principais sistemas acumuladores de matéria orgânica são plantio direto e integração lavoura-pecuária. O sistema de rotação de culturas anuais (soja, milho, sorgo, dentre outras) com pastagens, denominado integração lavoura-pecuária, é uma das alternativas para a recuperação da fertilidade dos solos degradados (KLUTHCOUSKI et al., 2003).

As relações entre a cobertura vegetal, atividade biológica do solo e a disponibilidade de P podem ser observadas nos trabalhos de Guggenberger et al. (1996) e Oberson et al. (1999) que verificaram mudanças nas formas de P em solos de savana nativa ocorreram quando substituído por pastagem (*Brachiaria decumbens*) e por pastagens consorciadas com leguminosas (*Brachiaria decumbens* e *Pueraria phaseoloides*).

Os solos sob pastagens consorciadas com leguminosas mantêm altos níveis de P orgânico disponível com pequena variação no tempo ($\pm 1 \text{ mg kg}^{-1}$) em relação a pastagens solteiras cultivadas ou nativas (OBERSON et al., 1999). Guggenberger et al. (1996) também observaram que pastagens consorciadas com leguminosas apresentam reservas de P orgânico lábeis (fosfato

diester).

Também comparando a pastagens consorciadas com pastagens adubadas e pastagens solteira, há melhora na disponibilidade de P nas pastagens consorciadas, podendo não haver obrigatoriamente diferenças nos estoques de P. Isto sugere uma ciclagem maior das raízes e da liteira em pastagens baseadas em leguminosas, proporcionando a estabilização do P orgânico adicionado, portanto, aumentando o ciclo do P e sua disponibilidade.

Conte et al. (2003) ressaltam que o aumento na disponibilidade de P na superfície do solo no sistema PD pode resultar maior transformação do P inorgânico em P orgânico. No entanto, em solos argilosos com altos teores de óxidos de ferro mesmo com a adoção do PD por vários anos, pode ocorrer pouca modificação nos teores de P orgânico (RHEINHEIMER, 2000) e de matéria orgânica (BAYER, 1996) quando comparados a solos mais arenosos. O pequeno acúmulo do P orgânico ocorre em consequência da quantidade de sítios de adsorção, o que confere a característica de menor resiliência nos solos de textura argilosa e muito argilosa em relação aos de textura média e arenosa (SEYBOLD et al., 1999).

Essington e Howard (2000) analisando o P orgânico verificaram que nas doses de 0 e 20 kg ha⁻¹ de P houve diferença nos teores de P orgânico entre áreas com plantio convencional e plantio direto, sendo maiores nos solos não manejados, mas a partir da dose de 60 kg ha⁻¹ não verificou-se diferença.

Parfitt et al. (1994) mostraram que, em solos que receberam maiores quantidades de fertilizantes fosfatados, a proporção de P liberado pela mineralização foi maior, sugerindo que grande parte do P orgânico acumulado veio da adubação de P. Também Condon e Goh (1989) observaram em pastagens irrigadas que nos primeiros anos a forma principal de acumulação de fósforo orgânico foi aquela considerada naturalmente lábil, indicando também que grande parte do fosfato aplicado nos pastos é convertida em P orgânico.

O trabalho de Muzilli (1983), comparando o plantio convencional com o plantio direto, demonstrou que houve incremento nos primeiros 10 cm de profundidade do teor de fósforo disponível no solo após 5 anos de cultivo. O autor explica que o acúmulo de fósforo nas camadas superficiais sob PD se deve à imobilidade e baixa solubilidade de seus compostos, sobretudo em solos de natureza ácida, e que essa maior disponibilidade de fósforo, no decorrer do

tempo, pode reduzir os gastos com fertilizantes.

Incrementos na fração orgânica, em decorrência do manejo do solo, foram observados em solos arenosos do sul do Brasil, tanto por Bayer (1996), para C orgânico, como por Rheinheimer (2000), para P orgânico.

Trabalhos que realizaram o fracionamento de fósforo, como o de Conte et al. (2003), evidenciam a importância do P orgânico como fonte de P às plantas, principalmente em solos intemperizados e, ou, em sistemas com baixas adições de fertilizantes fosfatados.

Guggenberger et al. (1996) e Oberson et al. (1999) afirmam que grande parte do P aplicado como fertilizante vai para frações orgânicas nos solos de pastagem consorciada com leguminosa em relação a um solo cultivado com arroz continuamente. Os mesmos autores ressaltaram que a fração orgânica de P extraída com NaOH é a mais afetada pela mudança de sistemas e que esta fração pode contribuir com P inorgânico biodisponível. Alguns resultados encontrados por Resende et al. (2006) permitem verificar que em sistemas que utilizam gramíneas, que depositam grandes quantidades de resíduos vegetais e conseqüentemente aumentam os teores de C orgânico, a participação do P orgânico no fornecimento de P inorgânico para as plantas passa a ter um papel muito importante.

Portanto, sistemas de produção que minimizem as perdas e aumentem os teores de P orgânico do solo podem ser importantes para a manutenção da disponibilidade de P, garantindo a sua sustentabilidade.

2.2.2 Efeito das Adubações Antecipadas

Segundo Segatelli (2004), atualmente preconiza-se e até já se observa, incipientemente, a adoção da técnica de antecipação da adubação. Esta técnica consiste na antecipação da aplicação total ou parcial da quantidade de fertilizante dimensionada para uma determinada cultura principal, provendo a cultura antecessora de fertilizantes.

Com a adubação antecipada, conseqüentemente, também são antecipadas a manipulação e a movimentação dos fertilizantes, permitindo que a

operação de semeadura ocorra de forma mais rápida, pela economia de tempo no abastecimento da semeadora. Outra vantagem da adubação antecipada sobre uma cultura antecessora, normalmente utilizada para formação de palha ou cobertura visando à semeadura direta, deve-se ao maior incremento na produção de biomassa, favorecendo a cobertura do solo, a manutenção da umidade e a reciclagem de nutrientes, que via mineralização da biomassa, passarão às formas disponíveis para cultura em sucessão (SEGATELLI, 2004).

Segatelli (2004), Rodrigues (2006) e Francisco et al. (2007) relatam que sob as condições em que foram instalados seus experimentos, a antecipação da adubação fosfatada, além de proporcionar maior produção de biomassa da planta de cobertura, não alterou a produção de grãos da soja, beneficiando o sistema implantado como um todo.

Os resultados encontrados por Segatelli (2004) indicam que, com a antecipação da adubação fosfatada e potássica recomendada para a cultura da soja, a produção de matéria seca de capim-pé-de-galinha (*Eleusine coracana*) pode ser incrementada. A antecipação parcial ou total da adubação fosfatada e potássica da semeadura da soja para a semeadura do capim-pé-de-galinha, em primeiro ano, não interferiram na produtividade agrícola de soja, instalada pelo primeiro ano em sistema de semeadura direta sobre a palhada do capim-pé-de-galinha (SEGATELLI, 2004).

Rodrigues (2006), não observou influência do cultivo prévio das plantas de cobertura (braquiária, braquiário, milheto e sorgo forrageiro), adubadas com superfosfato triplo, sobre a produção de grãos da soja em Cambissolo e Latossolo. Por outro lado, a produção de matéria seca da soja em sucessão às forrageiras foi inferior ao obtido no tratamento sem cultivo.

A ausência de efeito constatada por Segatelli (2004), Rodrigues (2006) e Francisco et al. (2007), sobre a produção de soja, pode ser devido ao tempo insuficiente para a decomposição e mineralização do P da palhada das forrageiras, pois, segundo Moraes (2001), seriam necessários aproximadamente 180 dias, dependendo das condições locais, para a mineralização completa de todo o P da palhada do milheto e sorgo. Kluthcouski e Yokoyama (2003) relatam que a palhada de plantas do gênero *Brachiaria* apresentam alta longevidade, pois após 120 dias da dessecação ainda apresentavam cobertura completa do solo com $10,4 \text{ t ha}^{-1}$ de palha, confirmando que o período de cultivo da soja não é

suficiente para a mineralização do P na palhada das forrageiras. Por isso, estudos com culturas de cobertura com grande potencial de produção de biomassa devem ser realizados por longos períodos, visando quantificar as diferenças nos teores de MO, na atividade biológica e nas formas orgânicas de P do solo.

Já Esteves (2000), estudando os efeitos da antecipação da adubação com fósforo e potássio recomendada para a soja, num Nitossolo Vermelho distrófico, adicionando tal adubação nas culturas de inverno (aveia preta e milho), verificou que a produtividade da soja foi influenciada tanto pela adubação de P e K como pelas espécies de adubos verdes, e, que a adubação de P e K realizada na semeadura da soja proporcionou maior produtividade quando comparada à adubação de P e K na semeadura dos adubos verdes, apresentando um rendimento cerca de 65% mais elevado. Contudo, a utilização da adubação fosfatada no cultivo de espécies durante o inverno, aumentou a disponibilidade de P para a cultura seguinte e a soja acumulou maior quantidade de P e K.

A ausência de resposta da soja à adubação fosfatada e potássica, por ocasião da semeadura, também foi verificada por Kurihara et al. (1998), em experimentos conduzidos em solos de alta fertilidade, em três unidades de mapeamento: Latossolo Roxo distrófico epieutrófico (LRd, em Fátima do Sul, MS), Latossolo Roxo álico epieutrófico (LRa, em Ponta Porã, MS, distrito de Guaíba) e Latossolo Roxo eutrófico (LRe, em Dourados, MS, distrito de Panambi), aonde o sistema de semeadura direta vinha sendo adotado há três, sete e doze anos, respectivamente.

Rodrigues (2006) relata que, independentemente do solo utilizado, o cultivo prévio das forrageiras de cobertura em vasos reduziu o crescimento e acúmulo de P pela soja, para a fonte superfosfato triplo (SFT) devido à imobilização do P pelas forrageiras, reduzindo seu efeito residual para a cultura da soja.

Segundo Segatelli (2004) trabalhos de pesquisa agrônômica envolvendo estudos sobre adubação do solo são de execução e interpretação complexas, não existindo limiar nítido entre a contribuição da mineralização dos nutrientes a partir da decomposição da palhada da cultura antecessora, que recebeu a adubação antecipada, e a contribuição da disponibilidade residual dos nutrientes fornecidos antecipadamente pela adubação de semeadura da mesma

cultura antecessora. Assim, trabalhos de pesquisa envolvendo estudos sobre adubação antecipada em sistemas de plantio direto e integração lavoura-pecuária devem ser incentivados.

3. ARTIGO A – AVALIAÇÃO DA BIODISPONIBILIDADE E DE EXTRATORES DE FÓSFORO EM LATOSSOLO DO CERRADO SOB SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA

3.1 RESUMO

O sistema de integração lavoura-pecuária (ILP) vem sendo adotado na região do Cerrado como uma alternativa para a recuperação das pastagens degradadas, sendo a antecipação total ou parcial da adubação das culturas de verão na cultura antecessora (adubo verde ou pastagem), uma alternativa dentro da ILP. O estudo teve como objetivo avaliar o efeito residual da adubação fosfatada em pastagem de *B. decumbens* sobre a biodisponibilidade de fósforo, a produção de matéria seca e a acumulação de fósforo pela cultura da soja. Inicialmente a área de pastagem foi dividida em três faixas com níveis de adubação 0 (P0), 20 (P1) e 40 (P2) kg ha⁻¹ de P₂O₅, aplicados anualmente na forma de superfosfato simples. Após o quarto ano de pastejo foi realizada a semeadura de soja, com três níveis de adubação 0 (S0), 50 (S1), 100 (S2) kg ha⁻¹ de P₂O₅ na forma de superfosfato triplo, totalizando 9 faixas de adubação (P0S0, P0S1, P0S2, P1S0, P1S1, P1S2, P2S0, P2S1 e P2S2). Foram analisados os teores disponíveis de P no solo, a atividade da fosfatase ácida, a produção de matéria seca e o teor de P acumulado pela planta de soja. Os teores de P-Mehlich e de P-Olsen apresentaram correlações positivas com o P-Resina nas três épocas de amostragem. O extrator Olsen apresentou uma tendência de estabilidade com um aumento nos teores de P ao longo do tempo, principalmente, nas faixas sem adubação na soja (P0S0, P1S0 e P2S0). Todos os extratores apresentaram correlações positivas com a MS produzida pela soja, sendo que o maior coeficiente de correlação obtido foi com a Resina. O P residual oriundo da pastagem, em relação aos extratores, apresentou uma disponibilidade alta (P2S0), porém menor que a do P aplicado na soja (P0S2). No entanto, o acúmulo de P na faixa de adubação P2S0 não foi diferente do P0S2, sugerindo que o P residual biodisponível, oriundo da pastagem, é tão disponível quanto o P aplicado na soja. Os valores altos da atividade da fosfatase ácida podem ser parcialmente atribuído a adaptação feita na metodologia. Ela apresentou uma variação entre as épocas de coleta das amostras, sugerindo que o principal fator de influência foi a época de amostragem.

Palavras-chaves: Estoque de fósforo. Efeito residual. Fosfatase ácida. Adubação antecipada. Extratores.

