

Nutrição e Adubação do Milho

Introdução

Nos últimos anos, a cultura do milho no Brasil, vem passando por importantes mudanças tecnológica, resultando em aumentos significativos da produtividade e produção. Entre essas tecnologias destaca-se a conscientização dos produtores da necessidade da melhoria na qualidade dos solos, visando uma produção sustentada. Essa melhoria na qualidade dos solos está geralmente relacionada ao manejo adequado, o qual inclui entre outras práticas, a rotação de culturas, plantio direto, manejo da fertilidade através da calagem, gessagem e adubação equilibrada com macro e micronutrientes, utilizando fertilizantes químicos e/ou orgânicos (esterços, compostos, adubação verde, etc.).

Para que o objetivo do manejo racional da fertilidade do solo seja atingido é imprescindível a utilização de uma série de instrumentos de diagnose de possíveis problemas nutricionais que, uma vez corrigidos, aumentarão as probabilidades de sucesso na agricultura.

Assim, o agricultor ao planejar a adubação do milho deve levar em consideração os seguintes aspectos: a) diagnose adequada dos problemas – análise de solo e histórico de calagem e adubação das glebas; b) quais nutrientes devem ser considerados neste particular caso? (muitos solos tem adequado suprimento de Ca, Mg, etc.); c) quantidades de N, P e K necessários na sementeira ? - determinado pela análise de solo e removido pela cultura; d) qual a fonte, quantidade e, quando aplicar N ? (baseado na produtividade desejada); e) quais nutrientes podem ter problemas neste solo ? (lixiviação de nitrogênio em solos arenosos, ou são necessários em grandes quantidades).

Exigências Nutricionais

Dados médios de experimentos conduzidos na Embrapa Milho e Sorgo, em Sete Lagoas- MG, dão uma idéia da extração de nutrientes pelo milho, cultivado para produção de grãos e silagem (Tabela 1). Observa-se que a extração de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio aumenta linearmente com o aumento na produtividade, e que a maior exigência do milho refere-se a nitrogênio e potássio, seguindo-se cálcio, magnésio e fósforo.

Com relação aos micronutrientes, as quantidades requeridas pelas plantas de milho são muito pequenas. Para uma produtividade de 9 t de grãos/ha, são extraídos: 2.100 g de ferro, 340 g de manganês, 400 g de zinco, 170 g de boro, 110 g de cobre e, 9 g de molibdênio. Entretanto, a deficiência de um deles pode ter tanto efeito na desorganização de processos metabólicos e redução na produtividade, como a

78

**Circular
Técnica**

Sete Lagoas, MG
Dezembro, 2006

Autores

Antônio Marcos Coelho
Ph.D em Solos e Nutrição de
Plantas Embrapa Milho e
Sorgo Cx. Postal 151, Sete
Lagoas, MG.
correio eletrônico:
amcoelho@cnpms.embrapa.br

deficiência de um macronutriente como, por exemplo, o nitrogênio.

Tabela 1. Extração média de nutrientes pela cultura do milho destinada à produção de grãos e silagem em diferentes níveis de produtividades.

Tipo de exploração	Produtividade t/ha	Nutrientes extraídos ^{II}				
		N	P	K	Ca	Mg
Grãos	3,65	77	9	83	10	10
	5,80	100	19	95	17	17
	7,87	167	33	113	27	25
	9,17	187	34	143	30	28
	10,15	217	42	157	32	33
Silagem (matéria seca)	11,60	115	15	69	35	26
	15,31	181	21	213	41	28
	17,13	230	23	271	52	31
	18,65	231	26	259	58	32

^{II} Para converter P em P₂O₅; K em K₂O; Ca em CaO e Mg em MgO, multiplicar por 2,29; 1,20; 1,39 e 1,66; respectivamente. Fonte: Coelho & França (1995).

Em milho, os nutrientes têm diferentes taxas de translocação entre os tecidos (colmos, folhas e grãos). No que se refere à exportação dos nutrientes, o fósforo é quase todo translocado para os grãos (77 a 86 %), seguindo-se o nitrogênio (70 a 77 %), o enxofre (60 %), o magnésio (47 a 69 %), o potássio (26 a 43 %) e o cálcio (3 a 7 %). Isso implica que a incorporação dos restos culturais do milho devolve ao solo grande parte dos nutrientes, principalmente potássio e cálcio, contidos na palhada. Quando o milho é colhido para silagem, além dos grãos, a parte vegetativa também é removida, havendo conseqüentemente alta extração e exportação de nutrientes (Tabela 1). Assim, problemas de fertilidade do solo se manifestarão mais cedo na produção de silagem do que na produção de grãos. Na figura 1 são apresentadas a reciclagem (restituição) e exportação de nutrientes por milho destinado à produção de grãos e forragem.

