

Adubação Antecipada no Sistema Plantio Direto



ISSN 1679-043X

Agosto, 2011

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Agropecuária Oeste
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Documentos 108

Adubação Antecipada no Sistema Plantio Direto

Carlos Hissao Kurihara

Luís Carlos Hernani

Embrapa Agropecuária Oeste
Dourados, MS
2011

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Agropecuária Oeste
BR 163, km 253,6 - Trecho Dourados-Caarapó
Caixa Postal 661 - 79804-970 Dourados, MS
Fone: (67) 3416-9700 - Fax: (67) 3416-9721
www.cpao.embrapa.br
E-mail: sac@cpao.embrapa.br

Comitê de Publicações da Unidade

Presidente: *Guilherme Lafourcade Asmus*
Secretário-Executivo: *Alexandre Dinnys Roese*
Membros: *Claudio Lazzarotto, Éder Comunello, Milton Parron Padovan,*
Silvia Mara Belloni e Walder Antonio Gomes de Albuquerque Nunes
Membros suplentes: *Alceu Richetti e Oscar Fontão de Lima Filho*

Supervisão editorial: *Eliete do Nascimento Ferreira*
Revisão de texto: *Eliete do Nascimento Ferreira*
Normalização bibliográfica: *Eli de Lourdes Vasconcelos*
Fotos da capa: *Gessi Ceccon*
Editoração eletrônica: *Eliete do Nascimento Ferreira*

1ª edição
(2011): online

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei Nº 9.610).

CIP-Catálogo-na-Publicação.
Embrapa Agropecuária Oeste.

Kurihara, Carlos Hissao
Adubação antecipada no Sistema Plantio Direto / Carlos
Hissao Kurihara, Luís Carlos Hernani. – Dourados, MS: Embrapa
Agropecuária Oeste, 2011.
45 p. : il. color. ; 21 cm. – (Documentos / Embrapa
Agropecuária Oeste, ISSN 1679-043X ; 108).

1. Plantio direto - Adubação. 2. Adubação - Plantio direto. I.
Hernani, Luís Carlos. II. Título. III. Série.

Autores

Carlos Hissao Kurinara

Engenheiro-Agrônomo, Dr., Pesquisador da
Embrapa Agropecuária Oeste, Dourados, MS.
E-mail: kurihara@cpao.embrapa.br

Luís Carlos Hernani

Engenheiro-Agrônomo, Dr., Pesquisador da
Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ.
E-mail: hernani@cnps.embrapa.br

Apresentação

Adequar o ambiente produtivo para que toda espécie vegetal cultivada pelo homem alcance produtividade compatível com o potencial da espécie é algo da maior relevância para que se produza alimentos, fibras e energia para atender à demanda da sociedade.

Os modernos conceitos de produção agrícola consideram cada vez mais o balanço energético, levando-se em consideração os fatores de produção isolados e/ou a interação entre eles. Além da eficiência energética, o custo de produção é algo da maior relevância para que o modelo de produção tenha sustentabilidade.

Muitas vezes, não é apenas a dose o fator decisivo para a obtenção de um determinado resultado. A época da disponibilidade, a forma, dentre outros fatores, podem interferir significativamente na obtenção de um resultado e, conseqüentemente, na eficiência de uma prática ou processo.

Neste trabalho, a Embrapa Agropecuária Oeste, com apoio da Embrapa Solos, coloca à disposição da sociedade esta publicação, que contém uma série de informações da maior relevância sobre a época de se fazer adubação, considerando-se o ambiente produtivo, onde o manejo de solo utilizado é o Sistema Plantio Direto.

Ao disponibilizar mais esta publicação, esperamos dar uma significativa contribuição para a melhoria do processo produtivo.

Fernando Mendes Lamas
Chefe-Geral
Embrapa Agropecuária Oeste

Sumário

Adubação Antecipada no Sistema Plantio Direto.....	9
Resumo	9
Abstract	11
Introdução.....	12
Dinâmica de fósforo e potássio no solo, no Sistema Plantio Direto.....	13
Manejo da adubação fosfatada e potássica no Sistema Plantio Direto.....	25
Conclusões.....	36
Referências.....	37

Adução Antecipada no Sistema Plantio Direto

*Carlos Hissao Kurihara
Luís Carlos Hernani*

Resumo

No Sistema Plantio Direto (SPD), o ambiente edáfico é profundamente alterado em relação ao sistema convencional de preparo do solo, que se caracteriza pelo uso intenso de implementos para o revolvimento deste. As condições encontradas em cultivos sob SPD são resultantes dos efeitos da manutenção dos resíduos sobre a superfície, do incremento do teor da matéria orgânica, da pequena movimentação ou perturbação do solo e da maior atividade de micro-organismos sobre os demais atributos físicos, químicos e biológicos. Trabalhos de pesquisa realizados em diferentes regiões do País têm demonstrado que essas alterações resultam em maior eficiência de aproveitamento dos nutrientes e da água no solo, permitindo a aplicação de fertilizantes a lanço, em superfície. A antecipação desta prática agrícola pode conferir maior rapidez na execução da semeadura, aumentando a possibilidade da implantação da cultura dentro da época mais adequada, com ganhos indiretos na produtividade da cultura de verão. A presente revisão bibliográfica tem por objetivo explorar o embasamento teórico relacionado à adução antecipada para as culturas de verão, notadamente soja e milho, de maneira a auxiliar na tomada de decisão quanto a sua adoção. Resultados de pesquisa realizados em diferentes condições edafoclimáticas indicam que, em áreas cultivadas no SPD que ainda apresentam baixa a média disponibilidade de fósforo e/ou potássio, a adução deve ser efetuada no sulco de semeadura, principalmente na cultura do milho. Por outro lado, em áreas com alta fertilidade é possível optar-se pela adução antecipada da cultura de verão, desde que o sistema produtivo utilizado permita a adequada manutenção da cobertura vegetal e o acúmulo de matéria orgânica no solo, principalmente. O sucesso da adoção

desta prática também está relacionado à ausência de limitação física e/ou química na camada subsuperficial, à adoção de práticas de controle de erosão e ao manejo adequado de plantas daninhas, princípios fundamentais do SPD.

Abstract

Soil environment in no tillage system (NTS) is different from that in the conventional system, which is characterized by the disturbance of soil arable layer. The soil conditions found in NTS are resulted from the maintenance of plant residues on the soil surface, increasing levels of organic matter, lack of soil disturbance and increased activity of microorganisms, affecting soil physical, chemical and biological attributes. Research studies conducted at different regions of Brazil showed that these changes result in higher use efficiency of nutrients and water in the soil profile, allowing fertilizer spreading on soil surface before seed sowing. The anticipation of fertilization makes crop sowing faster, contributing to crop establishment within the most adequate moment in the cropping season. Therefore, indirect gains in productivity can be achieved by early fertilization. This review aims to explore the possibility of anticipating fertilization of summer crops, especially soybean and corn. Research results from different soil and climatic conditions showed that in NTS with low/medium levels of phosphorus or potassium, the fertilizer should be applied at the planting row, especially for corn. On the other hand, in NTS with high soil fertility, it is possible the anticipation of fertilization before summer crop sowing. However, plant residues on the soil surface and high levels of organic matter are essential for the success of this agricultural practice. The successful adoption of this practice is also related to the absence of physical and/or chemical limitation in the deeper layers, adoption of practices against soil erosion and proper weed management, which are fundamental principles of NTS.

Introdução

Apesar de a época de semeadura estabelecida para a cultura da soja, pelo zoneamento agroclimático, ser relativamente ampla, procura-se agilizar ao máximo o procedimento de semeadura, no intuito de se aproveitar o período de tempo em que o solo apresenta condições favoráveis de Intervalo Hídrico Ótimo. Uma alternativa que tem sido adotada pelos agricultores, em áreas de boa fertilidade cultivadas no Sistema Plantio Direto (SPD), é a adubação antecipada da cultura de verão, com a aplicação dos fertilizantes fosfatado e potássico a lanço e em superfície ou mesmo na semeadura da cultura antecessora, no período de outono/inverno. Desta forma, consegue-se aumentar o rendimento operacional da semeadora, decorrente da ausência da necessidade de abastecimento do maquinário com fertilizante, sobretudo quando este é ensacado em embalagem de 50 kg.

Salienta-se que o benefício da adubação antecipada torna-se ainda mais relevante quando se considera que, dentro do período indicado pelo zoneamento agroclimático, pode existir uma época de semeadura ainda mais favorável, em função de fotoperíodo e disponibilidade hídrica da região (FIETZ; RANGEL, 2008). A título de exemplo, de acordo com a terminologia adotada no Zoneamento de Riscos Climáticos, para solos tipo 3 (com capacidade de armazenamento de 60 mm de água) da região de Dourados, MS, a época de semeadura de cultivares de soja pertencentes ao grupo 1 (ciclo menor que 115 dias) é definida como o período entre 1º de outubro e 31 de dezembro (BRASIL, 2011). Porém, de acordo com Fietz e Rangel (2008), para esta região, a semeadura deveria ser efetuada preferencialmente no mês de novembro; dessa maneira, há possibilidade de que o crescimento vegetativo da soja ocorra totalmente dentro de período em que o comprimento médio do dia se encontra acima do fotoperíodo crítico e, em consequência, as plantas podem atingir seu porte máximo, com o maior número possível de nós. Segundo estes autores, a semeadura em novembro também está relacionada à menor probabilidade de ocorrência de deficiência hídrica na cultura, uma vez que os estádios da fase reprodutiva da soja, com maior exigência hídrica, ocorrem em fevereiro, quando a demanda de água para o processo de transpiração é menor.

A prática da antecipação da adubação deve ser efetuada de forma bastante criteriosa, sob o risco de haver a indução de problemas diversos,

relacionados tanto a fatores nutricionais como a fatores não nutricionais, que podem resultar em frustrações de safra e/ou impactos econômicos e ambientais negativos. Neste contexto, esta revisão bibliográfica tem por objetivo explorar o embasamento teórico relacionado a esta prática agrícola, de maneira a auxiliar a tomada de decisão quanto à sua adoção.

Dinâmica de Fósforo e Potássio no Solo, no Sistema Plantio Direto

Em áreas onde o SPD já está estabelecido, a sobreposição de linhas de semeadura e adubação das diversas culturas em rotação ao longo dos anos, associado à ausência de revolvimento, tende a resultar em um acúmulo de carbono orgânico e nutrientes na camada superficial do solo (SÁ, 1995). Este acúmulo ocorre também devido à absorção de alguns nutrientes na camada subsuperficial e incorporação dos mesmos nos tecidos radiculares e da parte aérea, seguida pela subsequente adição dos resíduos vegetais na superfície do solo (MULLINS, 1995). Com o decorrer do tempo de adoção do sistema, há principalmente um aumento dos teores de fósforo e, em menores proporções, também de cálcio, magnésio e potássio, na camada de 0 a 0,05 m do solo (WIETHÖLTER et al., 1997). Este comportamento, segundo Eltz et al. (1989), está relacionado às afinidades destes nutrientes com os sítios de adsorção do solo ($P > Ca > Mg > K$). De acordo com Bayer (1992), ocorrem também aumentos consideráveis de carbono e nitrogênio orgânico total, detectáveis em aproximadamente quatro a seis anos, principalmente na camada de 0 a 0,025 m. Com o passar do tempo, esse efeito ocorre progressivamente em profundidade, sendo que o incremento no teor de matéria orgânica resulta no aumento da capacidade de troca de cátions, da atividade biológica e dos benefícios decorrentes. A decomposição de resíduos orgânicos sobre a superfície, liberando grupos carboxílicos e fenólicos, bem como a reação dos adubos nitrogenados, na superfície do solo, forma ainda uma “frente de acidificação”, nos primeiros centímetros de profundidade. Essa acidificação pode ser originada ainda pela exsudação de ácidos orgânicos pelas raízes das culturas, remoção de bases e sequência das culturas em rotação (SÁ, 1996).

