



*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Centro Nacional de Pesquisa de Solos
Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento*

ISSN 1517-2627

Junho, 2003

Documentos 46

Correção do Solo e Adubação no Sistema de Plantio Direto nos Cerrados

Alberto Carlos de Campos Bernardi
Pedro Luiz Oliveira de Almeida Machado
Pedro Luiz de Freitas
Maurício Rizzato Coelho
Wilson Mozena Leandro
Juarez Patrício de Oliveira Júnior
Ronaldo Pereira de Oliveira
Humberto Gonçalves dos Santos
Beáta Eموke Madari
Maria da Conceição Santana Carvalho

Rio de Janeiro, RJ
2003

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Solos

Rua Jardim Botânico, 1024 Jardim Botânico. Rio de Janeiro, RJ

Fone: (21) 2274.4999

Fax: (21) 2274.5291

Home page: www.cnps.embrapa.br

E-mail (sac): sac@cnps.embrapa.br

Supervisor editorial: Jacqueline Silva Rezende Mattos

Normalização bibliográfica: Cláudia Regina Delaia

Revisão de Português: André Luiz da Silva Lopes

Foto da capa: Pedro Luiz de Freitas

Capa: Eduardo G. de Godoy

Editoração eletrônica: Jacqueline Silva Rezende Mattos

1ª edição

1ª impressão (2003): 1.000 exemplares

Todos os direitos reservados.

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

Correção do solo e adubação no sistema de plantio direto nos cerrados / Alberto Carlos de Campos Bernardi... [et al.]. -
Rio de Janeiro : Embrapa Solos, 2003.
22 p. - (Embrapa Solos. Documentos; n. 46)

ISSN 1517-2627

1. Plantio Direto - Cerrado. 2. Solo - Adubação - Cerrado. I. Bernardi, Alberto Carlos de Campos. II. Machado, Pedro Luiz de Almeida. III. Freitas, Pedro Luiz de. IV. Coelho, Maurício Rizzato. V. Leandro, Wilson Mozena. VI. Oliveira Junior, Juarez Patrício de. VII. Oliveira, Ronaldo Pereira de. VIII. Santos, Humberto Gonçalves dos. IX. Madari, Beata Eموke. X. Carvalho, Maria da Conceição Santana. XI. Embrapa Solos (Rio de Janeiro). XII. Série.

CDD (21.ed.) 631.40981

© Embrapa 2003

Autores

Alberto Carlos de Campos Bernardi

Engenheiro Agrônomo, D.Sc. em Solos e Nutrição de Plantas, Pesquisador da Embrapa Solos, e-mail: alberto@cnps.embrapa.br. Rua Jardim Botânico, n.1024, Rio de Janeiro, RJ. CEP:22460-000.

Pedro Luiz Oliveira de Almeida Machado

Engenheiro Agrônomo, Ph.D. em Solos e Nutrição de Plantas, Pesquisador da Embrapa Solos, e-mail: pedro@cnps.embrapa.br.

Pedro Luiz de Freitas

Engenheiro Agrônomo, Ph.D. em Ciência do Solo, Pesquisador da Embrapa Solos, Colaborador Técnico e Diretor da Associação de Plantio Direto no Cerrado, e-mail: pfreitas@terra.com.br.

Maurício Rizzato Coelho

Engenheiro Agrônomo, M.Sc. em Solos e Nutrição de Plantas, Pesquisador da Embrapa Solos, e-mail: mrcoelho@cnps.embrapa.br.

Wilson Mozena Leandro

Engenheiro Agrônomo, D.Sc. em Produção Vegetal, Professor Adjunto, Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Goiás - UFG, e-mail: leandro@agro.ufg.br. Rodovia Goiânia Nova Veneza Km 0, Setor de Agricultura, Cx. P. 131 Campus II Goiânia, GO, CEP: 74910-970.

Juarez Patrício de Oliveira Júnior

Engenheiro Agrônomo, D.Sc. em Produção Vegetal, Professor Adjunto, Departamento de Agricultura, Universidade Federal de Goiás - UFG, e-mail: juarez@agro.ufg.br.

Ronaldo Pereira de Oliveira

Engenheiro Eletrônico e Analista de Sistemas, M.Sc. em Sistemas de Geoinformação, Pesquisador da Embrapa Solos, e-mail: ronaldo@cnps.embrapa.br.

Humberto Gonçalves dos Santos

Engenheiro Agrônomo, D.Sc. em Ciência do Solo, Pesquisador da Embrapa Solos, e-mail: humberto@cnps.embrapa.br.

Beáta Eموke Madari

Engenheira Agrônoma, Ph.D. em Ciência do Solo, Pesquisadora da Embrapa Solos, e-mail: beata@cnps.embrapa.br.

Maria da Conceição Santana Carvalho

Engenheira Agrônoma, D.Sc. em Solos e Nutrição de Plantas, Pesquisadora da Embrapa Algodão, e-mail: maria.santana@embrapa.br. SNT Goiás, Caixa Postal 714, Goiânia, GO, CEP: 74001-970.

Agradecimentos

Ao International Potash Institute – IPI pelo apoio financeiro para a publicação deste documento. Este financiamento é parte integrante do Memorando de Entendimento entre a Embrapa e o IPI, que financia ainda o Projeto *“Utilização de Potássio em Sistema de Plantio Direto no Cerrado”*.

Sumário

Introdução.....	9
Cerrados	10
Sistema de Plantio Direto - SPD.....	11
Plantas de cobertura para os Cerrados e os benefícios da palha em SPD.....	11
Manejo de solos dos Cerrados com o SP.....	12
Aspectos Econômicos e Ambientais do SPD.....	12
Manejo da Fertilidade do Solo em SPD	13
Amostragem do solo em SPD.....	13
Interpretação dos resultados de análise de solo de SPD em Cerrados.....	14
Correção do solo.....	14
<i>Recomendação de calagem em SPD</i>	<i>14</i>
<i>Calagem na fase de adoção do SPD.....</i>	<i>14</i>
<i>Calagem em área de SPD consolidado.....</i>	<i>15</i>
<i>Gessagem.....</i>	<i>15</i>
Uso eficiente de fertilizantes.....	16
<i>Nitrogênio.....</i>	<i>16</i>
<i>Fósforo.....</i>	<i>16</i>
<i>Potássio.....</i>	<i>16</i>
<i>Micronutrientes.....</i>	<i>18</i>
Recomendação de fertilizantes em PD.....	18
Considerações Finais	20
Referências Bibliográficas	20

Correção do Solo e Adubação no Sistema de Plantio Direto nos Cerrados

Alberto Carlos de Campos Bernardi

Pedro Luiz Oliveira de Almeida Machado

Pedro Luiz de Freitas

Maurício Rizzato Coelho

Wilson Mozena Leandro

Juarez Patrício de Oliveira Júnior

Ronaldo Pereira de Oliveira

Humberto Gonçalves dos Santos

Beáta Eموke Madari

Maria da Conceição Santana Carvalho

Introdução

A região sob vegetação de Cerrados concentra a segunda maior formação vegetal brasileira, superado apenas pela Floresta Amazônica. Sua área de aproximadamente 163 milhões de ha (IBGE, 1992) abrange 15 Estados e o Distrito Federal, ocupando aproximadamente 20% do território brasileiro. Desta área, cerca de 50 milhões de ha possuem potencialidade para a agricultura mecanizada intensiva, desde que as limitações físicas e químicas sejam superadas (Blancaneaux *et al.*, 1993). Esta região de importância estratégica para a produção de alimentos, fibras e energia tem alcançado um papel cada vez maior na produção agrícola brasileira, contribuindo com cerca de 50% da produção de soja, 30% de milho, 18% de arroz, 18% de feijão e 40% do total do rebanho nacional. A existência de duas estações bem definidas e a incidência de veranicos na estação chuvosa, associadas à baixa fertilidade natural dos solos, são as principais dificuldades que devem ser enfrentadas para o aproveitamento agrícola intensivo da região.

O grande desafio para qualquer empreendimento agrosilvipastoril nos Cerrados está na implementação de sistemas de manejo que possibilitem o bom uso dos recursos naturais – solo, água, ar e biodiversidade. Assim, o planejamento do uso e manejo da terra, associado à adoção de sistemas conservacionistas como o plantio direto, é essencial à manutenção do frágil equilíbrio entre a necessidade de produção de alimentos e a preservação ambiental da região.

O sistema de plantio direto (SPD) é a forma de manejo conservacionista que envolve um conjunto de técnicas integradas que visam otimizar a expressão do potencial genético de produção das culturas com simultânea melhoria das condições ambientais (água-solo-clima). O SPD está fundamentado em três requisitos mínimos: revolvimento do solo restrito à cova ou sulco de plantio, a biodiversidade pela rotação de culturas, e a cobertura permanente do solo com culturas específicas para formação de palhada. Estes requisitos são associados, ainda ao manejo integrado de pragas, doenças e plantas invasoras (Salton *et al.*, 1998, Plataforma Plantio Direto, 2001; Freitas, 2002). Importante enfatizar que o SPD pode ser adotado tanto em culturas anuais como em perenes, seja em pequenas ou grandes propriedades (Figura 1).

No SPD há uma redução da perda de solo, água e nutrientes por erosão devido à manutenção da agregação do solo, da cobertura vegetal e de restos culturais na superfície. Por isso o SPD é a alternativa para a sustentabilidade dos recursos naturais e utilização agrícola do solo, em contraponto ao modelo usual de exploração agrícola da região, baseado na pecuária extensiva e nas monoculturas intensivas que revolvem o solo com práticas de aração e gradagens. Por suas reconhecidas características comprovadas amplamente



Fig. 1. Aspecto do SPD em pequena (A) e grande propriedades (B) (Fotos: A.Calegari e P.L.O.A.Machado).

pela pesquisa, o SPD é considerado como uma importante ação ambiental brasileira em atendimento às recomendações da conferência da Organização das Nações Unidas (Eco-92) e da Agenda 21 brasileira, em harmonia com o acordado no Protocolo Verde (Plataforma Plantio Direto, 2001).

