

Capítulo 6

Nutrição e Adubação do Milho

Antônio Marcos Coelho

6.1 Introdução

Nos últimos anos, a cultura do milho, no Brasil, vem passando por importantes mudanças tecnológicas, resultando em aumentos significativos da produtividade e produção. Entre essas tecnologias, destaca-se a melhoria na qualidade dos solos, visando uma produção sustentada, o que requer a conscientização dos produtores sobre a necessidade de promover essa melhoria, a qual está geralmente relacionada ao manejo adequado, que inclui, entre outras práticas, a rotação de culturas, o plantio direto, o manejo da fertilidade, por meio da calagem, da gessagem e da adubação equilibrada com macro e micronutrientes, utilizando fertilizantes químicos e/ou orgânicos (estercos, 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 nesse caso particular (muitos solos têm adequado suprimento de Ca, Mg, etc.); c) quantidades de N, P e K necessárias na semeadura – determinadas pela análise de solo e pelo que foi removido pela cultura; d) qual a fonte, quantidade e quando aplicar N (baseado na produtividade desejada); e) quais nutrientes podem ter problemas nesse solo (lixiviação de nitrogênio em solos arenosos ou se são necessários em grandes quantidades).

6.2 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 6.1). 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⁻¹, 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 deficiência de um macronutriente, como, por exemplo, o nitrogênio.

Tabela 6.1. 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 ¹ (kg/ha)				
		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

¹ 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 6.1). Assim, problemas de fertilidade do solo se manifestarão mais cedo na produção de silagem do que na produção de grãos. Na Figura 6.1, são apresentadas a reciclagem (restituição) e a exportação de nutrientes por milho destinado à produção de grãos e forragem.

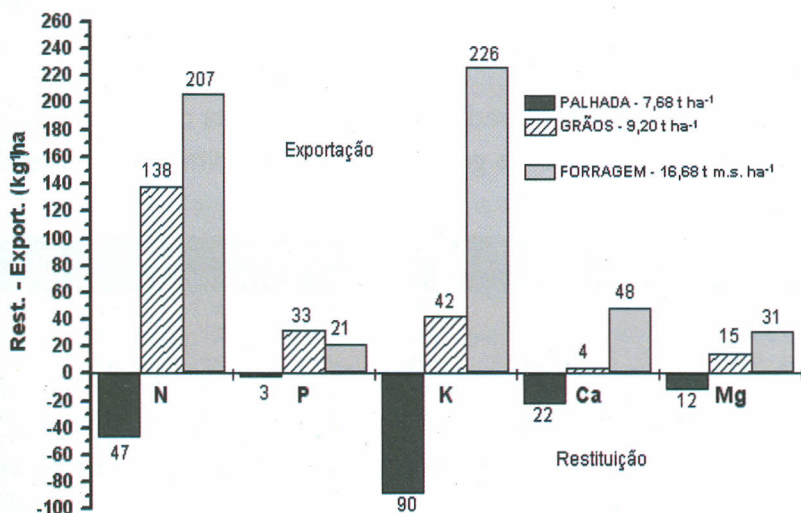


Figura 6.1. Reciclagem (restituição) e exportação de nutrientes pelo milho destinado à produção de grãos e forragem. Fonte: Coelho (2005).

De acordo com os dados apresentados na Figura 6.1, para alcançar produção de 9,20 t de grãos ha^{-1} , a cultura do milho absorveu um total de 185 kg ha^{-1} de N, dos quais 138 kg ha^{-1} (75 %) foram exportados nos grãos e 47 kg ha^{-1} encontravam-se na palhada; 132 kg ha^{-1} de K, dos quais apenas 42 kg ha^{-1} (32 %) foram exportados nos grãos e 90 kg ha^{-1} de K (68 %) encontravam-se na palhada (Figura 6.1). 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 à 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 6.1). Essas informações têm implicações na recomendação de adubação tanto para o milho como para as outras culturas semeadas em rotação ou em sucessão a esse 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.

6.3 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 (quatro a cinco 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 isso depende da ocorrência de déficit hídrico, dos teores de matéria orgânica e fósforo no solo e do 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 verificada por Prado (2001), em experimento conduzido em Uberaba, MG, em um Latossolo Vermelho, textura muito argilosa, com quatro anos de plantio direto (Tabela 6.2).

Esses resultados evidenciam que, embora existam materiais genéticos mais tolerantes às condições de acidez, a correção dessa acidez é muito importante ao adequado desenvolvimento do milho. Assim, altas produtividades de milho têm 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 % e saturação de bases de 50 a 60 %.