Trabalhos desenvolvidos no Sul do Paraná por Sá (1994; 1996) demonstraram a viabilidade de aplicação de calcário em superfície, em áreas sob longo período de adoção do SPD. Verificou-se efeito do calcário aplicado em superfície, principalmente em solo arenoso, onde incrementos nos valores de pH e nos teores de cálcio foram observados até a profundidade de 0,10 m. Segundo o autor, esse efeito em profundidade ocorre devido a três mecanismos de ação: deslocamento de partículas de calcário em função da infiltração de água através dos macroporos, canalículos de raízes das culturas anteriores, galerias de organismos (micro, meso e macrofauna) e dos planos de fraqueza do solo; deslocamento do cálcio no perfil do solo com nitratos e sulfatos liberados durante a mineralização do material orgânico; e a mistura da camada superficial pelos organismos do solo, transportando resíduos orgânicos enriquecidos com partículas de calcário e formando “sítios de matéria orgânica” enriquecidos com Ca e Mg. Neste contexto, é lícito imaginar que também possa haver a movimentação física de partículas de fertilizantes contendo P e K aplicadas superficialmente, bem como o deslocamento de K com nitratos e sulfatos.

Salienta-se, contudo, que os efeitos benéficos da adoção do SPD sobre a dinâmica de nutrientes depende da adequada manutenção de cobertura vegetal sobre a superfície do solo, de maneira a favorecer a atividade da micro, meso e macrofauna e o acúmulo de matéria orgânica. Na região dos Cerrados, porém, esta é justamente uma das maiores limitações, tendo-se em vista a quase ausência de rotação de culturas, associada à elevada taxa de decomposição do material vegetal. Essa rápida transformação do material orgânico é decorrente tanto das condições climáticas favoráveis como da produção de biomassa vegetal em quantidade relativamente pequena e da baixa relação C/N proporcionada pela soja, espécie predominante na safra de verão.

Neste sentido, trabalhos de pesquisa desenvolvidos pela Embrapa Agropecuária Oeste (Dourados, MS) têm demonstrado que o aporte de palha pode ser incrementado de forma considerável, por meio da consorciação do milho safrinha com espécies forrageiras, especialmente a *Brachiaria ruziziensis*. Esta forrageira se distingue das demais espécies de braquiária pelo rápido crescimento vegetativo e pela maior facilidade de dessecação, permitindo boa cobertura de solo nos estádios iniciais da leguminosa subsequente, com consequente redução de custos do controle

de plantas daninhas e aumento da probabilidade de obtenção do potencial produtivo da soja (CECCON, 2007a; CECCON et al., 2006a,b; 2007a,b,c; ROCHA et al., 2007). A *Brachiaria ruziziensis* é semeada entre as linhas de milho, de forma simultânea à cultura de grãos, usando-se para isso caixas de sementes equipadas com disco de semeadura específico para sorgo (CECCON, 2007b). Com isso, tem-se suficiente cobertura do solo na entrelinha do milho, sem prejuízos para a produção dessa cultura.

O cultivo de pastagem consorciada à cultura de grãos pode ser mais vantajoso do que o de espécies anuais de outono/inverno, principalmente quando estas culturas são usadas visando apenas à cobertura do solo. Isto porque as gramíneas forrageiras apresentam maior produção de biomassa da parte aérea e de raízes, com maior relação C/N. Neste sentido, as pastagens, além de melhorar a cobertura de solo, incrementam o teor de matéria orgânica e minimizam oscilações de temperatura e de umidade dele, em função do bloqueio da incidência direta da radiação solar. Em adição, a manutenção da cobertura morta minimiza o escoamento superficial e favorece a infiltração de água (HERNANI et al., 1997; 1999). Dessa forma, cria-se um ambiente edáfico mais propício para a atividade biológica, crescimento radicular e reciclagem de nutrientes.

Segundo Barros (2007), a consorciação milho+braquiária permite ainda maior disponibilidade de forragem para os animais, além de ampliar a qualidade da nutrição dos bovinos, tendo-se em vista que o processamento da safra colhida acaba por gerar subprodutos que podem ser utilizados em rações de confinamento, semiconfinamento ou suplementação a pasto a um custo reduzido; como resultado da presença de uma dieta de melhor qualidade, tem-se um aumento considerável da produtividade e a ampliação do benefício advindo do melhoramento genético, tais como touros provados, inseminação artificial, transferência de embrião e fertilização in vitro.

O incremento no teor de matéria orgânica e a minimização da oscilação da umidade no solo, propiciado pela manutenção de cobertura vegetal, pode influenciar na eficiência de aproveitamento de nutrientes pelas espécies cultivadas no sistema de produção. O fluxo difusivo de fósforo no solo é praticamente interrompido em condições de umidade ainda distante do ponto de murcha permanente, ou seja, muito antes da planta ser submetida a um estresse hídrico; assim, curtos períodos de estiagem, comuns em região de

cerrado, podem induzir a paralisação da absorção deste nutriente pelas raízes (MAGALHÃES, 1996; NOVAIS; SMYTH, 1999). De acordo com estes autores, esta interrupção na absorção de fósforo, por conseguinte, induz a diminuição de absorção de nitrogênio, principalmente na forma nítrica, mesmo havendo disponibilidade de ambos os nutrientes no solo. Salienta-se, também, que a limitação momentânea de P na solução do solo junto à raiz também pode provocar a redução na taxa de absorção de água; desta forma, a menor absorção de P pode prejudicar a absorção de outros nutrientes transportados de modo preferencial por fluxo de massa, como o K, Ca, Mg e B (NOVAIS; SMYTH, 1999). De acordo com Magalhães (1996), em condições de presença de nitrato e indisponibilidade de P no solo, por deficiência ou por alguma restrição ao fluxo difusivo, pode haver, ainda, a diminuição da translocação de nitrogênio para a parte aérea, aparentemente em virtude da restrição do transporte via simplasto, da raiz para o xilema, bem como o maior acúmulo de aminoácidos nas folhas e raízes. Assim, é lícito imaginar que, em relação ao cultivo de milho safrinha solteiro, a consorciação entre o milho e a *B. ruziziensis* resultará em maior continuidade na absorção e utilização de nutrientes pela cultura de grãos, em virtude da menor frequência de interrupção do fluxo difusivo de fósforo no solo.

Especificamente para o fósforo, tem-se no solo uma fração orgânica (Po), originária dos resíduos vegetais, do tecido microbiano e dos produtos de sua decomposição, que pode constituir de 5% a 80% do P total (CONTE et al., 2002; MARTINAZZO et al., 2007; RHEINHEIMER et al., 2000a). Contudo, apenas parte do fósforo orgânico é identificada, em função da grande complexidade química e variedade de compostos existentes, destacando-se os fosfatos de inositol, ácidos nucleicos e outros ésteres-fosfatos. A compreensão das formas de P orgânico no solo também é dificultada pela suscetibilidade de alguns compostos em hidrolisar durante o processo de extração, a adsorção pelos minerais de argila e a formação de sais insolúveis com cátions metálicos (RHEINHEIMER et al., 2000b). A estabilidade desses compostos depende não só de sua natureza como também de sua interação com a fração mineral, uma vez que são usados como fonte de carbono e elétrons pelos micro-organismos (SANTOS et al., 2008). Assim, apenas parte do Po encontra-se na fração lábil, representada pelo conjunto de compostos capazes de repor rapidamente a solução do solo, quando ele é absorvido por raízes ou imobilizado por micro-organismos. Alguns compostos, como ácidos nucleicos e fosfolípidios com ligação diéster,

possuem estrutura química que facilita sua decomposição, sendo facilmente mineralizáveis. Por outro lado, fosfatos monoésteres, como o fosfato de inositol, que compõem de 10% a 80% do fósforo orgânico total, apresentam alta energia de ligação com a estrutura química da molécula e alta carga residual, o que lhes confere facilidade de interação com os constituintes inorgânicos do solo. Isso dificulta a mineralização e favorece o acúmulo no solo, sendo de baixa labilidade e disponibilidade às plantas (RHEINHEIMER et al., 1999, 2002).

Por outro lado, a fração inorgânica de P (Pi) é constituída de um intrincado grupo de fosfatos inorgânicos, formando diferentes compostos e com diferentes graus de estabilidade química (SANTOS et al., 2008). Uma vez estabelecido o contato do fertilizante fosfatado com o solo, há a formação do P-lábil, que pode estar precipitado ou adsorvido à fase sólida, em equilíbrio com o P-solúvel na solução (P-solução). A reação de precipitação é decorrente da combinação dos íons Fe^{+3} , Al^{+3} e Mn^{+2} , liberados para a solução do solo durante o processo de intemperização de solos, naturalmente ácidos, com os íons fosfatos, resultando em produtos de baixa solubilidade. Já a adsorção é caracterizada por uma atração eletrostática, sendo que à medida que o P se aproxima da superfície adsorvente há troca de ligantes (OH^- por $H_2PO_4^-$, por exemplo), com a formação de ligações coordenadas simples, como componente externo da estrutura do oxidróxido (NOVAIS; SMYTH, 1999). Destaca-se que este processo é bastante rápido; ao se aplicar uma fonte solúvel de P no solo, cerca de 75% da quantidade adicionada pode ser adsorvida em menos de meia hora de contato para solos com maior capacidade máxima de adsorção de fosfato (CMAP) e em menos de 12 horas de contato para os solos mais arenosos, com menor CMAP (GONÇALVES et al., 1985). Porém, na sequência ocorre uma fase mais lenta de adsorção, com formação de uma ligação adicional à primeira e penetração do fosfato nas imperfeições dos cristais ou entre os microcristais, tornando-se cada vez menor a disponibilidade para as plantas. Dessa forma, em condições de incorporação de adubo fosfatado na camada arável (fosfatagem corretiva) em solos com grande capacidade de adsorção, nas quantidades normalmente recomendadas, quase todo o P aplicado é transformado na forma não lábil após um período de cerca de 300 dias (NOVAIS; SMYTH, 1999), cuja reversibilidade (dessorção) é pequena ou nula, em termos práticos (CAMPELLO et al., 1994).

Nos Latossolos, constata-se que a CMAP pode ser superior a $1,0 \text{ mg g}^{-1}$ de P (FERNÁNDEZ R., 1995; KER, 1995; NOVAIS; SMYTH, 1999), situação na qual um solo deixaria de competir com a planta pelo P aplicado após a adubação com cerca de 4.580 kg ha^{-1} de P_2O_5 , o que corresponde a uma dose de $10.900 \text{ kg ha}^{-1}$ de superfosfato triplo, quando se considera uma camada de 0,20 m de profundidade. De acordo com Novais e Smyth (1999), esta propriedade é influenciada mais pela constituição mineralógica da fração argila do solo, principalmente goethita, hematita e gibbsita, do que pela quantidade de argila presente.

No entanto, salienta-se que no SPD há maior eficiência de aproveitamento do P, porque a decomposição dos resíduos culturais mantidos na superfície e no perfil (parte aérea e raízes, respectivamente), pela biomassa microbiana, possibilita a sua redistribuição em formas orgânicas mais estáveis e menos suscetíveis às perdas por retenção (SÁ, 1995). Outro benefício indireto da matéria orgânica sobre a disponibilidade de P refere-se à formação de complexos organometálicos, envolvendo o recobrimento da superfície dos óxidos de Fe e Al por moléculas de ácidos húmico, acético e málico, de maneira a reduzir os sítios de fixação de P (ANDRADE et al., 2003). Além disto, neste sistema de manejo conservacionista, a aplicação de P no sulco de semeadura ou a lanço, aliada à ausência de revolvimento e diminuição das taxas de erosão, resulta na saturação paulatina dos sítios de maior afinidade por este nutriente, de maneira que o fósforo remanescente é redistribuído em frações retidas com menor energia e de maior disponibilidade às plantas (RHEINHEIMER et al., 2000b). Como consequência da saturação dos sítios de adsorção de P, há maior concentração do nutriente na solução do solo, na camada superficial, favorecendo a sua absorção pelas raízes, ao menos nos períodos iniciais de desenvolvimento das plantas (ANGHINONI, 1992; CASTILHOS; ANGHINONI, 1988).