A ausência do revolvimento do solo, a rotação de culturas e a permanente cobertura do solo com plantas ou restos culturais melhoram a condição estrutural do solo (Freitas *et al.*, 1998). Esta melhoria também é observada nas características químicas e biológicas. Estes processos se refletem diretamente na melhoria da fertilidade do solo, levando ainda à redução futura da utilização de corretivos e fertilizantes. No entanto, os procedimentos de recomendação de adubação no Brasil foram desenvolvidos para o sistema convencional de preparo do solo. Existem recomendações de adubação para SPD para a região Sul do Brasil, porém ainda faltam recomendações para a região dos Cerrados.

O objetivo deste trabalho é apresentar o Sistema de Plantio Direto nos Cerrados, seus impactos ambientais e econômicos, com ênfase especial ao manejo da fertilidade do solo, recomendação e o uso adequado de fertilizantes.

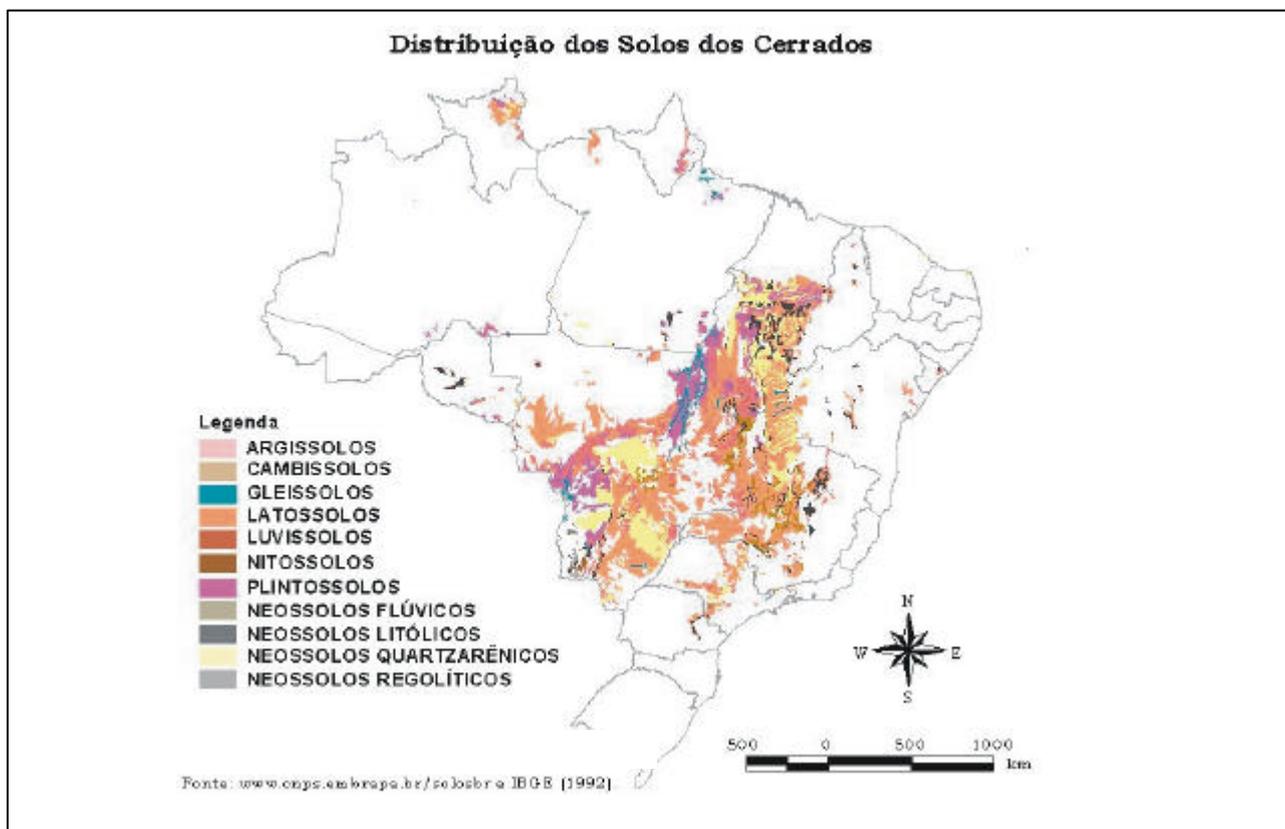
Cerrados

O bioma dos Cerrados caracteriza-se pelas formações vegetais: cerrado propriamente dito (com árvores baixas e esparsas), cerradão (com árvores altas, maior densidade e composição distinta), campo cerrado, campo sujo e campo limpo (com progressiva redução da densidade arbórea) e matas de galeria (ao longo dos rios). Somados, ainda, ao clima estacional e à presença dos solos ácidos, muito antigos e de baixa fertilidade.

O clima da região é do tipo tropical com uma estação seca pronunciada, sendo que o período chuvoso inicia-se em outubro e estende-se até abril. Na estação das chuvas, ocorrem períodos de interrupção das precipitações, os veranicos, durante os meses de janeiro e fevereiro.

Dentre as classes de solos mais representativas dos Cerrados, destacam-se os Latossolos (Figura 2) que se distribuem nos amplos chapadões, em áreas de relevo plano ou suavemente ondulado. Profundos, bem drenados, sem impedimento à mecanização agrícola e de baixa fertilidade natural, que pode ser facilmente corrigida, os Latossolos ocupam aproximadamente 46% da região (Tabela 1). Devido à sua extensão geográfica e às características próprias, são os solos mais utilizados dos Cerrados, consistindo, atualmente, nas áreas mais exploradas com culturas anuais da região. Outras classes de solos são também expressivas em área (Tabela 1). Estas, além da baixa fertilidade natural, apresentam, em geral, outros problemas de natureza física à exploração agrícola.

Em termos gerais, pode-se considerar que os solos dos Cerrados são ácidos, com baixa capacidade de troca de cátions e retenção de umidade, apresentando deficiência generalizada de nutrientes, particularmente de fósforo. No entanto, os aspectos positivos são a facilidade de mecanização, correção e construção da fertilidade, possibilidade de irrigação, elevada profundidade, friabilidade, porosidade e boa drenagem interna dos solos. Estes fatores concorrem para que a região dos Cerrados seja considerada dentre aquelas de maior potencial agrícola do país (Ker *et al.*, 1992).



Fonte: www.cnps.embrapa.br/solosbr e IBGE (1992).

Fig. 2. Mapa de solos dos Cerrados.

Tabela 1. Extensão e distribuição das principais classes de solos dos Cerrados.

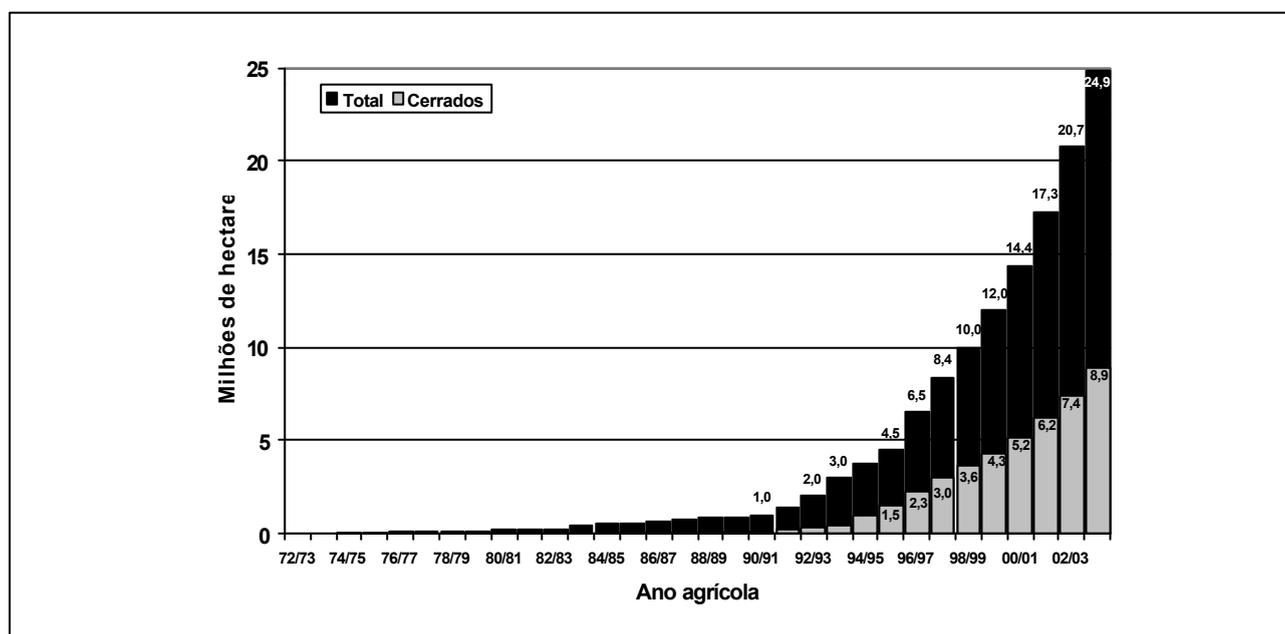
Classes de solo	Área (mil km ²)	%
LATOSSOLOS	743,0	45,7
NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS	288,5	17,7
PLINTOSSOLOS	198,8	12,2
ARGISSOLOS	179,3	11,0
NEOSSOLOS (LITÓLICO + REGOLÍTICO)	108,4	6,7
CAMBISSOLOS	50,8	3,1
GLEISSOLOS	34,1	2,1
NITOSSOLOS	15,0	0,9
NEOSSOLOS FLÚVICOS	1,9	0,1
Corpos d' água	6,5	0,4
TOTAL	1.626,4	100,0

Fonte: Adaptado de IBGE (1992) e Embrapa (1981).

Sistema de Plantio Direto – SPD

No Brasil, o SPD teve seu início em 1972 nos estados do Paraná e Rio Grande do Sul e, atualmente, estima-se que o cultivo de grãos e plantas de cobertura alcancem uma área aproximada de 25 milhões de hectares. As primeiras experiências com o SPD nos Cerrados se iniciaram na década de 70, estendendo-se pela década de 80. Os fatores que colaboraram para a consolidação do plantio direto nos Cerrados na década seguinte (90) foram: mudança de atitude dos agricultores; fundação em 1992 da Associação do Plantio Direto no Cerrado; migração de agricultores com experiência em plantio direto do sul do Brasil; e a adaptação da soja aos Cerrados (Plataforma Plantio Direto, 2001). Na Figura 3 é apresentada a expansão da área total cultivada em SPD nos Cerrados e no Brasil para o período de 1972 a 2003.