ABSTRACT

EVALUATION OF PHOSPHORUS BIOAVAILABILITY AND EXTRACTORS IN A CERRADO OXISOL UNDER INTEGRATED CROP-LIVESTOCK MANAGEMENT SYSTEM

The integration crop-livestock integration system (ICLS) is being adopted in the Cerrado region as an alternative to recover degraded pastures, where the complete or partial anticipation of summer crops fertilization on the predecessor crop (green manure crop or pasture) is an alternative within ILP. The objective of this study was to evaluate the residual effect of phosphorus fertilization in pastures of *B. decumbens* over phosphorus bioavailability on dry matter yield and phosphorus accumulation in a soybean crop. Initially the pasture area was divided in three zones with fertilization levels of 0 (P0), 20 (P1), and 40 (P2) kg ha⁻¹ P₂O₅, annually applied in the form of single superphosphate. After the fourth year of grazing the entire area was desiccated and soybean was sown, at three fertilization levels, 0 (S0), 50 (S1), and 100 (S2) kg ha⁻¹ of P₂O₅ in the form of triple superphosphate, totaling 9 fertilization zones (P0S0, P0S1, P0S2, P1S0, P1S1, P1S2, P2S0, P2S1 and P2S2). P contents available on soil, the acid phosphatase activity, the dry matter yield and P content stored by soybean plant were analyzed. P-Mehlich and P-Olsen contents produced positive correlations with P-Resin in the three sampling seasons. The Olsen extractor produced a tendency to stabilize, with a increase in P contents with time, especially in zones without soybean fertilization (P0S0, P1S0 and P2S0). All extractors produced positive correlations with soybean MS, where the best coefficient of correlation was obtained with the Resin. The residual P that comes from the pasture, in relationship of the extractors, had high available (P2S0), but minor than the P applied in the soybean (P0S2). However, the P accumulation in P2S0 fertilization zone was not different from P0S2, suggesting that the residual P bioavailable arising from the pasture could be as available as P applied in soybean crop. The high values of acid phosphatase activity could be, partially attributed, an adaptation made to the methodology. It showed a varied among sampling collect seasons, suggesting that the main factor of influence was the sampling season.

Keywords: P Stock. Residual effect. Acid phosphatase. Early fertilization. Extractors.

3.2 INTRODUÇÃO

A predominância de solos muito intemperizados na região do Cerrado com alta capacidade de sorção e baixa disponibilidade de fósforo (P) para as plantas e a falta de adubações de manutenção com fósforo e nitrogênio contribuem decisivamente para a diminuição da produtividade das pastagens ao longo do tempo, levando a sua degradação.

O fósforo é, dentre os nutrientes, o que mais limita a produção das plantas em solos ácidos do Cerrado (Goedert, 1983). A adubação corretiva destes solos com grandes quantidades de fertilizantes fosfatados é anti-econômica, logisticamente impraticável e ecologicamente questionável (Oberson et al., 1999). Conseqüentemente, melhorar a eficiência do uso de baixas quantidades de fertilizantes e do ciclo de P no solo são medidas importantes para uma conservação dos recursos naturais e do agroecossistema (Oberson et al., 1999).

O sistema de integração lavoura-pecuária vem sendo adotado na região do Cerrado como uma alternativa para a recuperação das pastagens degradadas, que segundo estimativas de Brossard & Barcelos (2005), das 117 10⁶ ha de pastagens, 50% a 80% apresentam algum grau de degradação.

Também como opção para incremento da rentabilidade da propriedade uma prática comum em áreas de integração lavoura-pecuária é o aproveitamento do efeito residual da adubação realizada sobre as culturas de verão ou anuais para as pastagens (Nicoloso, 2005). Outra alternativa que vem sendo adotada é a antecipação total ou parcial da adubação das culturas de verão, realizada antes da cultura principal, que normalmente é utilizada como adubo verde e/ou pastagem.

A adubação antecipada na cultura antecessora, normalmente utilizada para formação de palha visando à semeadura direta, converte em maior incremento na produção de biomassa para o solo, melhorando sua conservação, a manutenção de umidade e a reciclagem de nutrientes, que via mineralização da biomassa, passarão às formas disponíveis para a cultura de verão em sucessão (Segatelli, 2004).

Segatelli (2004), Rodrigues (2006) e Francisco et al. (2007)

relatam que a adubação fosfatada antecipada, além de proporcionar maior produção de biomassa da planta de cobertura e acúmulo de fósforo, não alterou a produção de grãos da soja, beneficiando o sistema implantado como um todo.

O estudo teve como objetivo avaliar a disponibilidade de P, estimada por três extratores e a biodisponibilidade do P, determinada pela produção de matéria seca e a acumulação de fósforo pela cultura da soja em sistema de integração lavoura-pecuária.

3.3. MATERIAL E MÉTODOS

3.3.1. Descrição da área

O experimento foi conduzido na área experimental da Embrapa Cerrados, Planaltina, DF (15°38'46"S, 47°45'08"W), sobre um Latossolo Vermelho-Escuro de textura argilosa (Embrapa, 2006). Os atributos químicos e físicos do solo estão apresentados na tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Resultados das análises das características químicas e físicas do solo sob pastagem (camada superficial 0-10 cm) correspondente a faixa sem adubação, antes da implantação da cultura da soja.

pH	C _{total}	Ca	Mg	Al	H+Al	K	P-M1	Pres	Argila	Silte	Areia
água	(g kg ⁻¹)	----- (cmol _c kg ⁻¹) -----					(mg kg ⁻¹)	(mg kg ⁻¹)	----- (g kg ⁻¹) -----		
5,21	24,5	2,78	0,70	0,09	5,43	0,46	2,37	6,01	650	120	230

P-M1: fósforo Mehlich-1 (0,0125 mol L⁻¹ H₂SO₄ e 0,050 mol L⁻¹ HCl); Pres: fósforo resina.

Inicialmente a área recebeu 1,1 t ha⁻¹ de calcário dolomítico incorporado, 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na forma de superfosfato simples e 30 kg ha⁻¹ de micronutrientes na forma de FTE BR-10. A semeadura da *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk ocorreu em 29/12/1999. Em 2002, a área foi dividida em três subáreas de 1,5 ha, e a partir desta data aplicou-se a lanço, anualmente, 0 (P0), 20 (P1) e 40 (P2) kg ha⁻¹ de P₂O₅, na forma de superfosfato simples. Em novembro de 2006, a pastagem foi dessecada com 1,44 kg ha⁻¹ do i.a. glyphosate e feita a semeadura direta sobre a palhada da *B. decumbens* da soja cv. BRS Valiosa RR, para obter uma população de 12 plantas por metro linear, espaçadas a 0,45 m.

Na semeadura da soja, para cada parcela experimental da pastagem, foi aplicado P_2O_5 no sulco de plantio, na forma de superfosfato triplo, na razão de 0 (S0), 50 (S1), 100 (S2) $kg\ ha^{-1}$, totalizando 9 faixas de adubação (Tabela 3.2).

Tabela 3.2 – Descrição das faixas de adubação segundo a quantidade de P_2O_5 em $kg\ ha^{-1}$ aplicadas.

Faixas de adubação ⁽¹⁾	Adubação anual na pastagem de 2003 a 2006	Adubação na soja em 2007	Adubação total de 2003 a 2007
P0S0	0	0	0
P0S1	0	50	50
P0S2	0	100	100
P1S0	20	0	80
P1S1	20	50	130
P1S2	20	100	180
P2S0	40	0	160
P2S1	40	50	210
P2S2	40	100	260

⁽¹⁾P0 = 0 $kg\ ha^{-1}$, P1 = 20 $kg\ ha^{-1}$, P2 = 40 $kg\ ha^{-1}$, S0 = 0 $kg\ ha^{-1}$, S1 = 50 $kg\ ha^{-1}$, S2 = 100 $kg\ ha^{-1}$.

3.3.2. Época de amostragem

Foram determinadas três épocas de coleta das amostras, sendo a primeira no período vegetativo (V 5. - quarto trifólio aberto e quinto trifólio não aberto) com 46 dias após a emergência (DAE), a segunda em plena floração (R 2. - floração plena: maioria dos racemos com flores abertas) com 100 DAE e a terceira no final de maturação (R 8.2. - mais de 50% de desfolha, pré-colheita) com 151 DAE.

Visando ter uma avaliação da absorção, teores biodisponíveis de P inorgânico e do potencial de mineralização do P orgânico durante todo o ciclo da cultura.

3.3.3. Amostragem do solo

Em cada faixa de adubação foram coletadas 4 amostras compostas de solo. Cada amostra foi obtida de 12 sub-amostras de solo coletadas com trado holandês na camada de 0-10cm de profundidade, em quatro pontos nas duas linhas e em oito pontos nas três entrelinhas, em 2 m de

comprimento contemplando as fertilizações realizadas na soja e na pastagem. As amostras foram armazenadas em sacos plásticos e acondicionadas em caixa de isopor no campo e, no mesmo dia, colocadas em geladeira, a aproximadamente 10°C. As análises foram realizadas em até 10 dias, para evitar possíveis transformações nas formas de P. Posteriormente, as amostras foram secas ao ar, peneiradas a 2 mm e armazenadas em sacos plásticos para as demais análises químicas.

3.3.4. Amostragem de planta

Foram coletadas no mesmo local da amostragem de solo amostras da parte aérea de 20 plantas nas mesmas linhas de amostragem do solo. Na 3ª época, as sementes foram separadas da parte aérea. As amostras foram acondicionadas em sacos de papel e secas em estufa a 65 °C por 72 horas, posteriormente foram moídas para realização das análises químicas para avaliação dos diferentes nutrientes absorvidos pela cultura da soja.

3.3.5. Análises químicas de solo e planta

As análises químicas do solo foram realizadas, seguindo metodologia descritas em Embrapa (1999). Foram determinados: pH em água; K trocável, extraídos com solução Mehlich-1; Al trocável, Ca e Mg, extraídos com KCl; H + Al, extraído com solução de acetato de cálcio. O carbono total (C) foi determinado por combustão a seco utilizando um analisador CNHS 2400 serie II, Perkin Elmer.

A determinação do P disponível foi feita por resina trocadora de ânions (Raij et al., 2001), Mehlich-1 (Embrapa, 1999) e Olsen (Watanabe & Olsen, 1965), em amostras de solo mantidas úmidas. Posteriormente os resultados foram corrigidos em base do peso seco das amostras.

A atividade da fosfatase ácida foi realizada visando verificar o potencial da taxa de mineralização de P orgânico. A atividade da fosfatase ácida foi determinada baseada em Tabatabai (1994) modificando o pH da solução

“modified universal buffer” (MUB) para o pH do solo de acordo com as sugestões de Malcolm (1983) e Chapuis-Lardy et al. (2001).

As análises de macronutrientes (Ca, Mg, P, S, K e N) e micronutrientes (Cu, Fe, Zn, Mn, Bo) nas plantas foram realizadas por digestão nitroperclórica segundo Embrapa (1999) e determinadas as concentrações em um ICP-AES.

A parte aérea foi seca em estufa com ventilação forçada de ar a 65 °C por 72 h e pesada para a determinação da matéria seca (MS).

A quantidade de P acumulado pela cultura da soja (P-acumulado) foi calculada multiplicando-se o teor de P determinado na MS pela MS produzida por hectare.

3.3.6. Análises estatísticas

Os resultados de P-Mehlich 1, P-Resina, P-Olsen, P-ase, P-planta, matéria seca (MS) e P-acumulado foram submetidos à análise de variância e comparação de médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, enquanto o P-acumulado e o P-Resina foram submetidos à análise de regressão a 5% de probabilidade utilizando o programa Sisvar.

O estágio fenológico R2 foi selecionado para discussão dos resultados devido as produções de MS em V4 não apresentarem diferenças (9,4 g de MS em média) e pela inconsistência dos dados de MS em R8.2 devido ao estágio fenológico da soja entre faixas de adubação serem diferentes.

3.4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os teores de fósforo da camada do solo de 0-10 cm sob a pastagem, extraído pelo método Mehlich-1 e resina (Tabela 3.3), depois de sete anos do estabelecimento sem adubação fosfatada de manutenção, são considerados baixos para o cultivo em sistemas de sequeiro com culturas anuais (Souza & Lobato, 2004) e médio para o cultivo de espécies de pastagens pouco exigentes (Vilela et al., 2004). Essa interpretação considera a camada de solo de

0-20cm de profundidade. Assim, se considerarmos as mesmas profundidades, os teores de fósforo seria mais baixo ainda devido ao acúmulo de P na superfície pela ciclagem do nutriente e ao não revolvimento do solo e, provavelmente, seria classificado como muito baixo e baixo. Esses teores de fósforo são semelhantes aos apresentados por Rossi et al. (1999), Corazza et al. (2003) e Eberhardt et al. (2007).

Após quatro anos do estabelecimento da pastagem, as doses anuais de adubação de manutenção de 20 (P1S0) e 40 (P2S0) kg ha⁻¹ de P₂O₅, proporcionaram um aumento dos teores de P no solo (estádio V4) que passaram de baixo para alto na interpretação para o cultivo em sistemas de sequeiro com culturas anuais (Souza et al., 2004), apesar das doses aplicadas serem consideradas relativamente baixas e os solos apresentarem grande capacidade de adsorção de fosfato (Chapuis-Lardy et al., 2001).

Estes resultados apresentam um cenário novo do efeito residual da adubação fosfatada de manutenção na pastagem que, após quatro anos de adubação a área está apta a ser utilizada para o cultivo de culturas anuais sem a necessidade da utilização de adubações fosfatadas corretivas.

Os teores de P disponíveis foram altos nas faixas de adubação que foram adubadas no plantio na soja (S1 e S2) e também apresentaram coeficientes de variação (CV) altos (Tabela 3.3), devido ao modelo de amostragem do solo. Silva (2002), amostrando cerca de 6 meses após a fosfatagem de correção, encontrou CV de 49 % para P determinado por pelo extrator resina (P-Resina) e de 42 % para o extrator Mehlich-1 (P-Mehlich 1), valores próximos aos obtidos na terceira época de amostragem (151 DAE).