Com a adição de fertilizantes fosfatados, há acúmulo de P em formas inorgânicas e orgânicas com diferentes graus de energia de ligação, predominando-se o tamponamento pelas frações inorgânicas lábeis. Em condições de aporte de P via fertilizante em quantidade superior à exportada pelo sistema (absorção das plantas e perdas), a fração moderadamente lábil é responsável por boa parte do acúmulo do P adicionado (CONTE et al., 2003). Porém, parte do fosfato solúvel também pode ser imobilizado na biomassa microbiana, o que pode contribuir para retardar a adsorção de P

aos coloides inorgânicos e melhorar o sincronismo entre mineralização e absorção pelas plantas, não obstante esta imobilização seja apenas temporária, diminuindo ao longo do desenvolvimento das culturas (MARTINAZZO et al., 2007). Salienta-se, ainda, que em solos altamente intemperizados, a contribuição das formas orgânicas e inorgânicas de labilidade intermediária como fonte de P, mantendo os teores da solução do solo, são mais expressivas na ausência de adubação ou em condições de adição de P em quantidade inferior à exportada pelo sistema (CONTE et al. 2003; GATIBONI et al., 2007; NOVAIS; SMYTH, 1999; RHEINHEIMER; ANGHINONI, 2001). De acordo com Novais e Smyth (1999), a maior contribuição de formas orgânicas na ausência de adubação fosfatada deve-se ao fato de que a atividade das enzimas conhecidas como fosfatases é inversamente relacionada com a disponibilidade de P inorgânico do solo. Assim, quando se aplica maiores quantidades de adubo fosfatado, as fosfatases, produzidas por plantas e micro-organismos, não catalisam a reação de hidrólise de P orgânico para P inorgânico. Em amostras de Latossolo Vermelho distroférico típico, coletadas de lavouras conduzidas sob SPD, em Santo Ângelo, RS, Gatiboni et al. (2007) constataram, após 15 cultivos sucessivos sem adubação, em casa de vegetação, com milho, aveia preta, milho, soja, crotalária e centeio, que as formas orgânicas e inorgânicas de P contribuíram, em média, com 80% e 20%, respectivamente, da quantidade total do nutriente absorvido pelas plantas. Ressalta-se que a redução da taxa de decomposição dos resíduos culturais no plantio direto, pela ausência de incorporação destes, favorece o aumento do conteúdo de matéria orgânica e da atividade microbiana, e conseqüentemente, a contribuição das formas orgânicas de P para o suprimento do nutriente para as plantas. Contudo, a magnitude desta contribuição, em cultivos não adubados, certamente é influenciada pelo estoque de P orgânico existente no solo, que por sua vez está diretamente relacionado à quantidade e qualidade da cobertura vegetal propiciada pelo sistema de produção adotado. A este respeito, Gatiboni et al. (2007) salientam ainda que, a despeito da caracterização das formas de P no SPD já ter sido efetuada em diversos trabalhos, ainda não há como precisar a participação efetiva destas na biodisponibilidade do nutriente, uma vez que pouco se sabe sobre a sua capacidade de dessorção e sua atuação no tamponamento da solução do solo.

Quanto ao potássio, destaca-se que este nutriente está presente no tecido das plantas primordialmente na forma iônica, sem participar na formação de compostos orgânicos estáveis. Por esta razão, pode ser extraído dos tecidos pela água das chuvas e também pela própria umidade do solo, sem a necessidade de mineralização dos resíduos (GIACOMINI et al., 2003). Esta facilidade de remoção dos tecidos vegetais resulta em maior rapidez na reciclagem do nutriente absorvido em camadas mais profundas do perfil do solo, o que contribui para o seu acúmulo em superfície. Em Argissolo Vermelho distrófico arênico, de Santa Maria, RS, Giacomini et al. (2003) constataram que a taxa média de liberação de K dos resíduos culturais de ervilhaca comum, nabo-forrageiro e aveia-preta foi 4,5 vezes maior do que a observada em relação ao P (Figura 1). De acordo com estes autores, praticamente todo o K acumulado nos resíduos culturais foi liberado nos primeiros 29 dias (ervilhaca e nabo) e 60 dias (aveia) após o início da avaliação, no estágio de florescimento. Por outro lado, a liberação de P dos resíduos culturais estabilizou-se aos 82 dias para a ervilhaca e continuou crescente até a última avaliação, efetuada aos 182 dias. Segundo Giacomini et al. (2003), a menor taxa de liberação de P está relacionada ao fato de que a maior parte do nutriente no tecido vegetal encontra-se no vacúolo da célula, na forma mineral, que apesar de ser bastante solúvel em água é liberada somente após o rompimento desta estrutura. Além disto, uma parte do P nos resíduos encontra-se em formas não solúveis em água (ácidos nucleicos, fosfolípidios, fosfoproteínas), dependentes da população microbiana do solo para a sua mineralização.

Ressalta-se, contudo, que caso a área cultivada favoreça o escoamento superficial, decorrente da ausência ou inadequação de terraços e de cobertura morta, por exemplo, podem-se induzir perdas de potássio pela enxurrada, dissolvido no sedimento e, principalmente, na água. Em Latossolo Vermelho distroférrico muito argiloso, com 0,03 m m⁻¹ de declividade, de Dourados, MS, Hernani et al. (1999) constataram que as perdas por erosão hídrica superficial podem atingir 1,44 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de K⁺ no SPD (Figura 2), aumentando para 9,11 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de K⁺ quando submetido à gradagens (pesada + niveladora), o que corresponde a 1,7 e 11,0 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de K₂O, respectivamente.

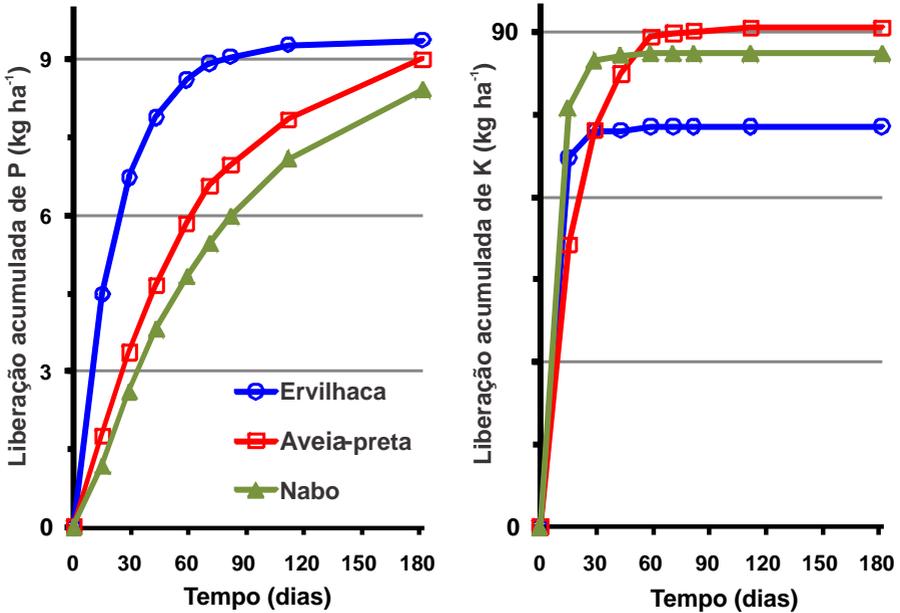


Figura 1. Liberação acumulada de fósforo e potássio durante a decomposição dos resíduos culturais de plantas de cobertura, em Argissolo Vermelho distrófico arênico, de Santa Maria, RS, durante o período de 182 dias após a coleta de amostra de parte aérea no estágio de florescimento.

Fonte: adaptado de Giacomini et al. (2003).

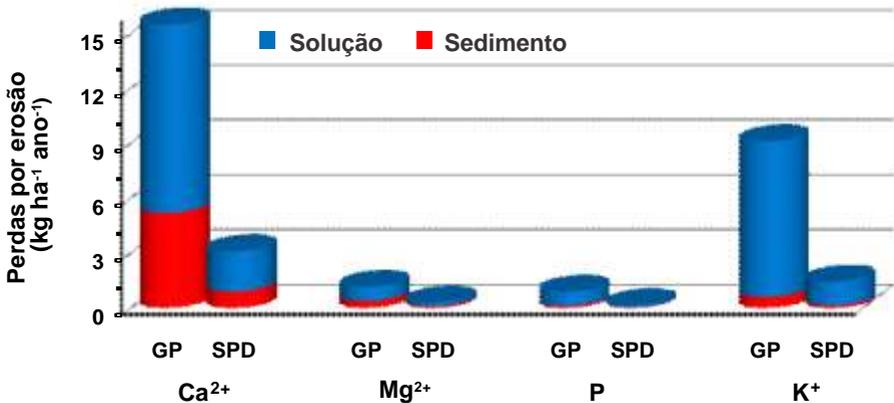


Figura 2. Perdas médias por erosão de Ca, Mg, P e K, em solução e no sedimento, nos sistemas de manejo com gradagens pesada + niveladora (GP) e plantio direto (PD), na sucessão trigo/soja, no período 1988-1994.

Fonte: adaptado de Hernani et al. (1999).

A reciclagem de nutrientes para a camada superficial do solo, porém, está condicionada à prática de rotação de culturas, com alternância de espécies vegetais distintas quanto à quantidade de resíduos que retornam ao solo, a eficiência de absorção de íons e à capacidade de exploração de nutrientes em diferentes profundidades do perfil (MENGEL; KIRKBY, 1987). Neste contexto, a integração agricultura-pecuária traz como principais benefícios para a atividade agrícola uma alternativa para a rotação de culturas e a formação de cobertura vegetal, que dificilmente seria conseguida com espécies anuais, nas condições edafoclimáticas da região dos Cerrados. Como exemplo, em trabalho desenvolvido por Ceccon et al. (2007b) em três municípios de Mato Grosso do Sul (Dourados, Batayporã e São Gabriel do Oeste), verificou-se produção de massa seca de parte aérea, e principalmente, de massa seca de resíduos vegetais, significativamente superior na consorciação de milho safrinha com *Panicum maximum* cv. Tanzânia, *Brachiaria brizantha* ou *B. ruziziensis*, em relação ao consórcio com *Crotalária juncea* ou feijão guandu, ou ao cultivo solteiro de sorgo-forrageiro (Figura 3). De acordo com Ceccon et al. (2007b), a maior quantidade de massa seca produzida pela espécie Tanzânia e pelas braquiárias resultou em maior potencial de reciclagem de nutrientes em relação às demais espécies avaliadas, com extração na parte aérea destas plantas em torno de 11,6 a 15,8 kg ha⁻¹ de P e de 251 a 326 kg ha⁻¹ de K (Figura 4).