A evolução da área de SPD mostra que cerca de 35% da área total está nos Cerrados. No entanto, existe ainda um alto potencial de expansão na região, sem a necessidade de abrir novas áreas, pois entre a Amazônia e o Cerrado existem aproximadamente 80 milhões de ha de pastagens quase todas degradadas, ou em fase de degradação podendo ser aproveitadas com o SPD na integração lavoura-pecuária. (Sano *et al.*, 1999, Landers & Freitas, 2002).



Fonte: FEBRAPDP (2003).

Fig. 3. Expansão da área de plantio direto no Brasil no período de 1972 a 2001.

Plantas de cobertura para os Cerrados e os benefícios da palha em SPD

Por muito tempo se apregoou que o SPD na região dos Cerrados não teria o mesmo sucesso obtido na Região Sul do Brasil, devido à dificuldade de formação de palhada. O principal argumento baseava-se nas condições climáticas locais que levavam a um intenso processo de decomposição da matéria orgânica, em taxas muito superiores às daquelas do Sul do país, impossibilitando a produção de quantidade necessária de palha. Outro ponto alicercava-se na impossibilidade de cultivo de uma cultura no inverno dos Cerrados, que, apesar de quente, é muito seco. O problema começou a ser solucionado com o surgimento de cultivares de verão mais precoces e a conseqüente possibilidade de exploração de uma segunda cultura de verão, a safrinha. Desse modo, a situação atual é outra, pois se conhecem várias espécies e estratégias de cultivo, como a consorciação e a sobressemeadura, adaptadas às condições da região.

A introdução do milheto (*Pennisetum glaucum* L.R. Br. e *P. americanum* L.), sorgo, crotalária (*Crotalaria juncea* L.) e, mais recentemente, gramíneas forrageiras (ex. *Brachiaria* spp.; capim-pé-de-galinha, *Eleusine coracama*; entre outras), e espécies alternativas como a quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), amaranto (*Amaranthus* spp.), feijão guandu (*Cajanus cajan* L.) e capim-pé-de-galinha (*Eleusine coracama*) possibilitaram a adequada formação de palhada (*mulch*), essencial para a sustentabilidade do SPD nos trópicos (Spehar & Souza, 1996, Landers, 2001). As vantagens do acúmulo de resíduos vegetais (palha) na superfície do solo em SPD são apresentadas no Box 1.

Box 1. Alguns benefícios da palha para a agricultura tropical.

Benefícios	Referências
Auxilia no controle de plantas invasoras por meio da supressão ou por alelopatia.	Almeida & Rodrigues (1985).
Diminui a evaporação da superfície do solo (preserva a umidade do solo por mais tempo e diminui os riscos de estresse hídrico).	Landers (2001).
Diminui a oscilação de temperatura favorecendo a vida no solo e processos biológicos.	Derpsch <i>et al.</i> (1985); Sidiras & Pavan (1986).
Maior estabilidade de agregados e menor risco de erosão e de compactação.	Grillo <i>et al.</i> (2001); D'Andrea <i>et al.</i> , (2002); Freitas <i>et al.</i> (1998).
Aumenta o teor de matéria orgânica do solo.	Corazza <i>et al.</i> (1999).
Favorece maior infiltração de água no solo.	Derpsch <i>et al.</i> (1991).
Permite o movimento de nutrientes (Ca^{2+} e Mg^{2+}) no perfil pela complexão com ácidos orgânicos solúveis.	Sá (1999); Myiazawa <i>et al.</i> (2000).
Promove a melhoria estrutural e o acúmulo de carbono no solo pelo crescimento das raízes.	Sá <i>et al.</i> (2001)

Manejo de solos dos Cerrados com o SPD

O relevo relativamente plano da região dos Cerrados levou muitos dos envolvidos na atividade agrícola a acreditar que os solos não teriam os mesmos problemas de erosão normalmente observados no sul do Brasil (Spehar & Sousa, 1996).

O sistema de preparo convencional (SPC), com a utilização de arados, grades e subsoladores, é o responsável pela degradação acelerada do solo e conseqüente perda de solo, água e nutrientes por erosão hídrica e eólica. O uso do SPC causa a destruição de agregados do solo e, se executado na estação das chuvas, deixa a superfície do solo exposta, sem nenhuma cobertura vegetal ou restos de plantas. O resultado é o impacto direto da gota de chuva, causando encrostamento na superfície do solo, diminuição da infiltração de água e conseqüente formação de enxurradas (Freitas, 1994).

As experiências no sul do Brasil demonstraram que a utilização de práticas mecânicas (terraços, cordões vegetados ou de pedras etc.), como única forma de controle da erosão, sem proteção da superfície do solo não são suficientes para o controle efetivo da erosão hídrica do solo (Vieira, 1994). As severas perdas econômicas e ambientais causadas pela erosão motivaram forte movimento em favor da adoção do SPD (Freitas, 2002).

Aspectos Econômicos e Ambientais do SPD

Muitos ainda acreditam que os gastos com herbicidas são os maiores desmotivadores para a adoção do SPD. Poucos se atêm ao fato de que o SPD pode propiciar uma economia de até 60% no consumo de combustível. Quando consolidado, após o 5° ou 6° anos, e desde que adotado com critério, os custos com herbicidas são menos relevantes que com fertilizantes. No município de Chapadão do Sul (MS), numa lavoura de soja em SPD, os custos com herbicidas corresponderam a 12% dos custos totais variáveis, enquanto que a maior parte, 25%, corresponde aos gastos com fertilizantes.

Uma das razões para a adoção do SPD pelos agricultores é o menor custo total de produção em comparação com o sistema convencional envolvendo aração e gradagens leves. Como exemplo, o custo total por hectare para a produção de milho numa lavoura em Dourados (MS) foi de R\$757,56 (US\$432.89) em sistema convencional e de R\$731,57 (US\$418.04), ou seja, uma estimativa de custo total por hectare no SPD 3,5% menor que no sistema convencional (Melo Filho & Mendes, 1999).

A vantagem do SPD sobre o SPC está na manutenção de produtividades adequadas com o mínimo de perdas de solo e água. O SPD evita a erosão do solo, bem como perdas diversas, como podem ser evidenciadas na Tabela 3.

Tabela 3. Valoração dos impactos da erosão dos solos no Brasil.

Impactos negativos	R\$	US\$	Sacas soja*
	Milhões		
Tratamento de água para consumo humano	124,3	49,7	3,36
Reposição de reservatórios	196,0	78,4	5,30
Manutenção de estradas	332,0	132,8	8,97
Recarga de aquíferos	1.280,0	512,0	34,59
Consumo de combustíveis	1.300,0	520,0	35,14
Energia elétrica em áreas irrigadas	52,5	21,0	1,42
Total	3.284,8	1.313,9	88,78

* Sacas de 60 kg cotadas a R\$ 37,00.

Fonte: Adaptado de Hernani *et al.* (2002).

Na Tabela 4 é apresentada uma estimativa do custo adicional em fertilizantes devido à perda anual de nutrientes e adubação orgânica por erosão no Brasil. Dentro da propriedade rural, verifica-se que as maiores perdas anuais por erosão, em termos de quantidades de adubo, são de calcário dolomítico (15,2 milhões de toneladas anuais). Em termos de custos, as maiores perdas são de uréia, valorados em R\$2,58 bilhões ou 69,6 milhões de sacas de soja anuais em todo o Brasil. Para a reposição dos macronutrientes (N, P, K, S, Ca e Mg) perdidos por erosão hídrica no Brasil, estima-se a quantia de R\$5,73 bilhões anuais ou 154,9 milhões de sacas de soja.

Tabela 4. Estimativa do custo adicional em fertilizantes devido à perda de nutrientes por erosão hídrica no Brasil de acordo com o tipo de uso do solo.

Corretivos e fertilizantes	Lavouras			Pastagens			Total		
	t	R\$	Sc soja	t	R\$	Sc soja	t	R\$	Sc soja
	(mil)	(milhões)		(mil)	(milhões)		(mil)	(milhões)	
Calcário dolomítico	12.123	449	12,1	3.088	114	3,1	15.211	563	15,2
Uréia	1.784	928	25,1	3.170	1.648	44,5	4.954	2.576	69,6
Superfosfato Triplo	672	369	10,0	207	114	3,1	879	483	13,1
Cloreto de potássio	2.289	1.260	34,1	763	419	11,3	3.052	1.679	45,4
Sulfato de Amônio	391	155	4,2	695	275	7,4	1.086	430	11,6
Total	-	3161	85,5	-	2570	69,4	-	5.731	154,9

* Sacas de 60 kg cotadas a R\$ 37,00.

Fonte: Hernani *et al.* (2002).

Manejo da Fertilidade do Solo em SPD

O SPD promove alterações no comportamento do solo, pela eliminação das ações mecânicas que promovem a homogeneização do solo. Com a distribuição predominantemente na superfície, e a ação das plantas acumulando nutrientes na biomassa aérea, ocorre uma acumulação de nutrientes, especialmente P e K, na camada superficial grumosa, nos primeiros 10cm. Com o tempo, há uma tendência de aumento da eficiência dos adubos aplicados, e da disponibilidade de nutrientes, pela ação de microrganismos (N), diminuição da fixação de nutrientes pela argila do solo (P), e movimentação de cátions no perfil do solo (Ca, Mg). A fertilidade do solo deve também considerar os aspectos físicos e biológicos, tais como a porosidade (distribuição de tamanho de poros, volume total e continuidade), susceptibilidade à compactação, friabilidade em diferentes umidades, teor e qualidade da matéria orgânica e, atividade biológica (Freitas, 1994).

A partir da consolidação do SPD, a recomendação da adubação (baseada na análise do solo), passa a considerar o sistema, e não as culturas de forma individual. Por fim, o manejo da fertilidade passa a conjugar a utilização de adubos químicos com o poder de reciclagem biológica de culturas de cobertura e da rotação (Souza & Lobato, 2002).