Tabela 3.3 – Teores médios de P no solo determinados pelos extratores Mehlich 1, Resina e Olsen na camada de 0-10 cm de profundidade.

Faixas de adubação	Resina (mg kg ⁻¹)			Mehlich 1 (mg kg ⁻¹)			Olsen (mg kg ⁻¹)		
	46 DAE	100 DAE	151 DAE	46 DAE	100 DAE	151 DAE	46 DAE	100 DAE	151 DAE
P0S0	6,01	3,10	3,65	2,37	2,25	2,57	2,04	2,64	8,19
P0S1	53,47	30,02	21,61	9,77	7,37	7,15	18,22	12,30	14,40
P0S2	114,60	24,96	26,56	22,43	16,99	10,12	16,39	9,44	18,29
P1S0	9,49	6,79	4,55	3,59	3,35	3,18	4,42	4,09	14,46
P1S1	98,50	22,49	19,45	11,13	10,56	9,63	13,48	17,89	15,90
P1S2	70,40	58,86	29,38	21,54	40,00	12,63	18,19	27,28	18,64
P2S0	34,49	13,09	10,65	7,77	6,77	5,48	7,27	9,42	12,22
P2S1	142,31	36,63	19,48	24,88	11,85	7,99	22,27	17,04	15,33
P2S2	114,43	51,05	45,59	30,74	17,84	19,62	26,13	30,59	28,20
CV %	57,27	64,98	51,94	68,90	69,15	43,66	58,95	75,09	37,41

*DAE – Dias após a emergência.

Os teores de P-Mehlich 1 corresponderam 49,8% dos teores de P-Resina. Segundo Silva (2002) o P-Mehlich 1 representou aproximadamente 30% do P-Resina. Os maiores teores observados de P-resina podem estar relacionados ao fato do solo ter recebido adubação fosfatada e, assim, a reserva de fósforo lábil encontrar-se em grande parte na forma de fosfato de alumínio (Raij, 1978), o que restringiu a extração pelo extrator Mehlich 1, devido ao seu caráter ácido.

Os teores de P-Mehlich 1 apresentaram correlações positivas com o P-Resina nas três épocas de amostragem ($R^2 = 0,62$, $0,75$ e $0,93$ para V4, R2 e R8.2, respectivamente), sendo a correlação na terceira época ($R^2 = 0,93$) similar a encontrada por Silva (2002) de $R^2 = 0,93$.

Os teores de P-Olsen também apresentaram correlações positivas com o P-Resina nas três épocas de amostragem ($0,62$, $0,86$ e $0,85$ para V4, R2 e R8.2, respectivamente), concordando com Kuo (1996) que apresenta uma correlação positiva entre estes dois extratores.

Os extratores Resina e Mehlich determinaram teores decrescentes de P ao longo do tempo, conforme as plantas de soja foram absorvendo o P inorgânico disponível do solo. Por outro lado o extrator Olsen obteve uma tendência de estabilidade com um pequeno aumento, principalmente, nas três faixas de adubação com apenas adubação na pastagem (P0S0, P1S0 e P2S0). Isso pode ser devido ao aumento inicial de P orgânico com a queda de folhas e morte das raízes das plantas de soja, uma vez que este extrator

determina tanto o P inorgânico como o orgânico (Bowman & Cole 1978).

Todos os extratores apresentaram correlação positiva com a MS (Tabela 3.4). Entretanto, o maior coeficiente de correlação foi obtido com a resina com $R^2 = 0,66$, demonstrando assim melhor sensibilidade na determinação do fósforo disponível no solo para a planta.

Tabela 3.4 – Coeficientes de correlação de Pearson entre as variáveis matéria seca, P-Mehlich 1, P-Resina, P-Olsen, fosfatase ácida (P-ase), P-planta e P-acumulado na segunda época de amostragem (100 DAE).

	MS	P-Mehlich 1	P-Resina	P-Olsen	P-ase	P-planta	P-acumulado
MS	1	0,58 0,0002	0,66 <0,0001	0,65 <0,0001	-0,00 0,9864	0,74 <0,0001	0,94 <0,0001
P-Mehlich 1	0,58 0,0002	1	0,75 <0,0001	0,56 0,0003	-0,16 0,3597	0,39 0,0173	0,54 0,0006
P-Resina	0,66 <0,0001	0,75 <0,0001	1	0,86 <0,0001	0,03 0,8627	0,48 0,0032	0,64 <0,0001
P-Olsen	0,65 <0,0001	0,563 0,0003	0,86 <0,0001	1	0,07 0,6937	0,48 0,0028	0,64 <0,0001
P-ase	-0,00 0,9864	-0,16 0,3597	0,03 0,8627	0,07 0,6937	1	0,11 0,5179	0,07 0,6981
P-planta	0,74 <0,0001	0,39 0,0173	0,48 0,0032	0,487 0,0028	0,11 0,5179	1	0,91 <0,0001
P-acumulado	0,94 <0,0001	0,54 0,0006	0,64 <0,0001	0,64 <0,0001	0,07 0,6981	0,91 <0,0001	1

Os resultados de análise de variância (anava) para os teores de P extraídos pelos três extratores (Resina, Mehlich 1 e Olsen) utilizados, indicam efeito significativo à 1% da adubação na soja (So) (Tabela 3.5). Contudo para P-planta a anava indica efeito significativo à 5% e para MS e P-acumulado indica efeito significativo à 1% para a interação das adubações (PastxSo).

Tabela 3.5 – Resumo da análise de variância para os efeitos de Past, So e interação sobre o fósforo determinado pelo extrator Resina (P-Resina), fósforo determinado pelo extrator Mehlich 1 (P-Mehlich 1), fósforo determinado pelo extrator Olsen (P-Olsen), atividade da fosfatase ácida (P-ase), teor de fósforo na parte aérea (P-planta), matéria seca da parte aérea (MS) e teor de fósforo acumulado na parte aérea (P-acumulado) na segunda época de amostragem (100 DAE).

Fontes de Variação ⁽¹⁾	P-Resina mg kg ⁻¹	P-Mehlich 1 mg kg ⁻¹	P-Olsen mg kg ⁻¹	P-ase µg p-nitrofenol g ⁻¹ h ⁻¹	P-planta g kg ⁻¹	MS g m ⁻²	P-acumulado kg ha ⁻¹
Past	Ns	ns	ns	ns	**	**	**
So	**	**	**	ns	**	**	**
PastxSo	Ns	*	ns	ns	*	**	**
CV (%)	64.98	69.15	75.09	11.78	14.84	14.84	22.1

⁽¹⁾ Past – Adubação na pastagem; So – Adubação na soja; e PastxSo – Interação das adubações na soja e na pastagem.

* e ** – Valores significativos a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F; e ns – valores não significativos a 5%, pelo teste F.

Apesar da anava, para os teores de P-Mehlich 1, indicar efeito significativo à 5% para a interação das adubações, verifica-se que apenas a faixa de adubação P1S2 (20 kg de P₂O₅ ha⁻¹ anualmente na pastagem + 100 kg de P₂O₅ ha⁻¹ na soja) difere das outras (Figura 3.1.). Este resultado, assim como a insignificância dos teores de P-Resina e P-Olsen para a interação (Tabela 3.5), indicam que os extratores não foram sensíveis à interação das adubações e sugerem que apenas a adubação na soja influenciaria a produção de soja. Mas, quando analisa-se a MS e o P-acumulado (Tabela 3.6), verifica-se que a adubação na pastagem também influencia a produção de MS e o P-acumulado bem como a interação das duas adubações.

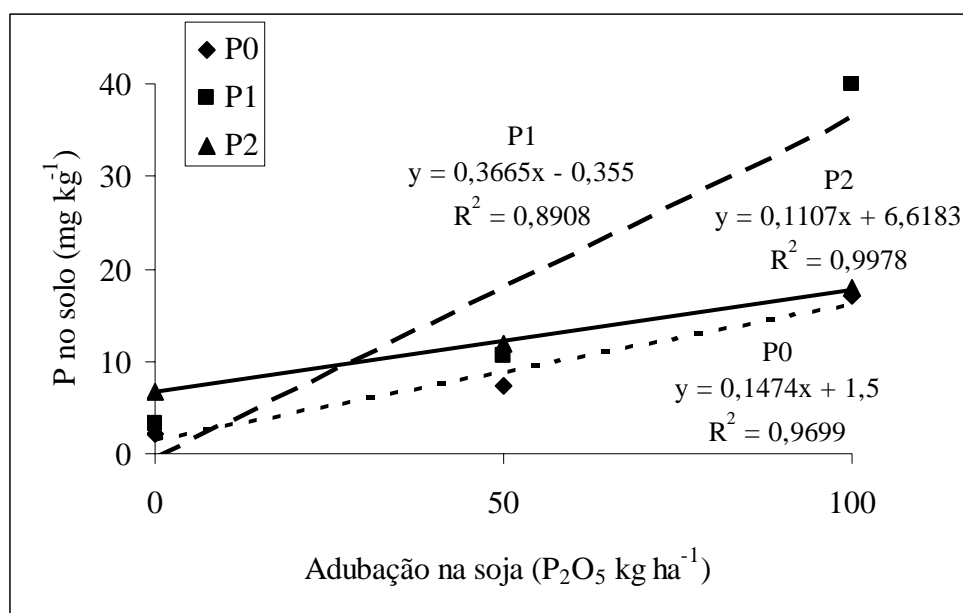


Figura 3.1 – Teor de fósforo no solo determinado pelo extrator Mehlich 1 em relação da adubação na soja (média das três adubações na pastagem).

Observou-se um aumento da produção de matéria seca da soja (MS) em relação ao aumento da adubação na cultura da soja nas três adubações na pastagem, com uma tendência de estabilização da produção de MS nas maiores doses (P2S1, P2S2 e P1S2) (Figura 3.2.). Francisco et al. (2007) avaliando a produção de matéria seca da parte aérea da soja em relação a antecipação da adubação total e parcial no capim-pé-de-galinha não observou diferença entre os tratamentos.

Os trabalhos de pesquisa agrônômica envolvendo estudos sobre adubação do solo são de execução e interpretação complexas (Segatelli, 2004), principalmente quando realizados em condições de campo.

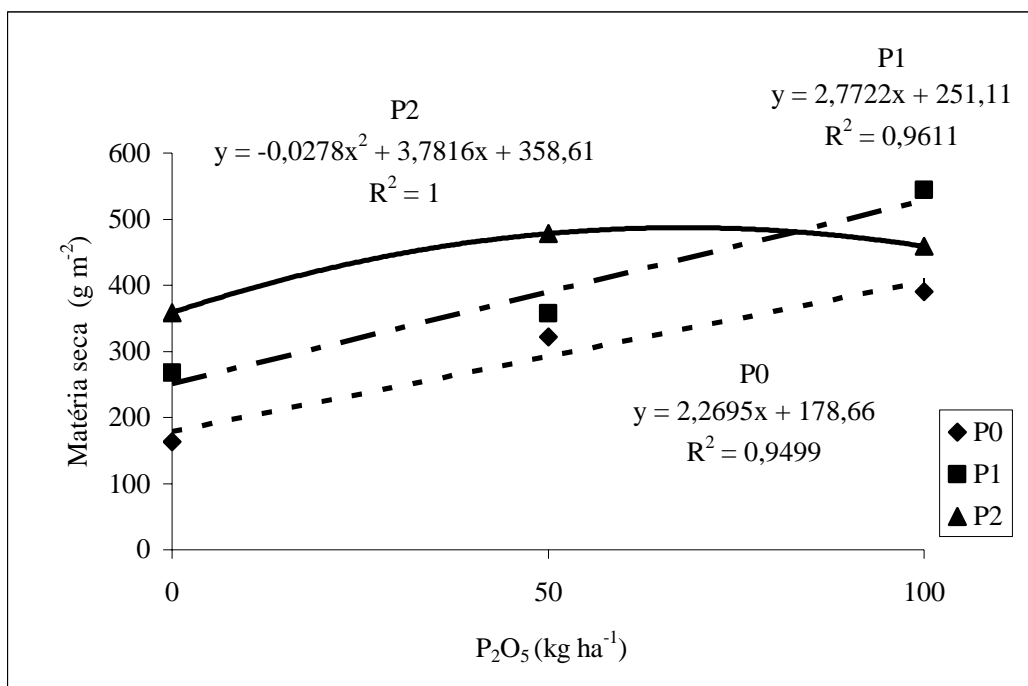


Figura 3.2 – Produção de matéria seca (MS) da soja em relação da adubação na soja (média das três adubações na pastagem).

Com o aumento nos níveis de adubação verifica-se um incremento nos teores de fósforo na planta (P-planta), refletindo em maiores produtividades de MS (Tabela 3.6), sendo que as faixas de adubação P1S2, P2S1 e P2S2, com os maiores níveis de P_2O_5 , apresentaram as maiores produtividades.

Tabela 3.6 – Valores médios dos atributos teor de fósforo na planta (P-planta), matéria seca (MS) e fósforo acumulado na parte aérea (P-acumulado) de acordo com as faixas de adubação⁽¹⁾.

Faixas de adubação	Adubação* P ₂ O ₅ Kg ha ⁻¹	Adubação total P ₂ O ₅ Kg ha ⁻¹	P-planta g kg ⁻¹	MS g m ⁻²	P-acumulado kg ha ⁻¹
P0S0	0 + 0	0	163.61 d	147.25 c	2,37 c
P0S1	0 + 50	50	322.22 c	290.00 b	5,05 c
P0S2	0 + 100	100	390.56 bc	351.50 b	10,96 b
P1S0	20 + 0	80	267.22 cd	240.50 b	5,62 c
P1S1	20 + 50	130	357.50 bc	321.75 b	8,75 b
P1S2	20 + 100	180	544.44 a	490.00 a	14,50 a
P2S0	40 + 0	160	358.61 bc	322.75 b	9,03 b
P2S1	40 + 50	210	478.15 ab	430.33 a	16,00 a
P2S2	40 + 100	260	458.61 ab	412.75 a	14,16 a

⁽¹⁾Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

*Adubação anual na pastagem (2003 a 2006) + adubação na soja (2007).

