

181

Circular
TécnicaSete Lagoas, MG
Dezembro, 2012

Autores

Álvaro Vilela de Resende
Eng.-Agr., D.Sc. em Solos
e Nutrição de Plantas,
Pesquisador da Embrapa
Milho e Sorgo, Sete Lagoas,
MG,
alvaro.resende@embrapa.br

Antonio Marcos Coelho
Eng.-Agr., Ph.D em Solos
& Agricultura de Precisão,
Pesquisador da Embrapa
Milho e Sorgo, Sete Lagoas,
MG,
antoniomarcos.coelho@
embrapa.br

Flávia Cristina dos Santos
Eng.-Agr., D.Sc. em Solos
e Nutrição de Plantas,
Pesquisadora da Embrapa
Milho e Sorgo, Sete Lagoas,
MG,
flavia.santos@embrapa.br

**Julian Junio de Jesus
Lacerda**
Doutorando, PPGCS/
UFLA, Lavras, MG,
julianlacerda@gmail.com

Fertilidade do Solo e Manejo da Adubação NPK para Alta Produtividade de Milho no Brasil Central

A produtividade de milho nas lavouras do Brasil vem crescendo consideravelmente na última década, em função dos avanços tecnológicos disponibilizados para a condução da cultura e melhoria do nível de informação e da capacidade gerencial dos agricultores. Tem se tornado frequente o relato de produtividades de grãos acima de 12 t/ha, obtidas nas principais regiões agrícolas do País, em diferentes sistemas de produção.

O cenário comum aos talhões de alta produtividade envolve, além do uso de sementes híbridas de grande potencial de produção e da disponibilidade hídrica favorável, o esmero com que as práticas de manejo geral da cultura são executadas. Assim, cuidados desde o tratamento de sementes e qualidade na operação de semeadura para um estande uniforme até o controle de plantas invasoras, pragas e doenças nos momentos apropriados vão compor os ganhos de rendimento na colheita. Não menos importante é o manejo do solo, normalmente em sistema plantio direto, no qual busca-se realizar adubações bem dimensionadas e equilibradas quanto aos diversos macro e micronutrientes requeridos pelo milho (Figuras 1 e 2).



Figura 1. Aspecto visual de uma lavoura de alta produtividade de milho. A permanência das folhas baixas ainda verdes até estádios avançados do ciclo é um bom indicativo do vigor nutricional da cultura. (Foto: Álvaro Resende)



Figura 2. Visões do dossel de uma lavoura com a mesma cultivar na fase de florescimento, exibindo maior vigor e coloração verde intensa em condições de adubação satisfatória (esquerda) em contraste com o menor vigor e aspecto amarelecido sob adubação NPK insuficiente (direita). (Fotos: Álvaro Resende)

A fertilidade do solo não pode ser limitante quando se trabalha com investimento pesado nos demais fatores de produção. O custo associado aos sistemas de alta produtividade de grãos é sempre elevado, composto majoritariamente pelos gastos com fertilizantes. Desse modo, ganhos de eficiência na adubação podem representar um aumento substancial de receita, tanto maior quanto mais extensa a área da lavoura. Mesmo diante desse efeito de escala, muitos agricultores tecnificados ainda não dão a devida importância ao correto ajuste das adubações, existindo situações em que um melhor planejamento e correções simples significariam incrementos de produtividade ou economia de fertilizantes, resultando em maior eficiência e competitividade.

Nesta publicação é apresentada uma estratégia de manejo da fertilidade do solo e dimensionamento da adubação NPK visando à obtenção de alta produtividade de grãos de milho nas condições do Brasil central. O primeiro passo consiste no estabelecimento de um ambiente de fertilidade construída que garanta um bom potencial de produção. A partir daí, nos critérios para a definição das quantidades de nutrientes a serem fornecidos a cada safra é preciso levar em

conta a extração e exportação desses nutrientes para uma dada produtividade. Essas informações devem então ser confrontadas com o histórico de cultivos na área e com dados de monitoramento da oscilação de disponibilidade dos nutrientes e do potencial de sua ciclagem naquele ambiente ao longo dos anos. Com base nessa abordagem, é possível aferir a dinâmica dos fatores nutricionais nos talhões e refinar o seu manejo, corrigindo de maneira ágil as tendências de deficiências e excessos de nutrientes, o que torna o sistema de produção mais eficiente.