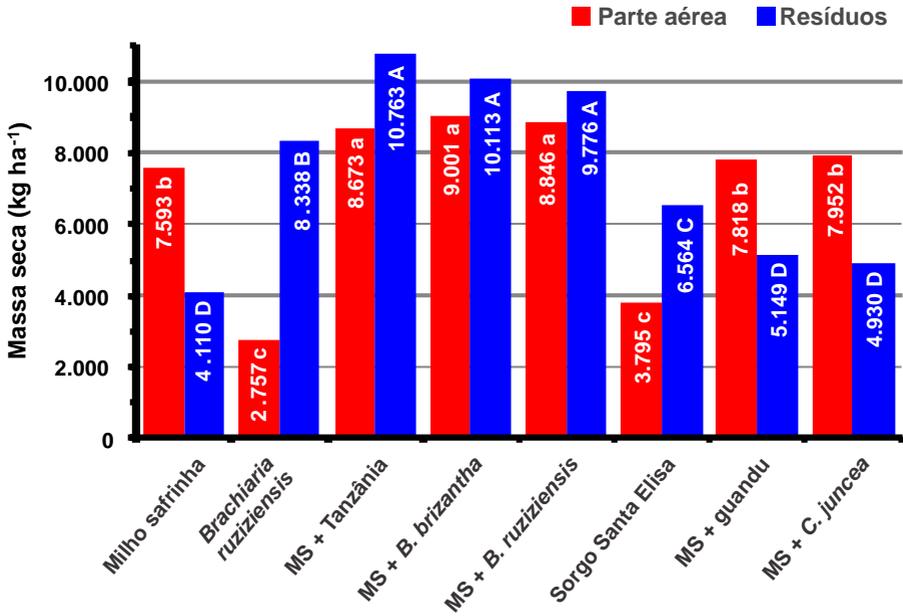


Figura 3. Massa seca de parte aérea, avaliada em julho/agosto, e de resíduos vegetais dos consórcios, avaliada em outubro. Média de três locais (Dourados, Batayporã e São Gabriel do Oeste, MS).

Médias seguidas de mesma letra minúscula para a massa seca de parte aérea e letra maiúscula para a massa seca de resíduos vegetais não diferem significativamente entre si (Scott-Knott, 5%).

Fonte: adaptado de Cecon et al. (2007b).

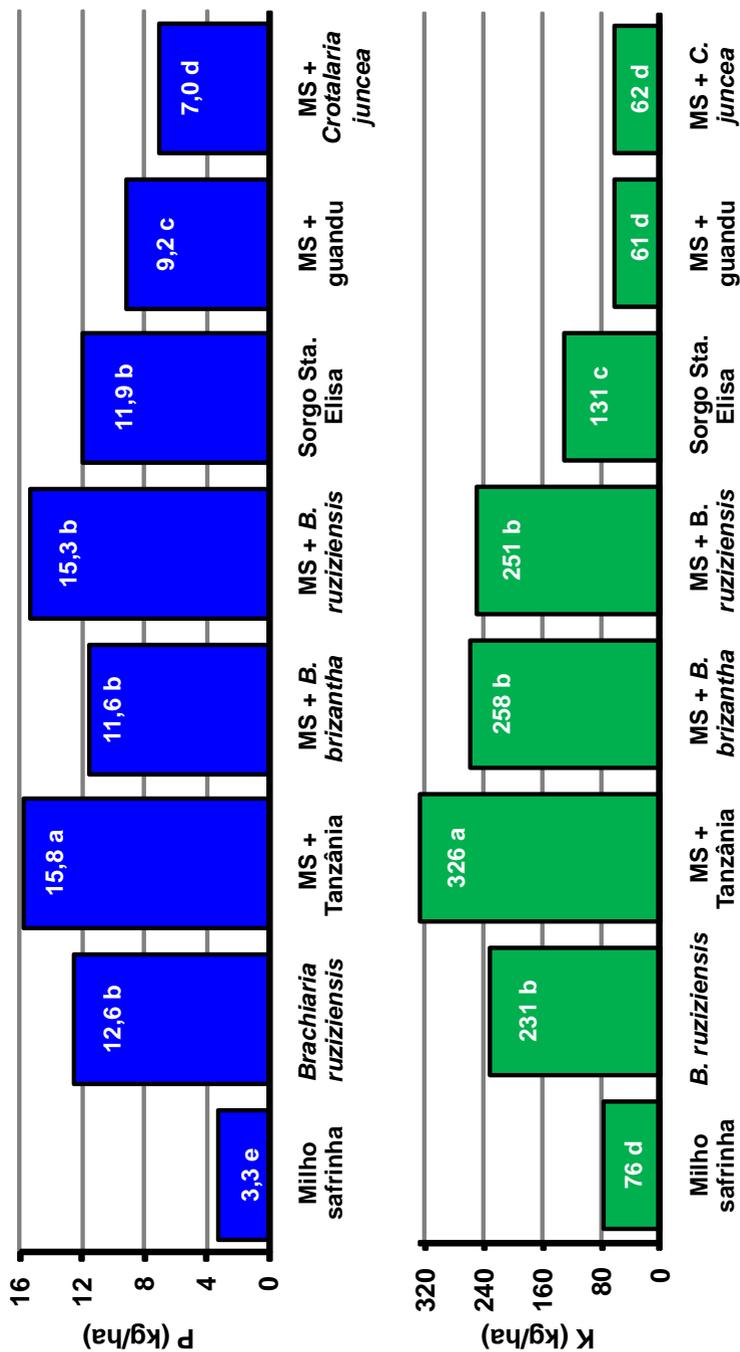


Figura 4. Produção de fósforo e potássio na massa seca de parte aérea das espécies, em cultivo solteiro ou consorciado. Média de três locais (Dourados, Batayporã e São Gabriel do Oeste, MS).

Médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente entre si (Scott-Knott, 5%).

Fonte: adaptado de Cecon et al. (2007b).

Manejo da Adubação Fosfatada e Potássica no Sistema Plantio Direto

Em áreas cultivadas no SPD que ainda apresentam baixa à média disponibilidade de fósforo e/ou potássio, os resultados de pesquisa têm demonstrado resposta à adubação, sendo que, de forma geral, as maiores produtividades são obtidas quando a adubação é efetuada no sulco de semeadura da espécie a ser cultivada. Em trabalho conduzido pela Embrapa Agropecuária Oeste, em Latossolo Vermelho, de Chapadão do Sul, MS, com teor inicial de $4,8 \text{ mg dm}^{-3}$ de P (extraído por Mehlich-1, em amostra de solo coletada na camada de 0 a 0,10 m), encontrou-se que a aplicação de $80 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de P_2O_5 e de K_2O , no sulco de semeadura propiciou incrementos de até 191 e 862 kg ha^{-1} de algodão em caroço e de grãos de soja, embora sem diferenças significativas em relação à testemunha sem P. Contudo, para o rendimento de grãos de milho primeira safra, constatou-se um aumento significativo (2.045 kg ha^{-1}) com a aplicação de multifosfato magnésiano no sulco de semeadura, sendo que os demais tratamentos avaliados (multifosfato aplicado a lanço e termofosfato aplicado a lanço ou no sulco) também diferiram significativamente da testemunha sem P (Figura 5).

A maior responsividade da cultura do milho à forma de aplicação de fósforo pode ser explicada, em parte, pelo fato de que em condições de paralisação da absorção deste nutriente por alguns dias, a absorção de nitrogênio, principalmente na forma nítrica, fica diminuída com reflexos nos teores foliares de N total (NOVAIS; SMYTH, 1999).

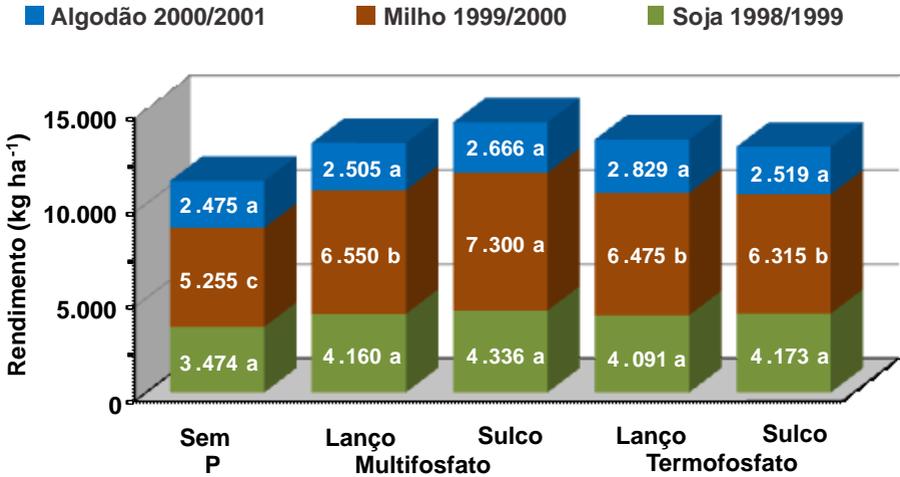


Figura 5. Rendimento acumulado de grãos de soja e milho e de algodão em caroço, em função da adubação com duas fontes de fósforo (multifosfato e termofosfato) em duas formas de aplicação (a lanço em superfície e no sulco de semeadura), em Latossolo Vermelho, de Chapadão do Sul, MS, com teor inicial de $4,8 \text{ mg dm}^{-3}$ de P (Mehlich-1). Adubação com $80 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de P_2O_5 e de K_2O .

Para cada ano agrícola, médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente entre si (Duncan, 5%).

De acordo com Magalhães (1996), em condições de presença de nitrato e indisponibilidade de P no solo, pode haver, ainda, a diminuição da translocação de nitrogênio para a parte aérea, aparentemente em virtude da restrição do transporte via simplasto, da raiz para o xilema, bem como o maior acúmulo de aminoácidos nas folhas e raízes. Novais e Smyth (1999) salientam que a paralisação temporária na absorção de P da solução do solo pode ocorrer tanto por uma limitação na sua disponibilidade como pela restrição ao fluxo difusivo do mesmo, uma vez que este é praticamente interrompido em um potencial matricial de água do solo (inferior a $-0,04 \text{ MPa}$), em que a planta ainda não está submetida a um estresse hídrico. A sensibilidade da planta de milho ao efeito da carência momentânea de P sobre a absorção e translocação de N, contudo, parece estar relacionada também a um componente genético, uma vez que Bertolini et al. (2008) encontraram, em um Nitossolo Vermelho distroférrico, resposta distinta de três cultivares de milho à forma como o nutriente foi fornecido (Figura 6).

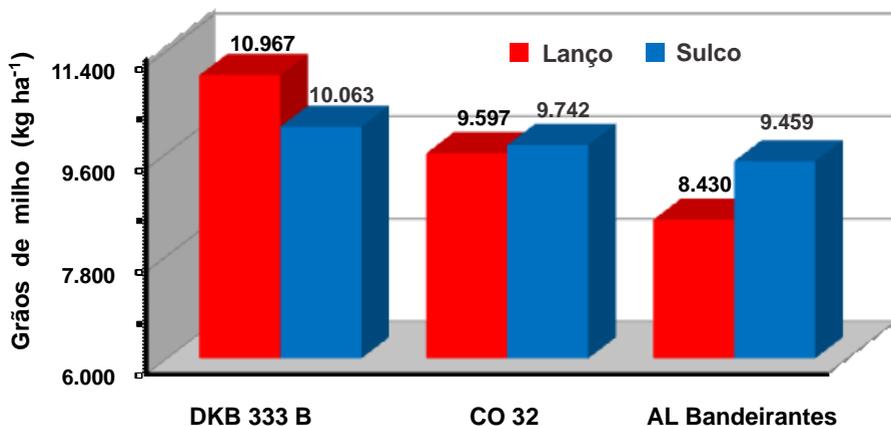


Figura 6. Rendimento de grãos de três cultivares de milho, sob efeito de forma de aplicação de adubo (a lanço em superfície, 22 dias antes da semeadura; e no sulco de semeadura). Nitossolo Vermelho distroférico, de Botucatu, SP, com 34 g dm⁻³ de matéria orgânica, 59 mg dm⁻³ de P (resina) e 0,46 cmol_c dm⁻³ de K. Adubação com 30 kg/ha N e 50 kg/ha P₂O₅ e K₂O. Cultivares: DKB 333B (híbrido simples semiprecoce), CO 32 (híbrido triplo precoce) e AL Bandeirantes (variedade semiprecoce).