De acordo com os dados apresentados na Figura 1, para alcançar produção de 9,20 t de grãos ha⁻¹, a cultura do milho absorveu um total de 185 kg/ha de N, dos quais 138 kg/ha (75 %), foram exportados nos grãos e 47 kg/ha encontravam-se na palhada; 132 kg/ha de K, dos quais apenas 42 kg/ha (32 %) foram exportados nos grãos e 90 kg ha⁻¹ de K (68 %) encontravam - se na palhada (Figura 1). Pode-se afirmar, portanto, que a manutenção dos restos culturais na área, devolve ao solo grande quantidade de

K, caracterizando a cultura do milho destinada a produção de grãos como uma “bomba” recicladora de K, com uma reciclagem de 12 kg de K por tonelada de palha. O milho destinado à produção de forragem tem recomendações especiais porque todo material é cortado e removido do campo antes que a cultura complete o seu ciclo. Com isso, a remoção de nutrientes é muito maior quando comparada com a cultura destinada à produção de grãos (Figura 1). Essas informações tem implicações na recomendação de adubação tanto para o milho como para as outras culturas semeadas em rotação ou em sucessão a este cereal. Assim, ao se planejar a adubação para cultura do milho é importante considerar, além dos resultados das análises de solo, a extração dos nutrientes pela cultura, a finalidade de exploração (grãos ou forragem) e a estimativa do potencial de produtividade a ser alcançado.

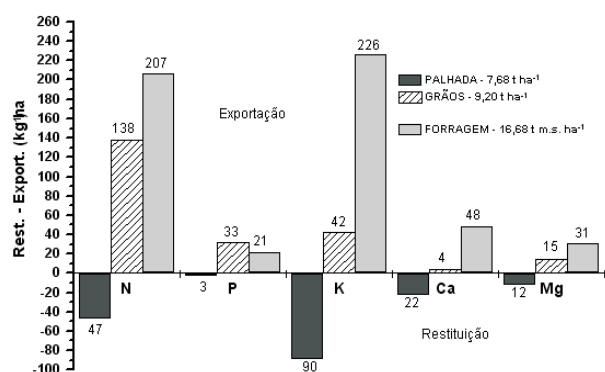


Figura 1. Reciclagem (restituição) e exportação de nutrientes pelo milho destinado a produção de grãos e forragem. Fonte: Coelho (2005).

Acidez do solo, Toxidez de Alumínio e Necessidade de Calagem

As recomendações de calagem objetivam corrigir a acidez do solo e tornar insolúvel o alumínio, o que, aliadas a outras práticas de manejo da fertilidade, têm a função de elevar a capacidade produtiva dos solos. As quantidades de corretivos da acidez do solo são determinadas por diferentes metodologias e visam o

retorno econômico das culturas a médio prazo (4 a 5 anos). Como a calagem é uma prática que envolve sistemas de rotação e sucessão de culturas, na sua recomendação, deve-se priorizar a cultura mais sensível à acidez do solo.

Entre as espécies cultivadas, o milho é classificado como sendo de tolerância mediana as condições de acidez e toxidez de alumínio. Solos com saturação de alumínio da CTC efetiva (valor m) maior do que 20 %, causam limitações no rendimento do milho. Entretanto, deve-se acrescentar que isto é dependente da ocorrência de déficit hídrico, teores de matéria orgânica e fósforo no solo e híbrido de milho.

Redução na produtividade de híbridos de milho, variando de 7 % a 47 %, em função do aumento da saturação de alumínio no solo, foi verificado por Prado (2001), em experimento conduzido em Uberaba, MG, em um Latossolo Vermelho, textura muito argilosa, com 4 anos de plantio direto (Tabela 2).

Tabela 2. Produtividade média de grãos de híbridos de milho em solo com dois níveis de saturação de alumínio da CTC efetiva, na profundidade de 0 a 20 cm.

Híbridos	Produtividade de grãos (t ha ⁻¹)		Redução ^{II} (%)
	Sat. Al ³⁺ = 5 %	Sat. Al ³⁺ = 23 %	
P 3071	7,97	4,21	47,18
Z 8474	7,28	4,39	39,70
Exceller	6,49	4,14	36,21
BR 3123	5,81	5,31	8,60
C 333	5,47	5,52	0,00
AG 122	5,36	5,00	6,71
DINA 652	5,34	4,17	21,90
Média	6,25	4,67	25,28
CV (%)	8,70	12,10	

^{II}Redução na produtividade de grãos em função do aumento na saturação de alumínio. Fonte: modificada de Prado (2001).

Esses resultados evidenciam que embora existam materiais genéticos mais tolerantes às condições de acidez, a correção desta acidez é muito importante ao adequado desenvolvimento do milho. Assim, altas produtividades de milho, tem sido possíveis em solos que apresentam perfil de fertilidade no primeiros 40 cm, sem problemas de saturação de alumínio da CTC efetiva maior do que 20 %. Saturação de bases de 50 a 60 %.

No Brasil existe o conceito generalizado para o uso em sua maioria de calcários dolomítico e magnesiano

visando manter no solo uma relação cálcio/magnésio de 3:1 a 5:1. Entretanto, para a cultura do milho, experimentos realizados por Coelho & Vasconcelos (1996), demonstraram que esta relação pode ser mais ampla (Ca/Mg = 12/1), sem prejuízo da produção desde que o teor de magnésio no solo esteja acima de 0,5 cmol /dm³ de solo. Coelho & Vasconcelos (1996), não obtiveram respostas do milho e ao magnésio em experimentos realizados em um Latossolo Vermelho, com teor inicial de 0,5 cmol de Mg/dm³ de solo e que havia recebido doses de até 6 t/ha de um calcário calcítico (CaO = 54% e MgO = 0,27%).