Amostragem do solo em SPD

Um dos requisitos básicos para a correta recomendação de adubação do solo é a coleta de amostras que devem representar adequadamente a área considerada. Para uma adequada amostragem do solo em SPD, deve-se considerar a forma de adubação (a lanço ou em linha), o tempo de adoção do SPD (implantação ou estabelecido), o instrumento de coleta (trado ou pá reta), a profundidade de amostragem e o número de amostras simples por amostra composta. As recomendações para os procedimentos de amostragem em SPD estão apresentadas no Box 2.

Box 2. Procedimentos para amostragem do solo em SPD.

Fase	Profundidade de amostragem	Procedimentos
Na fase de adoção do SPD	0 a 20cm e 20 a 40cm	Utilizar pá reta (retirando porção de solo de 5 cm de espessura e 10 cm de largura) ou trado (de 5 cm de diâmetro). Fazer 15 amostras simples para resultar em 1 amostra composta da gleba homogênea.
SPD com adubação a lanço		
Na fase de implantação (até o 5º ou 6º ano)	0 a 20cm	Procedimentos idênticos ao anterior, preferencialmente com pá reta.
Na fase de consolidação (após o 6º ou 7º anos, dependendo do histórico)	0 a 10cm	Procedimentos idênticos ao anterior.
SPD com adubação em linha		
Na fase de implantação do SPD	0 a 20cm	Utilizar pá reta e retirar porção de solo de 5 cm de espessura e largura igual ao espaçamento entrelinhas da cultura anterior. Retirar 20 amostras simples para compor 1 amostra composta da gleba homogênea.
Na fase de consolidação do SPD	0 a 10cm	Procedimentos idênticos ao anterior.

Fonte: Adaptado de COMISSÃO... (1995), Anghinoni & Salet (1998).

Interpretação de resultados de análise de solo de SPD nos Cerrados

Apesar de já estar estabelecida a profundidade e os procedimentos de amostragem, ainda não existe um critério para a interpretação dos resultados da análise de solo nas profundidades 0 a 10 e 10 a 20cm. Utiliza-se, freqüentemente os critérios de interpretação para a profundidade de 0 a 20cm, os quais podem comprometer as respostas das culturas.

O método convencional para a determinação do nível crítico de um dado nutriente exige a instalação de experimentos de campo, que são dispendiosos e demandam muito tempo para se obter resultados. No entanto, existe outra metodologia, descrita por Oliveira (1998), que permite a determinação simultânea de níveis de suficiência para diferentes produtividades de forma precisa, rápida e econômica. Com esta abordagem, é possível que sejam observadas áreas de alta produtividade, fazendo análises de solo e de folhas, estabelecendo relações favoráveis para ajustes em outras áreas. Utilizando esta metodologia, pesquisas desenvolvidas na Universidade Federal de Goiás - UFG, estabeleceram os níveis de suficiência a partir de resultados coletados em plantios comerciais em SPD na região do Cerrado. Os resultados obtidos encontram-se na Tabela 5.

Tabela 5. Proposta de níveis de suficiência para nutrientes no solo em SPD para a região de Rio Verde, GO (amostragem na entrelinha plantio).

Prof. cm	MO g kg ⁻¹	P*		Ca	Mg	Cu*	Mn*	Zn*
		mg dm ⁻³						
0 a 10	38,6	8	54	2,80	1,26	1,06	30	5
10 a 20	28,9	6	40	2,60	1,23	1,05	45	4

*Extrator: Mehlich I.

Fonte: Ferreira (2002), Leandro (1989).

Correção do solo

A alternativa mais viável para a correção da acidez do solo e suprimento dos nutrientes Ca e Mg é a calagem. Os principais efeitos da prática da calagem são a correção da acidez, o suprimento de Ca e Mg e, quando ocorre, a diminuição da toxicidade por Al e Mn. Além destes, a calagem também promove o aumento da capacidade de troca de cátions - CTC e da disponibilidade de N, P, S e Mo. Ao mesmo tempo, a elevação do pH promove a diminuição gradual da disponibilidade de Cu, Fe, Mn e Zn, aumento da mineralização da matéria orgânica, aumento do volume de solo explorado pelas raízes, diminuição da fixação do fósforo, favorecimento da fixação simbiótica do nitrogênio e melhoria das propriedades físicas e biológicas do solo.

Para que os resultados da calagem sejam adequados, aspectos como a qualidade, época, modo de aplicação e dosagem de calcário devem ser considerados. Para corrigir a acidez, o calcário necessita sofrer uma reação regulada pela presença de água e pelo contato com as partículas de solo. Por isso, a época de aplicação do produto deve ser feita com 3 meses de antecedência do plantio de verão, para que haja tempo para correção das propriedades químicas do solo. Normalmente, este insumo deve ser aplicado a lanço em área total. Os critérios para a recomendação e a necessidade ou não de incorporação são discutidos a seguir.

Recomendação de calagem em SPD

Os critérios utilizados para definição da necessidade de calagem no SPD ainda são empíricos e baseados nas recomendações para o sistema convencional (COMISSÃO..., 1995, Pottker, 1998, Sousa, 1998, Sá, 1999). A necessidade de calagem calculada pelos diferentes métodos para o SPD certamente são diferentes e, algumas vezes, a recomendação pode ser superestimada e desnecessária (Anghinoni & Salet, 1998). O cálculo da necessidade de calcário deve ser feito com base na análise de solo. Tanto os métodos mais utilizados no Brasil para recomendação de corretivos, como as recomendações mais eficientes para a correção dos solos estão resumidos nos Box 3 e 4. Após algum tempo de implantação do SPD, ocorrem mudanças nos valores de pH e nos teores de Al³⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺ trocáveis, principalmente nas camadas mais superficiais do solo (Muzzilli, 1983, Sidiras & Pavan, 1985). A matéria orgânica é responsável por 88% da CTC do solo dos Cerrados, por isso com a adoção do SPD e o aumento da MO, aumenta a eficiência da aplicação de calcário e gesso (Souza & Lobato, 2002).

Box 3. Métodos utilizados no Brasil para recomendação de calcário:

Métodos e princípios	Referências
Neutralização da acidez trocável (Al ³⁺) e da elevação dos teores de Ca ²⁺ e Mg ²⁺ .	Ribeiro <i>et al.</i> (1999).
V%: elevação da saturação por bases para um valor ideal.	Raij <i>et al.</i> (1996).
pH _{SMP} : elevação do pH, baseado na variação do valor de pH da solução tampão SMP.	CFS-RS/SC (1995).

Calagem na fase de adoção do SPD

Apesar dos benefícios da preservação da estrutura do solo pelo seu não revolvimento, existem algumas recomendações para a incorporação de corretivos antes da implantação do SPD (COMISSÃO..., 1995, Sousa, 1998). Em áreas onde foi constatada a necessidade de descompactação do solo, e foi criteriosamente constatado o impedimento mecânico ao crescimento de raízes e à infiltração de água no solo (Freitas *et al.*, 1997), a calagem pode ser feita distribuindo uniformemente o corretivo

sobre o solo e procedendo a incorporação com arados, grades ou escarificadores. Em áreas recém-desmatadas, a incorporação pode ser feita com grade pesada ou aradora, seguido da catação de raízes e madeira.

Para a região do Cerrado, além de se corrigir a acidez da camada superficial do solo, antes de iniciar o SPD também se recomenda a correção das camadas subsuperficiais (abaixo de 20cm) (Sousa, 1998). No entanto, para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, já está sendo recomendado o início de SPD em campo natural com a aplicação de calcário sem a incorporação ao solo.

Sobre as recomendações apresentadas para a calagem no SPD na implantação e no sistema consolidado, deve-se destacar que ainda existem dúvidas sobre a dose de calagem, se há necessidade de dividir a dosagem em 2 ou 4 vezes. A decisão dependerá do histórico da área e das condições do SPD. O tempo de 3 a 4 anos depende do histórico da área em relação ao atendimento dos princípios do SPD, com cobertura permanente e a rotação. Outro ponto importante é sobre a incorporação, a qual deve ser feita se, e somente se, o solo apresentar problemas físicos como compactação ou desnivelamento excessivo do terreno por erosão hídrica, ou no caso de solo sem qualquer cobertura vegetal. Havendo cobertura de gramíneas (pastagens), a eficiência da calagem e gessagem é conhecida não havendo necessidade de incorporação.

Box 4. Recomendação de calcário em SPD.

Fase do SPD	Profundidade de amostragem	Recomendação	Observação
Adoção	0 a 20 e 20 a 40cm	Análise química do solo e cálculo da necessidade de calagem pelos métodos convencionais (Box 1) e incorporação do calcário na camada arável (ver item a seguir)	Independente se a área estava sob vegetação natural, pastagem ou cultivada convencionalmente.
Implantação (primeiros 5 a 6 anos, dependendo do histórico da área)	0 a 20cm	Análise química do solo e cálculo da necessidade de calagem pelos métodos convencionais. Após o 3° ou 4° ano de implantação a dose pode ser reduzida a ½ ou ¼ do total. Calcário aplicado em área total sem incorporação.	A necessidade de calcário deve considerar a cultura mais sensível à acidez no sistema de rotação.
Consolidação (após o 5° ou 6° anos)	0 a 10cm	Seguir recomendações da fase anterior.	

Fonte: Adaptado de Oliveira *et al.* (2002).

Calagem em área de SPD consolidado

Se há dúvidas sobre a incorporação ou não de corretivos na implantação do SPD, na aplicação em sistemas já consolidados existe maior consenso de que não há necessidade de revolvimento do solo para incorporação do insumo. E esta prática já está estabelecida e é adotada pelos agricultores (COMISSÃO..., 1995, Pottker, 1998, Sousa, 1998, Sá, 1999). Os vários mecanismos sugeridos para explicar os efeitos da calagem superficial nas camadas subsuperficiais em SPD são apresentados no Box 5.

Box 5. Mecanismos sugeridos para explicar o efeito da calagem superficial em SPD na diminuição de Al e elevação dos teores trocáveis de Ca e Mg.