Fonte: adaptado de Bertolini et al. (2008).

Em um Nitossolo, de Marau, RS, com 42 g kg⁻¹ de matéria orgânica e 630 g kg⁻¹ de argila, Pöttker (1999) observou que, em condições de baixa disponibilidade de fósforo (4,3 mg dm⁻³ de P, extraído por Mehlich-1 em amostra coletada na camada de 0 a 0,20 m), tanto a produção de massa seca de parte aérea de milho como a de grãos de trigo foram significativamente maiores quando o nutriente foi aplicado na linha de semeadura (Figura 7). Contudo, a produtividade de soja e de aveia foi incrementada significativamente pela adubação, independente da forma de aplicação.

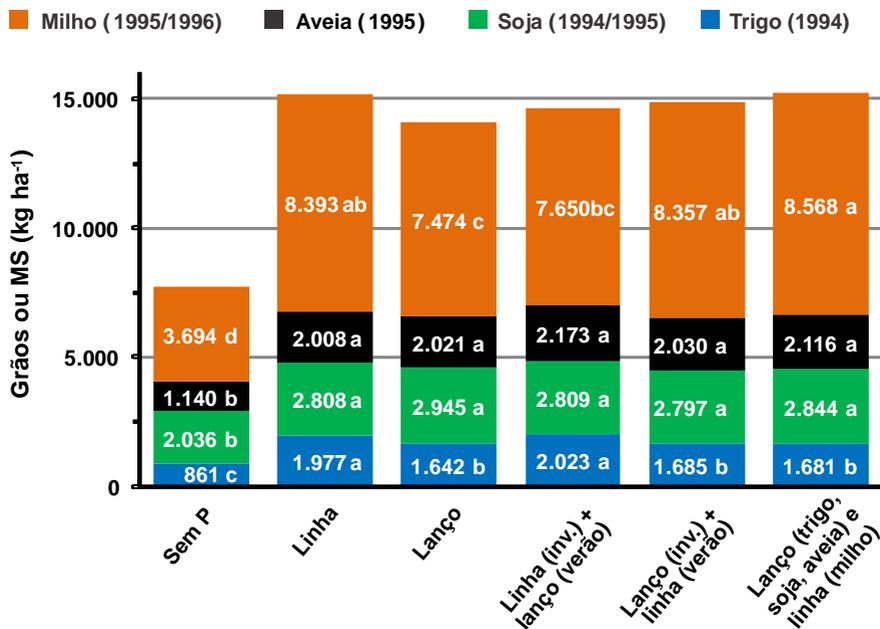


Figura 7. Rendimento acumulado de grãos de trigo, soja e aveia e de massa seca de parte aérea de milho, em resposta a diferentes métodos de aplicação de P. Nitossolo, com 630 g kg⁻¹ de argila, 4,3 mg dm⁻³ de P (Mehlich-1), 42 g kg⁻¹ de matéria orgânica, de Marau, RS. Adubação fosfatada (kg ha⁻¹ de P₂O₅): 70 (trigo 94), 60 (soja 94/95), 30 (aveia 95), 30 (milho 95/96) e 70 (milho 96/97).

Em cada ano agrícola, médias seguidas de mesma letra não apresentam diferenças significativas entre os tratamentos, pelo teste F.

Fonte: adaptado de Pöttker (1999).

Da mesma forma, FOLONI e ROSOLEM (2008), em Latossolo Vermelho distroférico, de Botucatu, SP, com 21 e 18 g dm⁻³ de matéria orgânica e 0,27 e 0,07 cmol_c dm⁻³ K (resina), nas camadas de 0 a 0,05 m e 0,05 m a 0,10 m de profundidade, respectivamente, obtiveram as máximas produtividades de grãos de soja, em três safras consecutivas, com doses de 85 a 90 kg ha⁻¹ de K₂O aplicadas na sucessão milho-soja, independente da adubação ser feita na semeadura da soja ou no plantio da cultura antecessora (Figura 8).

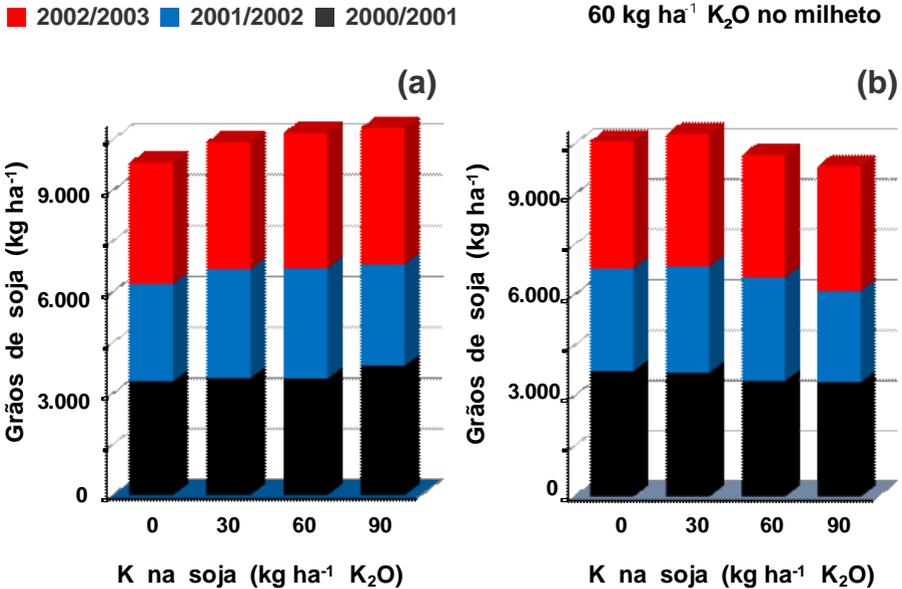


Figura 8. Rendimento acumulado de grãos de soja em função da adubação potássica aplicada a lanço na semeadura da soja (a) ou do milho e da soja (b), em Latossolo Vermelho distroférico, de Botucatu, SP, com 21 e 18 g dm⁻³ de matéria orgânica e 0,27 e 0,07 cmol_c dm⁻³ K (resina), nas camadas de 0 a 0,05 m e 0,05 m a 0,10 m de profundidade, respectivamente.

Fonte: adaptado de Foloni & Rosolem (2008).

Por outro lado, Martinazzo et al. (2007) encontraram resposta diferencial da soja à época de adubação, em condições de baixa disponibilidade de fósforo. Em um Latossolo Vermelho distroférico típico, com 3,3 mg dm⁻³ de P (Mehlich-1) na camada de 0 a 0,10 m de profundidade, no Planalto Médio do Rio Grande do Sul, estes autores encontraram efeito linear da adubação fosfatada a lanço, executada na semeadura de azevém, sobre a produção de massa seca da parte aérea desta gramínea e sobre a produtividade de grãos de soja cultivada na sucessão. Contudo, quando se aplicou as mesmas doses de P a lanço, imediatamente antes da semeadura da soja, nas subparcelas não adubadas anteriormente no cultivo de azevém, constatou-se resposta quadrática em termos de rendimento de grãos de soja, com produtividade consideravelmente superior àquela obtida com o efeito residual da adubação da gramínea (Figura 9).

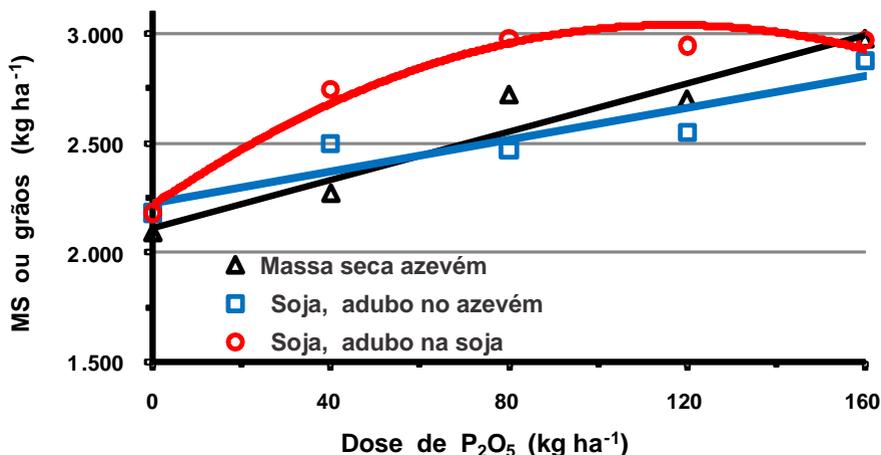


Figura 9. Efeito de adubação fosfatada aplicada a lanço, em azevém e na soja, sobre a produção de massa seca da parte aérea de azevém e rendimento de grãos de soja cultivada na sucessão, em um Latossolo Vermelho distroférico típico, cultivado há sete anos no SPD, em Ibirubá, RS, com 570 g kg⁻¹ argila, 14 g kg⁻¹ de matéria orgânica e 3,3 mg dm⁻³ P (Mehlich-1).

Fonte: adaptado de Martinazzo et al. (2007).

Em condições de elevada disponibilidade de fósforo e potássio, os resultados de pesquisa têm demonstrado que o efeito da adubação sobre a produtividade das culturas depende também de outros fatores, como o sistema de manejo da cultura, que influencia diretamente a quantidade e a qualidade da cobertura vegetal e, conseqüentemente, da matéria orgânica acumulada.

Lantmann et al. (1996) constataram em um Latossolo Roxo distrófico, de Londrina, PR, com 9 mg dm⁻³ de P (Mehlich-1) e 0,40 cmol_c dm⁻³ de K (na camada de 0 a 0,20 m de profundidade), resposta diferencial entre soja e trigo à forma de adubação. Considerando-se o conjunto de sete safras de soja, os autores observaram efeito significativamente favorável da adubação com P e K sobre a produtividade de grãos, sobretudo a partir do quarto ano de cultivo sucessivo, independente da forma como os nutrientes foram fornecidos (Figura 10). Por outro lado, constatou-se que o suprimento de ambos os nutrientes na semeadura de trigo proporcionou maiores produtividade de grãos desta gramínea até o quarto ano de sucessão com a soja, sendo que, após esse período, os melhores rendimentos foram obtidos

quando ambas as culturas foram adubadas (Figura 11). Apesar desses autores não terem mencionado o teor de matéria orgânica do solo usado neste experimento, é de se imaginar que este não seja elevado, tendo-se em vista que a sucessão soja-trigo caracteriza-se pela produção de biomassa em quantidade limitada e com elevada taxa de decomposição. Dessa forma, pode-se supor que a resposta da soja ao suprimento de P e/ou K verificada neste experimento (Figura 10), mesmo em condições de alta disponibilidade destes nutrientes no solo, esteja associada, em parte, ao reduzido efeito da cobertura vegetal sobre a reciclagem de potássio e à quase ausência de estoque de fósforo em formas orgânicas.

No entanto, mesmo em condições de elevado acúmulo de carbono e adequada disponibilidade de P e K no solo, também tem-se constatado efeito da adubação. Em um Latossolo Vermelho distroférico, de Rio Verde, GO, com $51,9 \text{ g dm}^{-3}$ de matéria orgânica, $8,7 \text{ mg dm}^{-3}$ de P (Mehlich-1) e $0,9 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de K, Guareschi et al. (2008) encontraram incrementos significativos na produção de grãos de soja em relação à ausência de adubação, quando o P e o K foram aplicados a lanço, 15 dias antes da semeadura (Figura 12).