O efeito da adubação fosfatada sobre o P-acumulado na planta de soja verifica-se na Figura 3.3A. Constata-se que há uma tendência a estabilização de acúmulo de P nas faixas de adubação com maiores doses de P (P1S2, P2S1 e P2S2).

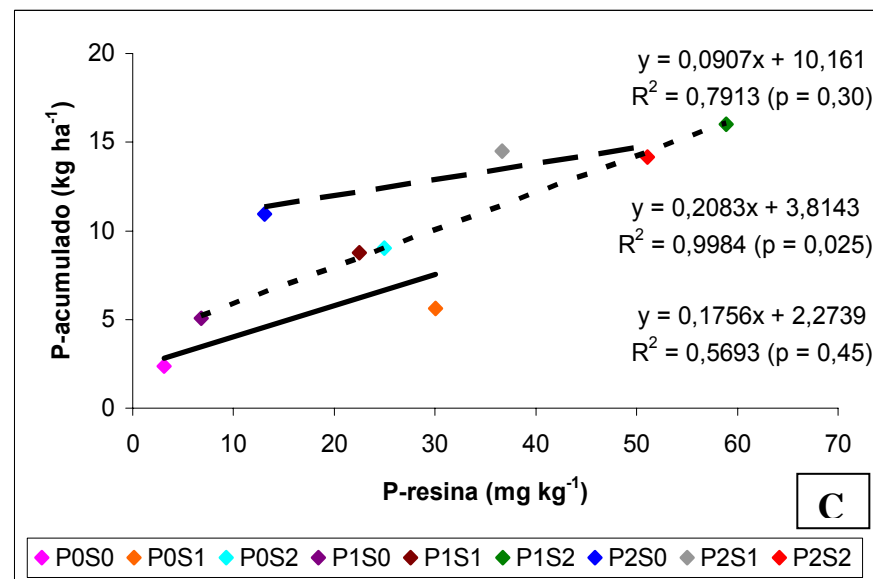
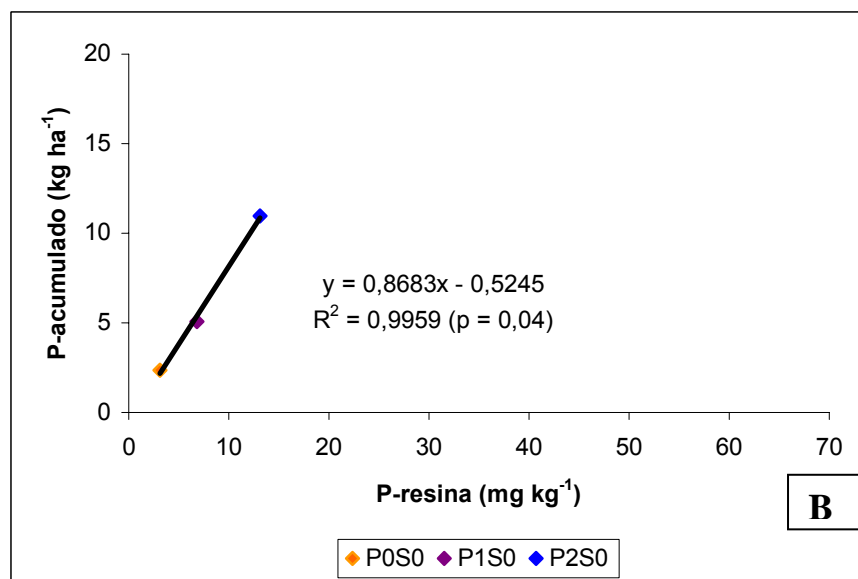
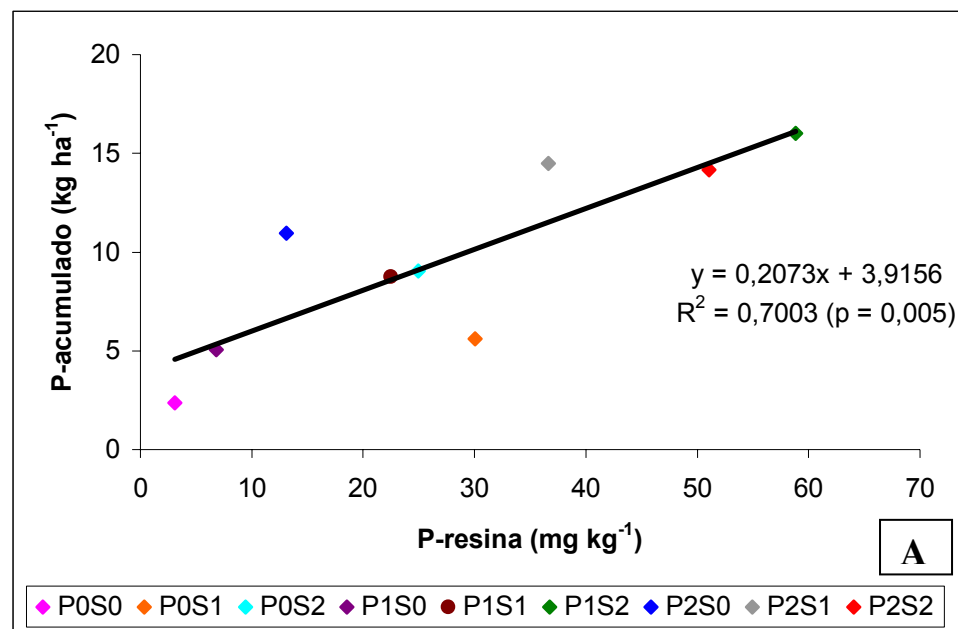


Figura 3.3 – Relação entre os teores de fósforo no solo (P-resina) e o fósforo acumulado planta (P-acumulado).

“A” representa todas as faixas de adubação; “B” representa a adubação na pastagem (P0, P1 e P2); “C” representa a adubação na soja dentro de cada adubação da pastagem (P0-S0S1S2, P1-S0S1S2 e P2-S0S1S2).

Para analisar a relação entre P-acumulado e P-resina separou-se o efeito das adubações na pastagem e na soja (Figura 3.1 “B” e “C”). A acumulação de P na soja apresentou uma relação linear crescente e significativa com o teor de P-Resina no solo ($R^2 = 0,99$), indicando que a adubação na pastagem apresentou um efeito residual importante para o acúmulo de P na parte aérea e produtividade da cultura subsequente. Mas a adubação na pastagem com 40 kg ha^{-1} de P_2O_5 aplicados anualmente nos quatro anos anteriores ao cultivo da soja não foram suficientes para que a planta de soja expressasse todo o potencial de acúmulo de P (P-acumulado) (Figura 3.1B).

Na Figura 3.1C, que representa as adubações na soja separadas para cada nível de adubação da pastagem, a acumulação de P também ocorreu com o aumento da disponibilidade do P no solo. No entanto, as inclinações das retas das regressões são menores (0,09-0,21) que aquela observada para a adubação no pasto (0,87) (Figura 3.1B), indicando que os altos teores de P disponível no solo, nestas faixas de adubações, não resultaram em maiores acúmulos de P na planta. Pode-se admitir então que o “pool” de P residual (P oriundo da pastagem) biodisponível para planta é utilizado (absorvido) com mais eficiência que o P do fertilizante aplicado na soja.

Segundo Resende (2006) a eficiência da adubação deverá ser otimizada quando a fonte apresentar liberação gradual de P, mas, em quantidade que atenda à demanda das culturas para produtividades satisfatórias. O P orgânico funciona como uma fonte próxima da ideal, pois as formas orgânicas de P impedem a adsorção do P liberando-o gradativamente. Neste contexto verifica-se o papel importante da fosfatase ácida (P-ase) na mineralização do P orgânico disponibilizando P para as plantas de soja e aumentando a eficiência do adubo aplicado na pastagem.

A acumulação de P na faixa de adubação P2S0 foi semelhante a P0S2. Isso demonstra que qualquer que seja o manejo da adubação fosfatada, parcelada nos quatro anos de cultivo da pastagem ou aplicada toda no primeiro ano da soja, a planta acumulou quantidades similares de P, o que sugere que a adubação antecipada na pastagem pode ser tão eficiente quanto apenas uma fertilização direta na cultura da soja. No entanto, a disponibilidade do P no solo, medida pelos extratores clássicos (Resina, Mehlich-1), é menor no caso da adubação antecipada na pastagem, necessitando, nas interpretações dos teores

recomendáveis de P no solo, de se preocupar com o tipo de manejo da área.

A atividade da fosfatase ácida variou de 437 a 1655 $\mu\text{g } p\text{-nitrofenol g}^{-1}$ de solo h^{-1} , com média de 920 $\mu\text{g } p\text{-nitrofenol g}^{-1}$ h^{-1} (Figura 3.2), resultados próximos dos encontrados por Renz et al. (1997) em Latossolos sob pastagem, pastagem consorciada com leguminosa e Cerrado nativo, com valores de 892, 947 e 549 $\mu\text{g } p\text{-nitrofenol g}^{-1}$ h^{-1} , respectivamente.

Os valores da atividade da P-ase ficaram acima daqueles geralmente encontrados na região do Cerrado (Carneiro et al., 2004 e Chapuis-Lardy et al., 2001), o que pode ser devido a adaptação feita na metodologia, sugerindo que a metodologia padrão subestima a atividade da P-ase ácida neste tipo de solo. Ainda, segundo Oberson et al. (1995), a atividade da fosfatase é alta em pastagens renovadas ou recentemente adubadas, devido a altos teores de P orgânico e carbono que são mais atuantes, sobre a atividade da fosfatase ácida, que o P inorgânico utilizado na renovação da pastagem. Outra explicação, segundo Oberson et al. (1999), é a interação entre gramínea-leguminosa sobre a atividade de fosfatase devido a maior produção de biomassa da parte aérea e das raízes, maiores acumulações de carbono e P orgânico e maior população microbiana na rizosfera que estimulam a atividade microbiana.

A atividade da fosfatase ácida foi significativa, tanto para a adubação na soja quanto para a adubação na pastagem, apenas na primeira época (46 DAE) (dados não apresentados), sugerindo que em sistema de integração lavoura-pecuária o P disponível só afetará a atividade desta enzima num primeiro momento, o que pode ser devido ao alto teor de C (2,45%) no solo que funcionaria como um tamponante em relação ao P inorgânico disponível.

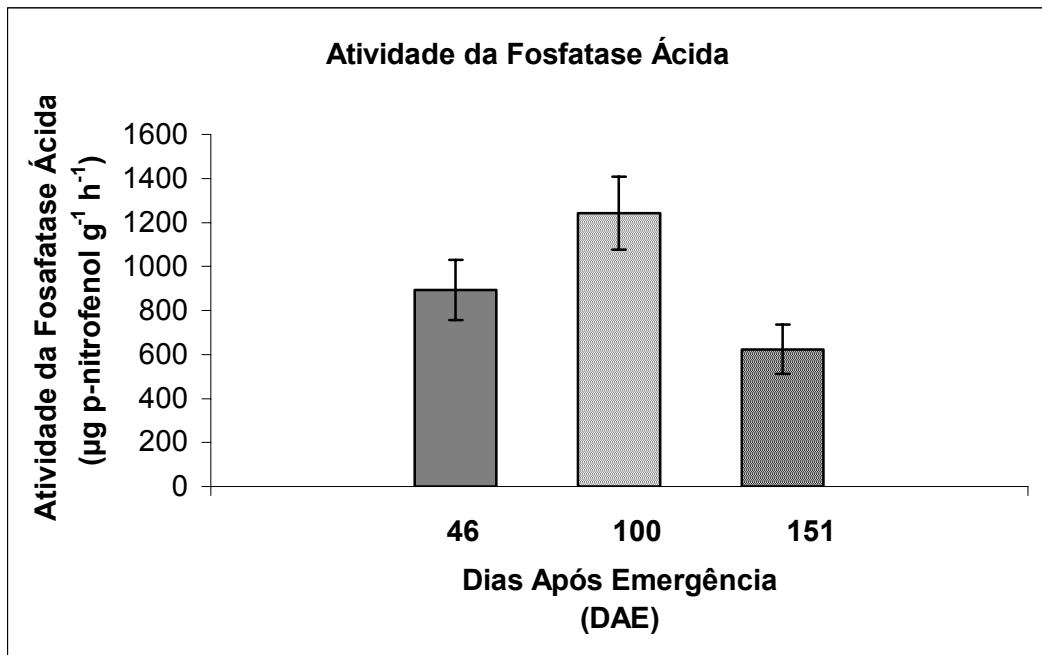


Figura 3.2 – Atividade da fosfatase ácida em relação aos dias após emergência (DAE).

A atividade da fosfatase ácida não apresentou correlação significativa com as outras variáveis analisadas e também não apresentou efeito entre as faixas de adubação nos 100 e 151 DAE. Por outro lado, observou-se uma variação entre as épocas de coleta das amostras (Figura 3.2). Como a umidade dos solos apresentou variações pequenas (30,5, 30,2 e 35,2 % de umidade, respectivamente, para 46, 100 e 151 DAE), supõe-se que o principal fator que influenciou a atividade da fosfatase ácida foi a época de amostragem. No início do ciclo da cultura da soja observou-se um valor médio da atividade da fosfatase ácida de 894 µg *p*-nitrofenol g⁻¹ h⁻¹, na segunda coleta o valor máximo de 1241 µg *p*-nitrofenol g⁻¹ h⁻¹ e na terceira coleta o valor mínimo de 624 µg *p*-nitrofenol g⁻¹ h⁻¹.