Construção de um ambiente de alto potencial produtivo

Os solos brasileiros, notadamente na região do Cerrado, caracterizam-se pela baixa fertilidade natural, com deficiência generalizada de nutrientes e elevada acidez. As explorações agrícolas mais bem sucedidas se dão após considerável investimento em corretivos e fertilizantes para o condicionamento do perfil de exploração radicular, tornando-o propício ao desenvolvimento vigoroso das plantas e ao aproveitamento da água e nutrientes disponíveis em maior profundidade no solo. É a chamada construção da fertilidade. Na Tabela 1, são

apresentados valores de referência na análise de solo, a serem alcançados e mantidos quando se busca um ambiente de alto potencial produtivo de grãos. Valores acima dos limites considerados adequados (Tabela 1) passam a ser interpretados como altos (SOUSA; LOBATO, 2004a) e indicam oportunidades para um melhor planejamento da adubação ou uso mais racional de fertilizantes.

procedimentos antes de se iniciar no sistema plantio direto, pois, após isso, a ausência de preparo do solo tende a criar um gradiente de fertilidade, com concentração dos nutrientes no estrato mais superficial do perfil (0-10 cm de profundidade). Esse cuidado é particularmente importante no caso da calagem em solos argilosos que, quando realizada em superfície,

Tabela 1. Valores adequados para atributos da fertilidade do solo, na camada de 0 a 20 cm de profundidade, visando à manutenção de um ambiente de alto potencial produtivo para a cultura do milho.

Teor de argila	Atributos associados à fertilidade do solo ¹											
	Mat. orgânica	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Mn	Zn	V	
g/kg ¹	g/kg ¹ mg/dm ³ cmol _c /dm ³ mg/dm ³								
≤ 150	11 a 15	25 a 40	40									
160 a 350	21 a 30	20 a 30	80	2,5 a 7,0	0,5 a 2,0	9	0,5	0,8	5	3	50 a 60	
360 a 600	31 a 45	12 a 18										
> 600	36 a 52	6 a 9										

Fonte: Adaptado de Sousa & Lobato (2004a).

¹ Matéria orgânica = teor de C multiplicado por 1,724. Teores de P e K determinados com o extrator Mehlich 1. Para converter o teor de K em cmol_c/dm³, multiplica-se o valor em mg/dm³ por 0,00256. Teor de S determinado por extração com Ca(H₂PO₄)₂ e interpretação considerando a média dos valores obtidos em amostras coletadas nas profundidades de 0 a 20 cm e 20 a 40 cm. Teor de B determinado por extração com água quente e teores de Cu, Mn e Zn determinados usando o extrator Mehlich 1, com interpretação considerando o pH (água) do solo próximo de 6,0. V = saturação por bases.

As práticas para a construção da fertilidade englobam a realização de análises de solo nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, utilização de calcário e gesso (quando pertinente) e adubações corretivas com fósforo (P), potássio (K) e micronutrientes. Essas práticas são relativamente bem definidas e disseminadas, com critérios disponíveis em publicações de referência, como as de Ribeiro et al. (1999) e Sousa e Lobato (2004a). Assim sendo, as recomendações agrônomicas com diferentes alternativas de manejo para construção da fertilidade do solo não serão aqui detalhadas.

O ideal é que calagem, gessagem e adubações corretivas sejam realizadas quando da abertura das áreas de cultivo, visto que a incorporação e mistura dos respectivos insumos ao solo, com operações de aração e gradagens, originarão um ambiente mais fértil, espesso e homogêneo para o aprofundamento e a exploração radiculares. Assim, é recomendável que se efetuem esses

sem incorporação, tem seus efeitos restritos aos primeiros centímetros. A persistência de uma zona de acidez e baixa disponibilidade de nutrientes abaixo de 10 cm limitará a expansão do sistema radicular e tornará a lavoura mais vulnerável, acentuando as perdas de produtividade em decorrência de estresses como os veranicos.

O sistema plantio direto exerce papel fundamental na qualidade física, química e biológica do solo, sendo, portanto, o componente que confere estabilidade aos ambientes de alto potencial produtivo. O plantio direto bem conduzido reduz drasticamente as perdas de solo e água, proporciona aporte de material orgânico diversificado, alterna sistemas radiculares com diferentes arquiteturas e profundidades, previne variações extremas de umidade e temperatura do solo, mantém o solo biologicamente mais ativo, promove uma ciclagem de nutrientes mais efetiva e leva à maior eficiência de aproveitamento

dos fertilizantes. Por tudo isso, o sistema plantio direto torna o ambiente de cultivo mais tamponado e resiliente, minimizando inclusive os problemas advindos de manejo inadequado das lavouras. Para tanto, um preceito básico desse sistema precisa ser buscado: a rotação de culturas.