No Brasil, utilizam-se geralmente os calcários dolomítico e magnésiano, para 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 essa 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_c dm⁻³ de solo. Coelho & Vasconcelos (1996) não obtiveram respostas do milho ao magnésio em experimentos realizados em um Latossolo Vermelho, com teor inicial de 0,5 cmol_c de Mg dm⁻³ de solo e que havia recebido doses de até 6 t ha⁻¹ de um calcário calcítico (CaO = 54% e MgO = 0,27%).

Tabela 6.2. 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 ¹ (%)
	Sat. Al ³⁺ = 5 %	Sat. Al ³⁺ = 23 %	
<i>P 3071</i>	7,97	4,21	47,18
<i>Z 8474</i>	7,28	4,39	39,70
<i>Exceller</i>	6,49	4,14	36,21
<i>BR 3123</i>	5,81	5,31	8,60
<i>C 333</i>	5,47	5,52	0,00
<i>AG 122</i>	5,36	5,00	6,71
<i>DINA 652</i>	5,34	4,17	21,90
<i>Média</i>	6,25	4,67	25,28
<i>CV (%)</i>	8,70	12,10	

¹Redução na produtividade de grãos em função do aumento na saturação de alumínio. Fonte: modificada de Prado (2001).

6.4 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 à 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. Essa informação e o 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 6.2). Isso enfatiza que, para altas produtividades, não devem ocorrer estresses durante todos os estádios de desenvolvimento da planta.

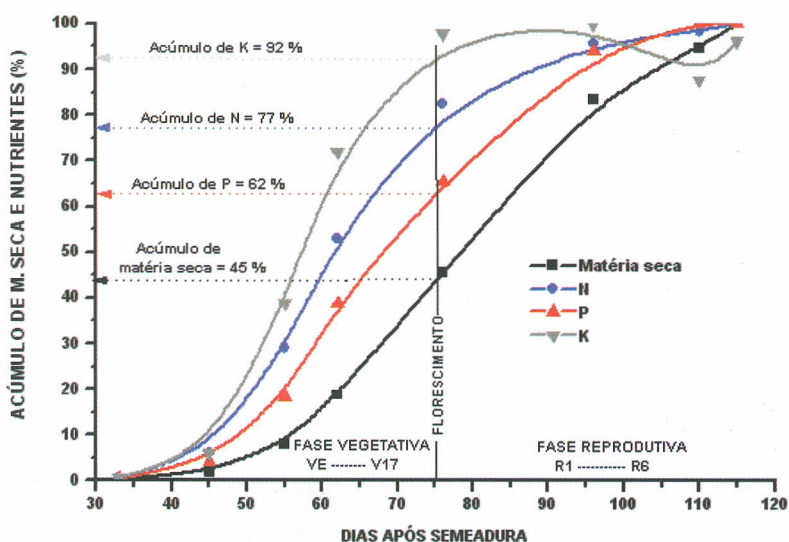


Figura 6.2. Acúmulo de matéria seca, nitrogênio, fósforo e potássio na parte aérea de plantas de milho. Fonte: modificada de Karlen et al. (1987).

A absorção de potássio apresenta um padrão diferente em relação ao nitrogênio e ao fósforo (Figura 6.2), com a máxima absorção ocorrendo no período de desenvolvimento vegetativo, com elevada taxa de acúmulo nos primeiros 30 a 40 dias de de-

envolvimento, com taxa de absorção superior à 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 6.2).

6.5 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 desejam 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 em campo, no Brasil, apresentaram respostas à aplicação de nitrogênio.

6.5.1 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 à 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, histó-

rico 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⁻¹. Em agricultura irrigada, onde prevalece o uso de alta tecnologia, para a obtenção de elevadas produtividades, essa recomendação seria insuficiente. Nessas condições, doses de nitrogênio variando de 120 a 160 kg ha⁻¹ podem ser necessárias para a obtenção de elevadas produtividades (Tabela 6.1).

Na tomada de decisão sobre a necessidade de adubação nitrogenada, alguns fatores devem ser considerados, tais como: condições edafoclimáticas, 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 6.3 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 a recomendação, em condições específicas, parece-nos adequado considerar a técnica da estimativa

das necessidades de nitrogênio ilustrada na Figura 6.3, onde temos que:

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

Sendo que:

N_f = corresponde à 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⁻¹ 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).