Em contraposição aos resultados anteriores, Pöttker (1999) demonstrou, em um Latossolo Vermelho distrófico, de Passo Fundo, RS, com teor de $13,5 \text{ mg dm}^{-3}$ de P (Mehlich-1), 32 g kg^{-1} de matéria orgânica e 450 g kg^{-1} de argila, na camada de 0 a 0,20 m, ausência de resposta significativa em termos de produtividade de trigo, soja, aveia e milho, quando comparou diferentes métodos de aplicação de P em relação à testemunha onde este nutriente não foi fornecido (Figura 13). Em Mato Grosso do Sul, Kurihara et al. (1998) também constataram que a produção de grãos de soja não foi influenciada pelas doses de P aplicadas no sulco de semeadura e pelas doses de K aplicadas em cobertura (Figura 14), em três locais sob Nitossolo Vermelho distroférico, com teores de matéria orgânica entre 31 e 37 g kg^{-1} (na camada de 0 a 0,10 m), e disponibilidade elevada de P (entre 16 e 32 mg dm^{-3} , extraído por Mehlich-1) e K (entre 0,7 e $0,9 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$).

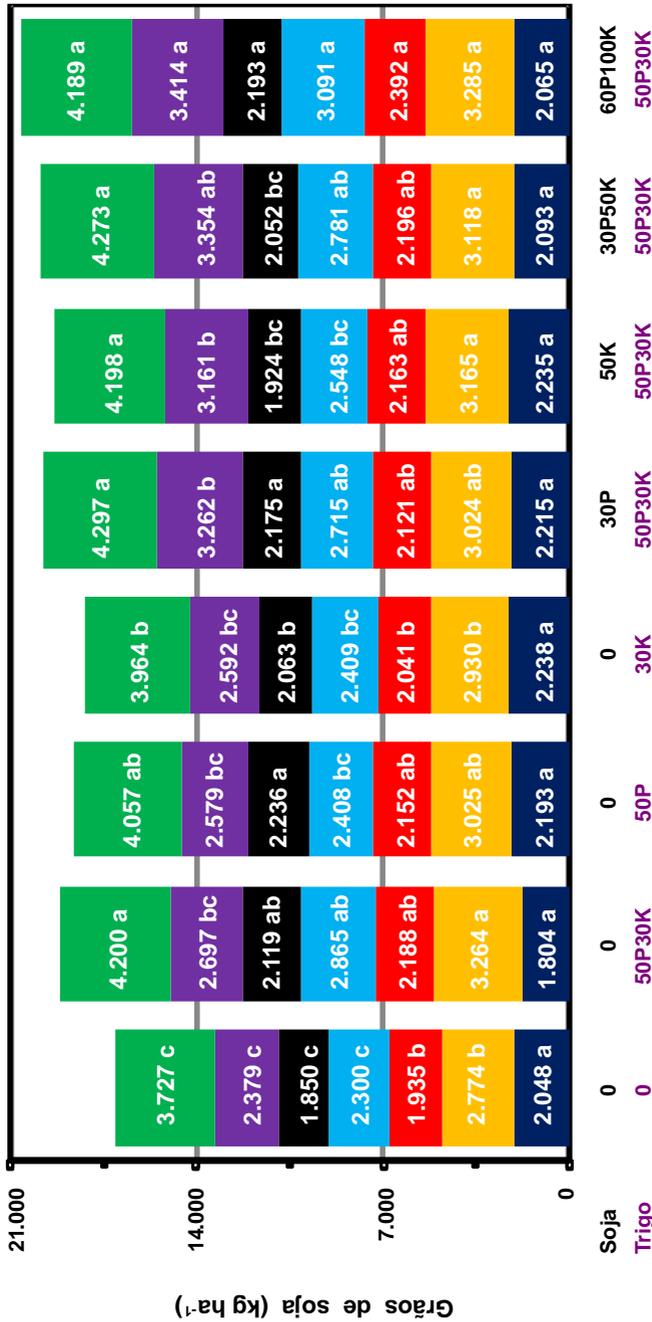


Figura 10. Rendimento acumulado de grãos de soja, em sete anos, cultivada em sucessão ao trigo, em função de adubos aplicados a lanço na soja e no trigo, em Nitossolo Vermelho distroférrico, de Londrina, PR, com 9 mg dm⁻³ P (Mehlich-1) e 0,40 cmol_c dm⁻³ K. Adubação da soja com 0, 30 ou 60 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de P₂O₅, associado com 0, 50 ou 100 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de K₂O; e adubação do trigo com 0 ou 50 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de P₂O₅, associado com 0 ou 30 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de K₂O. Em cada ano agrícola, médias seguidas de mesma letra não apresentam diferenças significativas a 5% de probabilidade pelo teste de Duncan. Fonte: adaptado de Lantmann et al. (1996).

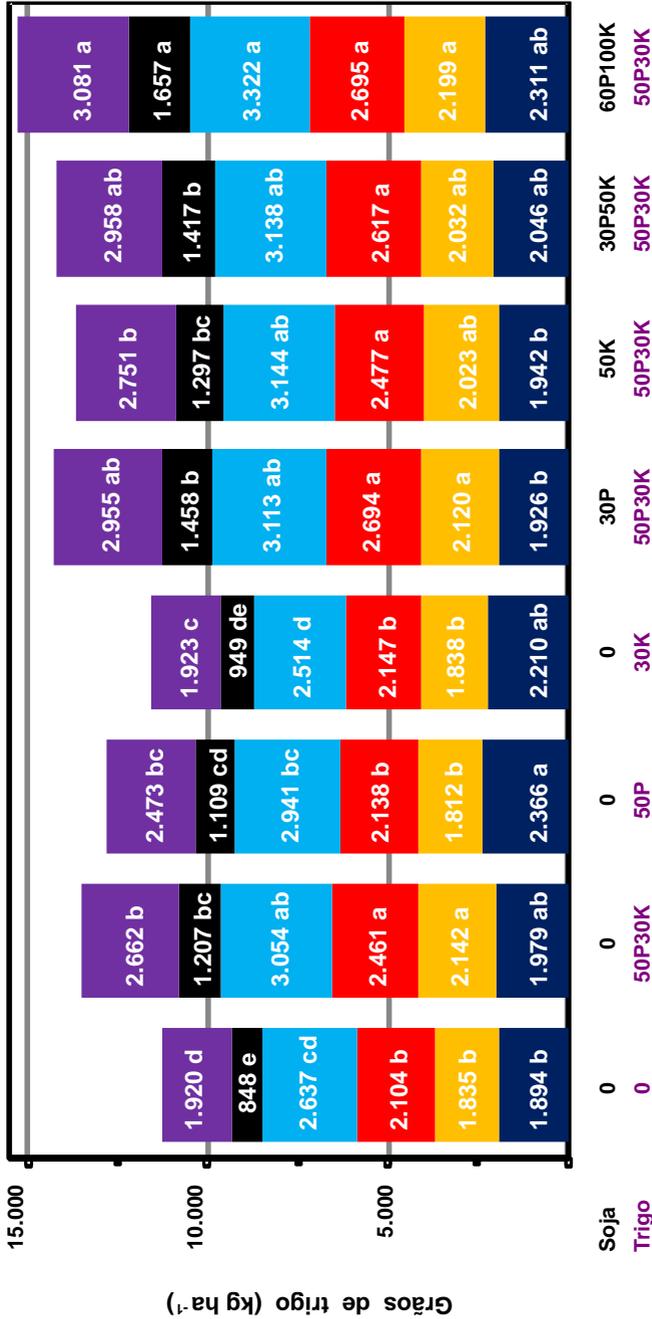


Figura 11. Rendimento acumulado de grãos de trigo, em seis anos, cultivado em sucessão à soja, em função de adubos aplicados a lãna na soja e no trigo, em Nitossolo Vermelho distroférrico, de Londrina, PR, com 9 mg dm⁻³ P (Mehlich-1) e 0,40 cmol_c dm⁻³ K. Adução da soja com 0, 30 ou 60 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de P₂O₅, associado com 0, 50 ou 100 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de K₂O; e adubação do trigo com 0 ou 50 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de P₂O₅, associado com 0 ou 30 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de K₂O. Em cada ano agrícola, médias seguidas de mesma letra não apresentam diferenças significativas a 5% de probabilidade pelo teste de Duncan. **Fonte:** adaptado de Lantmann et al. (1996).

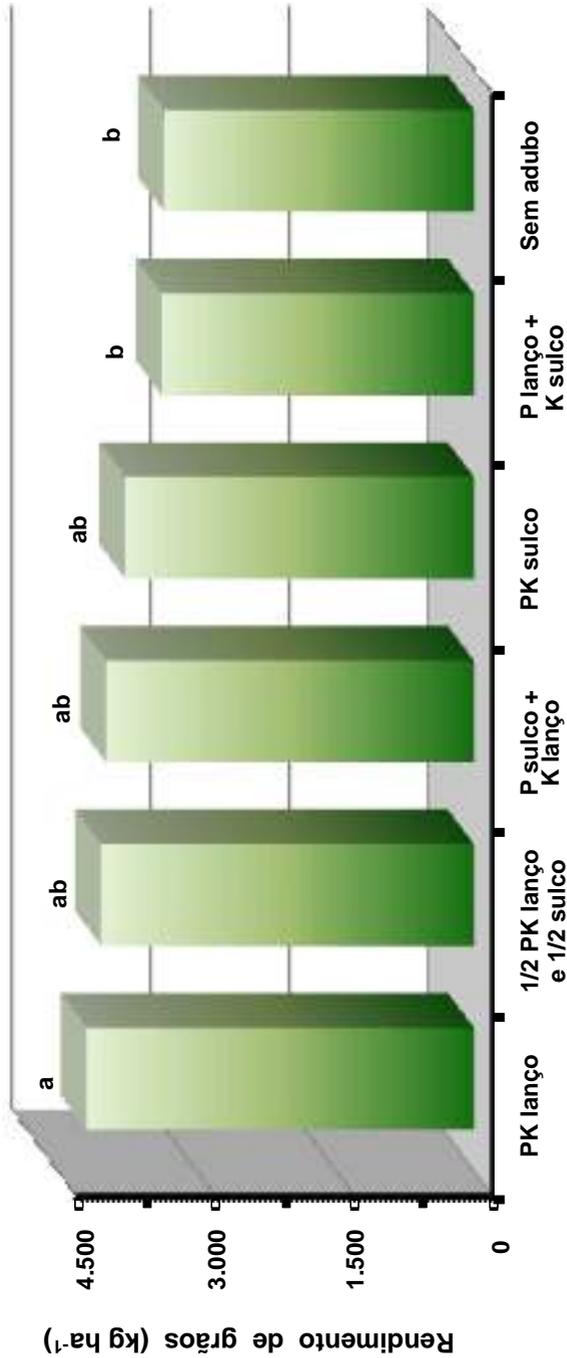


Figura 12. Rendimento de grãos de soja cultivada sob diferentes formas de aplicação de P e K, em Latossolo Vermelho distroférrico, de Rio Verde, GO, com 51,9 g dm⁻³ de matéria orgânica, 8,7 mg dm⁻³ de P (Mehlich-1) e 0,9 cmol_c dm⁻³ de K. Adubação com 90 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 60 kg ha⁻¹ de K₂O, a lanço (15 dias antes da semeadura) e/ou no sulco de semeadura. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey (5%).

Fonte: adaptado de Guareschi et al. (2008).