Mecanismos de ação da calagem em SPD	Referência
• Deslocamento mecânico de partículas finas de calcário pelo movimento descendente de água, através dos canais formados pelas raízes mortas e galerias abertas pela micro, meso e macrofauna do solo.	Oliveira & Pavan (1996), Sá (1999); Caires <i>et al.</i> (2000).
• Ação da fauna do solo na mistura de partículas de calcário com resíduos das culturas, os quais são transportados ao longo do perfil, formando sítios de matéria orgânica, cálcio e magnésio.	Sá (1999); Rheinheimer <i>et al.</i> (2000).
• Movimento descendente do íon bicarbonato (HCO_3^-) acompanhado de Ca^{2+} e Mg^{2+} , formando uma frente alcalinizante.	Oliveira & Pavan (1996); Amaral & Anghinoni (2001).
• Deslocamento de Ca^{2+} e Mg^{2+} para as camadas subsuperficiais acompanhando o movimento dos ânions Cl^- , SO_4^{2-} e NO_3^- , provenientes da mineralização dos resíduos orgânicos superficiais ou das aplicações de corretivos e fertilizantes.	Ritchey <i>et al.</i> (1980); Carvalho & Rajj (1997); Amaral & Anghinoni (2001).
• Formação de complexos orgânicos solúveis de baixo peso molecular pela mineralização dos resíduos das culturas depositados na superfície do solo, deslocando Ca^{2+} e Mg^{2+} pelo perfil.	Sá (1999); Franchini <i>et al.</i> (1999); Myiazawa <i>et al.</i> (2000).

Fonte: Adaptado de Oliveira *et al.* (2002).

Gessagem

Mantendo intacta a estrutura do solo na aplicação de calcário em superfície, inicialmente o efeito do corretivo ficará limitado às camadas superficiais. Existe a possibilidade de que o gesso possa compensar esse efeito melhorando o ambiente em subsuperfície, sem a necessidade de incorporação do calcário. Existem vários resultados mostrando que gessagem pode corrigir a acidez das camadas profundas e favorecer a produção das culturas (Carvalho e Rajj, 1997; Oliveira e Pavan, 1996). Para os solos de Cerrado, há alta probabilidade de resposta à gessagem quando, nas camadas subsuperficiais do solo, a saturação por Al for maior que 20% ou o teor de Ca for menor que $0,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$. A fórmula sugerida para a recomendação de gesso é: dose (kg ha^{-1}) = $5 \times \text{teor argila (g kg}^{-1})$. A aplicação pode ser feita a lanço sem incorporação, antes ou depois do calcário (Sousa, 1998).

Uso eficiente de fertilizantes

Nitrogênio

Dos principais adubos nitrogenados comercializados no Brasil, o N está presente nas formas amídica, nítrica e amoniacal, sendo todas solúveis em água. Quando aplicadas no solo, em curto período de tempo, a maior parte do N amídico ou amoniacal sofre oxidação e passa para a forma nítrica. Esses processos de transformação do N são microbianos e dependem da atividade biológica do solo e, também, do pH. A forma nítrica é predominantemente absorvida pelas plantas, mas pouco retida no solo e sujeita a grandes perdas por lixiviação. Devido à possibilidade de imobilização do N no solo pela matéria orgânica, cuja quantidade é relativamente alta no solo sob SPD, maiores quantidades de fertilizantes devem ser aplicadas para as culturas na época da semeadura para se atingir produtividades adequadas. O processo de imobilização de N ocorre pela ação de microrganismos na decomposição da MO do solo, e depende da relação C/N do material (palhada) em decomposição. Isto justifica a necessidade de N na base para a cultura de soja em palhada de alta relação C/N. A eficiência da adubação nitrogenada é aumentada por meio de diversas práticas como: emprego de formas com solubilidade controlada, parcelamento das doses recomendadas, localização adequada em relação às plantas e sementes, além da calagem.

Uma fonte de perda de N é a volatilização de amônia que pode ocorrer quando os adubos contendo o N na forma amídica são aplicados na superfície sobre a palha da cultura anterior. Estas perdas de nitrogênio na forma de amônia podem ser da ordem de 50% se a uréia for aplicada na superfície sem incorporação (Lara Cabezas *et al.*, 2000). Essas perdas são minimizadas pela incorporação da uréia a 5cm de profundidade e pelo uso de fontes amoniacais (sulfato de amônio) e nítricas (nitrato de amônio) (Ribeiro *et al.*, 1999). O cultivo de leguminosas antes da cultura principal de verão pode resultar em benefício quanto ao aproveitamento de nitrogênio. Também, para que as pastagens no Cerrado sejam mais produtivas, recomenda-se a consorciação de gramíneas forrageiras com leguminosas.

Fósforo

O fósforo é o nutriente que mais limita a produtividade na maioria dos solos do Cerrado em função dos baixos teores naturalmente presentes nesses solos. Os solos da região possuem muita caulinita e óxidos de Fe e Al, ou seja minerais de carga variável, e que possuem um alto poder de fixação do fosfato. Como consequência, a maior parte do P no solo está na forma de compostos de baixa solubilidade, não disponíveis para as plantas. Desse modo, uma opção para melhorar o aproveitamento do fosfato aplicado via fertilizantes é diminuir, antes de sua aplicação, a capacidade do solo em fixar o fosfato. A diminuição da fixação de P pode ser obtida com calagem e, pela aumento da matéria orgânica (através da cobertura permanente). A longo prazo, o método de aplicação deste nutriente não é importante, uma vez que a produção total é função do total de P aplicado. Contudo, a aplicação inicial a lanço tem-se mostrado mais eficiente, pois facilita o desenvolvimento do sistema radicular das plantas em maior volume de solo. Os fatores que afetam a disponibilidade deste nutriente no solo são as quantidades adicionadas, o tempo e o volume de contato do fertilizante com o solo, o tipo e a quantidade de minerais presentes no solo e o pH do solo (Novais & Smyth, 1999, Goedert *et al.*, 1987).

Considerando que as fontes de P (rochas fosfáticas) são recursos naturais não renováveis, é essencial utilizá-los de forma eficiente. Com a prática das adubações, os teores no solo tendem a se elevar devido ao efeito residual. Assim, as práticas essenciais no manejo da adubação fosfatada e na economia deste nutriente são: análise de solo e recomendação de doses calculadas com base na análise de solo, melhoria do volume de solo explorado pelas raízes através da calagem, e redução do contato do fosfato com o solo, seja através do uso de adubos na forma granulada, seja pela incorporação, de forma localizada, nos sulcos ou covas de plantio. Nos primeiros anos de estabelecimento do plantio direto, as fontes de fósforo devem ser preferencialmente aquelas mais solúveis em água. Posteriormente é possível utilizar fontes de menor solubilidade em água porém sua eficiência agrônômica deve ser semelhante a de fontes tradicionais como o superfosfato triplo ou superfosfato simples (FAO, 1998, Isherwood 1998, Johnston, 2000, Sousa, 1998).

Potássio

O potássio no solo pode estar presente tanto na estrutura dos minerais, em formas não trocáveis, como adsorvido pelas cargas negativas dos minerais do solo por atrações elétricas (forma trocável), ou ainda na solução do solo. Estas 3 formas estão em equilíbrio no solo, mas a velocidade da transformação de uma forma para outra é inversa à sua disponibilidade. Nos solos muito intemperizados da região do Cerrado, a forma trocável e solúvel representa o potássio disponível às plantas, ou seja é aquele que normalmente é determinado na análise química de solos. Todas as tabelas de recomendação de adubação consideram o potássio disponível. As plantas absorvem este nutriente da solução do solo na forma iônica K^+ (Vilela *et al.*, 1987).

Nos solos do Cerrado, muito intemperizados e com baixa capacidade de troca de cátions, os principais responsáveis pela geração das cargas negativas são a matéria orgânica e, em menores proporções, caulinita, óxidos de ferro e alumínio. Por isso, em geral, apresentam teores de K disponível muito baixos.

Devido às baixas reservas do nutriente nos solos do Cerrado e à grande extração pela maioria das culturas, a adubação potássica é a melhor forma de fornecer este nutriente às plantas. Os fertilizantes potássicos mais comumente utilizados estão na forma de cloreto, sulfato e nitrato, sendo que o cloreto de potássio é a fonte mais barata e mais utilizada no Brasil. Os adubos potássicos apresentam, em geral, alta solubilidade, elevando facilmente os teores de K na solução. Isso permite que este nutriente possua uma alta mobilidade no solo, o que pode resultar em pronta disponibilidade para as plantas. Porém, também pode torná-lo mais suscetível às perdas por lixiviação nos solos de baixa CTC. Estas características interferem diretamente no manejo da adubação potássica, cujos aspectos de doses e modos de aplicação (sulcos, a lanço e parcelada) devem ser considerados.

Normalmente, recomenda-se a aplicação de potássio no sulco de plantio, porém pode ser feita a lanço, anterior ao plantio. Em

solos com baixa fertilidade como os dos Cerrados, a aplicação no sulco pode ser mais viável economicamente. No entanto, a aplicação de altas doses de potássio no sulco deve ser evitada, devido ao perigo de salinização e desidratação da cultura ou às perdas por lixiviação, principalmente nesses solos com baixa capacidade de troca catiônica. A aplicação de adubos potássicos nestes solos, em quantidades superiores a 60kg por ha de K₂O, deve ser feita preferencialmente a lanço, pois estes solos possuem baixa capacidade de retenção de potássio. Para solos com CTC menor que 4mmol dm⁻³, a alternativa mais recomendada é o parcelamento da adubação potássica, aplicando-se 50% da dose no plantio e os outros 50% em cobertura. Assim, as doses elevadas devem ser reduzidas no plantio e o restante da aplicação deve ser feita em cobertura, no período de maior exigência da cultura. Porém as aplicações tardias ou em solos muito argilosos podem não ser eficientes (Raj *et al.*, 1996, FAO, 1998, Isherwood 1998, Sousa, 1998, Johnston, 2000). Com o aumento da matéria orgânica e da CTC no SPD, ocorrem menor perda por lixiviação e maior acúmulo na superfície. As eventuais perdas podem ainda ser recuperadas pelas culturas de cobertura.