Acumulação de Nutrientes e Manejo da Adubação

Definida a necessidade de aplicação de fertilizantes para a cultura do milho, o passo seguinte, e de grande importância no manejo da adubação, visando a máxima eficiência, é o conhecimento da absorção e acumulação de nutrientes nas diferentes fases de desenvolvimento da planta, identificando as épocas em que os elementos são exigidos em maiores quantidades. Esta informação, associada ao potencial de perdas por lixiviação de nutrientes nos diferentes tipos de solos, são fatores importantes a considerar na aplicação parcelada de fertilizantes, principalmente nitrogenados e potássicos.

O milho apresenta períodos diferentes de intensa absorção, com o primeiro ocorrendo durante a fase de desenvolvimento vegetativo, V12 a V18 folhas, quando o número potencial de grãos está sendo definido; e, o segundo, durante a fase reprodutiva ou formação da espiga, quando o potencial produtivo é atingido (Figura 2). Isto enfatiza que para altas produções, mínimas condições de estresses devem ocorrer durante todos os estádios de desenvolvimento da planta.

A absorção de potássio apresenta um padrão diferente em relação ao nitrogênio e ao fósforo (Figura 2), com a máxima absorção ocorrendo no período de desenvolvimento vegetativo, com elevada taxa de acúmulo nos primeiros 30 a 40 dias de desenvolvimento, com taxa de absorção superior ao de

nitrogênio e fósforo, sugerindo maior necessidade de potássio na fase inicial como um elemento de ‘arranque’. Para o nitrogênio e o fósforo, o milho apresenta dois períodos de máxima absorção durante as fases de desenvolvimento vegetativo e reprodutivo ou formação da espiga, e menores taxas de absorção no período compreendido entre a emissão do pendão e o início da formação da espiga (Figura 2).

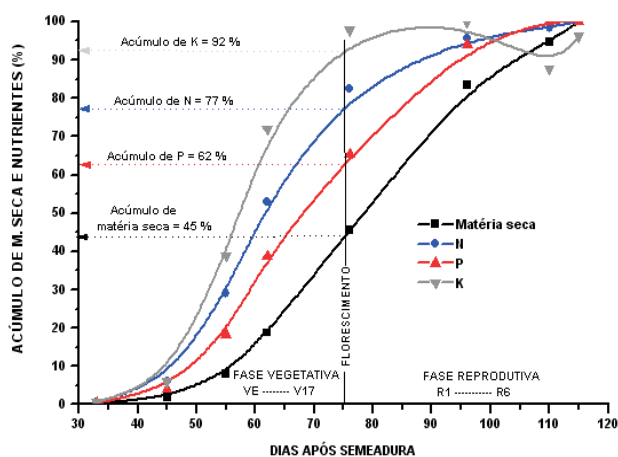


Figura 2. Acúmulo de matéria seca, nitrogênio, fósforo e potássio na parte aérea de plantas de milho. Fonte: modificada de Karlen et al. (1987).

Nitrogênio

O milho é uma cultura que remove grandes quantidades de nitrogênio e usualmente requer o uso de adubação nitrogenada em cobertura para complementar a quantidade suprida pelo solo, quando se deseja produtividades elevadas. Resultados de experimentos conduzidos no Brasil, sob diversas condições de solo, clima e sistemas de cultivo, mostram resposta generalizada do milho à adubação nitrogenada. Em geral, 70 a 90 % dos ensaios de adubação com milho realizados a campo no Brasil, apresentaram respostas à aplicação de nitrogênio.

Avaliação da necessidade de adubação nitrogenada

Do ponto de vista econômico e ambiental a dose de N a aplicar é para muitos, a mais importante decisão no manejo do fertilizante. A crescente adoção do sistema

de plantio direto no Brasil e a necessidade de utilizar culturas de cobertura e rotação de culturas, visando a sustentabilidade desse sistema, são aspectos que devem ser considerados na otimização da adubação nitrogenada.

As recomendações atuais para a adubação nitrogenada em cobertura são realizadas com base em curvas de resposta, histórico da área e produtividade esperada. A recomendação da adubação nitrogenada em cobertura para a cultura do milho de sequeiro, de modo geral, varia de 60 a 100 kg de N/ha. Em agricultura irrigada, onde prevalece o uso de alta tecnologia, para a obtenção de elevadas produtividades esta recomendação seria insuficiente. Nestas condições, doses de nitrogênio variando de 120 a 160 kg/ha podem ser necessárias para obtenção de elevadas produtividades (Tabela 1).

Na tomada de decisão sobre a necessidade de adubação nitrogenada alguns fatores devem ser considerados, tais como: condições edafo-climáticas, sistema de cultivo (plantio direto e convencional), época de semeadura (época normal e safrinha), responsividade do material genético, rotação de culturas, época e modo de aplicação, fontes de nitrogênio, aspectos econômicos e operacional. Isso enfatiza a regra de que as recomendações de nitrogênio devem ser cada vez mais específicas e não generalizadas.