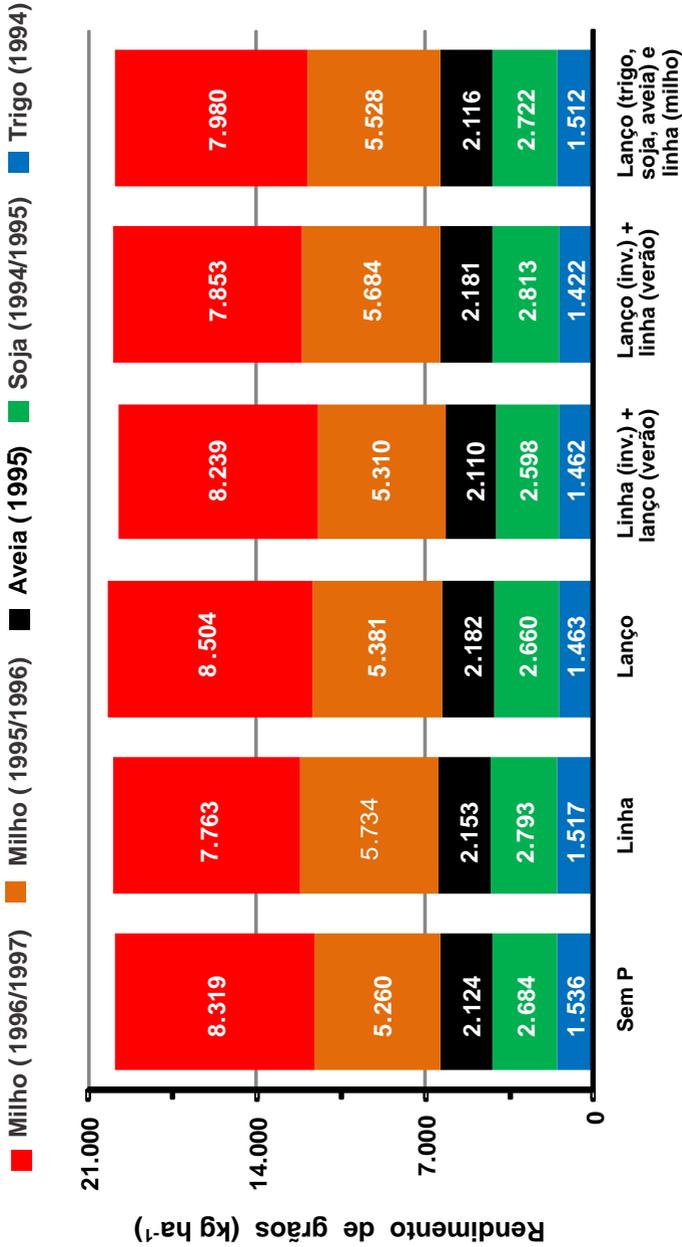


Figura 13. Rendimento acumulado de grãos de trigo, soja, aveia e milho, em resposta a diferentes métodos de aplicação de P. Latossolo Vermelho distrófico, com 450 g kg⁻¹ de argila, 13,5 mg dm⁻³ de P (Mehlich-1), 32 g kg⁻¹ de matéria orgânica, de Passo Fundo, RS. Adução fosfatada (kg ha⁻¹ de P₂O₅): 30 (trigo 94), 60 (soja 94/95), 30 (aveia 95), 20 (milho 95/96) e 70 (milho 96/97). Em cada ano agrícola, não houve diferença significativa entre os tratamentos, pelo teste F. Fonte: adaptado de Pöttker (1999).

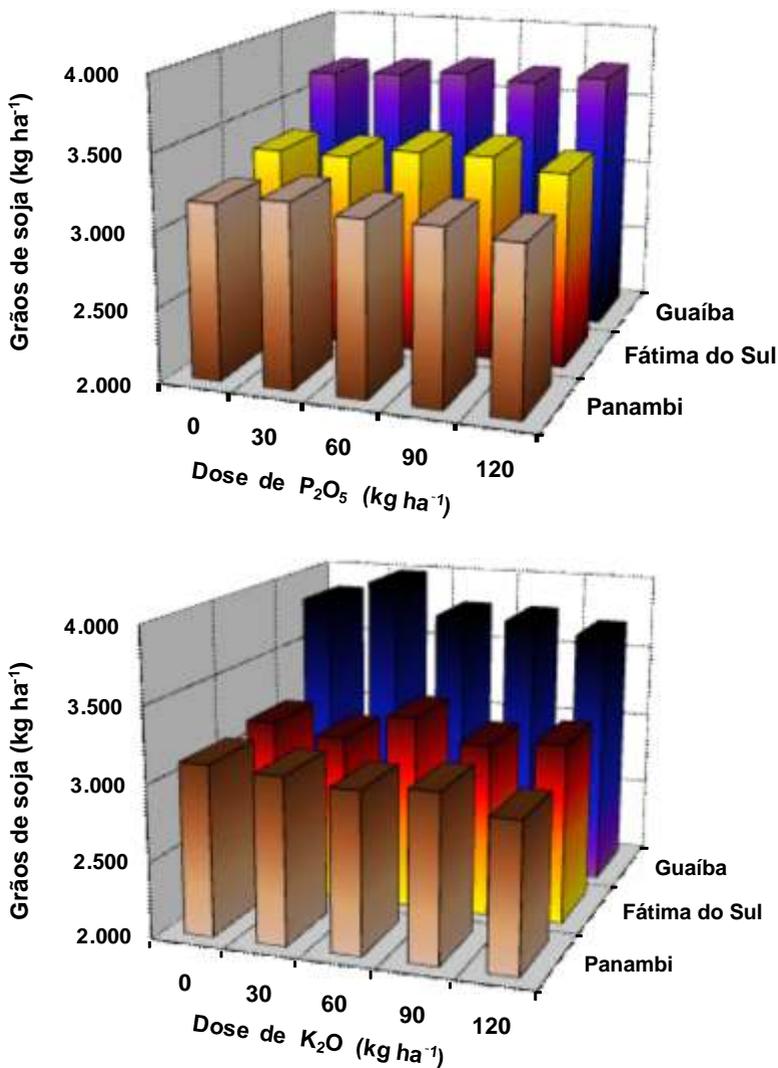


Figura 14. Efeito de adubação fosfatada na linha de semeadura e potássica a lanço, em cobertura, sobre o rendimento de grãos de soja cultivada no Sistema Plantio Direto, em Nitossolo Vermelho distroférrico. Locais: Guaíba (com 31 g kg⁻¹ de matéria orgânica, 32 mg dm⁻³ de P e 0,7 cmol_c dm⁻³ de K), Fátima do Sul (31 g kg⁻¹ de matéria orgânica, 16 mg dm⁻³ de P, 0,9 cmol_c dm⁻³ de K) e Panambi (Faz. Aquário, 37 g kg⁻¹ de matéria orgânica, 20 mg dm⁻³ de P, 0,9 cmol_c dm⁻³ de K).

Fonte: Kurihara et al. (1998).

Portanto, a antecipação da adubação com P e K, em quantidades equivalentes à exportada pelos grãos ou fibras, pode ser efetiva no SPD quando a disponibilidade destes nutrientes está acima do teor crítico, situação na qual não se espera resposta das culturas à adubação. Neste contexto, o enfoque do manejo da adubação é alterado, uma vez que esta não visa necessariamente o suprimento de nutrientes para a cultura de uma safra específica, mas sim a reposição de nutrientes a serem exportados, de maneira a se manter a fertilidade do solo. No mesmo sentido, não se espera diferenças na produtividade da cultura de verão, quando o adubo é aplicado a lanço e em superfície, antes do cultivo desta espécie, em relação à aplicação do adubo por ocasião da semeadura da cultura de outono-inverno antecessora.

Em adição, ressalta-se que o adequado monitoramento da fertilidade do solo permite, ainda, optar por reduzir ou mesmo abster-se da adubação, eventualmente, em situações onde a perspectiva de valor de comercialização do grão e/ou o preço do adubo for desfavorável.

Neste contexto, é importante enfatizar que a tomada de decisão sobre a adubação a lanço deve ser embasada na interpretação dos resultados da análise de solo e, se possível, também da análise foliar de amostras coletadas em cultivo anterior. Destaca-se que, em geral, nas áreas cultivadas sob plantio direto, tem-se adotado a amostragem de solo de forma mais estratificada do que no plantio convencional, sendo a interpretação dos resultados analíticos embasada nas mesmas classes de disponibilidade definidas para este último. Tal recomendação, iniciada nos estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina, é estabelecida com base na premissa de que os valores dos atributos do solo da camada de 0 a 0,10 m sob o SPD são equivalentes àqueles da camada de 0 a 0,20 m sob cultivo convencional (CQFS-RS/SC, 2004). Por outro lado, em Minas Gerais, a recomendação de amostragem de solo em áreas cultivadas sob plantio direto abrange as camadas de 0 a 0,10 e 0,10 m a 0,20 m nos primeiros dois a três anos de adoção do mesmo, e de 0 a 0,05 m, 0,05 m a 0,10 m e de 0,10 m a 0,20 m, nos anos seguintes (CANTARUTTI et al., 1999). Apesar de este procedimento ter permitido o aproveitamento dos trabalhos de calibração executados em áreas cultivadas sob plantio convencional, pode haver tendência em se desconsiderar a variação nos atributos físico-químicos na camada de 0,10 m a 0,20 m, o que pode interferir na produtividade das culturas, especialmente em condições de déficit hídrico (SANTOS et al., 2008).

Conclusões

Diante dos resultados de pesquisa apresentados anteriormente, é lícito concluir que a alta disponibilidade de fósforo e potássio é um requisito básico, mas não suficiente, para a tomada de decisão sobre a adubação antecipada da soja. É muito importante que haja, também:

- a) adequada manutenção da cobertura vegetal, que permita a reciclagem de K e outros nutrientes; a minimização de eventuais perdas de nutrientes por erosão hídrica; a manutenção de um intervalo hídrico ótimo por um período mais prolongado, com a consequente continuidade do fluxo difusivo de P; e a promoção da atividade da micro, meso e macrofauna, favorecendo a imobilização de P na biomassa microbiana e o transporte de P e K pelas galerias dos organismos no perfil do solo;
- b) acúmulo de matéria orgânica, promovendo o aumento da capacidade de troca de cátions e o consequente aumento da retenção de K; aumento da capacidade de retenção de água, decorrente da melhor estruturação do solo; maior eficiência de utilização de P por meio do bloqueio dos sítios de adsorção em óxidos de Fe e Al pelos ácidos orgânicos, e acúmulo de P em formas orgânicas de maior (ácidos nucleicos, fosfolípidios) ou menor labilidade (fosfato de inositol);
- c) ausência de limitação física e/ou química na camada subsuperficial, que poderia acentuar problemas de déficit hídrico, devido ao menor crescimento do sistema radicular;
- d) adoção ou manutenção de práticas de controle de erosão, como manutenção de terraços e plantio em nível, que permitam minimizar perdas de nutrientes por erosão laminar (escorrimento superficial);
- e) manejo adequado de plantas daninhas, uma vez que em áreas infestadas com espécies resistentes a herbicidas, como a buva (*Conyza bonariensis*), a adubação a lanço em superfície poderá acentuar os problemas relacionados à matocompetição.

Referências

ANDRADE, F. V.; MENDONÇA, E. S.; ALVAREZ VENEGAS, V. H.; NOVAIS, R. F. Addition of organic and humic acids to Latosols and phosphate adsorption effects. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, n. 6, p. 1003-1011, nov./dez. 2003.

ANGHINONI, I. Uso de fósforo pelo milho afetado pela fração de solo fertilizada com fosfato solúvel. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 16, n. 3, p. 349-353, set./dez. 1992.

BARROS, A. L. M. de. Características e desafios da agricultura brasileira. In: SEMINÁRIO NACIONAL MILHO SAFRINHA: RUMO À ESTABILIDADE, 9., 2007, Dourados. **Anais...** Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2007. p. 19-31. (Embrapa Agropecuária Oeste. Documentos, 89). Organizado por: Gessi Ceccon e Luiz Alberto Staut.