A Figura 4 ilustra o aspecto de 2 experimentos em condução no Estado de Goiás, resultado da parceria entre Embrapa, IPI e UFG, com aplicações de potássio em soja cultivada em SPD cultivada na seqüência de milho e braquiária, respectivamente. Os resultados parciais (Figura 5) indicam uma tendência de resposta ao fertilizante potássico especialmente quando foi aplicado parcelado.



Fig. 4. Aspectos dos experimentos com K em SPD: soja cultivada sobre milho (A, B) em Turvelândia, e sobre braquiária (C, D), em Goiânia.

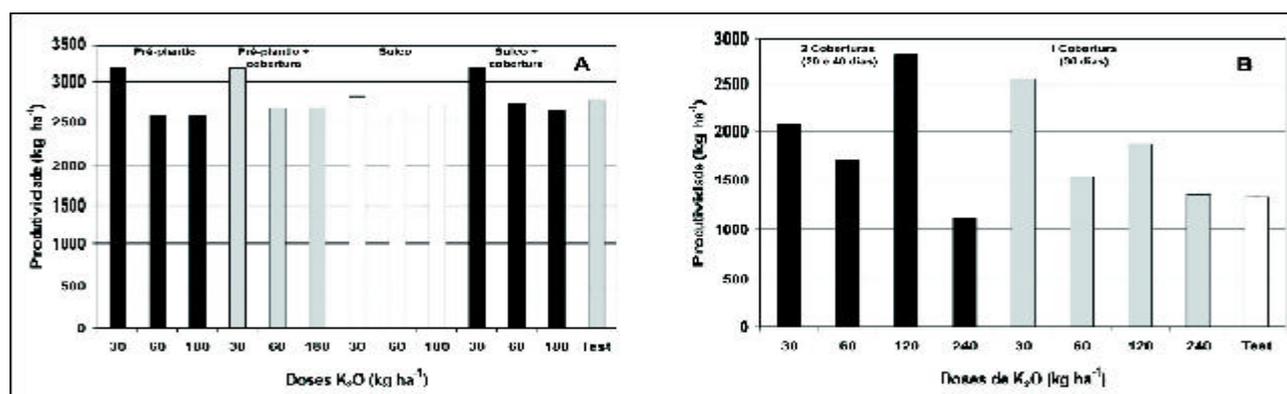


Fig. 5. Resultados de experimentos com K em soja em SPD, conduzidos em Turvelândia (A) e Goiânia (B).

Micronutrientes

Os micronutrientes desempenham papéis importantes no metabolismo vegetal, seja como constituintes de compostos ou como reguladores do funcionamento de sistemas enzimáticos. Tem-se observado um aumento da deficiência de micronutrientes no Cerrado, devido à baixa fertilidade natural desses solos, aumento de produtividade das culturas, cultivo de variedades com alto potencial de produção associado à alta demanda por micronutrientes, uso excessivo de calcário e adubos fosfatados. Os principais fatores que influenciam na disponibilidade dos micronutrientes são: textura, matéria orgânica, pH, umidade do solo, interações entre macro e micronutrientes e entre os próprios micronutrientes. As quantidades destes nutrientes requeridos pelas plantas são muito pequenas quando comparadas aos macronutrientes. Assim, as aplicações em excesso podem ser mais prejudiciais às plantas que a própria deficiência.

Existem, ainda, grandes diferenças de comportamento entre espécies vegetais, e até mesmo, entre variedades dentro das mesmas espécies, com relação às exigências de micronutrientes. Nas aplicações localizadas, as formas solúveis em água são mais prontamente disponíveis. Por outro lado, as fontes insolúveis devem ser utilizadas em área total utilizando adubos com granulometria fina. As fontes podem ser orgânicas (quelatos) ou inorgânicas (fritas – FTE, sulfatos, cloretos, ácido bórico, boratos etc.). O uso de formulações NPK com micronutrientes, além de permitirem uma melhor distribuição, também reduzem o custo da aplicação. As formas de fornecimento dos micronutrientes podem ser através da aplicação no solo (no sulco ou a lanço em área total), da adubação foliar, da fertirrigação ou pelas sementes. As aplicações via solo têm um efeito residual mais prolongado para as culturas anuais, sendo preferíveis às aplicações foliares, que serão úteis para correções de deficiências no ano da aplicação (Galvão, 1998, Lopes, 1999).

Recomendação de fertilizantes em SPD

A seguir, são apresentadas algumas recomendações de adubação enfocando o SPD no Cerrado, porém, devido à falta de resultados, algumas delas foram baseadas em recomendações de adubação para SPD utilizadas na região Sul do Brasil.

Em solos de Cerrado não se recomenda o plantio de milho nos primeiros anos de cultivo de grãos, e sim, após um mínimo de dois cultivos de soja (Ribeiro *et al.*, 1999). Especificamente para a cultura da soja não se recomenda fazer adubação nitrogenada, pois adubações nitrogenadas superiores a 20kg de N por ha podem inibir, via processo biológico, a fixação de N para as plantas. Entretanto, devido à existência de formulações de adubos prontas encontradas no comércio, o agricultor pode optar pela aquisição de uma formulação contendo N, desde que não ultrapasse a dose de 20kg de N por ha e que não represente um aumento nos custos (Hungria *et al.*, 1997).

As palhadas com alta relação C/N apresentam uma tendência de imobilização do N, isso pode induzir à deficiência do nutriente no início do período vegetativo. Para estas situações, deve-se utilizar 20kg por ha de N na cultura da soja. Quando o N aplicado é aplicado em excesso e é utilizado pela planta, e não apenas no processo de mineralização da palhada, existe o risco de crescimento vegetativo excessivo e tombamento, além de redução da produtividade.

Para o cultivo do milho, recomenda-se parcelar as adubações nitrogenadas aplicando-se de 20 a 30kg de N por ha no plantio. Em cobertura, recomenda-se parcelar em até duas vezes em solos com teor de argila superior a 150g kg⁻¹ e, em até três vezes (quatro a seis, oito e doze folhas) em solos com teor de argila menor que 150g kg⁻¹. A dose a ser utilizada em cobertura depende da expectativa de produção. Assim, aplicações médias de 100kg de N por ha poderão produzir, em média, 8 toneladas de grãos de milho por hectare (Sousa, 1998).

Antes da implementação do plantio direto, é aconselhável que os teores de fósforo no solo obtidos pelo método Mehlich 1 estejam em torno de 3, 8, 14 e 18ppm, para os solos com teores de argila de 610 a 800g kg⁻¹, 410 a 600g kg⁻¹, 210 a 400g kg⁻¹ e menos que 200g kg⁻¹, respectivamente. Se o teor de fósforo do solo estiver com os valores indicados, adubações com 60 a 80kg por ha de P₂O₅ serão suficientes para produtividades de 50 a 60 sacos por ha de soja ou 100 a 130 sacos por ha de milho (Sousa, 1998).⁵

As recomendações de adubação fosfatada e potássica para o SPD estão reunidas no Box 6. Como foi ressaltado anteriormente, estas recomendações foram baseadas na experiências obtidas nos Estados do Sul do Brasil.

A utilização de adubação corretiva de potássio em solos de Cerrado é indicada quando o teor de potássio no solo, for inferior a 50 e 30ppm, para solos com teor de argila maior que 200g kg⁻¹ e menor que 200g kg⁻¹, respectivamente. A adubação de manutenção nestes solos deve ser feita com base na expectativa de produção. Assim, para se produzir 50 sacos de soja por hectare ou 100 sacos de milho por hectare, deve-se adicionar 60kg por ha K₂O (Sousa, 1998).

A recomendação de micronutrientes para os solos dos Cerrados em SPD, baseadas em análises de solo é ainda limitada devido à existência de poucos estudos de calibração para estes nutrientes, tanto para o SPD como o SPC. Na Tabela 6, adaptada de Galvão (1998), são apresentadas as faixas de interpretação de resultados e uma recomendação de adubação com micronutrientes para solos dos Cerrados desenvolvida para o sistema convencional.

Box 6. Recomendações de adubação com P e K em SPD.

Fase	Recomendação	Observação
Adoção	Aplicações de P ₂ O ₅ e K ₂ O conforme o sistema convencional.	
Implantação	Reduzir as doses de P ₂ O ₅ e K ₂ O em 10%. Reduzir as doses de P ₂ O ₅ e K ₂ O para as quantidades exportadas pelas culturas (kg t ⁻¹ de P ₂ O ₅ e K ₂ O): Soja: 15,0 e 20; Milho: 8,2 e 6,0;	Solos que ainda não tenham atingido os níveis de suficiência e que apresentem boa formação de palhada.
Consolidação	Arroz: 5,4 e 2,9; Trigo: 8,0 e 5,3.	Solos que ainda tenham níveis de P e K maiores que 1,5 vezes o teor crítico e que apresentem estruturação física característica do SPD.

Tabela 6. Recomendação de adubação com micronutrientes para solos dos Cerrados.

Faixa de teor	Dose recomendada kg ha ⁻¹	Observações
Baixa	Boro: 2,0kg ha ⁻¹ Cobre: 2,0kg ha ⁻¹ Manganês: 6,0kg ha ⁻¹ Molibdênio: 0,4kg ha ⁻¹ Zinco: 6,0kg ha ⁻¹	Doses para aplicação a lanço. No sulco de semeadura: dividir em 3 cultivos sucessivos.
Média	Aplicar ¼ das doses anteriores	Aplicar no sulco de plantio
Alta	Não fazer aplicações	

Fonte: Adaptado de Galvão (1998).

Como no SPD, utiliza-se a rotação de culturas em que a cultura de cobertura antecede a principal de verão, tem-se a possibilidade de adubar o sistema e não somente a cultura principal. Assim, uma parte do fertilizante é aplicado em pré-plantio na cultura de cobertura, que será dessecada e, conseqüentemente estes nutrientes retornarão para a cultura principal. As vantagens deste procedimento são: diminuição da quantidade de adubos no sulco, menores perdas por lixiviação e maior desenvolvimento vegetativo das plantas de cobertura. Resultados preliminares obtidos em experimento do convênio entre Embrapa, IPI e UFG, em Turvelândia, estado de Goiás, indicaram que o milho cultivado como cobertura para a cultura do algodão, respondeu à adubação potássica até a dose de 60kg por ha de K₂O (Figura 6). A Figura 7 mostra os aspectos do milho na época que recebeu a adubação e após 40 dias, no plantio do algodão.