Dentre as informações requeridas para otimizar essa recomendação, incluem-se: a) a estimativa do potencial de mineralização do N do solo; b) a quantidade de N mineralizado ou imobilizado pela cultura de cobertura; c) o requerimento do N pela cultura, para atingir um rendimento projetado; d) a expectativa da eficiência de recuperação do N disponível das diferentes fontes (solo, resíduo de cultura, fertilizante mineral). A Figura 3 ilustra a complexidade envolvida, por exemplo, para recomendação de N para a cultura do milho, baseando-se em informações obtidas em solo sob cerrado.

Como critério para recomendação a serem avaliados, em condições específicas, parece-nos adequado considerar a técnica da estimativa das necessidades de

nitrogênio ilustrada na Figura 3, onde temos que:

$$N_f = (N_y - N_s) / E_f$$

Sendo que:

N_f = corresponde a quantidade de nitrogênio requerida pela planta;

N_y = representa a quantidade de nitrogênio que pode ser acumulada na matéria seca da parte aérea da planta (palhada + grãos), para uma determinada produção de grãos (valores variam de 0,7 % de N na palhada a 1,4 % de N nos grãos);

N_s = representa o nitrogênio suprido pelo solo (20 kg de N para cada 1 % de matéria orgânica do solo ou, valores que variam de 60 a 80 kg de N/ha por cultivo);

E_f = é o fator de eficiência ou aproveitamento do fertilizante pela planta (calculado em função do aumento do conteúdo de nitrogênio da parte aérea por unidade de fertilizante aplicado. Valores variam de 0,5 a 0,7).

Figura 3. Parâmetros envolvidos na estimativa da necessidade de aplicação de fertilizante nitrogenado para a cultura do milho. Fonte: modificada de Coelho et al. (1992).

Por exemplo, utilizando-se desses conceitos, podemos calcular a necessidade de nitrogênio para uma cultura do milho, para uma produtividade estimada de 7,10 t/ha, em uma área cuja cultura anterior era o milho, conforme ilustrado na Tabela 3.

Parcelamento e época de aplicação

No Brasil, existe o conceito generalizado entre técnicos e produtores de que aumentando-se o número de parcelamento da adubação nitrogenada aumenta-se a eficiência do uso do nitrogênio e reduzem-se as perdas, principalmente por lixiviação. Como consequência, e devido às facilidades que os sistemas de irrigação oferecem para aplicação de fertilizantes via água, é comum o parcelamento do fertilizante nitrogenado em quatro ou até seis ou oito vezes durante o ciclo da cultura.

Entretanto, experimentos conduzidos no Brasil, evidenciaram que a aplicação parcelada de nitrogênio em duas, três ou mais vezes para a cultura do milho, com doses variando de 60 a 120 kg/ha, em solos de textura média e argilosa, não refletiram em maiores produtividades em relação a uma única aplicação na fase inicial de maior exigência da cultura, ou seja, 30 a 35 dias após a semeadura. É importante salientar que as informações apresentadas anteriormente foram obtidas em solos de textura argilosa a média, com teores de argila variando de 30 a 60 %, não sendo, portanto, válidas para solos arenosos (80 a 90 % de areia), cujo manejo do nitrogênio irá necessariamente requerer cuidados especiais.

Tabela 3. Estimativa da necessidade de adubação nitrogenada para a cultura milho.

Necessidade da cultura para produzir:	
Grãos, 7,10 t ha ⁻¹ x 1,4 % de N	100
kg	
Palhada, 7,00 t ha ⁻¹ x 0,7 % de N	49
kg	
Total	149
Fornecimento pelo solo:	
20 kg de N por 1 % de M.O. (solo com 3 % de M.O.)	60
kg	
Resíduo de cultura, 30 % de N da palhada	15
kg	
N aplicado na semeadura	10
kg	
Total	85 kg
Necessidade de adubação ^{1/2} :	
$N_f = (149 - 85) / 0,60^*$	110 kg
*fator de eficiência do N = 60 %	

^{1/2} Para os plantios em sucessão e/ou em rotação com a cultura da soja, reduzir 20 kg de N/ha, da recomendação de adubação em cobertura.

Para as condições do Brasil, de acordo com as informações disponíveis, em geral, deve-se usar maior número de parcelamento sob as condições: a) altas doses de nitrogênio (120 a 200 kg/ha), b) solos de textura arenosa e c) áreas sujeitas a chuvas de alta intensidade. Uma única aplicação deve ser feita sob as seguintes condições: a) doses baixas ou médias de nitrogênio (60 a 120kg/ha), b) solos de textura média e/ou argilosa e c) plantio intensivo, sem o uso de irrigação, em que a distribuição do fertilizante é feita mecanicamente. Como exemplo, o esquema de parcelamento do nitrogênio para a cultura do milho, em função da textura do solo, é apresentada na Tabela 4.