Os resultados obtidos estão de acordo com Aon & Colaneri (2001) que observaram uma diferença na atividade da enzima fosfatase ácida em três épocas diferentes de coleta (pré-plantio, floração e pré-colheita) na profundidade de 5-10 cm, valores respectivamente de 380, 798 e 420 g nitrophenol m⁻³ h⁻¹ e com Carneiro (1999) que concluiu que as maiores atividades da fosfatase ácida foram observados na estação chuvosa e que nas áreas cultivadas coincidiu com o período de desenvolvimento das culturas.

3.5. CONCLUSÕES

- 1.** O extrator Resina apresentou a melhor correlação com a MS produzida pela cultura da soja;
- 2.** O P residual oriundo da pastagem, quando determinado pelos extratores Mehlich 1, Resina e Olsen, apresenta teores disponíveis menores que o P aplicado na soja;
- 3.** O P residual biodisponível, oriundo da pastagem, é tão disponível quanto o P mineral aplicado na soja;
- 4.** A adubação antecipada na pastagem pode ser tão eficiente quanto a fertilização direta na cultura da soja;
- 5.** O principal fator que influencia a atividade da fosfatase ácida é a época de amostragem.

4. ARTIGO B – EFEITO DO MANEJO DA ADUBAÇÃO FOSFATADA SOBRE O DESEMPENHO ANIMAL, A PRODUTIVIDADE DA SOJA E O BALANÇO DE FÓSFORO EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA NO CERRADO

4.1 RESUMO

A integração lavoura-pecuária é um sistema de rotação de culturas anuais com pastagens e é uma das alternativas para a recuperação da fertilidade dos solos sob pastagens degradadas, além de ser uma alternativa para viabilizar o sistema de plantio direto. O trabalho teve como objetivo avaliar a relação da adubação fosfatada realizada em quatro anos de pastagens no desempenho animal, na produtividade de grãos da cultura da soja e o balanço de P no sistema. O experimento inicialmente foi dividido em três áreas de pastagem (*Brachiaria decumbens* cv. Basilisk) com níveis de adubação 0 (P0), 20 (P1) e 40 (P2) kg ha⁻¹ de P₂O₅, aplicados anualmente na forma de superfosfato simples. A avaliação das faixas de adubação foi determinada pelo ganho de peso vivo dos novilhos. Após o quarto ano de pastejo toda a área foi dessecada e realizada a semeadura de soja, com três níveis de adubação 0 (S0), 50 (S1), 100 (S2) kg ha⁻¹ aplicados no sulco de plantio na forma de superfosfato triplo, totalizando 9 faixas de adubação. O ganho de peso médio dos animais nas pastagens com adubação fosfatada foi de 315 e 331 kg ha⁻¹, respectivamente para P1 e P2, em média 129 kg ha⁻¹ maior que P0. O efeito residual da adubação na pastagem pode ser observado na faixa de adubação P2S0 que, resultou na produtividade de 3735 kg ha⁻¹ de soja, com adubação de 160 kg de P₂O₅ ha⁻¹ parcelada durante quatro anos na pastagem. O balanço do P na faixa de adubação P0 é negativo, ou seja, -5,7 kg ha⁻¹ de P que foram exportados pela produção de carne. Constatando-se uma das grandes causas da crescente degradação das pastagens em sistema de manejo extensivo. As faixas de adubação que receberam as maiores doses de P na fertilização (210 e 260 kg ha⁻¹ de P₂O₅) apresentaram maior exportação de P (19,7 e 19,4 kg ha⁻¹ de P), devido a maior produtividade da soja. Mas aproximadamente 85 % do P aplicado ficou como resíduo.

Palavras-chaves: Efeito residual. Adubação antecipada. Adubação fosfatada. Balanço de P. *Brachiaria decumbens*, Soja. Desempenho animal.

ABSTRACT

EFFECT OF PHOSPHORUS FERTILIZATION MANAGEMENT ABOUT ANIMAL PERFORMANCE, THE SOYBEAN PRODUCTIVITY AND THE PHOSPHORUS BALANCE IN INTEGRATED CROP-LIVESTOCK MANAGEMENT SYSTEM IN CERRADO

Crop-livestock integration is an annual crop rotation system with pastures and is one of the alternatives to recover the fertility of soils under degraded pastures, and is also an alternative to turn feasible the direct planting. This study aimed to evaluate the relationship between phosphorus fertilization performed during four years in pastures on animal performance, on grain productivity of a soybean crop and on P balance in that system. The experiment was initially divided into three pasture areas (*Brachiaria decumbens* cv. Basilisk) at fertilization levels of 0 (P1), 20 (P2), and 40 (P3) kg ha⁻¹ P₂O₅, applied annually in the form of single superphosphate. The fertilization zones evaluation were determined based on alive weight gain of the bullock. After the fourth year of grazing the entire area was desiccated and soybean was sown, at three fertilization levels, 0 (S1), 50 (S2), and 100 (S3) kg ha⁻¹ applied in the planting furrow in the form of triple superphosphate, totaling 9 fertilization zones. The medium weight gain of animals on pasture with phosphorus fertilization was from 315 and 331 kg ha⁻¹, for P₁ and P₂, respectively, on average 129 kg ha⁻¹ higher than P₀. The residual fertilization effect in the pasture can be observed in fertilization zone P2S0, which resulted on productivity value of 3735 kg ha⁻¹ soybean, with a fertilization level of 160 kg P₂O₅ ha⁻¹ throughout a four-year period in the pasture. The P balance in P₀ fertilization zone is negative, in other words, -5.7 kg ha⁻¹ of P that were exported by meat production. Ascertaining one of the biggest reason for increased pasture degradation under systems of extensive management. The fertilization zones that received the highest portions of P during fertilization (210 and 260 kg ha⁻¹de P205) showed the biggest P exportation (19,7 and 19,4 kg ha⁻¹de P), due to the highest soybean productivity. But approximately 85% of all P applied stayed as residue.

Keywords: Residual effect. Early fertilization. Phosphorus fertilization. P balance, *Brachiaria decumbens*, Soy bean. Animal performance.

4.2 INTRODUÇÃO

Cerrado é o segundo maior bioma do Brasil ocupando uma área de 204 milhões de hectares, aproximadamente 24% do território brasileiro. Deste total, Sano et al. (2008) estimaram que 54 milhões são explorados com pastagens cultivadas, e que 50 a 80% apresentam algum grau de degradação (Vieira & Kichel, 1995 e Barcellos, 1996). A região também contribui com cerca 55 % da produção nacional de carne bovina, perfazendo um total de 57,7 milhões de cabeças (ANUALPEC, 2006) e com 60 % da produção de soja, aproximadamente 30,7 milhões de toneladas de grãos (Embrapa, 2005).

A predominância de solos muito intemperizados, na região do Cerrado, com alta capacidade de adsorção e baixa disponibilidade de P para as plantas e a falta de adubações de manutenção contribuem decisivamente para a diminuição da produtividade da pastagem ao longo do tempo, levando a evolução no seu processo de degradação.

O sistema de rotação de culturas anuais (soja, milho, sorgo, dentre outras) com pastagens é uma alternativa que possibilita a recuperação da fertilidade dos solos degradadas. Este sistema conhecido como integração lavoura-pecuária (ILP) apresenta efeitos positivos sobre a fertilidade (Green et al., 2007) e a qualidade do solo (Marchão et al., 2007), aumentando os teores de carbono orgânico e a atividade biológica (Green et al., 2007) bem como sobre a rentabilidade econômica e a geração de empregos; além de aumentar a preservação ambiental diminuindo a pressão sobre ecossistemas amazônicos (Kluthcouski et al., 2003).

Paralelamente, a implantação de sistemas de produção envolvendo novas práticas de manejo do solo, como o plantio direto, pode imprimir alterações na liberação, dinâmica e disponibilidade do P aplicado, comparativamente aos sistemas tradicionais de cultivo que representam a base do conhecimento em manejo da adubação fosfatada no Brasil. Um diferencial importante em sistemas de cultivo com menor revolvimento do solo é a participação de formas orgânicas no estoque de fósforo potencialmente aproveitável pelas culturas anuais como soja e milho (Tokura et al., 2002; Sá, 2003).

O trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da adubação fosfatada realizada em quatro anos de pastagens no desempenho animal, na produtividade de

grãos da cultura da soja e o balanço de P no sistema.

4.3. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na área experimental da Embrapa Cerrados, Planaltina, DF (15°38'46"S, 47°45'08"W), sobre um Latossolo Vermelho-Escuro de textura argilosa (Embrapa, 2006). Os atributos químicos e físicos do solo estão apresentados na tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Resultados das análises das características químicas e físicas do solo sob pastagem (camada superficial 0-10 cm) correspondente a faixa sem adubação, antes da implantação da cultura da soja.

pH	C _{total}	Ca	Mg	Al	H+Al	K	P-M1	Pres	Argila	Silte	Areia
água	(g kg ⁻¹)	----- (cmol _c kg ⁻¹) -----					(mg kg ⁻¹)	(mg kg ⁻¹)	----- (g kg ⁻¹) -----		
5,21	24,5	2,78	0,70	0,09	5,43	0,46	2,37	6,01	650	120	230

P-M1: fósforo Mehlich-1 (0,0125 mol L⁻¹ H₂SO₄ e 0,050 mol L⁻¹ HCl); Pres: fósforo resina.

A área recebeu 1,1 t ha⁻¹ de calcário dolomítico incorporado, 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na forma superfosfato simples e 30 kg ha⁻¹ de micronutrientes na forma de FTE BR-10. A semeadura da *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk ocorreu em 29/12/1999. Em 2002, a área foi dividida em três subáreas de 1,5 ha, e a partir desta data aplicou-se a lanço, anualmente, 0 (P0), 20 (P1) e 40 (P2) kg ha⁻¹ de P₂O₅, na forma de superfosfato simples. Em novembro de 2006, a pastagem foi dessecada com 1,44 kg ha⁻¹ do i.a. glifosato e feita a semeadura da soja cv. BRS Valiosa RR, para obter uma população de 12 plantas por metro linear, espaçadas a 0,45 m. Na semeadura da soja, para cada parcela experimental da pastagem, foi aplicado P₂O₅ no sulco de plantio, na forma de superfosfato triplo, na razão de 0 (S0), 50 (S1), 100 (S2) kg ha⁻¹, totalizando 9 faixas de adubação (Tabela 4.2).

Tabela 4.2 – Descrição das faixas de adubação segundo a quantidade de P_2O_5 em $kg\ ha^{-1}$ aplicadas.

Faixas de adubação ⁽¹⁾	Adubação anual na pastagem de 2003 a 2006	Adubação na soja em 2007	Adubação total de 2003 a 2007
P0S0	0	0	0
P0S1	0	50	50
P0S2	0	100	100
P1S0	20	0	80
P1S1	20	50	130
P1S2	20	100	180
P2S0	40	0	160
P2S1	40	50	210
P2S2	40	100	260

⁽¹⁾P0 = 0 $kg\ ha^{-1}$, P1 = 20 $kg\ ha^{-1}$, P2 = 40 $kg\ ha^{-1}$, S0 = 0 $kg\ ha^{-1}$, S1 = 50 $kg\ ha^{-1}$, S2 = 100 $kg\ ha^{-1}$.

A estimativa da quantidade de P exportada por quilo de carne foi determinada segundo apresentado por Paulino et al. (2004) para animais de 250 kg de peso vivo (PV), com teor de P de 7,29 $g\ kg^{-1}$ de PV. A exportação de P em cada faixa de adubação foi calculada multiplicando-se o teor de P ($g\ kg^{-1}$ de carne) pelo ganho de peso vivo (GP) (kg de carne ha^{-1}). Os animais teste utilizados eram da raça Nelore com peso de 235,9 kg com variação de $\pm 40,6$ kg e idade à desmama. As pesagens dos animais foram realizadas em intervalos de 28 dias. A taxa de lotação animal foi ajustada, a cada 28 dias, para manter uma oferta de forragem de 10 a 11 kg de matéria seca total/100 kg de peso vivo (L. Vilela, Embrapa Cerrados, comunicação pessoal). O P aplicado foi calculado pela soma das aplicações de P nas adubações da pastagem e da soja, desconsiderando a adubação de correção feita antes da implantação da pastagem.

A coleta das amostras de solo foi realizada no período vegetativo (V5. - quarto trifólio aberto e quinto trifólio não aberto) para caracterização da área. Em cada faixa de adubação foram coletados 4 amostras de solo compostas. Cada amostra foi obtida de 12 sub-amostras de solo coletadas com trado holandês na camada de 0-10cm de profundidade, em quatro pontos nas duas linhas e em oito pontos nas três entrelinhas, em 2 m de comprimento, contemplando as fertilizações realizadas na soja e na pastagem. As amostras foram armazenadas em sacos plásticos e acondicionadas em caixa de isopor no campo e no mesmo dia colocadas em geladeira a aproximadamente 10° C. As análises de P foram realizadas em até 10 dias, para evitar possíveis transformações nas formas de P. Posteriormente, as amostras foram secas ao ar, peneiradas a 2 mm e armazenadas em sacos plásticos

para as demais análises químicas.