A cobertura verde também proporciona uma maior eficiência na ciclagem de nutrientes, aproveitando aqueles nutrientes que foram aplicados na cultura anterior. Resultados obtidos no mesmo experimento (convênio entre Embrapa, IPI e UFG), indicaram que o milho cultivado na seqüência da soja, aproveitou eficientemente os resíduos da adubação potássica realizada na cultura anterior (Figura 8). Este melhor aproveitamento ocorreu quando a adubação da cultura anterior foi feita em área total, e não localizada apenas no sulco de plantio.

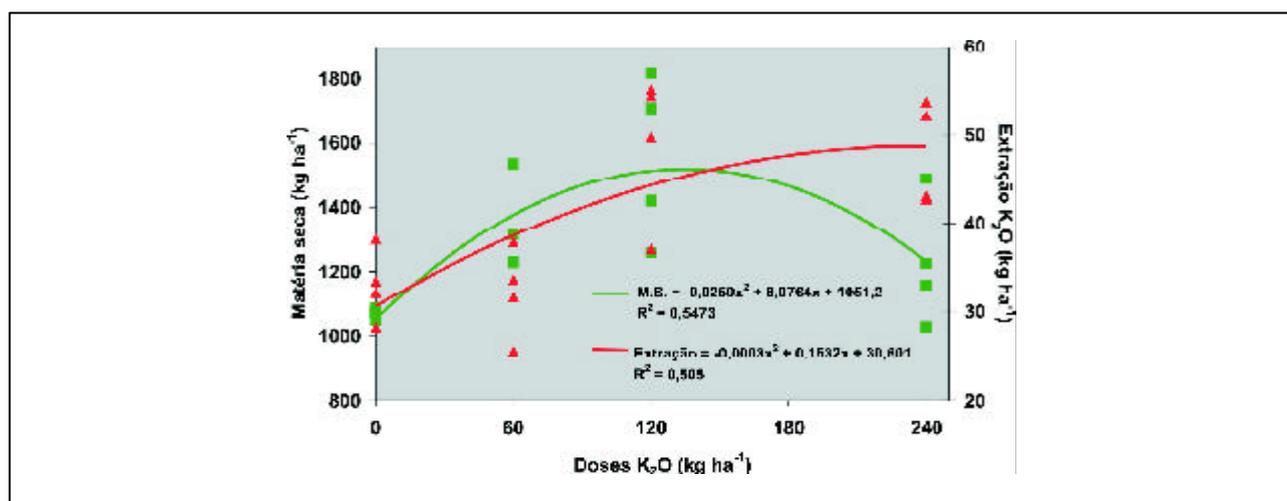


Fig. 6. Efeito da adubação antecipada de K sobre a produção de matéria seca e extração de K₂O do milho cultivado antes da semeadura do algodão em sistema de plantio-direto (Turvelândia – GO).



Fig. 7. Aspectos da cobertura de milho semeado entre as culturas da soja e algodão, antes da adubação potássica (A) e 30 dias após (B) a cobertura (Turvelândia, GO).

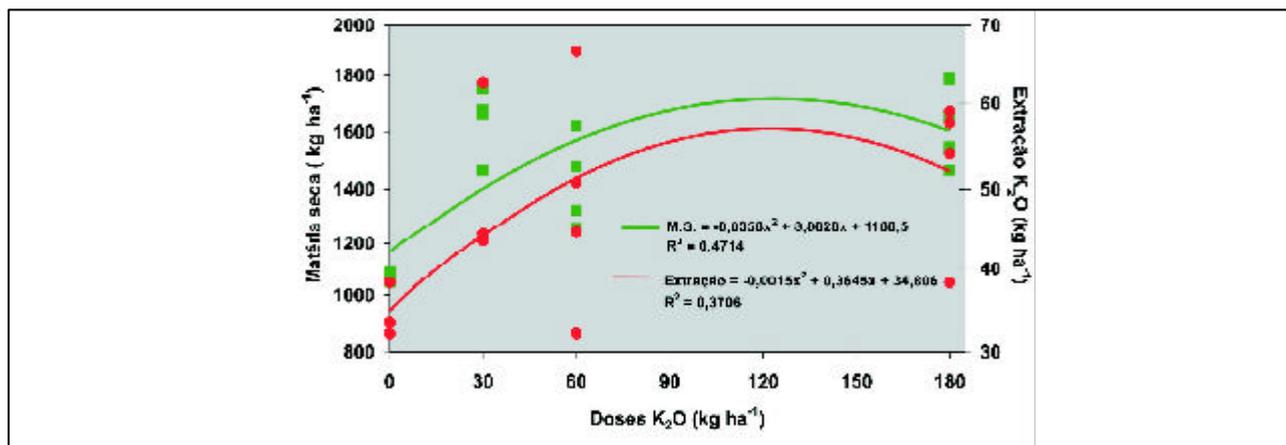


Fig. 8. Efeito residual da adubação sobre a produção de matéria seca, e extração de K₂O do milho cultivado na seqüência da soja em sistema de plantio direto (Turvelândia – GO).

Considerações Finais

O Sistema Plantio Direto é o procedimento mais adequado para o uso agrícola dos solos dos Cerrados. Contribui simultaneamente para a segurança alimentar e a implementação de benefícios ambientais, tanto em pequenas propriedades familiares como em grandes conglomerados agrosilvipastoris. O SPD, além de ser uma prática conservacionista, significa também uma mudança de comportamento e a profissionalização da agricultura rumo a um ciclo perene de prosperidade e sustentabilidade.

Já existem tecnologias adaptadas e disponíveis para a adoção imediata do SPD. A aplicação dos princípios básicos de não revolvimento do solo, rotação de culturas e manutenção da cobertura do solo promove alterações que interferem diretamente no comportamento do solo, levando a melhoria da sua fertilidade e a maior eficiência na utilização de corretivos e fertilizantes. O aumento da produtividade de alimentos, fibras e energia pode ser alcançado sem a necessidade de abertura de novas áreas, pelo o uso do SPD em áreas de lavoura ou pastagens em processo de degradação.

Os diferentes aspectos do manejo da fertilidade do solo apresentados, considerando as fases de adoção, implantação e consolidação do SPD, permitem ao produtor rural da região dos Cerrados atingir altos níveis de eficiência e de produtividade, de maneira competitiva e sustentável, com inúmeros e significativos benefícios ambientais e econômicos.

Os esforços futuros deverão ser dedicados à continuidade das pesquisas na adaptação de plantas de cobertura, rotações de culturas e recomendação de adubação (mineral e orgânica), além da ampliação da conscientização das vantagens daqueles que ainda desconhecem o SPD.

Referências Bibliográficas

- ALMEIDA, F. S.; RODRIGUES, B. N. **Guia de herbicidas** – contribuição para o uso adequado em plantio direto e convencional. Londrina: IAPAR. 1985. 482 p.
- AMARAL, A. S.; ANGHINONI, I. Alteração de parâmetros químicos do solo pela reaplicação superficial de calcário no sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, n. 4, p. 695-702, 2001.
- ANGHINONI, I.; SALET, R. L. Amostragem do solo e as recomendações de adubação e calagem no sistema de plantio direto. In: NUERNBERG, N. J. (Ed.) **Conceitos e fundamentos do sistema plantio direto**. Lages: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1998. p. 27-52.
- BLANCANEUX, P. (Ed.) **Interações ambientais no Cerrado – microbacia Piloto de Morrinhos, Estado de Goiás, Brasil**. Brasília: Embrapa - SPI; Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 1998. 338 p.
- BLANCANEUX, P. H.; FREITAS, P. L.; AMABLE, R. F.; CARVALHO, A. M. Le semis direct comme pratique de conservation des sols des cerrados du Brésil central. **Cahiers Orstom**, Série Pédologie, Paris, v. 28, n. 2: 253-275, 1993.
- CAIRES, E. F.; BANZATO, D. A.; FONSECA, A. F. Calagem na superfície em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, n.1, p.161-169, 2000.
- CARVALHO, M. C. S.; RAIJ, B. van. Calcium sulphate, phosphogypsum and calcium carbonate in the amelioration of acid subsoils for root growth. **Plant and Soil**, Holanda, v. 192, n. 1, p. 37-48, 1997.
- COMISSAO DE FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC (Passo Fundo, RS). **Recomendações de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 3.ed. Passo Fundo: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Regional Sul, 1995. 223 p.
- CORAZZA, E. J.; SILVA, J. E.; RESCK, D. V.; GOMES, A. C. Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação à vegetação de Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, p. 425-432, 1999.
- CUNHA, P. P. **Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS) para a cultura da soja, na região de Silvânia, GO**. 110 f. 2002. Dissertação – (Mestrado). Universidade Federal de Goiás - Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos.