A alternativa de aplicar todo o N a lanço ou em sulcos, na pré – semeadura do milho, tem despertado grande interesse porque apresenta algumas vantagens

operacionais, como maior flexibilidade no período de execução da adubação, racionalização do uso de máquinas e mão-de-obra. Entretanto, devido à extrema complexidade da dinâmica do nitrogênio no solo, a qual é fortemente influenciada pelas variáveis ambientais, os resultados de experimentos de campo não são consistentes o bastante para que se possa generalizar a recomendação dessa prática. Por outro lado, a aplicação de N em cobertura quase sempre assegura incrementos significativos no rendimento de milho, independente de a precipitação pluvial ser normal ou excessiva, principalmente no período inicial de desenvolvimento da cultura.

Tabela 4. Sugestões para aplicações parceladas de nitrogênio em cobertura na cultura do milho.

Classe textural do solo	Doses de nitrogênio (kg/ha)	Número de folhas totalmente emergidas			
		3 a 4	6 a 7	8 a 10	10 a 12
Argilosa (36 a 60% de argila)	60 a 120 ¹		100 %	-	-
	> 120	50 %	50 %	2	2
Média (15 a 35% de argila)	60 a 120		100 %	-	-
	> 120	50 %	50 %	2	2
Arenosa (< 15% de argila)	60 a 120		50 %	-	-
	> 120	40 %	60 %	2	2

¹Se as plantas apresentarem sintomas de deficiência, pode-se fazer aplicação suplementar de nitrogênio, em período anterior ao indicado. ²Em milho irrigado por aspersão, a aplicação de nitrogênio via água, possibilita maior flexibilidade no número de parcelamento. Aplicar na semeadura 30 kg de N/ha. Fonte: modificada de Coelho et al. (1991).

Fósforo

Embora as exigências do milho em fósforo sejam em quantidades bem menores do que as em nitrogênio e as em potássio (Tabela 1), as doses normalmente recomendadas são altas, em função da baixa eficiência (20 a 30 %) de aproveitamento desse nutriente pela cultura. Isto decorre da alta capacidade de fixação do fósforo adicionado ao solo através de mecanismos de adsorção e precipitação, reduzindo sua disponibilidade às plantas. Outro fator que deve ser levado em conta é a demanda de fósforo pela cultura. Plantas de intenso desenvolvimento, de ciclo curto como o milho, requerem maior nível de fósforo em solução e reposição mais rápida do P-adsorvido que as plantas de culturas perenes.

A análise do solo se mostra útil para discriminar respostas do milho à adubação fosfatada. A interpretação da análise de solo e a recomendação da

adubação fosfatada, para milho grão, com base no rendimento esperado, são apresentadas nas Tabelas 5 e 6. Essas doses devem ser aplicadas no sulco de semeadura e serem ajustadas para cada situação, levando-se em conta, além dos resultados da análise de solo, o potencial de produção da cultura na região e o nível de tecnologia utilizada pelos agricultores.

Tabela 5. Interpretação das classes de disponibilidade de fósforo no solo de acordo com o teor de argila e, disponibilidades de potássio.

	Classes de P disponível no solo ¹		
	Baixa	Média ²	Adequada
	(mg dm ⁻³) ³		
Argila %	P disponível		
60-100	= 5,4	5,5 – 8,0	> 8,0
35-60	= 8,0	8,1 – 12,0	> 12,0
15-35	= 12,0	12,1 – 20,0	> 20,0
0-15	= 20,0	20,1 – 30,0	> 30,0
	Classes de K disponível no solo ⁴		
	Baixa	Média	Adequada
	< 75	76 – 100	> 100

¹Método Mehlich1. ²O limite superior desta classe indica o nível crítico. ³mg dm⁻³ = ppm (m/v) classes de K de acordo com Coelho (2005). Fonte: modificada de Alvares et al. (1999).

Tabela 6. Recomendação de adubação para milho destinado à produção de grãos com base nos resultados das análises de solo e na produtividade esperada.

Produtividade Cobertura	Dose de N	Disponibilidade de P			Disponibilidade de K			Doses de N
		Baixa	Média	Adequada	Baixa	Média	Adequada	
		Dose de P ₂ O ₅			Dose de K ₂ O			
	t/ha	kg/ha						
4 – 6	10 – 30	80	60	30	50	40	20	60
6 – 8	10 – 30	100	80	50	70	60	40	100
> 8	10 – 30	120	100	100	90	80	60	140

Fonte: Alves et al. (1999).

Quando o solo apresentar teores de fósforo acima do nível crítico (Tabela 5), ou seja, valor acima do qual não se espera resposta do milho a esse nutriente, a manutenção desse valor é feita pela reposição anual da quantidade removida no produto colhido. Para o milho, considera-se que para cada tonelada de grãos produzida são exportados 10 kg de P₂O₅. Esse mesmo valor pode ser considerado quando se cultiva o milho para produção de silagem, visto que, como mostrado na Tabela 1, a exportação de fósforo, quando se cultiva o milho para esta finalidade, é semelhante àquela para a

produção de grãos, onde encontra-se mais de 80 % do fósforo absorvido pela cultura.

Potássio

Depois do nitrogênio, o potássio é o elemento absorvido em maiores quantidades pelo milho, sendo que apenas, em média, 30 % são exportados nos grãos. Até pouco tempo, as respostas ao potássio em ensaios de campo com o milho, eram em geral, menos freqüentes e mais modestas que aquelas observadas para fósforo e nitrogênio, devido principalmente aos baixos níveis de produtividades obtidas.