No final de maturação (R8.2. - mais de 50% de desfolha, pré-colheita), foram coletadas em quatro repetições amostras da parte aérea de 20 plantas em duas linhas, sendo as sementes separadas da parte aérea. As amostras foram acondicionadas em sacos de papel e secas em estufa a 65 °C por 72 horas e, posteriormente, foram moídas para realização das análises químicas para avaliação dos teores de macro e micronutrientes na matéria seca da parte aérea.

As análises químicas do solo foram realizadas, seguindo metodologia estabelecida em Embrapa (1999^a). Foram determinados: pH em água; K disponível, extraídos com solução Mehlich-1 (0,0125 mol L⁻¹ de H₂SO₄ e 0,050 mol L⁻¹ de HCl); Al trocável, Ca e Mg, extraídos com KCl 1,0 mol L⁻¹; H + Al, extraído com solução do acetato do cálcio 0,5 mol L⁻¹ a pH 7,0 e titulado com NaOH 0,0606 mol L⁻¹. O carbono total (C) foi determinado por combustão a seco utilizando um aparelho CNHS 2400 serie II, Perkin Elmer.

A determinação de P disponível foi feita por resina trocadora de ânions (Raj et al., 2001), em amostras mantidas úmidas. Posteriormente os resultados foram corrigidos em base do peso seco das amostras.

As análises de macronutrientes (Ca, Mg, P, S, K e N) e micronutrientes (Cu, Fe, Zn, Mn, Bo) nas plantas foram realizadas por digestão nitroperclória segundo Embrapa (1999) e determinadas as concentrações em um ICP-AES.

Os resultados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando o aplicativo Sisvar (Ferreira, 2008).

4.4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A produtividade da pastagem no período 2003-2006 foi avaliada pelo ganho de peso médio (GPM) dos animais (Tabela 4.3). Os novilhos pesando em média 235,9 kg apresentaram GPM de 194, 315 e 331 kg de carne ha⁻¹, respectivamente para as faixas de adubação P0, P1 e P2. As faixas de adubação P1 (20 kg de P₂O₅ ha⁻¹ ano⁻¹) e P2 (40 kg de P₂O₅ ha⁻¹ ano⁻¹) apresentaram uma produtividade maior de 121 e 137 kg de carne ha⁻¹ em relação a faixa de adubação

testemunha P1, respectivamente. Em Porto Velho, em condições semelhantes de adubações, Gonçalves et al. (1990) registraram um ganho de peso de 138 kg ha⁻¹, com fertilização de 50 kg de P₂O₅ ha⁻¹ em um ano, maior que a testemunha.

Tabela 4.3 – Efeito da fertilização fosfatada sobre o ganho de peso (kg ha⁻¹ de carne) de Nelore em pastagem de *B. decumbens*. (Fonte: L. Vilela, Embrapa Cerrados, comunicação pessoal)

Ganho de Peso			
Ano	P0*	P1*	P2*
2002/2003	203,9	277,0	284,1
2003/2004	177,5	276,9	277,1
2004/2005	225,3	391,4	417,0
2005/2006	170,8	315,3	346,5
GPM	194,4b	315,1a	331,2a
GP - acumulado	777,4	1260,5	1324,7

⁽¹⁾Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

*P0 – sem adubação; P1 - 20 kg de P₂O₅ ha⁻¹ ano⁻¹; P2 - 40 kg de P₂O₅ ha⁻¹ ano⁻¹.

Analisando o ganho de peso acumulado dos quatro anos de pastejo, verifica-se que as faixas de adubação que receberam adubações de 80 e 160 kg de P₂O₅ (P1 e P2) apresentaram uma produção de carne média de 515,2 kg ha⁻¹ maior que a testemunha (sem adubação), mas não houve diferença entre os dois níveis de adubação. O aumento do ganho de peso nas faixas de adubação P1 e P2 foi evidenciado a partir do primeiro ano, principalmente, devido ao baixo teor de fósforo no solo.

As produtividades da cultura da soja nas faixas de adubação variaram de 1574 a 4066 kg ha⁻¹ (Tabela 4.4). As produtividades foram relativamente altas, apenas as faixas de adubação POS0 e POS1 apresentaram produtividades baixas (1574 e 2367 kg ha⁻¹, respectivamente) devido a baixa fertilidade natural do solo e aos baixos níveis de P aplicados.

Tabela 4.4 – Efeito da fertilização fosfatada sobre a produtividade de grãos de soja após quatro anos de pastagem de *B. decumbens*⁽¹⁾.

Faixas de adubação	Adubação*	Adubação total	Produtividade
	-----kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅ -----		----kg ha ⁻¹ ----
P0S0	0 + 0	0	1574 d
P0S1	0 + 50	50	2367 c
P0S2	0 + 100	100	3438 ba
P1S0	20 + 0	80	3000 cb
P1S1	20 + 50	130	3642 ba
P1S2	20 + 100	180	4066 a
P2S0	40 + 0	160	3735 a
P2S1	40 + 50	210	4061 a
P2S2	40 + 100	260	3902 a

⁽¹⁾Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

*Adubação anual na pastagem (2003 a 2006) + adubação na soja (2007).

Francisco et al. (2007) avaliando o efeito residual da adubação fosfata e potássica (90 e 50 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e K₂O, respectivamente) em capim-pé-de-galinha, sobre a produtividade de soja, obtiveram na testemunha (sem adubação) produtividade de 3354 kg ha⁻¹ maior que na faixa de adubação sem adubação, com 1574 kg ha⁻¹, apesar dos teores de P iniciais no solo serem semelhantes, essa diferença de produtividade provavelmente ocorreu devido à textura argilosa do solo e à grande capacidade de adsorção de fosfato (presença de óxidos de ferro e alumínio). Por outro lado nas produtividades máximas observou-se diferenças menores entre os dois trabalhos, onde a faixa de adubação P1S1 obteve uma produtividade de 4066 kg ha⁻¹ e Francisco et al. (2007) obteve máxima produtividade de 3599 kg ha⁻¹.

Para auxiliar na discussão dos resultados dos efeitos do P residual da pastagem foram selecionados quatro faixas de adubação (P0S0, P0S2, P2S0 e P2S2) onde foram feitas comparações. Observou-se que na faixa sem adubação (P0S0) a cultura da soja apresentou uma produtividade de 1574 kg ha⁻¹ de soja 46% mais baixa que a faixa de adubação com 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅ apenas na soja (P0S2) que alcançou uma produtividade de 3438 kg ha⁻¹. Estes resultados indicam que a adubação na soja foi suficiente para alcançar produtividade satisfatória, sendo que esta faixa de adubação não diferiu significativamente da faixa de adubação P2S2, com o maior nível de adubação (260 kg ha⁻¹ de P₂O₅, pastagem+soja), que obteve uma produtividade de 3902 kg ha⁻¹ de soja (Tabela 4.4).

O resultado mais expressivo foi obtido na faixa de adubação P2S0

onde a produtividade alcançou 3735 kg ha⁻¹ de soja, com adubação de 40 kg de P₂O₅ ha⁻¹ parcelada durante quatro anos na pastagem. Este resultado indica a capacidade da planta de soja em aproveitar os nutrientes aplicados em anos anteriores ou as quantidades disponíveis no solo como demonstrado também por Mascarenhas et al. (1981) e Francisco et al. (2007).

O balanço de fósforo teve como finalidade avaliar a entrada e a saída deste nutriente em cada sub-sistema (pastagem e soja) e na sua interação. Avaliando o balanço do P na pastagem observou-se que na faixa de adubação P0 é negativo, ou seja, -5,7 kg ha⁻¹ de P que foram exportados pela produção de carne. Constata-se assim, uma das grandes causas da crescente degradação das pastagens em sistema de manejo extensivo, onde não há o emprego de fertilizantes, evidenciando a necessidade da reposição de nutrientes nas pastagens para que mantenha a produtividade ao longo do tempo.

Tabela 4.5 – Balanço do fósforo nas pastagens de *B. decumbens* em diferentes níveis fertilização fosfatada⁽¹⁾.

Faixas de adubação	Fósforo (kg ha ⁻¹ de P)		
	Aplicado	Exportado	Balanço
P0*	0,0	1,4 b	-5,7 c
P1*	34,9	2,3 a	25,7 b
P2*	69,9	2,4 a	60,2 a

⁽¹⁾Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

*P0 – sem adubação; P1 - 20 kg de P₂O₅ ha⁻¹ ano⁻¹; P2 - 40 kg de P₂O₅ ha⁻¹ ano⁻¹.

A faixa de adubação que recebeu 34,9 kg de P ha⁻¹ (P1) apresentou a maior eficiência na utilização de P, uma vez que as produções de carne foram maiores que P0 e semelhantes a P2, obtendo um saldo menor de P e mesma produção de carne que a faixa de adubação P2.

A análise dos dados de exportação de P pelos grãos de soja indicou diferença entre as faixas de adubação (Tabela 4.6), com balanço sempre positivo, com exceção da faixa sem adubação.

Tabela 4.6 – Balanço do fósforo na soja em diferentes níveis de fertilização fosfatada, após quatro anos de pastagem de *B. decumbens*⁽¹⁾.

Faixas de adubação	Fósforo (kg ha ⁻¹ de P)		
	Aplicado	Exportado	Balanço
P0S0	0,00	4,5 f	-4,5 i
P0S1	21,8	7,2 ef	14,6 h
P0S2	43,7	12,4 cd	31,2 g
P1S0	34,9	10,4 de	24,5 f
P1S1	56,8	14,8 bc	41,9 e
P1S2	78,6	17,0 ab	61,5 d
P2S0	69,9	17,3 ab	52,6 c
P2S1	91,7	19,7 a	72,0 b
P2S2	113,5	19,4 a	94,2 a

⁽¹⁾Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

As faixas de adubação que receberam as maiores doses de P na fertilização (210 e 260 kg ha⁻¹ de P₂O₅) apresentaram maior exportação de P (19,7 e 19,4 kg ha⁻¹ de P), devido a maior produtividade da soja. Mas, aproximadamente 85 % do P aplicado ficou como resíduo.

Na Figura 4.1 observa-se que há um aumento da exportação de P até pelo menos 80-90 kg ha⁻¹ de P aplicados com o aumento de P aplicado, ou seja, acima de 180-210 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (Tabela 4.4) a soja não responde mais à adubação fosfatada.

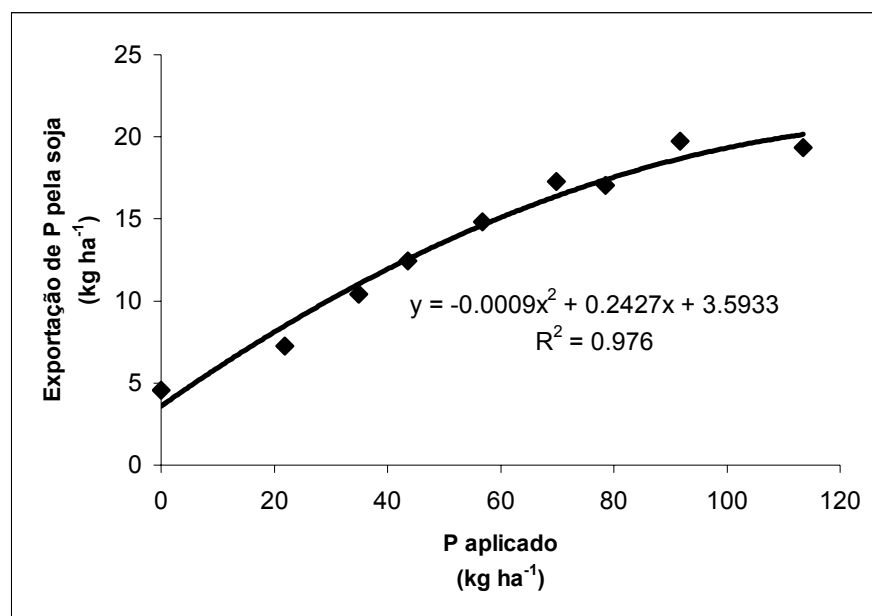


Figura 4.1 – Relação entre o P aplicado e a exportação de P pela cultura da soja.

Francisco et al. (2007) observaram uma exportação média de 16,07 kg ha⁻¹ de P pelos grãos de soja (cv. BRS-133 e fertilização de 90 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na soja), resultados superiores ao encontrado na faixa de adubação P0S2 de 12,4 kg ha⁻¹ de P (cv. BRS-Valiosa RR e fertilização de 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na soja). Essa diferença pode ser devido as características físicas e mineralógicas dos solos e a cultivar de soja utilizada em cada ensaio, uma vez que as produtividades foram semelhantes (3438 e 3494 kg ha⁻¹).

Analisando a adubação com P no sistema de ILP verifica-se que a faixa de adubação P1S1 a soja apresentou maior a produtividade (3642 kg ha⁻¹) com a menor dose de P aplicado (130 kg ha⁻¹), não diferindo da maior produtividade alcançada pela soja na faixa de adubação P1S2 (4066 kg ha⁻¹). Na faixa de adubação P2S0 a soja também se destacou pela eficiência na utilização de P (100 kg ha⁻¹) aplicado à lanço anualmente na pastagem, devido à alta produtividade de grãos de soja de 3735 kg ha⁻¹. No entanto, de forma geral, o manejo do P (adubação na pastagem ou na soja) parece ter pouco efeito sobre o P exportado pela soja. Entre 20 e 70 kg ha⁻¹ de P, há um aumento da exportação do P (Figura 4.2) e da produtividade da cultura da soja, sem efeito do modo de aplicação antecipada na pastagem ou diretamente na soja.