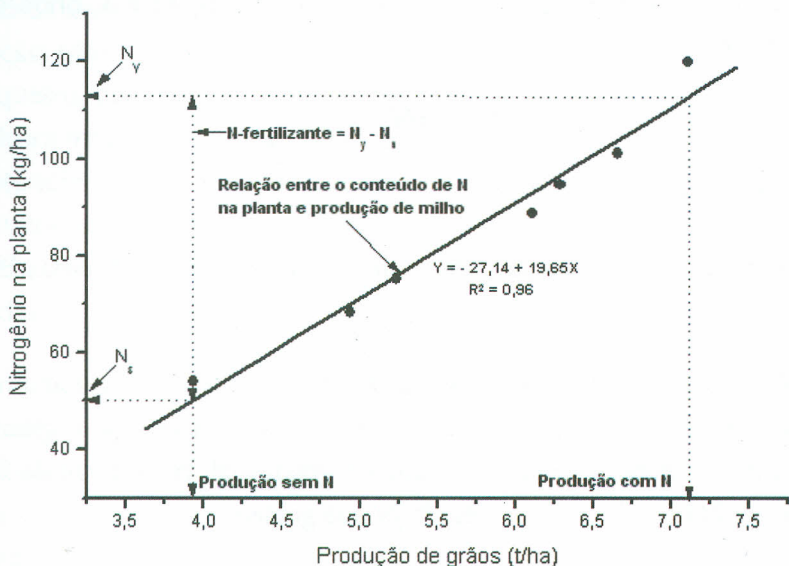


Figura 6.3. Parâmetros envolvidos na estimativa da necessidade de aplicação de fertilizante nitrogenado para a cultura do milho. Fonte: modificada de Coelho et al. (1992).

Por exemplo, utilizando-se esses conceitos, podemos calcular a necessidade de nitrogênio para uma cultura do milho, para uma produtividade estimada de $7,10 \text{ t ha}^{-1}$, em uma área cuja cultura anterior também era o milho, conforme ilustrado na Tabela 6.3.

6.5.2 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 co-

num 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⁻¹, 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 6.3. 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 kg
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 adubação¹:	
$N_f = (149 - 85)/0,60^*$	110 kg
*fator de eficiência do N = 60 %	

¹Para os plantios em sucessão e/ou em rotação com a cultura da soja, reduzir 20 kg de N ha⁻¹, 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 seguintes condições: a) altas doses de nitrogênio (120 a 200 kg ha^{-1}); b) solos de textura arenosa; 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 120 kg ha^{-1}); b) solos de textura média e/ou argilosa; c) plantio intensivo, sem o uso de irrigação, em que a distribuição do fertilizante é feita mecanicamente. Como exemplo, um esquema de parcelamento do nitrogênio para a cultura do milho, em função da textura do solo, é apresentado na Tabela 6.4.

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 6.4. Sugestões para aplicações parceladas de nitrogênio em cobertura, na cultura do milho.

Classe textural do solo	Doses de nitrogênio (kg ha ⁻¹)	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 %	50 %	-	-

¹ Se as plantas apresentarem sintomas de deficiência, pode-se fazer aplicação suplementar de nitrogênio, em período anterior ao indicado. Em 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⁻¹. Fonte: modificada de Coelho et al. (1991).

6.6 Fósforo

Embora as exigências de fósforo pelo milho sejam em quantidades bem menores do que as de nitrogênio e potássio (Tabela 6.1), as doses normalmente recomendadas são altas, em função da baixa eficiência (20 a 30 %) de aproveitamento desse nutriente pela cultura. Isso 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 6.5 e 6.6. 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 utilizado pelos agricultores.

Tabela 6.5. Interpretação das classes de disponibilidade de fósforo no solo, de acordo com o teor de argila e disponibilidade de potássio.

Características	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 ¹		
	Baixa	Média	Adequada
	< 75	76 – 100	> 100

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

Tabela 6.6. Recomendação de adubação (hg ha⁻¹) para milho destinado à produção de grãos, com base nos resultados das análises de solo e na produtividade esperada.

Produtividade (t/ha)	Dose de N no plantio	Disponibilidade de P			Disponibilidade de K			Dose de N em cobertura
		Baixa	Média	Adequada	Baixa	Média	Adequada	
		Dose de P ₂ O ₅			Dose de K ₂ O			
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 6.5), 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 P_2O_5 . Esse mesmo valor pode ser considerado quando se cultiva o milho para produção de silagem, visto que, como mostrado na Tabela 6.1, a exportação de fósforo, quando se cultiva o milho para essa finalidade, é semelhante àquela para a produção de grãos, onde se encontra mais de 80% do fósforo absorvido pela cultura.

6.7 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 produtividade obtidos.