A combinação mais comum no Brasil central é a alternância soja/milho, em sucessão ou rotação (Figura 3). Apesar da reduzida diversidade, essa simples alternância de espécies traz importantes benefícios ao sistema de produção de grãos, notadamente o aporte de nitrogênio dos resíduos da soja para o milho e a produção de palhada mais resistente à decomposição pelo milho, resultando em aumento da produtividade de ambas as culturas. Todavia, as áreas que vêm proporcionando colheitas acima de 12 t/ha de grãos de milho, em geral, são manejadas com combinações um pouco mais complexas de culturas e plantas de cobertura. Tem se tornado mais comum a inclusão do feijoeiro, do sorgo, da braquiária, do milheto e da crotalaria, dentre outras espécies, para compor o sistema de produção. Além dos efeitos já relatados e inerentes ao sistema plantio direto, a adoção dessas novas opções pelos agricultores vem ganhando força como um meio de quebrar o ciclo de pragas e doenças das culturas principais, aspecto relevante para a manutenção dos altos tetos de produtividade ao longo do tempo sem a necessidade de uso crescente de defensivos.

Enfim, a adubação de safras para produtividades de milho acima de 8 t/ha pressupõe a existência prévia de um razoável estoque de nutrientes no ambiente de cultivo (solo + palhada), ou seja, um solo de fertilidade já construída associado a uma ciclagem dinâmica decorrente do sistema plantio direto. Deve-se atentar então para a conservação e o equilíbrio deste estoque, mediante a reposição das saídas de nutrientes.

Aspectos a observar no dimensionamento das adubações de manutenção para o milho de alta produtividade

O foco desta publicação é indicar critérios para definir a adubação de manutenção de lavouras de milho com produtividade acima de 8 t/ha de grãos, aplicando-se, portanto, aos sistemas que envolvem, basicamente, o seu cultivo na safra de verão. As alternativas de adubação para o milho de segunda safra (safrinha), que geralmente apresenta produtividades mais baixas, incluem outras abordagens que não serão tratadas aqui.

O primeiro aspecto a compreender no dimensionamento das quantidades de fertilizantes para as safras de milho em solos de fertilidade construída é a noção de que se está lidando com a adubação de um sistema de culturas e não de uma estação de cultivo de forma isolada. A fertilização que se deve aplicar depende dos créditos de nutrientes remanescentes de safras anteriores no solo e nas palhadas e certamente irá influenciar o saldo de nutrientes no sistema após a colheita do milho. Assim, a adubação de manutenção do milho deve fazer parte de um programa de reposição que considera o estoque e a ciclagem de nutrientes naquele sistema de culturas, permite suprimento suficiente ao desenvolvimento e à produtividade do milho na safra em andamento e realimenta o estoque do sistema, garantindo a base de fertilidade para o estabelecimento da cultura subsequente. Nessa estratégia, as entradas e saídas de nutrientes do ambiente de produção devem ser equilibradas para estabilizar as lavouras numa condição de alto desempenho produtivo ao longo do tempo.

Para funcionar bem, a adubação do sistema depende de um conhecimento organizado sobre o histórico de cultivos e produtividades anteriores e deve ser dinâmica, com constante monitoramento do solo, aferição das

produtividades alcançadas e, caso necessário, ajustes e reorientações no manejo de nutrientes/fertilizantes com maior frequência.

de N, P e K pela cultura, expressos em kg de N, P_2O_5 e K_2O por tonelada de grãos. Ressalta-se a considerável variação na magnitude desses



Figura 3. Sistema de produção de grãos típico do Brasil central: soja e milho em safras alternadas. As fotografias superiores exibem padrões de palhadas após o cultivo de soja, menos espessas e de decomposição mais rápida, em contraste com as palhadas após o cultivo de milho nas fotografias inferiores, com mais biomassa e maior persistência no solo. (Fotos: Álvaro Resende)

A lógica para se definir as doses de nutrientes na adubação de manutenção baseia-se nas seguintes informações: 1) determinação da quantidade de nutrientes exigida para uma dada expectativa de produtividade; 2) estimativa dos créditos de nutrientes no sistema (solo + palhada) e sua disponibilização para a safra vindoura; e 3) eficiência de aproveitamento dos fertilizantes a serem aplicados.