BAYER, C. **Características químicas do solo, nutrição e rendimento do milho afetados por métodos de preparo do solo e sistemas de culturas**. 1992. 172 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

BERTOLINI, E. V.; GAMERO, C. A.; SALATA, A. da C.; PIFFER, C. R. Antecipação da adubação de semeadura do milho em dois sistemas de manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 6, p. 2355-2366, nov./dez. 2008.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Política Agrícola. Departamento de Gestão de Risco Rural. Portaria CGZA/DGER/SPA/MAPA 277/2011. Publicado originalmente no D.O.U. de 29/07/2011 - Seção 1. Disponível em: <http://extranet.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=consultarLegislacaoFederal>. Acesso em: 26 ago. 2011.

CAMPELLO, M. R.; NOVAIS, R. F.; FERNANDEZ, I. E. R. Avaliação da reversibilidade de fósforo não lábil para lábil em solos com diferentes características. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 18, n. 2, p. 157-165, maio/ago. 1994.

CANTARUTTI, R. B.; ALVAREZ V., V. H.; RIBEIRO, A. C. Amostragem de solo. In: COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, MG, 1999. 359 p.

CASTILHOS, D. D.; ANGHINONI, I. Influência do suprimento de fósforo a diferentes frações do sistema radicular sobre o comportamento do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 12, n. 3, p. 263-267, set./dez. 1988.

CECCON, G. Cerrado: estado da arte na produção de palha com milho safrinha em consórcio com *Brachiaria*. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, ano 17, n. 102, p. 3-7, nov. 2007a.

CECCON, G. Milho safrinha com solo protegido e retorno econômico em Mato Grosso do Sul. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, ano 17, n. 97, p. 17-20, fev. 2007b.

CECCON, G.; MACHADO, L. A. Z.; STAUT, L. A.; SAGRILO, E.; NUNES, D. P.; MARIANI, J. A. Consórcio de milho safrinha com espécies forrageiras e adubo verde em Mato Grosso do Sul. In: SEMINÁRIO NACIONAL MILHO SAFRINHA: RUMO À ESTABILIDADE, 9., 2007, Dourados. **Anais...** Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2007a. p. 455-460. (Embrapa Agropecuária Oeste. Documentos, 89). Organizado por: Gessi Ceccon e Luiz Alberto Staut.

CECCON, G.; SAGRILO, E.; DECIAN, M.; NUNES, D. P. Rendimento de milho, de sementes de adubos verdes e de massa de *Brachiaria ruziziensis*, em cultivo consorciado, em Dourados, MS. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 26.; SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE A LAGARTA-DO-CARTUCHO, *SPODOPTERA FRUGIPERDA*, 2.; SIMPÓSIO SOBRE *COLLETOTRICHUM GRAMINICOLA*, 1., 2006, Belo Horizonte. **Inovação para sistemas integrados de produção**: trabalhos apresentados. [Sete Lagoas]: ABMS, 2006a. 1 CD-ROM.

CECCON, G.; SAGRILO, E.; FERNANDES, F. M.; STAUT, L. A.; BACKES, C. F.; PEREIRA, M. G.; RAMOS, R. E. Rendimento e composição química de espécies em consórcio com milho safrinha e rendimento da soja em sucessão, em MS. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 27.; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 11.; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 9.; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 6., 2006, Bonito, MS. **A busca das raízes**: anais. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2006b. (Embrapa Agropecuária Oeste. Documentos, 82). FERTBIO 2006. 1 CD-ROM.

CECCON, G.; STAUT, L.; DECIAN, M.; NUNES, D. P. Efeito do consórcio milho safrinha com braquiárias no rendimento de palha e grãos da sucessão soja-milho safrinha, em plantio direto, em MS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31., 2007, Gramado. **Conquistas & desafios da ciência do solo brasileira**: anais. Gramado: SBCS: UFRGS Solos, 2007b. 1 CD-ROM.

CECCON, G.; STAUT, L. A.; NOGUEIRA, R. Z.; NEUHAUS, R. Rendimento de grãos de milho safrinha em diferentes populações de espécies forrageiras. In: SEMINÁRIO NACIONAL MILHO SAFRINHA: RUMO À ESTABILIDADE, 9., 2007, Dourados. **Anais...** Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2007c. p. 461-466. (Embrapa Agropecuária Oeste. Documentos, 89). Organizado por: Gessi Cecon e Luiz Alberto Staut.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. **Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10. ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2004. 400 p.

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**, Viçosa, MG, v. 26, n. 4, p. 925-930, out./dez. 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**, Viçosa, MG, v. 27, n. 5, p. 893-900, set./out. 2003.

ELTZ, F. L. F.; PEIXOTO, R. T. G.; JASTER, F. Efeitos de sistemas de preparo do solo nas propriedades físicas e químicas de um latossolo bruno álico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 13, n. 2, p. 259-267, maio/ago. 1989.

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

FOLONI, J. S. S.; ROSOLEM, C. A. Produtividade e acúmulo de potássio na soja em função da antecipação da adubação potássica no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 4, p.1549-1561, jul./ago. 2008.

FIETZ, C. R.; RANGEL, M. A. S. Época de semeadura da soja para a região de Dourados-MS, com base na deficiência hídrica e no fotoperíodo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 4, p. 666-672, out./dez. 2008. Disponível em <<http://www.scielo.br/pdf/eagri/v28n4/06.pdf>>. Acesso em: 29 jun. 2010.

GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D. S.; FLORES, J. P. C. R. Biodisponibilidade de formas de fósforo acumuladas em solo sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, n. 4, p. 691-699, jul./ago. 2007.

GIACOMINI, S. J.; AITA, C.; VENDRUSCOLO, E. R. O.; CUBILLA, M.; NICOLOSO, R. S.; FRIES, M. R. Matéria seca, relação C/N e acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio em misturas de plantas de cobertura de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, n. 2, p. 325-334, mar./abr. 2003.

GONÇALVES, J. L. M.; FIRME, D. J.; NOVAIS, R. F.; RIBEIRO, A. C. Cinética de adsorção de fósforo em solos de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 9, n. 2, p. 107-111, maio/ago. 1985.

GUARESCHI, R. F.; GAZOLLA, P. R.; SOUCHIE, E. L.; ROCHA, A. C. Adubação fosfatada e potássica na semeadura e a lanço antecipada na cultura da soja cultivada em solo de Cerrado. **Semina: ciências agrárias**, Londrina, v. 29, n. 4, p. 769-774, out./dez. 2008.

HERNANI, L. C.; KURIHARA, C. H.; SILVA, W. M. Sistemas de manejo de solo e perdas de nutrientes e matéria orgânica por erosão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 23, n. 1, p. 145-154, jan./mar. 1999.

HERNANI, L. C.; SALTON, J. C.; FABRÍCIO, A. C.; DEDECEK, R.; ALVES JUNIOR, M. Perdas por erosão e rendimentos de soja e de trigo em diferentes sistemas de preparo de um Latossolo Roxo de Dourados (MS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 21, n. 4, p. 667-676, out./dez. 1997.

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

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

LANTMANN, A. F.; ROESSING, A. C.; SFREDO, G. J.; OLIVEIRA, M. C. N. de. **Adubação fosfatada e potássica para sucessão soja-trigo em latossolo roxo distrófico sob semeadura direta**. Londrina: EMBRAPA-CNPSO, 1996. 44 p. (EMBRAPA-CNPSO. Circular técnica, 15).

MAGALHÃES, J. V. de. **Absorção e translocação de nitrogênio por plantas de milho (*Zea mays* L.) submetidas a períodos crescentes de omissão de fósforo na solução nutritiva**. 1996. 76 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

MARTINAZZO, R.; RHEINHEIMER, D. S.; GATIBONI, L. C.; BRUNETTO, G.; KAMINSKI, J. Fósforo microbiano do solo sob sistema plantio direto em resposta à adição de fosfato solúvel. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, n. 3, p. 563-570, maio/jun. 2007.

MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. **Principles of plant nutrition**. 4. ed. Bern: IPI, 1987. 687 p.

MULLINS, G. L. Soil management under no-tillage: soil chemical aspects. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DO SISTEMA PLANTIO DIRETO, 1., 1995, Passo Fundo. **Resumos...** Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT, 1995. p. 121-125.

NOVAIS, R. F. de; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa, MG: UFV, DPS, 1999. 399 p.

PÖTTKER, D. R. **Aplicação de fósforo no sistema plantio direto**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 1999. 32 p. (Embrapa Trigo. Boletim de pesquisa, 2).

RHEINHEIMER, D. S.; ANGHINONI, I. Distribuição do fósforo inorgânico sem sistemas de manejo de solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 36, n. 1, p. 151-160, jan. 2001.

RHEINHEIMER, D. S.; ANGHINONI, I.; CONTE, E. Fósforo da biomassa microbiana em solos sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 24, n. 3, p. 589-597, jul./set. 2000a.

RHEINHEIMER, D. S.; ANGHINONI, I.; FLORES, A. Organic and inorganic phosphorus as characterized by phosphorus-31 nuclear magnetic resonance in subtropical soils under management systems. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 33, n. 11/12, p. 1853-1871, 2002.

RHEINHEIMER, D. S.; ANGHINONI, I.; KAMINSKI, J. Depleção do fósforo inorgânico de diferentes frações provocada pela extração sucessiva com resina em diferentes solos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 24, n. 2, p. 345-354, abr./jun. 2000b.

RHEINHEIMER, D. S.; CASSOL, P. C.; KAMINSKI, J.; ANGHINONI, I. Fósforo orgânico do solo. In: SANTOS, G. de A.; CAMARGO, F. A. O. (Org.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais & subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 1999. v. 1, p. 139-157.

ROCHA, E. M.; BEUKHOF, J.; CECCON, G. Massa de *Brachiaria ruziziensis* em diferentes populações e genótipos de milho safrinha (*Zea mays* L.), em Maracaju, 2007. In: : SEMINÁRIO NACIONAL MILHO SAFRINHA: RUMO À ESTABILIDADE, 9., 2007, Dourados. **Anais...** Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2007. p. 467-471. (Embrapa Agropecuária Oeste. Documentos, 89). Organizado por: Gessi Ceccon e Luiz Alberto Staut.

SÁ, J. C. de M. Calagem e adubação das culturas no sistema de plantio direto. In: ENCONTRO NACIONAL DE PLANTIO DIRETO NA PALHA, 4., 1994, Cruz Alta. **Anais...** Cruz Alta: Clube Amigos da Terra: FEBRAPDP, [1994?]. p. 173-192.

SÁ, J. C. de M. Calagem em solos sob plantio direto da região dos Campos Gerais, Centro-Sul do Paraná. In: CURSO SOBRE MANEJO DO SOLO NO SISTEMA PLANTIO DIRETO, 1995, Castro. **Anais...** Castro: Fundação ABC, 1996. p. 73-107.

SÁ, J. C. de M. Manejo de fósforo no sistema plantio direto. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DO SISTEMA PLANTIO DIRETO, 1., 1995, Passo Fundo. **Resumos...** Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT, 1995. p. 83-93.

SANTOS, D. R. dos; GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, RS, v. 38, n. 2, p. 576-586, mar./abr. 2008.

WIETHÖLTER, S.; BEN, J. R.; KOCHHANN, R. A.; PÖTTKER, D. Fósforo e potássio no solo no sistema plantio direto. In: NUERNBERG, N. J. (Ed.). **Plantio direto: conceitos, fundamentos e práticas culturais**. Lages: SBSCS, Núcleo Regional Sul, 1997. p. 121-147.

Embrapa

Agropecuária Oeste

Ministério da
**Agricultura, Pecuária
e Abastecimento**

G O V E R N O F E D E R A L
BRASIL
PAÍS RICO É PAÍS SEM POBREZA