Assim, nos últimos anos, tem-se verificado uma 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 pelos agricultores, como rotação e/ou sucessão soja-milho, uma leguminosa altamente exigente e exportadora de K; uso freqüen-

te de formulações de fertilizantes com baixos 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, um 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 têm sido observados para solos com teores muito baixos e com doses de até 120 kg de K_2O ha^{-1} . Nos solos do Brasil Central, a quantidade de potássio disponível é normalmente baixa e a adubação com esse elemento produz resultados significativos. Aumentos de produção de 100% com adição de 120 a 150 kg de K_2O ha^{-1} 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 apresentadas nas Tabelas 6.5 e 6.6. As quantidades de potássio recomendadas para o milho destinado à produção de forragem, em função do teor do nutriente no solo, são apresentadas na Tabela 6.7.

Tabela 6.7. Recomendação de adubação (kg ha⁻¹) para milho destinado à produção de forragem, com base nos resultados das análises de solo e na produtividade esperada.

Produtividade de matéria verde (t/ha)	Dose de N no plantio	Disponibilidade de P			Disponibilidade de K			Dose de N em cobertura
		Baixa	Média	Adequada	Baixa	Média	Adequada	
		Dose de P ₂ O ₅			Dose de K ₂ O			
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

Em solos com teores de K muito baixos ou para doses de cobertura = 80 kg de K₂O ha⁻¹, 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 6.5), 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⁻¹, 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⁻¹, 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.

6.7.1 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 6.2). 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^{-1} 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.

6.8 Enxofre

A extração de enxofre pela planta de milho é pequena e varia de 15 a 30 kg ha^{-1} , para produções de grãos em torno de 5 a 7 t ha^{-1} . 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 fór-

mulas 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 a esse 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. Nesse caso, recomenda-se a aplicação de 30 kg de S ha⁻¹.

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.

6.9 Micronutrientes

A necessidade de alcançar elevados patamares de produtividade tem levado a uma crescente preocupação com a adubação que contenha micronutrientes. A sensibilidade à deficiência de micronutrientes varia conforme a espécie de planta. O milho tem alta sensibilidade à deficiência de zinco, média à de cobre, ferro e manganês e baixa à 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 mostra 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 2kg de

Zn ha⁻¹, para solos com Zn (Mehlich I) de 0,6 a 1,0 mg dm⁻³, a 4kg de Zn ha⁻¹, para solos com Zn (Mehlich I) menor que 0,6 mg dm⁻³. Quando a deficiência ocorre com a cultura em desenvolvimento, a correção pode ser feita com pulverização de 400 L ha⁻¹ de solução a 0,5 % de sulfato de zinco, neutralizada com 0,25 % de cal extinta.

Tabela 6.8. Critérios de 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: ¹Água quente; ²Mehlich-I.

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 6.9).

Tabela 6.9. 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 ⁻¹)	Método de aplicação	Zinco no solo (ppm)	Produção de grãos (t ha ⁻¹)
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 %	Via foliar ²	0,4	7,18
Sulfato de zinco ³	1 %	Via foliar 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 falta de resposta aos outros micronutrientes pode estar relacionada com níveis adequados de disponibilidade no solo ou com o fornecimento indireto desses, 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 se destacado mais 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,

têm surgido problemas de deficiência de manganês. Embora considerado menos sensível à deficiência desse 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 6.10. Nesse experimento, o milho foi plantado em solo anteriormente cultivado com soja e que apresentou sintomas de deficiência de manganês.

Tabela 6.10. Efeito de doses e número de aplicações foliares de manganês ¹, em diferentes estádios de desenvolvimento do milho, na produção de grãos.

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

¹Sulfato 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).

6.10 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.; GUIMARAES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Ed.). **Recomendacao para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5a. aproximacao.** Vicosa: Comissao de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 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.; GUIMARAES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Ed.). **Recomendacao para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5a. aproximacao.** Vicosa: Comissao de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 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.; LOUREIRO, J. E. Milho. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARAES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Ed.). **Recomendacao para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5a. aproximacao.** Vicosa: Comissao de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 314-316.

COELHO, A.M. O potássio na cultura do milho. In: SIMPÓSIO SOBRE POTÁSSIO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 2., 2004, São Pedro, SP. **Anais...** Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fostato, 2005. p. 610-658. Editado por Tsuioshi Yamada, Terry L. Roberts.

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, 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 Agrônomicas**, Piracicaba, n. 71, p. 1-9, set. 1995 Arquivo do Agrônomo, Piracicaba, n. 2, p. 1-9, 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. **Resumos expandidos...** Manaus: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 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, 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 Soil 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.