A exigência ou demanda de nutrientes pelo milho pode ser estipulada a partir do conhecimento das taxas de extração pelas plantas e de exportação com a colheita dos grãos. Nas Tabelas 2 e 3, são compilados valores de extração e exportação

dados conforme a fonte de consulta considerada. Essa variação tem implicações práticas importantes, pois, ao se adotar um valor maior ou menor para efeito de cálculo da demanda de um nutriente, a correspondente quantidade requerida de fertilizante pode mudar significativamente.

Outra questão a ser enfatizada é que nos trabalhos publicados mais recentemente há uma tendência de decréscimo nos valores de exportação de nutrientes em relação às referências mais antigas, especialmente no caso do potássio (Tabela 3). A consequência disso é que, em se tratando de altas produtividades, a ideia de adubar em quantidades suficientes

para restituir apenas o que for exportado nas colheitas de grãos pode acabar levando a uma redução nos estoques disponíveis no sistema, visto que grandes quantidades de nutrientes ficarão temporariamente imobilizadas na palhada do milho, a qual tem taxa de decomposição mais lenta do que a palhada da soja (WENDLING et al., 2008), por exemplo.

De acordo com Fancelli e Tsumanuma (2007), o potássio exportado nos grãos corresponde a apenas 19% do total acumulado na parte aérea do milho, enquanto para nitrogênio e fósforo

essa proporção alcança cerca de 82% e 79%, respectivamente. Diante dessa situação, é mais seguro se trabalhar a adubação de manutenção de potássio garantindo uma margem além da quantidade exportada, sobretudo quando a análise de solo apresenta resultado de disponibilidade do nutriente muito próximo do limite considerado adequado a um ambiente de alto potencial produtivo (Tabela 1). Essa margem de segurança acima da exportação deve ser usada também para o manejo do nitrogênio. Ou seja, em função do elevado acúmulo nas

Tabela 2. Indicativos de quantidades de nutrientes extraídas pela cultura do milho para cada tonelada de grãos produzida.

Extração			Observações	Referência
N	P ₂ O ₅	K ₂ O		
.....kg/t grãos.....				
20,9	9,8	25,9	Com base em estudo com produtividade de 9,1 t/ha de grãos.	Bull (1993)
17,2 a 21,4	5,6 a 9,6	17,3 a 27,4	Com base em estudos com produtividades variando de 3,7 a 10,2 t/ha.	Coelho & França (1995)
28,0	11,5	21,6	Valores de referência para o estado de São Paulo.	Cantarella et al. (1996)
25 a 35	11,5 a 16,0	21,6 a 42,0	Faixas de valores levantados na literatura brasileira.	Sousa & Lobato (2004a)
20,0	6,9	20,4	Valores médios para o Brasil.	Fancelli & Tsumanuma (2007)
27,3	10,1	21,3	Com base em estudos para produtividade de 9,45 t/ha, na região das planícies centrais dos EUA.	Leikam (2008)
24,3	10,0	23,9	MÉDIA GERAL	

Tabela 3. Indicativos de quantidades de nutrientes exportadas pela cultura do milho para cada tonelada de grãos colhida.

Exportação			Observações	Referência
N	P ₂ O ₅	K ₂ O		
..... kg/t grãos.....				
14,2	7,8	5,2	Produtividade relatada foi de 9,1 t/ha de grãos.	Bull (1993)
12,9 a 16,0	4,8 a 8,2	4,3 a 6,8	Com base em estudos com produtividades variando de 3,7 a 10,2 t/ha.	Coelho & França (1995)
17,0	9,2	6,0	Valores de referência para o estado de São Paulo.	Cantarella et al. (1996)
17 a 23	9,2 a 13,7	4,8 a 8,4	Faixas de valores levantados na literatura brasileira.	Sousa & Lobato (2004a)
15,0	5,5	8,4	Valores médios para o Brasil.	Fancelli & Tsumanuma (2007)
16,0	6,5	4,7	Com base em estudos para produtividade de 9,45 t/ha, na região das planícies centrais dos EUA.	Leikam (2008)
-	6,2	3,8	Valores médios de 679 amostras analisadas na Embrapa Soja, Londrina-PR.	Oliveira Junior et al. (2010)
15,7	7,1	4,4	Valores médios em trabalhos brasileiros publicados a partir de 1995. Número de fontes de consulta foi de 27, 9 e 10 para N, P e K, respectivamente.	*Levantamento dos autores a partir de diversos trabalhos brasileiros.
16,1	7,5	5,6	MÉDIA GERAL	