- D' ANDRÉA, A. F.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; FERREIRA, M. M. Atributos de agregação indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo na região dos Cerrados no Sul do Estado de Goiás. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 4, p. 1047-1054, 2002.
- DERPSCH, R.; ROTH, C. M.; SIDIRAS, N.; KOPKE, V. **Controle da erosão no Paraná, Brasil: sistema de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista de solo**. Eschborn: GTZ / IAPAR, 1991. 272 p
- DERPSCH, R.; SIDIRAS, N.; HEINZMANN, F. X. Manejo do solo com coberturas verdes de inverno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.20, n. 7, p. 761-773, 1985.
- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Mapa de Solos do Brasil**. 1:5.000.000. Rio de Janeiro, RJ: SNLCS. 1981.
- FAO. **Guide to efficient plant nutrition management**. Rome: FAO. 1998. 19p.
- FEBRAPDP. Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha. 2003. <http://www.febrapdp.org.br/>. Acesso em: 8 maio 2003.
- FERREIRA, S. M. **Fatores nutricionais limitantes a cultura da soja em sistema de plantio direto, na região de Rio Verde, GO**. 98 f. 2002. Dissertação – (Mestrado). Universidade Federal de Goiás Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos.
- FRANCHINI, J. C.; MALAVOLTA, E.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A. Alterações químicas em solos ácidos após aplicação de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, n.2, p. 247-254, 1998.
- FREITAS, P. L. Harmonia com a natureza. **Agroanalysis**, Rio de Janeiro, p. 12-17, fev. 2002
- FREITAS, P. L. Aspectos físicos e biológicos do solo. In: LANDERS, J. N. (Ed.). **Fascículo de experiências de Plantio Direto no Cerrado**. Goiânia: APDC, 1994. p. 199-213.
- FREITAS, P. L.; BLANCANEUX, P.; MOREAU, M. Caractérisation structurale de sols des Cerrados Brésiliens (Savanes) sous différents modes d'utilisation agricole. **Etude et Gestion des Sols**, Paris, v. 5, n. 2, p. 93-105, 1998.
- FREITAS, P. L.; BLANCANEUX, P.; SILVA, F. C.; MOREAU, R. Análise morfoestrutural como indicador do estágio???? de degradação nos Latossolos dos Cerrados. In: : CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., 1997, Rio de Janeiro, RJ. **Resumos...** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. CD ROM
- GALRÃO, E. Z. Micronutrientes. In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIDADE SO SOLO EM PLANTIO DIRETO, Dourados, 1997. **Anais...** Dourados: EMBRAPA-CPAO, 1998. p. 76-80. (EMBRAPA-CPAO. Documentos, 22).
- GOEDERT, W. J.; SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. Fósforo. In: GOEDERT, W. J. (Ed.) **Solos dos cerrados: tecnologias e estratégias de manejo**. São Paulo: Nobel; Brasília: EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa dos Cerrados, 1987. p. 129-166.
- GRILLO, A. V.; GUIMARÃES, C. M.; MACHADO, P. L. O. A.; PORTOCARRERO, H.; MADARI, B. E. Agregados e sua relação com o estoque de carbono orgânico de um Latossolo de Cerrado, sob diferentes tipos de preparo e rotação de culturas. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS, 4, 2001, Viçosa. **Anais...** Viçosa: UFV, 2001. p. 52-55.
- HERNANI, L. C.; FREITAS, P. L.; PRUSKI, P. F.; MARIA, I. C.; CASTRO FILHO, C.; LANDERS, J. N. A erosão e seu impacto. In: MANZATTO, C. V.; FREITAS JÚNIOR, E.; PERES, J. R. R. **Uso agrícola dos solos brasileiros**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. p. 47-60.
- HUNGRIA, M.; VARGAS, M. A. T.; CAMPO, R. J.; GALERANI, P. R. **Adubação nitrogenada na soja?** Londrina, PR: Embrapa - Centro Nacional de Pesquisa de Soja, 1997. 4 p. (Embrapa. Centro Nacional de Pesquisa de Soja, Comunicado Técnico , 57)
- IBGE (Rio de Janeiro). **Atlas Nacional do Brasil**. 2.ed. Rio de Janeiro, 1992. 1 v.
- ISHERWOOD, K. F. **Fertilizer use and the environment**. Paris: IFA, UNEP, 1998. 51 p.
- JOHNSTON, A. E. **The efficient use of plant nutrients in agriculture**. Paris: IFA, 2000. 14 p.
- KER, J. C.; PEREIRA, N. R.; CARVALHO, J. R.; CARVALHO JÚNIOR, W.; CARVALHO FILHO, A. Cerrado: solos, aptidão e potencialidade agrícola. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO NO CERRADO, Goiânia, 1990. **Anais...** São Paulo: Fundação Cargill, 1992. p. 1-31.
- LANDERS, J. N. **Zero tillage development in tropical Brazil – the story of a succesful NGO activity**. Rome: FAO, 2001. 69 p. (FAO. Agricultural Services Bulletin, 147).
- LANDERS, J. L.; FREITAS, P. L. Preservação da vegetação nativa nos trópicos brasileiros por incentivos econômicos aos sistemas de integração lavoura x pecuária com plantio direto. In: SIMPÓSIO SOBRE ECONOMIA E ECOLOGIA, 2001, Belém, PA. **Anais...** Belém, 2001. p. X - XX
- LARA CABEZAS, W. A. R.; TRIVELIN, P. C. O.; KORNDORFER, G. H.; PEREIRA S. Balanço da adubação nitrogenada sólida e fluida de cobertura na cultura do milho, em sistema plantio direto no Triângulo Mineiro (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 3, p. 363-376, 2000
- LEANDRO, W. M. **Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS) para a cultura da soja, na região de Rio Verde, GO**. 135 f. 1998. Tese – (Doutorado). Universidade Federal de Goiás. Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos.
- LOPES, A. S. **Micronutrientes: filosofias de aplicação e eficiência agrônômica**. São Paulo: ANDA, 1999. 58 p. (Boletim Técnico, 8).
- MELO FILHO, G. A.; MENDES, D. S. **Estimativa de custo de produção de milho, nos sistemas plantio direto e convencional, safra 1999/2000**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 1999. 3 p. (Embrapa Agropecuária Oeste. Comunicado Técnico, 3).

- 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**, Campinas, v. 7, p. 95-102, 1983.
- MYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; FRANCHINI, J. C. Neutralização da acidez do perfil do solo por resíduos vegetais. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 92, dez. 2000. 8 p. (Encarte técnico)
- NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa - UFV, Departamento de Solos - DPS, 1999. 399 p.
- OLIVEIRA, E. L.; PAVAN, M. A. Control of soil acidity in no-tillage system for soybean production. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.38, n. 1, p. 47-57, 1996.
- OLIVEIRA, F. H. T.; NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; CANTARUTTI, R. B.; BARROS, N. F. Fertilidade do solo no sistema plantio direto. **Tópicos em Ciência do Solo**, Viçosa, v.1, p. 393-486, 2002.
- OLIVEIRA, S. A. Avaliação do balanço nutricional no sistema solo - planta pelo DRIS. In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIDADE SO SOLO EM PLANTIO DIRETO, Dourados, 1997. **Anais...** Dourados: EMBRAPA-CPAO, 1998. p. 81-87. (EMBRAPA-CPAO. Documentos, 22).
- PLATAFORMA PLANTIO DIRETO. **Introdução e histórico**. 2001. Disponível: <http://www.embrapa.br/plantiodireto/>. Acesso em: 30 maio 2003.
- PÖTTKER, D. Correção da acidez do solo no sistema de plantio direto. In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIDADE SO SOLO EM PLANTIO DIRETO, Dourados, 1997. **Anais...** Dourados: EMBRAPA-CPAO, 1998. p. 43-52. (EMBRAPA-CPAO. Documentos, 22).
- RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Boletim Técnico No. 100. 2ª edição. – Campinas, SP: IAC. 1996. 285p.
- RHEINHEIMER, D. S.; SANTOS, E. J. S.; KAMINSKI, J.; XAVIER, F. M. Aplicação superficial de calcário no sistema plantio direto consolidado em solo arenoso. **Ciência Rural**, Santa Maria, RS, v. 30, p. 263-268, 2000.
- RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Eds.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 5ª aproximação. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais. 1999. 359 p.
- RITCHEY, K. D.; SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E.; CORREA, O. Calcium leaching to increase rooting depth in a Brazilian savannah Oxisol. **Agronomy Journal**, Madison, WI, v. 72, n. 1, p. 40-44, 1980.
- SÁ, J. C. M. Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto. In: SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S.; LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G.; FAQUIN, V.; FURTINI NETO, A. E.; CARVALHO, J. G. (Eds.) **Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas**. Viçosa, MG: SBCS:UFLA/DCS, 1999. p. 267-319.
- SÁ, J. C. de M.; CERRI, C. C.; DICK, W. A.; LAL, R.; FILHO, S. P. V.; PICCOLO, M. C.; FEIGL, B. E. Organic matter dynamics and carbon sequestration rates for a tillage chronosequence in a Brazilian Oxisol. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, WI, v. 65, n. , p. 1486-1499, 2001.
- SALTON, J. C.; HERNANI, L. C.; FONTES, C. Z. **Sistema plantio direto**. O produtor pergunta, a Embrapa responde. Brasília: Embrapa - SPI; Dourados: Embrapa - CPAO, 1998. 248 p.
- SANO, E.E.; BARCELLOS, A. de O.; BEZERRA, H.S. **Área e distribuição espacial de pastagens cultivadas no cerrado brasileiro**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 1999. 21 p. (Embrapa Cerrados. Boletim de Pesquisa, 3).
- SIDIRAS, N.; PAVAN, M. A. Influência do sistema de manejo do solo no seu nível de fertilidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 9, n. 3, p. 249-254, 1985.
- SOUSA, D. M. G. Manejo da fertilidade do solo sob cerrado com ênfase em plantio direto. In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIDADE SO SOLO EM PLANTIO DIRETO, Dourados, 1997. **Anais...** Dourados, EMBRAPA-CPAO, 1998. p. 53-58. (EMBRAPA-CPAO. Documentos, 22).
- SOUZA, D. M. G.; LOBATO, E. (Ed.) **Cerrado: correção do solo e adubação**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2002. 416 p.
- SPEHAR, C. R.; SOUZA, P. I. M. **Sustainable cropping systems in the Brazilian Cerrados**. Rome: FAO Integrated Crop Management, 1996. 25 p. (FAO. Technical Series).
- VIEIRA, M. J. Embasamento técnico do sub-programa de manejo e conservação dos solo-Paraná Rural. In: PARANÁ. Secretaria da Agricultura e do Abastecimento. **Manual técnico do subprograma de manejo e conservação do solo**. 2.ed. Curitiba: IAPAR/SEAB, 1994. p. 12-40.
- VILELA, L.; SILVA, J. E.; RITCHEY, K. D.; SOUSA, D. M. G. Potássio. In: GOEDERT, W. J. (Ed.) **Solos dos Cerrados: tecnologias e estratégias de manejo**. São Paulo: Nobel; Brasília: EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa dos Cerrados, 1985. p. 203-222.
- WIETHÖLTER, S.; BEM, J. R.; KOCHHANN, R. A.; PÖTTKER, D. Fósforo e potássio no sistema plantio direto. In: NUERNBERG, N. J. (Ed.) **Conceitos e fundamentos do sistema plantio direto**. Lages: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1998. p. 27-52.