Uma prática comum em áreas de ILP é o aproveitamento do efeito residual da adubação realizada para culturas anuais ou anuais para as pastagens (Nicoloso, 2005). Porém estes resultados sugerem que a utilização da adubação da pastagem de *B. decumbens* pode ser uma alternativa viável e sustentável para o sistema de ILP, pois esta gramínea tem um sistema radicular agressivo e grande produção de biomassa tanto superficial como sub-superficial que diminuem ou retardam a adsorção de P as partículas do solo immobilizando-o na biomassa. Isto aumenta os teores de P orgânico e a eficiência na utilização de P no sistema de ILP.

Ademais, como a adubação fosfatada antecipada não prejudica o crescimento da soja e tem um efeito benéfico na produção de carne, este modo de manejo do P pode ser considerado eficiente.

4.5. CONCLUSÕES

1. As adubações fosfatadas realizadas na pastagem aumentam o ganho de peso dos bovinos;
2. A adubação fosfatada da pastagem não altera a produtividade da soja;
3. Aproximadamente 85 % do P aplicado no sistema ILP permanece no solo (como resíduo da adubação fosfatada) e contribui para a nutrição da cultura subsequente.

5 CONCLUSÕES GERAIS

1. A adubação antecipada de P em pastagem altera a disponibilidade do P determinada pelos extratores Resina e Mehlich-1: para uma adubação semelhante, a disponibilidade é menor na adubação antecipada;

2. A biodisponibilidade de P para soja não é modificada pela adubação da pastagem em sistema de integração lavoura-pecuária;

3. A obtenção de produtividade superior de carne, embora com igual produtividade de soja, com a utilização da adubação antecipada de P em *B. decumbens*, torna este manejo do P uma alternativa viável e sustentável para o sistema de integração lavoura-pecuária.

REFERÊNCIAS

AFIF, E.; BARRÓN, V.; TORRENT, J. Organic matter delays but does not prevent phosphate sorption by Cerrado soils from Brazil. **Soil Science**, v.159, p.207-211, 1995.

ALEF, K.; NANNIPIERI, P.; TRAZAR-CEPEDA, C. Phosphatase activity. In: ALEF, K.; NANNIPIERI, P., eds. **Methods in applied soil microbiology and biochemistry**. London: Academic Press, 1995. p.335-344.

ANDERSON, G.; WILLIAMS, E.G.; MOIR, J.O. A comparison of the sorption of inorganic orthophosphate and inositol hexaphosphate by six acid soils. **Journal of Soil Science**, v.25, p.51-62, 1974.

ANUALPEC. **Anuário da pecuária brasileira**. São Paulo: FNP Consultoria & Agroinformações, 2006.

AON, M.A.; COLANERI, A.C. Temporal and spatial evolution of enzymatic activities and physico-chemical properties in an agricultural soil. **Applied Soil Ecology**, v.18, p.255-270, 2001.

BALIGAR, V.C.; WRIGHT, R.J.; SMEDLEY, M.D. Acid phosphatase activity in soils of the Appalachian region. **Soil Science Society of American Journal**, v.52, p.1612-1616, 1988.

BARCELLOS, A.O. Sistemas extensivos e semi-extensivos de produção pecuária bovina de corte nos Cerrados. In: SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO, 8.; INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON TROPICAL SAVANNAS, 1., 1996, Brasília, DF. Biodiversidade e produção sustentável de alimentos e fibras nos Cerrados: **Anais / Biodiversity and sustainable production of food and fibers in the tropical savannas: Proceedings**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1996. p.130-136.

BAYER, C. **Dinâmica da matéria orgânica em sistemas de manejo de solos**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1996. 240p. (Tese de Doutorado)

BERNARDI, A.C.C.; MACHADO, P.L.O.A.; FREITAS, P.L.; COELHO, M.R.; LEANDRO, W.M.; OLIVEIRA JUNIOR, J.P.; OLIVEIRA, R.P.; SANTOS, H.G.; MADARI, B.E.; CARVALHO, M.C.S. **Correção do solo e adubação no sistema de plantio direto nos Cerrados**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2003. 22p. (Comunicado Técnico, n. 46)

BOWMAN, R.A.; COLE, C.V. Transformations of organic phosphorus substrates in soils as evaluated by NaHCO₃ extraction. **Soil Science**, v.125, p.49-54, 1978.

BROSSARD, M.; BARCELLOS, A.O. Conversion du cerrado en pâturages cultivés et fonctionnement des Ferralsols. **Cahiers Agricultures**, v.14 (1), 2005.

CARNEIRO, R.G. **Dinâmica de parâmetros biológicos associados ao ciclo do fósforo em solo de Cerrado sob diferentes sistemas de manejos**. Florianópolis, Universidade Federal de Santa Catarina, 1999. 86p. (Dissertação de Mestrado)

CARNEIRO, R.G.; MENDES, I.C.; LOVATO, P.E.; CARVALHO, A.M.; VIVALDI, L.J. Indicadores biológicos associados ao ciclo do fósforo em solos de Cerrado sob plantio direto e plantio convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, n.7, p.661-669, 2004.

CHAPMAN, P.J.; EDWARDS, A.C.; SHAND, C.A. The phosphorus composition of soil solutions and soil lechates: Influence of soil: solution ratio. **European Journal of Soil Science**. v.48, p.697-710, 1997.

CHAPUIS-LARDY, L.; BROSSARD, M.; QUIQUAMPOIX, H. Assessing organic phosphorus status of Cerrado oxisols (Brazil) using ³¹P-NMR spectroscopy and phosphomonoesterase activity measurement. **Canadian Journal of Soil Science**. v.81, p.591-601, 2002.

CHEN, C.R.; CONDRON, L.M.; DAVIS, M.R.; SHERLOCK, R.R. Phosphorus dynamics in the rhizosphere of perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) and radiata pine (*Pinus radiata* D. Don.). **Soil Biology and Biochemistry**, v.34, p.487-499, 2002.

CIAT. **Overcoming soil degradation through productivity enhancement and natural resource conservation**. Cali: CIAT. Annual Report, 1999.

CONDRON, L.M.; GOH, K.M. Effects of long-term phosphatic fertilizer applications on amounts and forms of phosphorus in soils under irrigated pasture in New Zealand. **Journal of Soil Science**, v.40, p.383-395, 1989.

CONTE, E.; ANGHINONI, I.; RHEINHEIMER, D.S. Fósforo da biomassa microbiana e atividade de fosfatase ácida após aplicação de fosfato em solo no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p.925-930, 2002.

CONTE, E.; ANGHINONI, I.; RHEINHEIMER, D.S. Frações de fósforo acumuladas em latossolo argiloso pela aplicação de fosfato no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.893-900, 2003.

CORAZZA, E.J. **Biodisponibilidade de íon fosfato em solos sob pastagens cultivadas na Região do Cerrado**. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2002. 127p. (Tese de Doutorado)

CORAZZA, E. J.; BROSSARD, M.; MURAOKA, T.; COELHO, M.A. Spatial variability of soil phosphorus of a low productivity *Brachiaria brizantha* pasture. **Scientia Agricola**, v.60, p.559-564, 2003.

COSTA, M.D.; LOVATO, P.E. Fosfatases na dinâmica do fósforo do solo sob culturas de cobertura com espécies micorrízicas e não micorrízicas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, n.6, p.603-605, 2004. (Nota Científica)

CROSS, A. F.; SCHLESINGER, W. H. A literature review and evaluation of the Hedley fractionation: applications to the biogeochemical cycle of soil phosphorus in natural ecosystems. **Geoderma**, v.64, n.3-4, p.197-214, 1995.

DICK, W.A.; TABATABAI, M.A. Significance and potencial uses of soil enzymes. In: METTING JUNIOR, F.B., ed. **Soil microbial ecology applications in agricultural and environmental management**. New York: M. Dekker, 1993. p.95-127.

EBERHARDT, D.N.; VENDRAME, P.R.S.; BECQUER, T.; GUIMARÃES, M.F. Caracterização da Disponibilidade e Retenção de Fósforo nos Latossolos sob Pastagens do Cerrado. In: XXXI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Gramado, 2007. **Anais**. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.31, 2007. CD-ROM

EMBRAPA. **Embrapa Cerrados: conhecimento, tecnologia e compromisso ambiental**. Planaltina-DF: EMBRAPA-CPAC, 2005. 43p.

EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1999. 372p.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2º ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.

ESSINGTON, M.E.; HOWARD, D.D. Phosphorus availability and speciation in long-term no-till and disk-till soil. **Soil Science**, v.165, p.144-152, 2000.

ESTEVES, J.A.F. **Produção de soja em função da antecipação da adubação fosfatada e potássica em semeadura direta**. Botucatu, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista. 2000. 107p. (Dissertação Mestrado)

EVANS, A. Jr. The adsorption of inorganic phosphate by a sandy soil as influenced by dissolved organic compounds. **Soil Science**, v.140, p.251-255, 1985.

FAIRHURST, T.; LEFROY, R.; MUTERT, E.; BATJES, N. The importance, distribution and causes of phosphorus deficiency as a constraint to crop production in the tropics. **Agroforestry Forum**, v.9, p.2-8, 1999.

FERREIRA, D.F. **Sistema Sisvar para análises estatísticas**. Disponível em: <http://www.dex.ufla.br/index.php?option=com_content&task=view&id=64&Itemid=1>. Acesso em 10 de jan. 2008.

FRANCISCO, E.A.B.; CÂMARA, G.M.S.; SEGATELLI, C.R. Estado nutricional e produção do capim-pé-de-galinha e da soja cultivada em sucessão em sistema antecipado de adubação. **Bragantia**, v.66, n.2, p.259-266, 2007.

GEORGE, T.S.; GREGORY, P.J.; ROBINSON, J.S.; BURESH, R.J. Changes in phosphorus concentrations and pH in the rhizosphere of some agroforestry and crop species. **Plant and Soil**, v.246, p.65-73, 2002.

GOEDERT, W.J. Management of the Cerrado soils of Brazil: a review. **Journal Soil Science**, v.34, p.405-428, 1983.

GONÇALVES, C.A.; COSTA, N.L.; OLIVEIRA, J.R.C. Métodos de renovação e manejo de pastagens em Porto Velho, Rondônia. In: REUNIÓN DE LA RED INTERNACIONAL DE EVALUACIÓN DE PASTOS TROPICALES - AMAZONIA, 1., 1990, Lima, Peru. **Memórias...** Cali, Colombia: CIAT, 1990. v.2, p.593-595.

GREEN, V.S.; STOTT, D.E.; CRUZ, J.C.; CURI, N. Tillage impacts on soil biological activity and aggregation in a Brazilian Cerrado Oxisol. **Soil & Tillage Research**, v.92, 114–121, 2007.

GUERRA, J.G.M.; ALMEIDA, D.L.; SANTOS, G.A.; FERNANDES, M.S. Conteúdo de fósforo orgânico em amostras de solos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.31, n. 4, p. 291-299, 1996.

GUGGENBERGER, G.; HAUMEIER, L.; THOMAS, R.J.; ZECH, W. Assessing the organic phosphorus status of an Oxisol under tropical pastures following native savanna using ³¹P NMR spectroscopy. **Biology and Fertility of Soils**, v.23, p.332-339, 1996.

GUPPY, C.N.; MENZIES, N.W.; MOODY, P.W.; BLAMEY, F.P.C. Competitive sorption reactions between phosphorus and organic matter in soil: a review. **Australian Journal of Soil Research**. v.43, p.189-202, 2005.

IYAMUREMYE, F.; DICK, R.P.; BAHAM, J. Organic amendments and phosphorus dynamics: I. Phosphorus chemistry and sorption. **Soil Science**. v.161, p.426-435, 1996.

KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F.; AIDAR, H. **Integração lavoura-pecuária**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. 570p.

KLUTHCOUSKI, J.; YOKOYAMA, L.P. Opções de integração lavoura pecuária. In: KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L.F.; AIDAR, H. **Integração lavoura-pecuária**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. p.120-141.

Kuo. S. Phosphorus. In: Sparks D.L., et al. , eds. **Methods of soil analysis**. SSSA, Madison, WI: Part 3, SSSA Book Ser. 5, 1996. p.869-920.

KURIHARA, C.H.; MAEDA, S.; HERNANI, L.C. **Adubação de manutenção para a cultura da soja no sistema plantio direto**. Dourados: EMBRAPA, 1998. p.1-5 (Comunicado Técnico, n. 32)

LEINWEBER, P., TURNER, L.B.; MEISSNER, R. Phosphorus. In: **Agriculture, Hydrology and Water Quality**. Haygarth, P.M.; Jarvis, S.C. (Eds.). CAB. International, 2002. p.29-56.

LESSA, A.S.N.; ANDERSON, D.W. Laboratory estimation of nutrient losses by leaching on an Oxisol from Brazil. **Tropical Agriculture**, v.73, p.100-107, 1996.

LEYTEM, A.B.; MIKKELSEN, R.L.; GILLIAM, J.W. Sorption of organic phosphorus compounds in Atlantic coastal plain soils. **Soil Science**, v.167, p.652-658, 2002.

LILIENFEIN, J.; FREIBAUER, A.; NEUFELDT, H.; WESTERHOF, R.; AYARZA, M.A.; da SILVA, J.E.; RESK, D.V.S.; ZECH, W. Influence of land-use on the distribution of water stable aggregates and status of sandy and clayey Cerrado Oxisols, Brazil. Simpósio sobre o Cerrado, 8.; International Symposium on Tropical Savanas, 1., Brasília, 1996. Biodiversidade e produção sustentável de alimentos e fibras nos Cerrados. **Anais...** Planaltina, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, p. 323-328, 1996.