plantas de milho para produtividades acima de 10 t/ha, na adubação de manutenção com N e K, deve-se definir, como demanda da cultura, quantidades intermediárias entre o que seria a extração e a exportação desses nutrientes. O dimensionamento de adubação estrito em repor apenas a exportação pode, em curto espaço de tempo, criar um déficit desses nutrientes no sistema, afetando toda a sequência de culturas posteriores.

Lógica diferente direciona o manejo do fósforo, para o qual o solo constitui um grande reservatório com elevado grau de tamponamento, e a absorção vegetal ocorre em muito menor intensidade do que a observada para nitrogênio e potássio. Em outras palavras, o solo resiste muito mais ao esgotamento das reservas e, ao mesmo tempo, a planta apresenta menor extração de P, comparativamente ao N e ao K. Em solos de fertilidade construída, mesmo com adubações constantes, é de se esperar maior oscilação nos estoques desses últimos. Face ao exposto, a adubação de manutenção com P pode ser mais estritamente vinculada à reposição do que for exportado nas colheitas.

Sugestões de adubação de manutenção para o milho de alta produtividade

De acordo com o raciocínio mencionado no item anterior e valores médios da Tabela 3, foram determinadas as indicações de quantidades de N, P_2O_5 e K_2O a serem fornecidas para produtividades crescentes de milho em solos de fertilidade construída (Tabela 4), considerando que estes se enquadram na caracterização de atributos de fertilidade descritos na Tabela 1.

Nas condições médias de solos do Brasil central cultivados sob sistema plantio direto, pode-se esperar que pelo menos 100 kg/ha de N sejam disponibilizados pelo solo (+ palhada) durante o ciclo do milho. Partindo desse pressuposto, as doses totais de nitrogênio da Tabela 4 foram estipuladas mediante estimativa de demanda em torno de 20% acima da quantidade exportada do nutriente (Tabela 3), descontando-se os 100 kg a serem supridos pelo solo. O resultado dessa diferença é então multiplicado por um fator de correção que considera uma eficiência média de recuperação do fertilizante nitrogenado pelo milho de 63% (CANTARELLA, 2007).

Tabela 4. Recomendações de adubação de plantio e de cobertura para o milho cultivado em ambiente com fertilidade construída para alto potencial produtivo em plantio direto.

Produtividade esperada	Plantio			Cobertura	
	N	P_2O_5	K_2O	N	K_2O
t/ha	kg/ha				
8	30	80	50	60	30
10	40	100	50	110	60
12	40	120	50	170	90
14	40	140	50	230	120

As quantidades de N assim sugeridas garantem uma boa margem de segurança para o fornecimento do nutriente em quantidade condizente com a demanda do milho em níveis crescentes de produtividade esperada. É comum, entretanto, constatar lavouras que expressam os mesmos patamares de produtividade com doses de nitrogênio abaixo das indicadas na Tabela 4. Essa possibilidade nem sempre é previsível, sendo governada pela combinação de diversos fatores a cada safra, tais como: 1) quantidade e qualidade da matéria orgânica do solo; 2) textura do solo; 3) tipo e quantidade de palhada; 4) sequência de espécies nos cultivos anteriores; 5) taxas de atividade biológica e de ciclagem de N no sistema; 6) distribuição de chuvas ao longo do ciclo do milho; e 7) condições que favorecem as perdas ou o aproveitamento pelo milho do N aplicado em cobertura, ou seja, a própria eficiência da adubação nitrogenada.

Nesse contexto, é recomendável que se busque conhecer os fatores preponderantes que influenciam a resposta do milho ao fornecimento de N numa determinada lavoura. Dispondo de maior grau de detalhamento ao monitorar o ambiente de produção, é possível avançar rumo a um manejo mais otimizado. Refinamentos no dimensionamento da adubação nitrogenada podem ser efetuados a partir de adaptação das proposições de Sousa e Lobato (2004a), incluindo informações peculiares às condições locais, como segue:

N fertilizante (kg/ha) = [N exportado, em kg/ha, para uma dada produtividade x 1,2] – [N solo] x f ;

em que:

[N solo] em kg/ha = [(N mineralizado da matéria orgânica, MOS) + (N da decomposição das palhadas)]

[N solo] em kg/ha = [(%MOS x 30) + (0,11 x n^o sc/ha de soja colhida três safras atrás) + (0,1 x n^o sc/ha de milho duas safras atrás) + (0,45 x n^o sc/ha de soja na última safra)]

f = 1,59 (fator de eficiência média dos fertilizantes nitrogenados = 63%)

Um exemplo hipotético de cálculo para expectativa de produtividade de 12 t/ha de grãos, considerando uma exportação de 16,1 kg de N para cada tonelada de grãos colhida:

N fertilizante = [N exportado x 1,2] – [N solo] x f ;

N fertilizante = [193 x 1,2] – [(2,5 %MOS x 30) + (0,11 x 50 sc/ha de soja colhida três safras atrás) + (0,1 x 180 sc/ha de milho duas safras atrás) + (0,45 x 61 sc/ha de soja na última safra)] x 1,59

N fertilizante = (232 – 126) x 1,59

N fertilizante = 169 kg/ha (dose total de N a ser fornecida no plantio + cobertura)

A dose total de nitrogênio deve fornecida parceladamente, em aplicações no sulco de semeadura e em uma ou duas coberturas entre os estádios V3 e V7 (plantas com 3 e 7 folhas completamente expandidas). Atualmente há uma tendência de se aplicar um pouco mais de N na semeadura, até 40 ou 50 kg/ha, com o objetivo de garantir um bom aporte do nutriente para o arranque do milho e atender com folga a sua demanda até o estágio apropriado para a realização da adubação de cobertura. O milho responde à cobertura nitrogenada nos estádios seguintes ao V7, mas em lavouras de alto investimento tecnológico é comum as plantas no estágio V8 já apresentarem porte bastante alto, o que dificulta ou inviabiliza a entrada de máquinas para realização da cobertura sem danos à cultura, especialmente quando se trabalha com espaçamento reduzido entre linhas.

Na adubação fosfatada do milho (Tabela 4) para solos com teores de P adequados (Tabela 1), considera-se que é possível preservar o potencial produtivo do sistema realizando adubações de manutenção para repor a exportação e adotando um fator de eficiência do fertilizante fosfatado de 75%.

Esse fator de eficiência vincula-se à ideia de que no sistema plantio direto, a rotação de culturas e a conservação da matéria orgânica influenciam os estoques e padrões de ciclagem de P no solo de modo a melhorar o seu aproveitamento pelas culturas. O aproveitamento dos fertilizantes fosfatados não é elevado num primeiro cultivo após a adubação, mas ao longo do tempo com cultivos sucessivos a recuperação pelas plantas pode chegar a mais de 80% do que foi aplicado inicialmente (SOUSA; LOBATO, 2004a,b).

Desse modo, em lavouras sob sistema plantio direto bem conduzido, é de se esperar que não haja “perda ou indisponibilização definitiva” de fósforo em grandes proporções. Parte do nutriente adicionado via fertilizante a cada safra permanece em formas de maior ou menor labilidade, contribuindo para o tamponamento do ambiente de produção e favorecendo o processo de ciclagem. Com base nesses pressupostos, a adubação de manutenção indicada na Tabela 4 deve ser suficiente para promover nutrição e desenvolvimento vigorosos do milho na safra corrente, repor as quantidades exportadas na colheita dos grãos e manter os estoques necessários para uma ciclagem eficiente, resguardando o potencial produtivo do talhão.

No manejo do potássio, a adubação de manutenção sugerida (Tabela 4) visa prevenir alterações bruscas de produtividade, tendo em vista que, mesmo num solo com fertilidade construída (Tabela 1), pode haver rápida depleção do teor de K disponível durante a fase vegetativa do milho. Assim, optou-se por estimar a demanda de K_2O em 60% acima da quantidade exportada (Tabela 3) e considerar um fator de eficiência do fertilizante potássico de 80%.

Para altas produtividades, a necessidade de K na adubação do milho aumenta linearmente e as aplicações no sulco de semeadura não

comportam integralmente as correspondentes quantidades de fertilizante potássico, sob risco de provocar problemas de germinação das sementes em decorrência do efeito salino do cloreto de potássio (SANGOI et al., 2009). A presente recomendação de se limitar a adubação potássica no sulco de semeadura a 50 kg/ha de K_2O (Tabela 4) visa minimizar o risco de comprometimento do estande, componente de grande relevância no desempenho de lavouras de alta produtividade. O restante do potássio deve ser fornecido em cobertura juntamente com o nitrogênio, de preferência até o estágio V6. Em solos de textura argilosa, existe a opção de essa parcela da adubação potássica ser distribuída a lanço em pré-semeadura.

Ajuste fino da adubação de manutenção em solos de fertilidade construída

Conceitualmente, o nível crítico de um nutriente consiste do teor disponível no solo acima do qual é baixa a probabilidade de resposta ao seu fornecimento na adubação. Trabalhos em condução pela Embrapa Milho e Sorgo/Rede FertBrasil em solos de fertilidade construída dão indicativos de que os níveis críticos de P e K para o sistema soja/milho não são significativamente alterados em função dos maiores rendimentos de grãos obtidos em ambientes de alto potencial produtivo (dados não publicados). Essa informação confirma que a exportação passa a ser o fator determinante do balanço entre entradas e saídas desses nutrientes no sistema, pois não é necessário elevar ainda mais a sua disponibilidade no solo como garantia de altas produtividades.

A literatura aponta que o nível crítico de um nutriente corresponde ao limite superior da faixa de disponibilidade considerada “média” na interpretação da análise do solo (ALVAREZ

V. et al., 1999; WENDLING et al., 2008). Por conseguinte, o nível crítico enquadra-se imediatamente abaixo da próxima faixa de interpretação, que é tida como “boa ou adequada” e caracteriza os solos de fertilidade construída (Tabela 1). Em condições de lavouras mais tecnificadas, é frequente se obterem resultados de análise de solo com teores de P e K muito acima do nível crítico e até superando largamente os valores de disponibilidade considerados “muito bons” (ALVAREZ V. et al., 1999) ou “altos” (SOUSA; LOBATO, 2004a). Nessas condições, é provável que o agricultor esteja praticando adubações desnecessárias ou mesmo excessivas, o que significa uma oportunidade para se reorientar o manejo, com ganhos de eficiência e redução de custo.

Wendling et al. (2008), ao estudarem a resposta das culturas de trigo, milho e soja ao potássio em Latossolos e Argissolos do Paraguai, determinaram um nível crítico de 75 mg/dm^3 , não muito diferente do valor crítico indicado para Minas Gerais (ALVAREZ V. et al., 1999), que é de 70 mg/dm^3 . Aqueles autores consideraram a premissa de que duas vezes o nível crítico, 150 mg/dm^3 , corresponde ao limite superior da faixa de disponibilidade interpretada como “alta” e, acima deste valor, a interpretação seria “muito alta”. Como recomendação de manejo, foi sugerido que para a faixa de disponibilidade entre 75 e 150 mg/dm^3 seja realizada a adubação de manutenção, com reposição do que for exportado mais uma margem extra de 25% para cobrir eventuais perdas do sistema. Acima de 150 mg/dm^3 abre-se a possibilidade de adubar apenas para repor a exportação ou mesmo reduzir temporariamente essa dosagem, havendo também mais flexibilidade quanto ao modo e à época de aplicação do nutriente.

O relato acima ilustra bem como é possível, a partir de informações regionalizadas ou locais,

aprimorar a tomada de decisão quanto ao dimensionamento das adubações. O raciocínio lógico é que quanto mais os teores de P e K nos solos de fertilidade construída se aproximam do nível crítico, numa tendência de esgotamento das reservas, mais a dosagem da adubação de manutenção deverá pender para suprir a quantidade do nutriente extraída pelo milho (Tabela 2), a fim de preservar e aumentar gradativamente a fertilidade do solo. Por outro lado, se a interpretação da análise de solo mostrar tendência de teores “muito altos”, a adubação de manutenção deverá ser ajustada para repor apenas a quantidade do nutriente exportada pelo milho (Tabela 3).

A obtenção de informações locais sobre extração e exportação de nutrientes em sistemas de produção, condições de cultivo e cultivares específicas, associada ao monitoramento mais frequente do status de fertilidade do solo e do desempenho produtivo das lavouras, certamente abre novas possibilidades de otimização do manejo da adubação. Essa perspectiva exige um maior nível gerencial nas propriedades agrícolas, mas já se sabe que esse deverá ser o caminho trilhado pelo agricultor para manter elevados tetos de produtividade assegurando a rentabilidade do seu negócio.

Agradecimentos

À Fapemig, pelo apoio financeiro às pesquisas sobre manejo da adubação para produção de grãos em solos de fertilidade construída.

Referências

ALVAREZ V., V. H.; NOVAES, R. F.; BARROS, N. F.; CANTARUTTI, R. B.; LOPES, A. S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Ed.). **Recomendação para**

o uso de corretivos e fertilizantes em Minas

Gerais: 5ª aproximação. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 25-32.

BULL, L. T. Nutrição mineral do milho. In: BULL, L. T.; CANTARELLA, H. (Ed.). **Cultura do milho:** fatores que afetam a produtividade. Piracicaba: Potafos, 1993. p. 63-145.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). **Fertilidade do solo.** Viçosa: SBCS, 2007. p. 375-470.

CANTARELLA, H.; RAIJ, B. van; CAMARGO, C. E. O. Cereais. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo.** 2. ed. Campinas: IAC, 1996. p. 43-71 (Boletim Técnico, 100).

COELHO, A. M.; FRANÇA, G. E. Seja o doutor do seu milho: nutrição e adubação. **Informações Agronômicas,** Piracicaba, n. 71, p. 1-9, 1995. (Arquivo do Agrônomo, 2).

FANCELLI, A. L.; TSUMANUMA, G. M. Nitrogênio e enxofre nas culturas de milho e feijão. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S.; VITTI, G. C. (Ed.). **Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira.** Piracicaba: IPNI Brasil, 2007. p. 445-486. Trabalho apresentado no Simpósio sobre Nitrogênio e Enxofre na Agricultura Brasileira, Piracicaba, 2006.

LEIKAM, D. Soil sampling, soil testing, and fertility program development. In: STEWART, W. M.; GORDON, W. B. (Ed.). **Fertilizing for irrigated corn: guide to best management practices.** Norcross: IPNI, 2008. p. 1-7.

OLIVEIRA JÚNIOR, A.; CASTRO, C.; KLEPKER, D.; OLIVEIRA, F. A. Soja. In: PROCHNOW, L. I.; CASARIN, W.; STIPP, S. R. (Ed.). **Boas práticas para o uso eficiente de fertilizantes:** culturas. Piracicaba: IPNI Brasil, 2010. v. 3, p. 1-38.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais:** 5ª aproximação. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. 359 p.

SANGOI, L.; ERNANI, P. R.; BIANCHET, P.; VARGAS, V. P.; PICOLI, G. J. Efeito de doses de cloreto de potássio sobre a germinação e o crescimento inicial do milho, em solos com texturas contrastantes. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo,** Sete Lagoas, v. 8, n. 2, p. 187-197, 2009.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado:** correção do solo e adubação. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2004a. 416 p.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. Adubação fosfatada em solos da região do Cerrado. In: SIMPOSIO SOBRE FOSFORO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 2003, São Pedro, SP. **Fósforo na agricultura brasileira:** anais. Piracicaba: Potafos, 2004b. p. 157-200. Editado por Tsuioshi Yamada e Sílvia Regina Stipp e Aballa.

WENDLING, A.; ELTZ, F. L. F.; CUBILLA, M. M.; AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J. Recomendação de adubação potássica para trigo, milho e soja sob sistema plantio direto no Paraguai. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** Viçosa, v. 32, p. 1929-1939, 2008.

Circular Técnica, 181

Exemplares desta edição podem ser adquiridos na:
Embrapa Milho e Sorgo
Endereço: Rod. MG 424 km 45 Caixa Postal 151
CEP 35701-970 Sete Lagoas, MG
Fone: (31) 3027 1100
Fax: (31) 3027 1188
E-mail: cnpms.sac@embrapa.br
1ª edição
1ª impressão (2012): on line

Ministério da
Agricultura, Pecuária
e Abastecimento

**Comitê de publicações**

Presidente: Presidente: Sidney Netto Parentoni.
Secretário-Executivo: *Elena Charlotte Landau.*
Membros: Flávia Cristina dos Santos, Flávio Dessaune Tardin, Eliane Aparecida Gomes, Paulo Afonso Viana, Guilherme Ferreira Viana e Rosângela Lacerda de Castro.

Expediente

Revisão de texto: *Antonio Claudio da Silva Barros.*
Normalização bibliográfica: *Rosângela Lacerda de Castro.*
Tratamento das ilustrações: *Tânia Mara A. Barbosa.*
Editoração eletrônica: *Tânia Mara A. Barbosa.*