Assim, nos últimos anos tem-se verificado reversão desse quadro devido aos seguintes aspectos: uso de híbridos de milho de alto potencial produtivo, como a introdução de germoplasmas de clima temperado de porte baixo, de ciclo precoce e maior índice de colheita, permitindo o uso de maior densidade de semeadura; redução do espaçamento e aumento da população de plantas por área para a maioria dos novos híbridos, com maior demanda de nutrientes; sistema de produção utilizado pelo agricultores como rotação e/ou sucessão soja-milho, uma leguminosa altamente exigente e exportadora de K; uso freqüente de formulações de fertilizantes com baixo teores de K; conscientização dos agricultores da necessidade de recuperação da fertilidade dos solos através do uso de corretivos e fertilizantes, principalmente N; aumento do uso do milho como planta forrageira, altamente exigente e exportadora de K – estima-se que atualmente 1 milhão de hectares são cultivados com milho para produção de forragem; ampliação da área irrigada com o uso intensivo do solo e maiores potenciais de produtividade das culturas.

A exemplo do fósforo, a análise do solo tem se mostrado útil para discriminar respostas do milho à adubação potássica. Aumentos de produção em função da aplicação de potássio tem sido observadas para solos com teores muito baixos e com doses de até 120 kg de K₂O/ha. Nos solos do Brasil Central, a quantidade de potássio disponível é normalmente baixo e a adubação com esse elemento produz resultados

significativos. Aumentos de produção de 100% com adição de 120 a 150 kg de K₂O/ha, são comuns nesses solos. A interpretação da análise de solo e a recomendação da adubação potássica, para milho grão, com base no rendimento esperado, são apresentada nas Tabela 5 e 6. As quantidades de potássio recomendadas para o milho destinado a produção de forragem, em função do teor do nutriente no solo, são apresentadas na Tabela 7.

Tabela 7. Recomendação de adubação para milho destinado a produção de forragem com base nos resultados das análises de solo e na produtividade esperada.

Doses de Produtividade Cobertura matéria verde	Dose de N Plantio	Disponibilidade de P			Disponibilidade de K			N
		Baixa	Média	Adequada	Baixa	Média	Adequada	
		----- Dose de P ₂ O ₅ -----			----- Dose de K ₂ O ^{1/2} -----			
t/ha		-----kg/ha-----						
30 – 40	10 – 30	80	60	30	100	80	40	80
40 - 50	10 – 30	100	80	50	140	120	80	130
> 50	10 – 30	120	100	100	180	160	120	180

^{1/2} Em solos com teores de K muito baixos ou para doses de cobertura = 80 kg de K₂O/ha, é aconselhável transferir a adubação potássica de cobertura para a fase de pré - semeadura, a lanço.

Fonte: Alves et al. (1999).

Na adubação potássica de manutenção para a cultura do milho, em solos em que os teores de potássio “disponível”, sejam iguais ou maiores do que o limite superior da classe média (Tabela 5), pode-se utilizar o conceito da aplicação da dose de acordo com a quantidade removida no produto colhido. Assim, para produtividades inferiores a 6,0 t de grãos/ha, tem-se uma exportação média ao redor de 4 kg de K₂O por tonelada de grãos e para produtividades acima de 8,0 t de grãos/ha de 6 kg de K₂O por tonelada de grãos. Quando o milho for destinado à produção de forragem, a extração média é de aproximadamente 13 kg de K₂O por tonelada de matéria seca produzida.

Parcelamento e época de aplicação

Conforme discutido anteriormente no tópico referente à acumulação de nutrientes e manejo da adubação, a absorção mais intensa de potássio pelo milho ocorre nos estádios iniciais de crescimento (Figura 2). Quando a planta acumula 50 % de matéria seca (60 a 70 dias),

cerca de 90 % da sua necessidade total de potássio já foi absorvida. Assim, normalmente recomenda-se aplicar o fertilizante no sulco por ocasião da semeadura do milho. Isso é mais importante para solos deficientes, em que a aplicação localizada permite manter maior concentração do nutriente próximo das raízes, favorecendo maior desenvolvimento inicial das plantas.

Entretanto, em anos com ocorrência de déficit hídrico após a semeadura, a aplicação de dose alta de potássio no sulco, pode prejudicar a germinação das sementes. Assim, quando o solo for arenoso ou a recomendação exceder 60 kg/ha de K_2O , deve-se aplicar metade da dose no plantio e a outra metade junto com a cobertura nitrogenada. Entretanto, ao contrário do nitrogênio, em que é possível maior flexibilidade na época de aplicação, sem prejuízos na produção, o potássio deve ser aplicado no máximo até 30 dias após o plantio.

Enxofre

A extração de enxofre pela planta de milho é pequena e varia de 15 a 30 kg/ha, para produções de grãos em torno de 5 a 7 t/ha. Em anos passados, o cultivo do milho em solos ricos em matéria orgânica, o uso de fórmulas de fertilizantes menos concentradas contendo enxofre e os baixos níveis de produtividade contribuíram para minimizar problemas de deficiência desse nutriente. Atualmente, com o uso mais intensivo dos solos e de fórmulas de adubos concentrados, sem enxofre, as respostas a esse elemento tendem a aumentar.

O teor de enxofre no solo na forma de sulfato tem sido usado para prever respostas ao elemento. Assim, em solos com teores de enxofre inferiores a 10 ppm (extração com fosfato de cálcio) o milho apresenta grande probabilidade de resposta a esse nutriente. Neste caso, recomenda-se a aplicação de 30 kg de S/ha.

As necessidades de enxofre para o milho são geralmente supridas via fornecimento de fertilizantes carregados de macronutrientes primários e também

portadores de enxofre. O sulfato de amônio (24 % de enxofre), o superfosfato simples (12 % de enxofre) e o gesso agrícola (15 a 18 % de enxofre), são as fontes mais comuns desse nutriente.

Micronutrientes

A necessidade de alcançar elevados patamares de produtividade tem levado a uma crescente preocupação com a adubação com micronutrientes. A sensibilidade a deficiência de micronutrientes varia conforme a espécie de planta. O milho tem alta sensibilidade a deficiência de zinco, média a de cobre, ferro e manganês e baixa a de boro e molibdênio.

No Brasil, o zinco é o micronutriente mais limitante à produção do milho, sendo a sua deficiência muito comum na região central do país, onde predominam os solos sob vegetação de cerrado. Nesta condição, a quase totalidade das pesquisas realizadas mostram resposta do milho à adubação com zinco, o mesmo não ocorrendo com os outros nutrientes. As recomendações de adubação com zinco para o milho no Brasil variam de 2 kg de Zn/ha para solos com Zn (Mehlich1) de 0,6 a 1,0 mg/dm³ a 4 kg de Zn/ha para solos com Zn (Mehlich1) menor que 0,6 mg/dm³. Quando a deficiência ocorre com a cultura em desenvolvimento, a correção pode ser feita com pulverização de 400 l/ha de solução a 0,5 % de sulfato de zinco, neutralizada com 0,25 % de cal extinta.

Com relação aos métodos de aplicação, os micronutrientes podem ser aplicados no solo, na parte aérea das plantas através da adubação foliar, nas sementes e através da fertirrigação. Em experimentos comparando métodos de aplicação de zinco na cultura do milho realizados na Embrapa Cerrados, verificou-se maior eficiência da aplicação do sulfato de zinco a lanço incorporado ao solo e da pulverização foliar. Entretanto, a aplicação nas sementes, em doses menores, também mostrou-se eficiente na produção de grãos (Tabela 9).

Tabela 8. Critérios para interpretação de análise de solos para micronutrientes na Região dos Cerrados.

Micronutrientes	Disponibilidade no solo		
	Baixa	Média	Alta
		-----mg/dm ³ -----	
Boro ^{1/}	< 0,5	0,6 a 1,0	> 1,0
Cobre ^{2/}	< 0,8	0,8 a 2,4	> 2,4
Ferro ^{2/}	< 5	5 a 12	> 12
Manganês ^{2/} a pH 6,0	< 5	5 a 15	> 15
Manganês ^{2/} a pH 5,0	< 2	2 a 6	> 6
Zinco ^{2/}	< 1	1 a 3	> 3

Extratores: ^{1/}Água quente; ^{2/}Mehlich-1.

Tabela 9. Fontes, doses e métodos de aplicação de zinco na cultura do milho em Latossolo Vermelho Escuro. Planaltina - DF.

Fontes de zinco	Doses de zinco Kg/ha	Método de aplicação	Zinco no solo ppm	Produção de grãos t/ha
Sulfato de zinco	0,4	a lanço	0,9	5,48
Sulfato de zinco	0,4	no sulco	0,4	4,91
Sulfato de zinco	1,2	a lanço	1,2	7,36
Sulfato de zinco	1,2	no sulco	1,0	5,89
Sulfato de zinco	3,6	a lanço	1,6	7,41
Óxido de zinco ^{1/}	0,8	nas sementes	0,4	6,16
Sulfato de zinco ^{2/}	1 %	viafoliar-2	0,4	7,18
Sulfato de zinco ^{3/}	1 %	viafoliar-3	0,4	7,18
Testemunha	-	-	0,3	3,88

^{1/} Óxido de zinco (80% de Zn): 1 kg de ZnO/20 kg de sementes.

^{2/} Solução a 1% de sulfato de zinco (23% de Zn): 3^a e 5^a semanas após a emergência.

^{3/} Solução a 1% de sulfato de zinco (23% de Zn): 3^a, 5^a e 7^a semanas após a emergência. Fonte: Galvão (1994).

É importante ressaltar que a não resposta aos outros micronutrientes pode estar relacionada com níveis adequados de disponibilidade no solo ou o fornecimento indireto destes através de outras fontes como, por exemplo, a aplicação de calcário. Contudo, não se exclui a possibilidade de vir a ocorrer resposta do milho aos demais micronutrientes, principalmente em solos arenosos e com baixos teores de matéria orgânica e cultivos irrigados com altos níveis de produtividade.

Um exemplo típico dessa situação pode estar ocorrendo com o manganês, cuja importância tem mais se destacado pela sua toxicidade do que pela sua deficiência. Entretanto, com a tendência atual em aumentar o uso da aplicação de calcário e sua incorporação incorreta, muito superficial (0 a 10 cm), ou

a aplicação na superfície do solo em sistema de plantio direto, a situação está se invertendo e, em algumas lavouras, sobretudo de soja, tem surgido problemas de deficiência de manganês. Embora considerado menos sensível à deficiência deste elemento do que a soja, o milho, cultivado na mesma área, no sistema de rotação e sem o manganês nos programas de adubação, poderá apresentar problemas de deficiência, como mostram os resultados apresentados na Tabela 10. Neste experimento, o milho foi plantado em solo anteriormente cultivado com soja e que apresentou sintomas de deficiência de manganês.

Tabela 10. Efeito de doses e número de aplicações foliares de manganês em diferentes estádios de desenvolvimento do milho, na produção de grãos.

Doses de manganês kg/ha	Época de aplicação		Produção de grãos t/ha	Peso da espiga gramas
	4 Folhas	8 Folhas		
0,0	-	-	2,21	89
0,6	1	-	5,10	143
1,1	1	-	5,33	144
0,6	-	1	6,03	168
1,1	-	1	6,69	182
0,6	1	1	8,23	218
1,1	1	1	8,40	211

^{1/} Sulfato de manganês diluído em 150 litros de água por hectare. Teor de Mn no solo (extrator Mehlich3) = 2,8 ppm, pH (H₂O) = 6,3. Fonte: Mascagani Jr. & Cox (1984).

Referências

ALVARES 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. Viçosa. 1999. p. 25-32.

ALVARES V., V. H.; DIAS, L. E.; RIBEIRO, C. A.; SOUZA, R. B. de. Uso de gesso

agrícola. 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. Viçosa. 1999. p. 67-78.

ALVES, V. M. C.; VASCONCELLOS, C. A.; FREIRE, F. M.; PITTA, G. V. E.; FRAÇA, G. E.; RODRIGUES FILHO, A.; ARAÚJO, J. M.; VEIRA, J. R. e LOUREIRO, J. E. Milho. 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. Viçosa, 1999. p. 314-316.

COELHO, A. M. O potássio na cultura do milho. In: YAMADA, T.; ROBERTS, T. L. (Ed.). **Simpósio sobre potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 2005. p. 610-658.

COELHO, A.M.; FRANÇA, G. E. de; BAHIA FILHO, A. F. C. Nutrição e adubação do milho forrageiro. In: EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo. **Milho para silagem: tecnologias, sistemas e custo de produção**. Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS, 1991. p. 29-73. (EMBRAPA-CNPMS. Circular Técnica, 14).

COELHO, A. M.; FRANÇA, G. E. de; BAHIA FILHO, A. F. C.; GUEDES, G. A. A. Doses e métodos de aplicação de fertilizantes nitrogenados na cultura do milho sob irrigação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.16, p. 61-67, 1992.

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

COELHO, A. M.; VASCONCELLOS, C. A. de. Correção da acidez do solo e equilíbrio cálcio/magnésio em cultivos sucessivos de milho e feijão sob irrigação. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRICAÇÃO DE PLANTAS, 22., 1996, Manaus, AM. **Resumos expandidos...** Manaus: SBSCS/UA-FCA/EMBRAPA-CPAO/INPA, 1996. p. 580-581.

GALRÃO, E. Z. Métodos de correção da deficiência de zinco para o cultivo de milho num latossolo vermelho-escuro argiloso sob cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 18, n. 2, p. 229-233, 1994.

KARLEN, D. L.; SADLER, E. J.; CAMP, C. R. Dry matter, nitrogen, phosphorus, and potassium accumulation rates by corn on Norfolk Loamy Sand. **Agronomy Journal**, Madison, v. 79, p. 649-656, 1987.

MASCAGNI JUNIOR, H. J.; COX, F. R. Diagnosis and correction of manganese deficiency in corn. **Communications in Science and Plant Analysis**, New York, v. 15, n.11, p.1323-1333, 1984.

PRADO, R. M. Saturação por bases e híbridos de milho sob sistema plantio direto. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 58, n. 2, p. 391-394, 2001.

Circular Técnica, 78

Ministério da Agricultura,
Pecuária e Abastecimento



Exemplares desta edição podem ser adquiridos na:

Embrapa Milho e Sorgo

Endereço: MG 424 Km 45 Caixa Postal 151 CEP 35701-970 Sete Lagoas, MG

Fone: (31) 3779 1000

Fax: (31) 3779 1088

E-mail: sac@cnpmc.embrapa.br

1ª edição

1ª impressão (2006): 200 exemplares

Comitê de publicações

Presidente: Antônio Álvaro Corsetti Purcino

Secretário-Executivo: Cláudia Teixeira Guimarães

Membros: Carlos Roberto Casela, Flávia França Teixeira, Camilo de Lellis Teixeira de Andrade, José Hamilton Ramalho, Jurandir Vieira Magalhães

Expediente

Editoração eletrônica: Tânia Mara Assunção Barbosa