MAGID, J.; TIESSEN, H.; CONDRON L, M. Dynamics of organic phosphorus in soils under natural and agricultural ecosystems. In: PICCOLO, H., ed. **Humic substances in terrestrial ecosystems**. Amsterdam, Elsevier, 1996. p.429-466.

MALCOLM, R.E. Assessment of phosphatase activity in soils. **Soil Biology Biochemistry**. v.15, p.403-408, 1983.

MARCHÃO, R.L.; Balbino, L.C.; Silva, E.M.; Santos Junior, J.D.G.; Sá, M.A.C.; Vilela, L.; Becquer, T. Qualidade física de um Latossolo Vermelho sob sistemas de integração lavoura-pecuária no Cerrado. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.42, p.873-882, 2007.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2.ed. San Diego: Academic Press, 1995. 889p.

MASCARENHAS, H.A.A.; BATAGLIA, O.C.; IGUE, T.; TISSELLI FILHO, O.; MIRANDA, M.A.C.; FERREIRA FILHO, A.W.P. **Efeito residual de adubação na produção da soja**. Campinas: IAC, 1981. 18p. (Boletim Técnico, 24)

MENDES, I.C.; VIVALDI, L. Dinâmica da biomassa e atividade microbiana em uma área sob Mata de Galeria na região do DF. In: RIBEIRO, J.F.; SILVA, J.C.S.; LAZARINI, C.E., eds. **Conservação e recuperação da biodiversidade das Matas de Galeria do bioma Cerrado**. Planaltina, EMBRAPA Cerrados, 2001. p.665-687.

MORAES, R.N. DE S. **Decomposição das palhadas de sorgo e milho, mineralização de nutrientes e seus efeitos no solo e na cultura do milho em plantio direto**. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2001. 90p. (Dissertação de Mestrado)

MOTTA, P.E.F.; CURTI, N.; SIQUEIRA, J.O.; VAN RAIJ, B.; FURTINI NETO, A.E.; LIMA, J.M. Adsorção e formas de fósforo em Latossolos: Influência da mineralogia e histórico de uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p.349-359, 2002.

MUZILLI, O. Influência do sistema de plantio direto, comparado ao convencional, sobre a fertilidade da camada arável do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.7, p.95-102, 1983.

NAHAS, E. **Ciclo do fósforo: transformações microbianas**, Jaboticabal: FUNEP, 1991. 67p.

NAHAS, E.; CENTURION, J.F.; ASSIS, L.C. Efeito de características químicas dos solos sobre os microrganismos solubilizadores de fosfato e produtores de fosfatases. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.18, p.49-53, 1994.

NICOLOSO, R.S. **Dinâmica da matéria orgânica do solo em áreas de integração lavoura-pecuária sob sistema plantio direto**. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2005. (Dissertação)

NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**, 1ª ed. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399p.

OBERSON, A.; FRIESEN, D.K.; RAO I.M.; BÜHLER, S.; FROSSARD, E. Phosphorus Transformations in an Oxisol under contrasting land-use systems: The role of the soil microbial biomass. **Plant and Soil**, v.237, p.197-210, 2001.

OBERSON, A.; FRIESEN, D.K.; TIESSEN, H.; MOIR, J. O. Phosphorus transformations in improved pastures. In: **CIAT**, ed. Tropical Lowlands Program Annual Report. Working document nº 148. Centro Internacional de Agricultura Tropical, Cali, 1995. p.182-187.

OBERSON, A.; FRIESEN, D.K.; TIESSEN, H.; MOREL, C.; STAHEL, W. Phosphorus status and cycling in native savanna and improved pastures on an acid low-P Colombian Oxisol. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.55,p.77-88, 1999.

PARFITT, R.L.; TATE, K.R.; Mc KERCHER, R.B. Measurement of phosphorus mineralization using an anion exchange membrane. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.25, n.19-20, p.3209-3219, 1994.

PAULINO, P.V.R.; COSTA, M.A.L.; VALADARES, S.C.F.; PAULINO, M.F.; VALADARES, R.F.D.; MAGALHÃES, K.A.; PORTO, M.O.; BARONI, C.E.S. Exigências Nutricionais de Zebuínos: Minerais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.33, p.770-780, 2004.

RAIJ, B.van.; QUAGGIO, J.A. Determinação de fósforo, cálcio, magnésio e potássio extraídos com resina trocadora de íons. In: RAIJ, B.van.; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A., eds. **Análises químicas para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas, Instituto Agrônômico, 2001. p.189-199.

RAIJ, B.van. Seleção de métodos de laboratório para avaliar a disponibilidade de fósforo em solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.2, p.1-9, 1978.

RENZ, T. **Influence of land use on microbial parameters and phosphatase activity in Cerrado oxisols**. Bayreuth, University Bayreuth, 1997. 72p. (Tese de Mestrado)

RESENDE, M.; CURI, N.; RESENDE, S.B.; CORRÊA, G.F. **Pedologia: base para distinção de ambientes**. Viçosa: NEPUT, 1995. 304p.

RESENDE, A.V.; FURTINI NETO, A.E.; ALVES, V.M.C.; MUNIZ, J.A.; CURI, N.; FAQUIN, V.; KIMPARA, D.I.; SANTOS, J.Z.L.; CARNEIRO, L.F. Fontes e modos de aplicação de fósforo para o milho em solo cultivado da Região do Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.30, p.453-466, 2006.

RHEINHEIMER, D.S. **Dinâmica do fósforo em sistemas de manejo de solos.** Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2000. 210p. (Tese de Doutorado)

RICHARDSON, A.E.; GEORGE, T.S.; HENS, M.; SIMPSON, R.J. Utilization of soil organic phosphorus by higher plants. In: TURNER, B.L.; FROSSARD, E.; BALDWIN, D. eds. **Organic Phosphorus in the Environment Wallingford**, 2005. p.165-184.

RODRIGUES, C.R. **Frações de fósforo e produção da soja e do feijoeiro em sucessão a gramíneas adubadas com diferentes fertilizantes fosfatados.** Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2006. 113p. (Tese de Doutorado)

ROSSI, C.; ANJOS, A.R.M.; CAMARGO, M.S.; WEBER, O.L.S.; IMHOFF, S.; MALAVOLTA, E. Efeito residual de fertilizantes fosfatados para o arroz: avaliação do fósforo na planta e no solo por diferentes extratores. **Scientia Agricola**, v.56, p.39-46, 1999.

SANO, E.E.; ROSA, R.; BRITO, J.L.S.; FERREIRA, L.G. Mapeamento semidetalhado do uso da terra do Bioma Cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.43, p.153-156, 2008.

SAS INSTITUTE. **SAS/STAT User's guide, Version 8.** Cary, NC: SAS Institute, 1999.

SÁ, J.C.M. Adubação fosfatada no sistema de plantio direto. In: SIMPÓSIO SOBRE FÓSFORO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 2003, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Potafos/Anda, 2003. CD-ROM.

SEGATELLI, C.R. **Produtividade da soja em semeadura direta com antecipação da adubação fosfatada e potássica na cultura de *Eleunise coracana* (L.) Gaertn.** Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2004. 58p. (Dissertação de Mestrado)

SEYBOLD, C.A.; HERRICK, J.E.; BREJDA, J.J. Soil resilience: A fundamental component of soil quality. **Soil Science**, v.16, p.224-234, 1999.

SILVA, M.L.S. **Sistema de amostragem do solo e avaliação da disponibilidade de fósforo na fase de implantação do plantio direto.** Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2002. 97p. (Dissertação)

SIQUEIRA, J.O.; FRANCO, A.A. **Biotecnologia do solo: fundamentos e perspectivas.** Brasília: MEC/ABEAS/ESAL/FAEPE, 1988. 236p.

SOUZA, D.M.G.; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**, 2ª ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 416p.

STEWART, J.W.B.; TIESSEN, H. Dynamics of soil organic phosphorus. **Biogeochemistry**, v.4, p.41-60, 1987.

TABATABAI, M.A. Soil enzymes. In: WEAVER, R.W.; ANGLE, J.S.; BOTTOMLEY, P.S. **Methods of soil analysis: microbiological and biochemical properties**. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p.775-883. (Special Publication, 5)

TIESSEN, H.; SALCEDO, I.H.; SAMPAIO, E.V.B. Nutrient and soil organic matter dynamics under shifting cultivation in semi-arid northeastern Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.38, p.139-151, 1992.

TOKURA, A.M.; FURTINI NETO, A.E.; CURTI, N.; FAQUIN, V.; KURIHARA, C.H.; ALOVISI, A.A. Formas de fósforo em solo sob plantio direto em razão da profundidade e do tempo de cultivo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, n.10, p.1467-1476, 2002.

VIEIRA, J.M.; KICHEL, A.N. Estabelecimento e recuperação de pastagens de *Panicum maximum*. In: SIMPÓSIO SOBRE O MANEJO DA PASTAGEM, 12., 1995, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Fealq, 1995. p.147-196.

VILELA, L.; MARTHA Jr., G.B.; BARIONI, L.G.; BARCELLOS, A.O. Adubação na recuperação e na intensificação da produção animal em pastagens. In: SIMPÓSIO SOBRE O MANEJO DA PASTAGEM, 21., 2004, Fertilidade do solo para pastagens produtivas. Piracicaba. **Anais**. Piracicaba: Fealq, 2004. p.425-472.

WATANABE, F.S.; OLSEN, S.R. Test of an ascorbic acid method for determining phosphorus in water and NaHCO₃ extracts from soil. **Soil Science Society of America: Proceedings**, v.29, p.677-678, 1965.

ZIBILSKE, L.M.; BRADFORD, J.M. Tillage effects on phosphorus mineralization and microbial activity. **Soil Science**, v.168, n.10, p.677-685, 2003.

ZINN, Y.L. **Caracterização de propriedades físicas, químicas e da matéria orgânica de solos nos Cerrados sob plantações de *Eucalyptus* e *Pinus***. Brasília, Universidade de Brasília, 1998. 85p. (Dissertação de Mestrado)

APÊNDICES

APÊNDICE A –

Teste de médias na primeira época (V4) de amostragem $\alpha = 5\%$ ⁽¹⁾

1ª Época - V4					
Variáveis	Faixas de adubação	P1	P2	P3	Média
P-Resina	S1	6.01	9.49	34.49	16.66 ^b
	S2	53.47	98.50	142.31	98.09 ^a
	S3	114.60	70.40	114.43	99.81 ^a
	Média	58.03 ^a	59.46 ^a	97.08 ^a	CV = 57.27%
P-Mehlich	S1	2.37	3.59	7.77	4.57 ^b
	S2	9.77	11.13	24.88	15.26 ^a
	S3	22.43	21.54	30.74	24.91 ^a
	Média	11.52	12.09	21.13	CV = 68.90%
P-Olsen	S1	2.04	4.42	7.27	4.58 ^b
	S2	18.22	13.48	22.27	17.99 ^a
	S3	16.39	18.19	26.13	20.24 ^a
	Média	12.22	12.03	18.56	CV = 58.95%
P-ase	S1	866.94	842.13	1025.29	911.45 ^{ab}
	S2	979.87	776.67	1072.14	942.89 ^a
	S3	852.96	742.29	883.32	826.19 ^b
	Média	899.92 ^a	787.03 ^b	993.58 ^a	CV = 10.94%
P-Planta	S1	2.25	2.27	3.33	2.62 ^b
	S2	2.54	3.14	3.04	2.90 ^b
	S3	3.40	3.54	3.61	3.51 ^a
	Média	2.73 ^b	2.98 ^{ab}	3.33 ^a	CV = 12.35%
MS	S1	6.12 ^b	7.04 ^b	9.82 ^a	7.66
	S2	9.77 ^a	9.51 ^a	11.16 ^a	10.15
	S3	10.31 ^a	11.08 ^a	10.13 ^a	10.51
	Média	8.73	9.21	10.37	CV = 12,87%

⁽¹⁾Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade;

APÊNDICE B –

Teste de médias na terceira época (R8.2) de amostragem $\alpha = 5\%$ ⁽¹⁾

3ª Época - R8.2					
Variáveis	Faixas de adubação	P1	P2	P3	Média
P-Resina	S1	3.65	4.55	10.65	6.28 ^c
	S2	21.61	19.45	19.48	20.18 ^b
	S3	26.56	29.38	45.59	33.85 ^a
	Média	17.28	17.79	25.24	CV = 51.94%
P-Mehlich	S1	2.57	3.18	5.48	3.75 ^c
	S2	7.15	9.63	7.99	8.26 ^b
	S3	10.12	12.63	19.62	14.12 ^a
	Média	6.61 ^b	8.48 ^{ab}	11.03 ^a	CV = 43.66%
P-Olsen	S1	8.19	14.46	12.22	11.62 ^b
	S2	14.40	15.90	15.33	15.21 ^b
	S3	18.29	18.64	28.20	21.71 ^a
	Média	13.63	16.33	18.58	CV = 37.41%
P-ase	S1	625.09	676.47	629.61	643.72
	S2	642.80	748.57	569.58	653.65
	S3	633.02	590.51	498.32	573.95
	Média	633.63	671.85	565.84	CV = 16.64%
P-Planta	S1	3.17	3.90	5.19	4.09 ^b
	S2	3.36	4.66	5.51	4.51 ^{ab}
	S3	4.05	4.98	5.68	4.90 ^a
	Média	3.53 ^c	4.51 ^b	5.46 ^a	CV = 9.33%
MS	S1	194.82	381.42	518.25	364.83 ^b
	S2	394.74	579.88	633.92	536.18 ^a
	S3	581.07	746.62	673.86	667.18 ^a
	Média	390.21 ^b	569.31 ^a	608.68 ^a	CV = 26.91%

⁽¹⁾Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade;