



Milho

Cultivo do Milho

Sumário

Fertilidade de solos e Adubação

Dados Sistema de Produção

Embrapa Milho e Sorgo

Sistema de Produção, 1

ISSN 1679-012X 1

Versão Eletrônica
9ª edição | Nov/2015



Cultivo do Milho

Fertilidade de solos e Aduação

A análise do solo, num sentido amplo, é uma medida físico-química, mas, no agrônomo, seu objetivo é determinar a habilidade do solo em fornecer nutriente às plantas, e também determinar as necessidades de calcário e fertilizantes, além de diagnosticar problemas de toxidez de alguns elementos, excesso de sais e outros. Nesse tópico é fundamental discutir aspectos relacionados à [amostragem do solo](#) e à [interpretação de resultados de análise do solo](#) levando em consideração que os resultados de uma análise química de solo para que tenham validade e representatividade, é indispensável o máximo cuidado e critério na coleta de amostras que deverão ser enviadas aos laboratórios. Nenhuma análise é melhor que uma boa coleta de amostras, pois elas é que irão representar toda a área da propriedade onde deverão ser aplicados os corretivos e fertilizantes.

Além dos sintomas característicos de uma ou outra desordem, que só se manifestam em casos graves, a identificação do estado nutricional da planta somente é possível pela análise química da mesma.

A utilização da [diagnose foliar](#) como critério diagnóstico baseia-se na premissa de existir uma relação bem definida entre o crescimento e a produção das culturas e o teor dos nutrientes em seus tecidos.

Os solos brasileiros, na sua maioria, são ácidos, destacando-se aqueles sob vegetação de cerrado. Tais solos são caracterizados por baixas concentrações de cálcio e de magnésio, elementos diretamente envolvidos no desenvolvimento das raízes, e por valores elevados de alumínio trocável e baixa disponibilidade de fósforo do solo.

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 necessidade da melhoria na qualidade dos solos, visando uma produção sustentada. Essa melhoria na qualidade dos solos está geralmente relacionada ao adequado manejo, o qual inclui, entre outras práticas, a rotação de culturas, o plantio direto e o manejo da fertilidade, por meio da [calagem e gessagem](#), da [nutrição e adubação do milho](#) (adubação equilibrada com macro e micronutrientes, utilizando fertilizantes químicos) e da [adubação orgânica](#) (esterco, compostos, adubação verde, etc.).

Amostragem de solos: a base para aplicação de corretivos e fertilizantes

Introdução

A análise do solo, num sentido amplo, é uma medida físico-química, mas, no agrônomo, seu objetivo é determinar a habilidade do solo em fornecer nutriente às plantas, e também determinar as necessidades de calcário e fertilizantes, além de diagnosticar problemas de toxidez de alguns elementos, excesso de sais e outros. Para que os objetivos da análise de solo sejam atingidos, é necessário que essa prática esteja interligada com outras etapas, quais sejam: 1) amostragem do solo; 2) análises de laboratório; 3) interpretação dos resultados; 4) recomendação de calagem e adubação. Todos esses segmentos extremamente importantes.

Amostragem de solos

Para que os resultados de uma análise química de solo tenham validade e representatividade, é indispensável o máximo cuidado e critério na coleta de amostras que deverão ser enviadas aos laboratórios. Nenhuma análise é melhor que uma boa coleta de amostras, pois elas é que irão representar toda a área da propriedade onde deverão ser aplicados os corretivos e fertilizantes. Na maioria dos casos, a amostra do solo representa a camada de áreas que podem chegar a 10 hectares, o que representa um volume de 20 milhões de dm³ ou litros de terra, considerando o solo com densidade global unitária. Isso significa que, se forem enviadas cerca de 0,50 kg de solo para o laboratório, a amostra representará uma parte em 40 milhões da camada arável. Acrescente-se o problema da heterogeneidade natural do solo e ficará bem caracterizado que a amostragem de solos não é uma prática simples. Ela deve ser rigorosamente executada, seguindo instruções baseadas em considerações de ordem científica.

Esquemas de amostragem

Os esquemas de amostragem podem ser divididos em duas categorias: ao acaso e sistematizada. A amostragem ao acaso refere-se ao método que tem sido recomendado para a agricultura convencional. A amostragem sistematizada é o sistema recomendado para aplicação das tecnologias da Agricultura de Precisão, sendo o método mais adequado para estudar a variabilidade espacial das propriedades do solo de uma área, pois a variabilidade em todas as direções é levada em consideração.

Amostragem ao acaso

Nesse esquema de amostragem, a propriedade ou a área a ser amostrada deve ser dividida em glebas de até 10 hectares, numerando-se cada uma delas (Figura 1). As glebas devem ser homogêneas quanto ao uso anterior, tipo de solo e aspecto geral da vegetação. As glebas são percorridas em ziguezague (Figura 1), retirando-se 20 amostras simples, que devem ser misturadas, separando-se uma amostra composta de 0,50 kg para ser enviada ao laboratório.

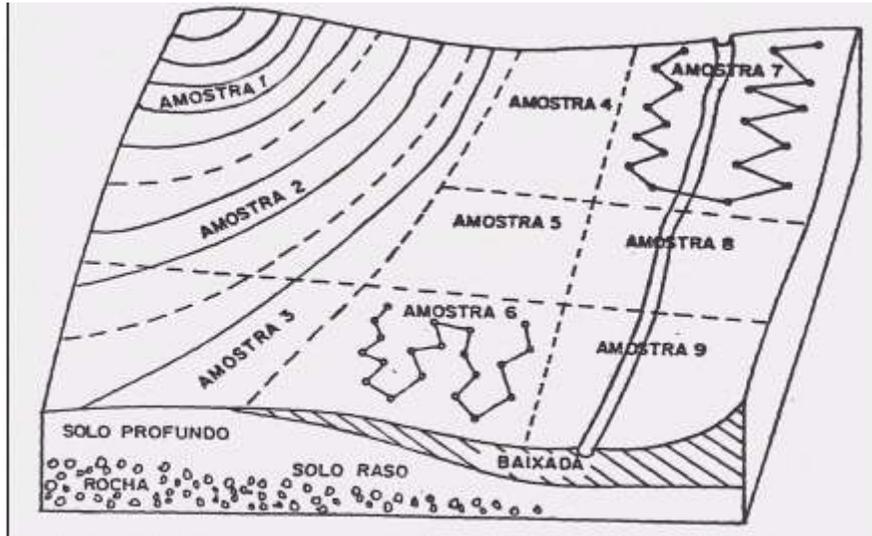


Figura 1. Esquema de amostragem ao acaso de solos em uma área.

Amostragem sistematizada

Com a introdução dos conceitos e tecnologias da Agricultura de Precisão, a amostragem sistematizada das áreas tem sido recomendada. O método mais comum para a amostragem sistemática de solos em uma área é o de sobrepor uma grade quadrada ou retangular em um mapa ou fotografia da área, identificar e dirigir ao local e coletar amostras de solos em cada célula (Figura 2). Dentro de cada célula, a amostragem pode ser ao acaso, coletando-se várias subamostras (Figura 2, ou pontual, na qual as subamostras são coletadas em um raio de 3 a 6 m de um ponto central. A recomendação do espaçamento das grades (malhas) para amostragens de solos varia de 60 x 60 m a 135 m x 135 m, em função da resolução desejada (precisão) associada aos custos (Tabela 1).

Autor: Antônio Marcos Coelho

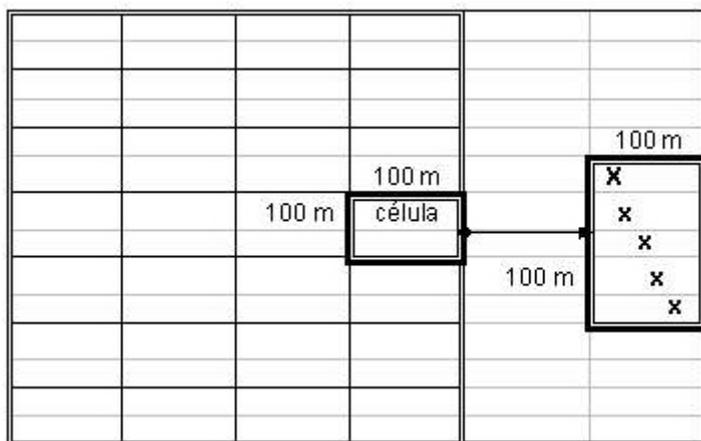


Figura 2. Exemplo ilustrando o sistema de grade (100 m x 100 m) e locais onde subamostras de solo seriam coletadas dentro de cada célula. A área é dividida em grade de 100 m X 100 m, cinco subamostras de solos são coletadas dentro de cada célula para formar uma amostra composta.

Tabela 1. Custos (R\$) para coletas de amostras de solo (0 a 20 cm) em função do espaçamento da grade de amostragem utilizada.

Número de amostras	Tempo (horas)	Espaçamento da grade (m)			
		140 (1,96 ha)	91 (0,83 ha)	60 (0,36 ha)	30 (0,09 ha)
20	2	4,00			
48	6		12,00		
106	11			22,00	
436	36				72,00

Nota: Área de 40 ha, com o preço da mão-de-obra a R\$ 2,00/hr.

Fonte: Antonio Marcos Coelho.

Equipamentos para a amostragem de solos

Os equipamentos mais comuns para uma boa coleta manual de amostras de solo são o trado holandês, que tem bom desempenho em qualquer tipo de solo; o trado de rosca, mais adequado para solos arenosos e úmidos; o trado calador, ideal para amostragem em terra fofa e ligeiramente úmida; a pá de corte, equipamento mais disponível e simples para o agricultor, e que deve ser utilizada junto com o enxadão, em solos secos e compactados (Figura 3). Equipamentos automatizados e equipados com GPS, para amostragem de solos, têm sido disponibilizados aos agricultores.

Autor: Antônio Marcos Coelho

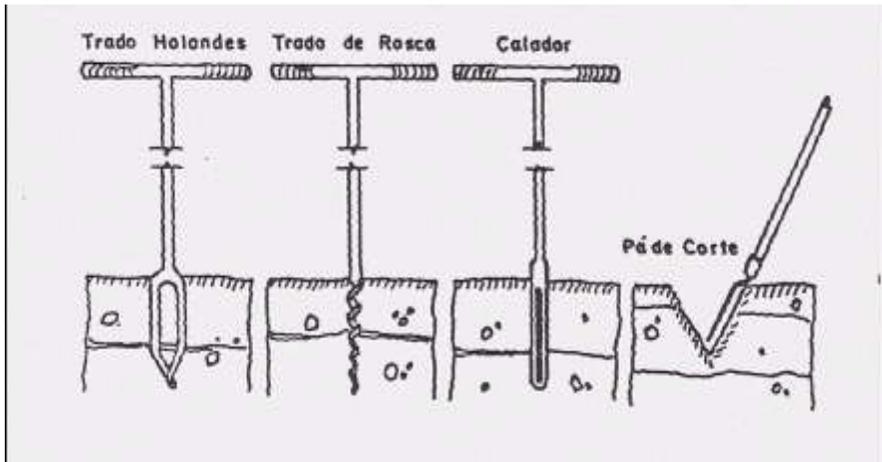


Figura 3. Equipamentos manuais utilizados para amostragem de solos.

Época de amostragem

Embora as amostras possam ser coletadas em qualquer época do ano, levando-se em conta o tempo que elas levam para chegar ao laboratório, serem submetidas às análises e o agricultor receber os resultados, torna-se necessário que a coleta seja feita no mínimo três meses antes de se iniciar a aplicação do corretivo e as adubações. Recomenda-se que, em áreas novas, a coleta seja feita cerca de seis meses antes do início do período de implantação da cultura, enquanto que em áreas já cultivadas, a amostragem deve ser feita no início do período da seca, logo após a colheita.

Profundidade de amostragem

Em áreas novas, a amostragem deve ser realizada nas camadas de 0 a 20 cm e, 20 a 40 cm e, às vezes, também na camada de 40 a 60 cm. Nas áreas já estabelecidas, a profundidade de coleta vai depender do sistema de manejo de solo utilizado (preparo convencional ou semeadura direta), conforme descrito no tópico seguinte. Quando se desejar avaliar a disponibilidade de enxofre, deve-se coletar amostras a profundidades maiores que 20 cm, principalmente em argissolos (anteriormente conhecido como podzólico).

Amostragem de solos em áreas sob plantio direto

A variabilidade dos índices de fertilidade (fósforo, potássio, matéria orgânica, pH e índice SMP) no sistema plantio direto com adubação a lanço é similar ao sistema convencional. A variabilidade aumenta quando a adubação do sistema plantio direto é feita na linha de semeadura, sendo maior na fase de implantação (até 5 anos), em relação à fase estabelecida. Recomendações: de acordo com a SBCS - NRS (1994).

1. **Adubação a lanço:** igual ao sistema convencional; amostragem ao acaso com trado ou pá de corte em 20 pontos da gleba. Fase de implantação (até 5 anos): amostrar com pá-de-corte, perpendicular ao sentido da linha, uma faixa correspondente à largura da entrelinha da cultura com maior espaçamento introduzida no último ano agrícola (se por exemplo, os dois cultivos da gleba foram soja e trigo, respectivamente, a largura de amostragem deve ser feita correspondente ao espaçamento da entrelinha da soja). Deve ser retirada uma fina fatia de solo (aproximadamente 5 cm) em 10 a 12 locais por gleba, para formar uma amostra composta. Fase estabelecida (mais de 5 anos), com adubação em linha: amostrar com pá-de-corte, perpendicular ao sentido da linha, uma faixa correspondente à largura da entrelinha da última cultura. Coletar 8 a 10 locais por gleba, para formar uma amostra composta.
2. **Profundidade:** no início do sistema, na implantação e por ocasião da próxima amostragem, que deve ocorrer ao término do terceiro cultivo, utilizar a mesma profundidade do sistema convencional (0 a 20 cm). Na amostragem seguinte, que deve ocorrer ao término do 6o cultivo, amostrar de 0 a 10 cm.

Sistema de amostragem de solos em áreas sob plantio direto, adubadas em linhas.

Outros procedimentos

Além do planejamento, existe uma série de aspectos importantes que devem ser observados na execução da amostragem. A limpeza total dos equipamentos utilizados na coleta, não misturar as amostras simples coletadas em diferentes camadas do solo e, no caso de coletar amostras a várias profundidades, utilizar um balde ou saco de plástico para receber as amostras simples de cada camada. Não enviar amostras para a laboratório em recipientes ou embalagens já usados e, se não tiver as caixinhas apropriadas, normalmente fornecidas pelos laboratórios ou serviços de extensão, deve-se reforçar bem a embalagem com saco de plástico, papel e barbante.

Interpretação de resultados de análise do solo

Uma das condições para que os resultados da análise de solo e sua interpretação sejam válidos é que existam correlações entre os valores obtidos por um determinado método de extração e a resposta de culturas à adubação ou calagem em condições de campo. Por essa razão é que são desenvolvidos estudos de correlação e calibração de métodos de análise de solo. Na fase de correlação, por exemplo, são avaliados diferentes extratores, sendo selecionados os que melhor se aproximam do método padrão, que é a quantidade absorvida e acumulada pelas plantas de um dado nutriente. Na fase de calibração são, então, definidos os níveis críticos e as doses dos nutrientes a serem aplicados. Como os métodos de extração podem variar entre laboratórios de estados diferentes, que, por sua vez, possuem experimentação agrônômica própria, os critérios de interpretação deixam de ser, assim, únicos. A título de ilustração, merece ser mencionado que, em Minas Gerais, adota-se o extrator Mehlich-1 para fósforo, ao passo que, em São Paulo, a extração desse elemento é feita com resina trocadora de íons. As classes de interpretação para os resultados das análises químicas de solos emitidos pelos laboratórios em Minas Gerais encontram-se nas Tabelas 2, 3, 4, 5 e 6. Embora essas classes sejam gerais, a utilização delas permite separar glebas com probabilidades diferentes de resposta à aplicação de nutrientes. Considerando especificamente a cultura do milho, uma proposta de interpretação exclusiva para fósforo é apresentada na Tabela 7.

Acidez do solo

Na avaliação da acidez do solo, deve-se levar em consideração as características acidez ativa (ou pH) e a trocável, a saturação por alumínio e por bases, a acidez potencial e o teor de matéria orgânica, que estão relacionadas entre si. Relacionada também com a acidez do solo está a disponibilidade dos nutrientes cálcio e magnésio e de micronutrientes como manganês, ferro, cobre e zinco (Tabelas 2 e 3).

Fósforo, enxofre e potássio

A eficiência de extração do fósforo disponível pelo método Mehlich-1 sofre grande influência da capacidade tampão de fosfatos do solo. Por isso, na interpretação da disponibilidade de fósforo, são usadas características que estão relacionadas com a capacidade tampão, como o teor de argila ou o valor do fósforo remanescente (Tabela 4). O enxofre disponível, extraído com fosfato monocálcico em ácido acético, semelhantemente, é também afetado pela capacidade tampão de sulfatos do solo. Na interpretação do enxofre disponível de amostras compostas da camada subsuperficial, as classes de fertilidade apresentadas estão de acordo, como para o fósforo disponível, com a concentração de fósforo remanescente (Tabela 5). Para o potássio disponível, como a capacidade tampão para potássio não afeta a eficiência de extração pelo método Mehlich-1, sendo também de pouco significado para a maioria dos solos de Minas Gerais, é adotada apenas uma classificação para esse nutriente (Tabela 4).

Micronutrientes

Embora seja freqüente a deficiência de zinco e, ou, de boro em várias culturas em Minas Gerais, sendo a de zinco mais comum na cultura do milho, especialmente em solos de cerrado, há uma limitação de estudos detalhados no que se refere a trabalhos de calibração para interpretação de resultados de análise de solo para micronutrientes. Apesar disso, é apresentada uma primeira aproximação de interpretação, sendo incluídas classes de fertilidade para zinco, manganês, ferro e cobre, extraídos com o extrator Mehlich-1, e para boro, extraído com água quente (Tabela 6).

Tabela 2. Classes de interpretação para a acidez ativa do solo (pH) 1.

Classificação química						
Ac. muito elevada	Acidez elevada	Acidez média	Acidez fraca	Neutra	Alcalinidade fraca	Alcalinidade elevada
>4,5	4,5 - 5,0	5,1 - 6,0	6,1 - 6,9	7,0	7,1 - 7,8	>7,8
Classificação agrônômica						
Muito baixo	Baixo		Bom	Alto	Muito alto	
< 4,5	4,5 - 5,4		5,5 - 6,0	6,1 - 7,0	> 7,0	

Nota: pH em H₂O, relação 1:2,5, TFSA : H₂O.

Fonte: ALVAREZ V. et al. (1999).

Tabela 3. Classes de interpretação de fertilidade do solo para a matéria orgânica e para o complexo de troca catiônica.

Característica	Unidade ¹	Classificação				
		Muito baixo	Baixo	Médio ²	Bom	Muito Bom
Carbono orgânico (C.O.) ²	dag/kg	< 0,41	0,41 - 1,16	1,17 - 2,32	2,33 - 4,06	> 4,06

Matéria orgânica (M.O.) ³	dag/kg	< 0,71	0,71 - 2,00	2,01 - 4,00	4,01 - 7,00	> 7,00
Cálcio trocável (Ca ²⁺) ⁴	cmol _c /dm ³	< 0,41	0,41 - 1,20	1,21 - 2,40	2,41 - 4,00	> 4,00
Magnésio trocável (Mg ²⁺) ⁴	cmol _c /dm ³	< 0,16	0,16 - 0,45	0,46 - 0,90	0,91 - 1,50	> 1,50
Acidez trocável (Al ³⁺) ⁴	cmol _c /dm ³	< 0,21	0,21 - 0,50	0,51 - 1,00	1,01 - 2,00 ¹¹	> 2,00 ¹¹
Soma de bases (SB) ⁵	cmol _c /dm ³	< 0,61	0,61 - 1,80	1,81 - 3,60	3,61 - 6,00	> 6,00
Ac. potencial (H + Al) ⁶	cmol _c /dm ³	< 1,01	1,01 - 2,50	2,51 - 5,00	5,01 - 9,00 ¹¹	> 9,00 ¹¹
CTC efetiva (t) ⁷	cmol _c /dm ³	< 0,81	0,81 - 2,30	2,31 - 4,60	4,61 - 8,00	> 8,00
CTC pH 7 (T) ⁸	cmol _c /dm ³	< 1,61	1,61 - 4,30	4,31 - 8,60	8,61 - 15,00	> 15,00
Saturação por Al ³⁺ (m) ⁹	%	< 15,1	15,1 - 30,0	30,1 - 50,0	50,1 - 75,0 ¹¹	> 75,0 ¹¹
Saturação por bases (V) ¹⁰	%	< 20,1	20,1 - 40,0	40,1 - 60,0	60,1 - 80,0	> 80,0

1 dag/kg = % (m/m); cmol_c/dm³.

2 O limite superior desta classe indica o nível crítico.

3 Método Walkley & Black; M.O. = 1,724 x C.O.

4 Método KCl 1 mol/L.

5 SB = Ca²⁺ + Mg²⁺ + K⁺ + Na⁺.

6 H + Al, Método Ca(OAc) 2 0,5 mol/L, pH 7.

7 t = SB + Al³⁺.

8 T = SB + (H + Al).

9 m = 100 Al³⁺ / t.

10 V = 100 SB/T.

11 A interpretação dessas características nessas classes deve ser alta e muito alta em lugar de bom e muito bom.

Fonte: ALVAREZ V. et al. (1999).

Tabela 4. Classes de interpretação da disponibilidade para o fósforo, de acordo com o teor de argila do solo ou do valor de fósforo remanescente (P-rem) e para o potássio.

Característica	Classificação				
	Muito baixo	Baixo	Médio	Bom	Muito bom
	----- (mg/dm ³) ¹ -----				
Argila (%)	Fósforo disponível (P)²				
60 - 100	< 2,7	2,8 - 5,4	5,5 - 8,0 ³	8,1 - 12,0	> 12,0
35 - 60	< 4,1	4,1 - 8,0	8,1 - 12,0	12,1 - 18,0	> 18,0
15 - 35	< 6,7	6,7 - 12,0	12,1 - 20,0	20,1 - 30,0	> 30,0
0 - 15	< 10,1	10,1 - 20,0	20,1 - 30,0	30,1 - 45,0	> 45,0
P-rem⁴ (mg/L)					
0 - 4	< 3,1	3,1 - 4,3	4,4 - 6,0 ³	6,1 - 9,0	> 9,0
4 - 10	< 4,1	4,1 - 6,0	6,1 - 8,3	8,4 - 12,5	> 12,5
10 - 19	< 6,1	6,1 - 8,3	8,4 - 11,4	11,5 - 17,5	> 17,5
19 - 30	< 8,1	8,1 - 11,4	11,5 - 15,8	15,9 - 24,0	> 24,0

30 - 44	< 11,1	11,1 - 15,8	15,9 - 21,8	21,9 - 33,0	> 33,0
44 - 60	< 15,1	15,1 - 21,8	21,9 - 30,0	30,1 - 45,0	> 45,0
Potássio disponível (K) ²	< 16	16 - 40	41 - 70	71 - 120	> 120

1 mg/dm³ = ppm (m/v).

2 Método Mehlich-1.

3 Nesta classe apresentam-se os níveis críticos de acordo com o teor de argila ou com o valor do fósforo remanescente. O limite superior desta classe indica o nível crítico.

4 P-rem = Fósforo remanescente.

Fonte: ALVAREZ V. et al. (1999).

No caso do fósforo disponível obtido pela Resina podem ser consideradas as seguintes faixas de disponibilidade:

Faixa de disponibilidade	Fósforo disponível (Resina)
	----- mg/dm ³ -----
Baixo	0 - 20
Médio	21 - 40
Alto	> 40

Tabela 5. Classes de interpretação da disponibilidade para o enxofre¹, de acordo com o valor de fósforo remanescente (P-rem).

P-rem mg/L	Classificação				
	Muito baixo	Baixo	Médio ²	Bom	Muito bom
	----- (mg/dm ³) ³ -----				
	Enxofre disponível (S)				
0 - 4	< 1,8	1,8 - 2,5	2,6 - 3,6	3,7 - 5,4	> 5,4
4 - 10	< 2,5	2,5 - 3,6	3,7 - 5,0	5,1 - 7,5	> 7,5
10 - 19	< 3,4	3,4 - 5,0	5,1 - 6,9	7,0 - 10,3	> 10,3
19 - 30	< 4,7	4,7 - 6,9	7,0 - 9,4	9,5 - 14,2	> 14,2
30 - 44	< 6,5	6,5 - 9,4	9,5 - 13,0	13,1 - 19,6	> 19,6
44 - 60	8,9	9,0 - 13,0	13,1 - 18,0	18,1 - 27,0	> 27,0

1 Extrator Ca(H₂PO₄)₂, 500 mg/L de P, em HOAc 2 mol/L.

2 Esta classe indica os níveis críticos de acordo com o valor de P-rem.

3 mg/dm³ = ppm (m/v).

Fonte: ALVAREZ V. et al. (1999).

Tabela 6. Classes de interpretação da disponibilidade para os micronutrientes.

Micronutrientes	Classificação				
	Muito baixo	Baixo	Médio ¹	Bom	Muito bom

mg/L	(mg/dm ³) ²				
Zinco disponível (Zn) ³	< 0,5	0,5 - 0,9	1,0 - 1,5	1,6 - 2,2	> 2,2
Manganês disponível(Mn) ³	< 3	3 - 5	6 - 8	9 - 12	> 12
Ferro disponível (Fe) ³	< 9	9 - 18	19 - 30	31 - 45	> 45
Cobre disponível (Cu) ³	< 0,4	0,4 - 0,7	0,8 - 1,2	1,3 - 1,8	> 1,8
Boro disponível (B) ⁴	< 0,16	0,16 - 0,35	0,36 - 0,60	0,61 - 0,90	> 0,90

1 O limite superior desta classe indica o nível crítico.

2 mg/dm³ = ppm (m/v).

3 Método Mehlich-1.

4 Método água quente.

Fonte: ALVAREZ V. et al. (1999).

Tabela 7. Interpretação das classes de teores de fósforo no solo indicadas para a cultura do milho.

Classe textural do solo ¹	Extrator de fósforo	Classes de teor de fósforo no solo		
		Baixo	Médio	Alto
----- ppm -----				
Argilosa (36 a 60%)	Mehlich-1	< 6	6 a 10	> 10
Média (15 a 35%)	Mehlich-1	< 11	11 a 20	> 20
Arenosa (< 15%)	Mehlich-1	< 21	21 a 30	> 30
	Resina	< 16	16 a 40	> 40

1 Porcentagem de argila.

Fonte: COELHO & FRANÇA (1995).

Diagnose foliar

Análise de plantas

Além dos sintomas característicos de uma ou outra desordem, que só se manifestam em casos graves, a identificação do estado nutricional da planta somente é possível pela análise química da mesma. A utilização da análise foliar como critério diagnóstico baseia-se na premissa de existir uma relação bem definida entre o crescimento e a produção das culturas e o teor dos nutrientes em seus tecidos. A diagnose foliar tem sido utilizada nas seguintes situações (Martinez et al., 1999):

- na avaliação do estado nutricional da probabilidade de resposta às adubações;
- na verificação do equilíbrio nutricional;
- na constatação da ocorrência de deficiências ou toxidez de nutrientes;

- d. no acompanhamento, avaliação e ajuda no ajuste do programa de adubações;
- e. na ocorrência de salinidade elevada em áreas irrigadas ou cultivos hidropônicos.

Deve-se salientar que o uso da análise de tecidos torna-se mais importante no caso dos micronutrientes, considerando a carência de valores de referência para interpretar seus teores no solo e a falta de padronização dos métodos analíticos empregados para sua determinação no solo. A parte amostrada deve ser representativa da planta toda e o órgão de controle mais frequentemente escolhido é a folha, pois a mesma é a sede do metabolismo e reflete bem, na sua composição, as mudanças na nutrição. A amostragem deve ser realizada em talhões homogêneos, em época apropriada, retirando-se folhas de posições definidas na planta. Para o milho, o terço basal da folha oposta e abaixo da primeira espiga (superior), excluída a nervura central, coletada por ocasião do aparecimento da inflorescência feminina (embonecamento), é comumente utilizado. Normalmente recomenda-se a coleta de 30 folhas por hectare ou talhão homogêneo, quando 50 a 75% das plantas apresentam-se com inflorescência feminina. Não se deve coletar amostras das folhas quando, nas semanas antecedentes, fez-se uso de adubação no solo ou foliar, aplicaram-se defensivos ou após períodos intensos de chuva. Recomenda-se este estágio fisiológico pelos seguintes motivos:

- a. o estágio de desenvolvimento e a posição da folha são facilmente reconhecidos;
- b. a remoção de uma simples folha não afeta a produção;
- c. o efeito de diluição dos nutrientes nesta fase é mínimo, porque o potencial de crescimento e armazenamento dos órgãos vegetativos atingiu o ponto máximo;
- d. o requerimento de nutrientes é alto nessa fase.

O ideal é que as amostras cheguem ao laboratório ainda verdes, no mesmo dia da coleta, acondicionadas em sacos de plástico, identificadas e transportadas em caixas com gelo. Caso isso não seja possível, é aconselhável que as folhas sejam rapidamente lavadas com água corrente e enxaguadas com água filtrada ou destilada, acondicionadas em sacos de papel reforçados e postas para secar ao sol ou em estufa a 70°C. A identificação da amostra deve conter o seu número, cultura, localidade, data da coleta, nutrientes para analisar e endereço para resposta. É importante que o laboratório seja confiável e possua sistema de acompanhamento e avaliação da qualidade.

Os teores foliares de macro e micronutrientes considerados adequados para culturas produtivas de milho são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8. Valores de referência dos teores foliares de nutrientes considerados adequados para a cultura do milho.

Macronutrientes	Teor (%)	Micronutrientes	Teor (mg/dm ³)
Nitrogênio	2,75-3,25	Boro	4-20
Fósforo	0,25-0,35	Cobre	6-20
Potássio	1,75-2,25	Ferro	20-250
Cálcio	0,25-0,40	Manganês	20-150
Magnésio	0,25-0,40	Molibidênio	0,20
Enxofre	0,10-0,20	Zinco	20-70

Fonte: Martinez et al. (1999).

Sintomas de deficiência

Os sintomas de deficiência podem se constituir, no campo, em elemento auxiliar na identificação da carência nutricional. No entanto, para a identificação da deficiência com base na sintomatologia, é necessário que o técnico tenha razoável experiência de campo, uma vez que deficiências, sintomas de doenças e distúrbios fisiológicos podem ser confundidos. A sintomatologia descrita e apresentada a seguir, em forma de chave, foi adaptada de Malavolta & Dantas (1987).

Sintomas iniciais na parte inferior da planta

Com clorose

Amarelecimento da ponta para a base em forma de "V"; secamento começando na ponta das folhas mais velhas e progredindo ao longo da nervura principal; necrose em seguida e dilaceramento; colmos finos.

Foto: Antonio Marcos Coelho



Figura 4. Sintomas de deficiência de nitrogênio.

Clorose nas pontas e margens das folhas mais velhas, seguida por secamento, necrose ("queima") e dilaceração do tecido; colmos com internódios mais curtos; folhas mais novas podem mostrar clorose internerval típica da falta de ferro.

Foto: Antonio Marcos Coelho



Figura 5. Sintomas de deficiência de potássio.

As folhas mais velhas amarelecem nas margens e depois entre as nervuras dando o aspecto de estrias; pode vir a seguir necrose das regiões cloróticas; o sintoma progride para as folhas mais novas.

Foto: Antonio Marcos Coelho



Figura 6. Sintomas de deficiência de magnésio.

Faixas brancas ou amareladas entre a nervura principal e as bordas, podendo seguir-se necrose e ocorrer tons roxos; as folhas novas se desenrolando na região de crescimento são esbranquiçadas ou de cor amarelo - pálido, internódios curtos.

Foto: Antonio Marcos Coelho



Figura 7. Sintomas de deficiência de zinco.

Sem necrose Cor verde-escuro das folhas mais velhas, seguindo-se tons roxos nas pontas e margens; o colmo também pode ficar roxo.

Foto: Antonio Marcos Coelho



Figura 8. Sintomas de deficiência de fósforo.

Pequenas manchas brancas nas nervuras maiores, encurvamento do limbo ao longo da nervura principal.

Sintomas iniciais na parte superior da planta

Com clorose

As pontas das folhas mais novas gelatinizam e, quando secas, grudam umas nas outras; à medida que a planta cresce, as pontas podem estar presas. Nas folhas superiores aparecem, sucessivamente, amarelecimento, secamento, necrose e dilaceração das margens e clorose internerval (faixas largas); morte da região de crescimento.

Foto: Carlos Alberto de Vasconcellos



Figura 9. Sintomas de deficiência de cálcio.

Faixas alongadas aquosas ou transparentes, que depois ficam brancas ou secas nas folhas novas, o ponto de crescimento morre; baixa polinização; quando as espigas se desenvolvem podem mostrar faixas marrons de cortiça na base dos grãos.

Foto: Antonio Marcos Coelho



Figura 10. Sintomas de deficiência de boro.

Amarelecimento das folhas novas logo que começam a se desenrolar, depois as pontas se curvam e mostram necrose, as folhas são amarelas e mostram faixas semelhantes às provocadas pela carência de ferro; as margens são necrosadas; o colmo é macio e se dobra.

Foto: Antonio Marcos Coelho



Figura 11. Sintomas de deficiência de cobre.

Clorose internerval em toda a extensão da lâmina foliar, permanecendo verdes apenas as nervuras (reticulado finas de nervuras).

Foto: Antonio Marcos Coelho



Figura 12. Sintomas de deficiência de ferro.

Clorose internerval das folhas mais novas (reticulado grosso de nervuras) e depois de todas elas, quando a deficiência for moderada; em casos mais severos aparecem no tecido faixas longas e brancas e o tecido do meio da área clorótica pode morrer e desprender-se; colmos finos.

Foto: Antonio Marcos Coelho



Figura 13. Sintomas de deficiência de manganês.

Sem clorose

Folhas novas e recém-formadas com coloração amarelo-pálido ou verde suave. Ao contrário da deficiência de nitrogênio, os sintomas ocorrem nas folhas novas, indicando que os tecidos mais velhos não podem contribuir para o suprimento de enxofre para os tecidos novos, os quais são dependentes do nutriente absorvido pelas raízes.

Foto: Antonio Marcos Coelho



Figura 14. Sintomas de deficiência de enxofre.

Calagem e gessagem

Calagem

O desenvolvimento ou adaptação de cultivares mais tolerantes à acidez do solo, via melhoramento genético, não elimina o uso do calcário na agricultura, pelos seus efeitos e sua importância nos diferentes níveis tecnológicos dos diversos sistemas de produção usados no Brasil. A recomendação de calagem não é um procedimento simples, por pressupor o conhecimento de um número razoável de informações adicionais, como: características da propriedade agrícola (caracterização da área, da cultura, tipo de solo, histórico da área, expectativa de rendimento etc...), conhecimento tecnológico (tem sua origem na pesquisa naquela região ou estado) e, por último, informações oriundas das condições do mercado, principalmente àquelas relacionadas a preços de insumos e também disponibilidade de crédito, e que são independentes das duas anteriores.

Os solos brasileiros, na sua maioria, são ácidos, destacando-se aqueles sob vegetação de cerrado. Tais solos são caracterizados por baixas concentrações de cálcio e de magnésio, elementos diretamente envolvidos no desenvolvimento das raízes, e por valores elevados de alumínio trocável e baixa disponibilidade de fósforo do solo.

As respostas das culturas à calagem dependem de fatores ligados à planta, ao solo e ao corretivo empregado, de tal forma que essa interação direcione a máxima eficiência da prática.

A acidez do solo é representada basicamente por dois componentes: a fase sólida, que é representada pelas argilas, a matéria orgânica e os óxidos de ferro e alumínio, está em equilíbrio com a fase líquida, a solução do solo. Os íons H^+ dissociados na fase líquida são denominados acidez ativa, que é estimada pelo pH. Os demais íons H^+ e Al^{+3} , ligados à fase sólida, são denominados acidez potencial. Apenas parte dos íons alumínio são deslocados por outros cátions, sendo, por isso, denominados de Al trocável ou acidez trocável.

Os métodos que quantificam a necessidade de calcário visam a eliminação não somente da acidez ativa, mas também da acidez potencial do solo.

A estimativa da necessidade de calagem (**NC**) é feita através da análise química do solo e vários métodos vêm sendo utilizados. Os métodos atualmente em uso visam não somente a redução da acidez do solo, mas o melhor retorno econômico para a maioria das espécies cultivadas.

A escolha do calcário, o valor neutralizante, o grau de finura e sua reatividade são fatores relevantes na aquisição do material corretivo. Em situações que requeiram correção do magnésio, o calcário magnesiano ou o dolomítico são os recomendados. Não sendo suficientes, outras fontes de magnésio devem ser utilizadas. O poder neutralizante é determinado pela comparação com o poder de neutralização do carbonato de cálcio puro ($CaCO_3$), que é de 100%. Por essa razão, é denominado de Poder Relativo de Neutralização Total (PRNT) ou equivalente de carbonato de cálcio.

A calagem tem efeitos diretos e indiretos sobre as plantas. Os primeiros, geralmente depende do tempo e da umidade disponível no solo e estão associados com algumas características físicas (ex: relação entre o tamanho da partícula e a sua superfície) e químicas do corretivo(ex: valor do Poder Neutralizante - PN-). Em conjunto, determinam mudanças em algumas características do solo, quais sejam: a redução da saturação por alumínio, elevação nas concentrações do cálcio e do magnésio, elevação do pH e aumento na disponibilidade do fósforo. A atividade biológica também é favorecida pela ação do calcário.

Os efeitos indiretos podem manifestar-se através de algumas características fenológicas das plantas, como a distribuição do sistema radicular em profundidade e sua relação com a maior resistência aos déficits hídricos (veranicos). Em ambos os casos, os efeitos do calcário estão diretamente ligados a aumentos da produção e da qualidade da biomassa, tanto grãos como matéria seca na produção de silagem.

Métodos para estimar a necessidade da calagem

Os métodos para recomendação da necessidade de calcário (**NC**) adquiriram, em alguns casos, caráter regional quanto ao seu uso e preferência pelos técnicos. Nas regiões Sudeste e Centro-Oeste, os métodos mais comumente utilizados, segundo Goerdert et al.(1987) e CFMSG,(1999) são : a) método baseado na eliminação do alumínio trocável e na elevação dos teores do cálcio e do magnésio e b) método da saturação por bases:

a) Eliminação do alumínio trocável e elevação dos teores de cálcio e magnésio. Esse método consiste na extração do alumínio, do cálcio e do magnésio trocáveis com uma solução 1M de KCL.

A fórmula utilizada para estimar a necessidade de calagem (NC), segundo a Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, capítulo 8, adotada a partir de 1999, é:

$$NC = CA + CD$$

O Termo **NC** é a necessidade de calagem, **CA**, a correção da acidez em função do valor da saturação por alumínio (valor m%) de cada cultura, que, no caso do milho, é de 15%, e da capacidade tampão do solo, valor Y. O componente **CD** na equação é a correção da deficiência nos teores de cálcio e do

$$CA = Y [Al^{+3} - (mt \times CTC \text{ efetiva} / 100)]$$

magnésio. Pelo exposto, a expressão parcial da CA é

Os valores de Y são uma função do poder tampão do solo e da textura, portanto, para solos arenosos(0 a 15% argila), Y= 0 a 1; solos com textura média (15 a 35% argila), Y=1 a 2; solos argilosos (35 a 60% argila), Y=2 a 3 e solos muito argilosos (mais de 60% argila), Y=3 a 4.

Al⁺³ : a acidez trocável, expressa em Cmol c /dm³ ; mt: máxima saturação por Al, em % e CTC efetiva: valor t, em Cmol c /dm³ . Se, nessa expressão, valores negativos tiverem sido obtidos, considera-se CA=0, para efeito de cálculos, ficando a NC somente com o segundo termo da fórmula geral, ou seja o termo CD, que é a correção da deficiência de Ca e do Mg.

$$CD = X - (Ca^{+2} + Mg^{+2})$$

Para a correção da deficiência de Ca e de Mg, o termo CD, é dado pela expressão:

Os valores Ca e Mg são expressos em Cmol c /dm³ e o valor X é baseado na necessidade destes cátions pela cultura; no caso do milho, X=2

A expressão geral da necessidade de calagem, considerando os dois termos dimensionados, é:

$$= Y [Al^{+3} - (mt \times CTC \text{ efetiva} / 100)] + [X - (Ca^{+2} + Mg^{+2})]$$

Nos Estados do Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, A **NC** tem sido estimada pelo uso das expressões: NC (t/ha) = Al³ x 2, baseado na eliminação do Al trocável e, NC (t/ha) = Al³ x 2 + 2 - (Ca² + Mg²) , baseado na eliminação e na elevação dos teores de cálcio e do magnésio

b) Saturação de bases. Esse método teve origem no Estado de São Paulo, em trabalhos de Catani e Gallo, (1955), seguidos por Raij et al.(1979) e, por último, a versão em uso, proposta por Quaggio et al. (1983). É baseado na correlação do pH do solo com a saturação por bases e requer, em rotina laboratorial, a determinação de Ca, Mg, K, em alguns casos também o Na, além da determinação de H+Al (acidez potencial), extraídos com acetato de cálcio 0,5M, ajustado ao pH 7.

$$NC = (V2 - V1) CTC / 100$$

A fórmula para o cálculo da Necessidade de Calagem, em toneladas/hectare é representada pela expressão:

A CTC representa a soma das bases Ca, Mg, K e Na com os valores da acidez potencial (H + Al), expressos em Cmol c /dm^3 . O valor V2 é a saturação de bases que se deseja elevar e V1, a saturação original do solo, através da análise química. No caso do milho, recomenda-se valores de V2 entre 50% e 60%.

Independente do método a ser usado, recomenda-se, quando for conveniente, a correção da quantidade de calcário a um valor de 100%, através da

$$NC_c = 100 / PRNT$$

expressão:

Escolha do calcário

A indústria de calcário coloca no mercado produtos com ampla variação na granulometria, nos teores de cálcio e magnésio e no PRNT. Cabe ao técnico, com base na análise de solo, na exigência da cultura e no preço do calcário, analisar as várias alternativas oferecidas e decidir qual a solução mais técnica e econômica. A decisão final, entre outras informações, o preço por tonelada efetiva, é uma variável de grande interesse e para tal a seguinte relação deve ser usada:

$$\text{Preço por tonelada efetiva} = \frac{\text{Preço por tonelada na propriedade}}{\text{PRNT (\%)}}$$

No Brasil, há preferência pelo uso de calcários dolomíticos e magnesianos sobre os calcíticos, visando a manutenção de uma relação Ca: Mg de 3:1 a 5:1. Para a cultura do sorgo, resultados experimentais mostraram que essa relação pode ser mais ampla (Ca : Mg = 10:1), sem prejuízo da produção, desde que o teor de magnésio no solo esteja acima de $0,5 \text{ cmol c /dm}^3$ de solo. Entretanto, devido à maior exigência da soja ao magnésio, em área utilizadas com a rotação soja - milho, o teor de magnésio no solo, nessa situação, deve ser de, no mínimo, 1 cmol c /dm^3 .

Caraterísticas da qualidade dos materiais corretivos

As principais características relacionadas com a qualidade dos corretivos são: teor de neutralizantes (poder de neutralização-PN), tamanho das partículas, forma química dos neutralizantes e natureza geológica.

O teor de neutralizantes (PN) é determinado diretamente com ácido clorídrico e expresso em %. A conversão dos óxidos de Ca e de Mg em "CaCO₃ equivalente" é denominado Valor Neutralizante - **VN**. Por essa razão, o CaCO₃ possui um valor VN igual a 100%. O VN do MgCO₃ é 119, para o CaO, esse valor é de 179 e o VN do MgO, 248. Esses números mostram que os óxidos de Ca e de Mg neutralizam a acidez do solo na ordem de 1,79 e de 2,48 vezes mais, quando comparados com o poder neutralizante dos carbonatos. Dessa forma, pode-se, através da análise química dos corretivos, calcular o E CaCO₃, por exemplo:

Material A=25% CaO e 15% MgO - (25 x 1,79 + 15 x 2,48) = 82%

Material B =60% CaO e 12% MgO - (60 x 1,19 + 12 x 2,28) =137,2%

Como ilustração, um material que possua um PN de 110 % significa que 100 kg desse material tem a mesma capacidade neutralizante de 110 kg de CaCO₃. Há casos em que o VN superestima a capacidade de neutralização do corretivo (PN), isso se deve a algumas frações insolúveis de Ca e de Mg que não participam da neutralização da acidez do solo.

A legislação brasileira não exige teores mínimos de E CaCO₃, porém, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento recomenda que a soma dos óxidos de Ca e de Mg não deve ser menor que 38% e o PRNT não inferior a 67%.

Há resultados experimentais que apontam valores de E CaCO₃ menores que 80% indicativos de má qualidade do corretivo.

A granulometria, segundo a legislação brasileira (ABNT), deve seguir as seguintes características: 95% do material deve passar na peneira 10 (2mm), 70% deve passar na peneira 20 (0,84mm) e 50% passar na peneira 50 (0,30mm). Através das frações granulométricas, pode-se estimar a reatividade do material corretivo, em função das peneiras usadas:

Tabela 9. Reatividade do calcário de acordo com sua granulometria.

Fração granulométrica	Peneira ABNT	Reatividade (%)
> 2,00 mm	Retida no. 10	0
0,84 - 2,00 mm	Passa no. 10, retida no. 20	20
0,30 - 0,84 mm	Passa no. 20, retida no. 50	60
£ 0,84 mm	Passa no. 50	100

Fonte: Comissão de Fertilidade do Solo-MG, 1999.

A combinação do PN com a reatividade (RE) permite estimar o Poder Relativo de Neutralização total (**PRNT**), através da seguinte fórmula:
PRNT= PN x RE / 100

Quanto à forma química dos corretivos, ressalta-se que os óxidos de Ca e de Mg têm reação instantânea com a água, formando hidróxidos:



Esses hidróxidos apresentam reatividade muito mais alta que os carbonatos, porém apresentam algumas desvantagens: a) devem ser imediatamente incorporados, pois, devido à umidade e na presença de CO₂ tornam-se enpedrados e carbonatados, b) são muito cáusticos, c) devido à sua elevada finura, perdem-se facilmente com o vento durante a aplicação; e d) são de custo bem elevado.

Não foram observadas diferenças no aumento do pH do solo quando se compararam os calcários dolomíticos com os calcíticos.

Existem dois critérios para a classificação dos calcários:

1. **pelos teores de MgO** calcíticos (< 5 dag/kg de MgO) magnesianos (entre 5 e 12 dag/kg de MgO) dolomíticos (> 12 dag/kg de MgO)

2. **pelos valores de PRNT** Grupo A (PRNT entre 45 e 60%) Grupo B (PRNT entre 60,1 e 75%) Grupo C (PRNT entre 75,1 e 90%) Grupo D (PRNT maior que 90%).

Do exposto, observa-se que a decisão baseada nos teores de MgO será em função da análise química do solo e dos valores de Ca e Mg, porquanto aquelas baseadas nos valores de PRNT, aspectos econômicos são importantes como também preferir materiais pertencentes ao Grupo D ou próximos a ele.

Aplicação do calcário

Os materiais corretivos comumente usados na agricultura são rochas moídas, misturas de calcita e dolomita, as quais possuem, em suas composições, carbonatos de cálcio e de magnésio, que são pouco solúveis. As rochas calcárias calcinadas que contêm óxidos de cálcio e magnésio (cal virgem) ou os materiais hidratados oriundos dos óxidos, os hidróxidos de Ca e de Mg (cal hidratada), apesar de serem mais solúveis que os carbonatos, têm sido menos usados na agricultura.

Recomenda-se que a aplicação do calcário seja a mais uniforme possível, em toda a extensão do terreno, de modo que haja a mais íntima mistura com as partículas do solo, aumentando a superfície de contato.

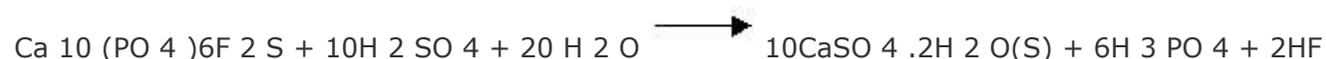
A incorporação do calcário deverá ser a mais profunda possível, de preferência a profundidades maiores que 20 cm. Essa observação ainda é mais relevante quando se recomendam quantidades superiores a 4 toneladas/ha. Nessa situação, sugere-se o parcelamento em duas vezes, ou seja, metade antes da aração e a outra metade após essa operação, seguindo-se esta última, de uma gradagem.

Em solos sob plantio direto consolidado, é possível aplicar o calcário na superfície, sem a necessidade de revolvimento para incorporação (aração e gradagem). Nessa situação, as quantidades são menores e as recomendações são baseadas na textura do solo: a) *Solos argilosos*: 1/3 a 1/2 da necessidade de calcário (NC), pelo método de saturação de bases, para a camada de 0 a 20 cm. Se maior que 2,5 t/ha, adotar o valor limite; b) *Solos de textura média e arenosos*: 1/2 da necessidade de calcário (NC), pelo método de saturação de bases para a camada de 0 a 20 cm. Se maior que 1,5 a 2 t/ha, adotar o valor limite.

A necessidade de uma nova aplicação de calcário deve ser monitorada pela saturação por bases do solo. Com valores iguais ou superiores a 50%, não efetuar a calagem. (Lopes, A.S., comunicação pessoal).

Gessagem

O gesso agrícola é também denominado fosfogesso. As indústrias de fertilizantes, durante o processo de fabricação de superfosfatos, simples e triplo, e fosfatos de amônio, MAP e DAP, usam como matéria-prima a rocha fosfática, geralmente a fluorapatita. Esta, ao ser atacada com ácido sulfúrico, na presença de água, forma como subprodutos sulfato de cálcio, ácido fosfórico e ácido fluorídrico, de acordo com a seguinte equação:



Os dados da eficiência industrial indicam que, para cada tonelada de P₂O₅ obtida, são produzidas 4,5 toneladas de gesso agrícola. Essa relação evidencia o grande acúmulo desse material em plantas industriais ligadas ao setor.

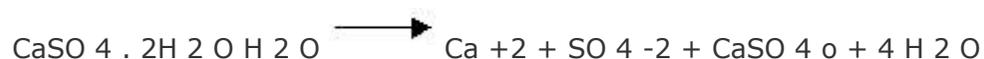
O gesso é o sulfato de cálcio dihidratado, apresentando-se na forma de pó branco-amarelado. Sua composição média, segundo Vitti e Malavolta(1983), é : Umidade livre 15-17%; CaO 26-28%; S 15-16%; P₂O₅ 0,6 - 0,75%, SiO₂ insolúveis 1,26%; Flouretos 0,63% e óxidos de Al e Fe 0,37%.

O gesso é um sal pouco solúvel (2,0 a 2,5 g/L) e tem sido empregado na agricultura devido à retirada gradual do enxofre das formulações, concentrações mais elevadas de nutrientes nas formulações comerciais e excessiva produção e alta armazenagem industrial. Sob a ótica agrônômica, seu emprego tem sido justificado principalmente em duas situações; a) quando se requer fornecimento de cálcio e de enxofre; b) na diminuição de concentrações tóxicas do alumínio trocável nas camadas subsuperficiais, com conseqüente aumento de cálcio nessas camadas, visando "melhorar" o ambiente para o crescimento radicular.

Na primeira situação, a aplicação de uma tonelada de gesso, é adicionado 0,48 Cmol c /dm³ do elemento. Por outro lado, sabe-se que apenas 250 kg/ha são necessários par atender as necessidades de S das plantas, razão pela qual, ao usar alguns fertilizantes, está-se adicionando também enxofre, por exemplo: o superfosfato simples contem 12%, o sulfato de amônio 24%, o FosMag 11% e fontes menos solúveis, como o fosfato natural parcialmente acidulado, 6%.

Esses fatores devem ser considerados, pois as quantidades de enxofre aplicadas através desses produtos podem já ser suficientes para atender as necessidades da cultura.

Na segunda situação, o gesso em contato com o solo e com umidade suficiente, sofre inicialmente uma dissolução, segundo a equação:



Os íons cálcio e sulfato irão participar de reações de troca catiônica e aniônica na solução do solo. Dessa forma, os íons Ca deslocam outros cátions, como o Al, K, Mg e H, porquanto os íons sulfato formam complexos químicos solúveis neutros, como MgSO₄ o , K₂ SO₄ o, como também AlSO₄ o. Esses complexos, por apresentarem grande mobilidade, favorecem a descida desses cátions no perfil. Sais que apresentam alta mobilidade, como os nitratos (exemplo, KNO₃), que não interagem com a fase sólida, são facilmente arrastados no perfil, ocasionando acúmulo nas camadas mais profundas e, em alguns casos, levando a deficiência às plantas.

Critérios para recomendação de gesso

A tomada de decisão sobre o uso do gesso agrícola deve sempre ser feita com base no conhecimento de algumas características químicas e na textura das camadas subsuperficiais do solo (20 a 40 cm e 30 a 60 cm). Haverá maior probabilidade de resposta ao gesso quando a saturação por Al³⁺ for maior que 30 %, (m³ 30%) ou o teor de Ca menor que 0,4 cmol c /dm³ de solo .

Nos estados do Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, os valores de m% são £ 20% e a saturação de Ca de 60% na CTC efetiva.

Uma vez estabelecidas aquelas características, as quantidades sugeridas são:

1. solos de textura arenosa (< 15 % de argila) = 0 a 0,4 t/ha;
2. solos de textura média (15 a 35 % de argila) = 0,4 a 0,8 t/ha;
3. solos argilosos (36 a 60 % de argila) = 0,8 a 1,2 t/ha;
4. solos muito argilosos (> 60 % de argila) = 1,2 a 1,6 t/ha. (Alvares et al., 1999).

A aplicação de gesso agrícola deve ser feita a lanço individual ou separadamente, com relação à aplicação do calcário (Alvares et al., 1999).

Nutrição e adubação do milho

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 necessidade da melhoria na qualidade dos solos, visando uma produção sustentada. Essa melhoria na qualidade dos solos está geralmente relacionada ao adequado manejo, o qual inclui, entre outras práticas, a rotação de culturas, o plantio direto e o 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.

Ao planejar a adubação do milho, deve-se levar em consideração os seguintes aspectos: a) diagnose adequada dos problemas - feita pela 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 considerando o que for 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).

Exigências nutricionais

Dados médios de experimentos conduzidos em Sete Lagoas e Janaúba, MG, e relatados por Coelho & França (1995) dão uma ideia da extração de nutrientes pelo milho, cultivado para produção de grãos e silagem (Tabela 10). Observa-se que a extração de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio aumenta linearmente com o aumento na produtividade, e que a maior exigência da cultura 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 efeito tanto na desorganização de processos metabólicos e redução na produtividade como a deficiência de um macronutriente como, por exemplo, o nitrogênio.

Tabela 10. 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				
		N	P	K	Ca	Mg
Grãos	3,65	77	9	83	10	10
	5,80	100	19	95	7	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).

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 10). Assim, problemas de fertilidade do solo se manifestarão mais cedo na produção de silagem do que na produção de grãos.

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. Essa informação, associada ao potencial de perdas por lixiviação de nutrientes nos diferentes tipos de solos e a sua eficiência, 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), 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. Isso 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 quando comparado do nitrogênio e ao fósforo. A máxima absorção do potássio ocorre no estágio vegetativo (30 a 40 dias de desenvolvimento), com taxa de absorção superior ao do nitrogênio e do 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.

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 da cultura 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.

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 40 a 80 kg de N/ha. Em agricultura irrigada, em que prevalece o uso de alta tecnologia, para a obtenção de elevadas produtividades, essa recomendação seria insuficiente. Nessas condições, doses de nitrogênio variando de 100 a 150 kg/ha podem ser necessárias para a obtenção de elevadas produtividades (Tabela 10).

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 Fig. 1 ilustra a complexidade envolvida, por exemplo, para recomendação de N para a cultura do milho, baseando-se em informações obtidas em solo sob cerrado (Coelho et al., 1992).

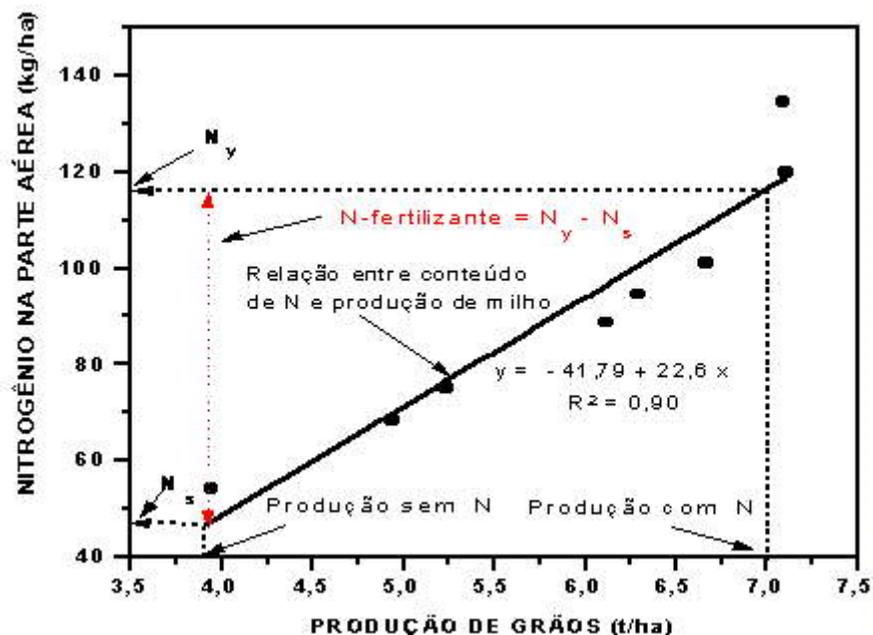


Figura 15. Relação entre a quantidade de nitrogênio na parte aérea e a produção de grãos de milho.

Fonte: Antonio Marcos Coelho

Como critério para recomendação, em condições específicas, parece adequado considerar a técnica da estimativa das necessidades de nitrogênio ilustrada na Fig. 1, em que:

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

Sendo:

N_f = quantidade de nitrogênio requerida pela planta;

N_y = 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 1,0 % de N na palhada a 1,4 % de N nos grãos);

N_s = 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)

Utilizando-se esses conceitos, pode-se calcular a necessidade de nitrogênio para uma cultura do milho, para uma produtividade estimada de 7.000 kg/ha, em uma área cuja cultura anterior era o milho, conforme ilustrado na Tabela 11.

Tabela 11. Estimativa da necessidade de adubação nitrogenada para a cultura milho.**Necessidade da cultura para produzir:**

Grãos, 7000 kg ha ⁻¹ x 1,4 % de N -----	98 kg
Palhada, 7000 kg ha ⁻¹ x 1,0 % de N -----	70 kg
Total -----	168 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 -----	21 kg
Total -----	81 kg

Necessidade de adubação ¹ :

$$N_f = (168 - 81)/0,60^* \text{ ----- } 145 \text{ kg}$$

*fator de eficiência do N = 60 %

1 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.

Fonte: Antonio Marcos Coelho.

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.

Para as condições do Brasil, de acordo com as informações disponíveis, Coelho et al. (1991) mencionam que, 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; 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; c) plantio intensivo, sem o uso de irrigação, em que a distribuição do fertilizante é feita mecanicamente. Um esquema de parcelamento do nitrogênio para a cultura do milho, em função da textura do solo, é apresentado na Tabela 12.

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

Condições de solo e clima	Doses de nitrogênio	Estádios fenológicos do milho (número de folhas totalmente emergidas)			
		(kg/ha)	3 a 4	6 a 7	8 a 10	10 a 12
Solos argilosos (36 a 60% de argila) e regiões não muito chuvosas	< 60		Aplicar na semeadura		
	≥ 60 a ≤ 120 ^{1/}		100 %	-	-
	> 120	50 %	50 %	<u>2/</u>	<u>2/</u>
Solos textura média (15 a 35% de argila) e regiões não muito chuvosas	< 60		Aplicar na semeadura		
	≥ 60 a ≤ 120		100 %	-	-
	> 120	50 %	50 %	<u>2/</u>	<u>2/</u>
Solos textura arenosa (< 15% de argila) e condições de alta percolação de N	≥ 60	100 %	-	-	-
	≥ 60 a ≤ 120	50 %	50 %	-	-
	> 120	40 %	60 %	<u>2/</u>	<u>2/</u>

Fonte: modificado de Coelho & França (1995)

^{-1/}Se as plantas apresentarem sintomas de deficiência, pode -se fazer aplicação suplementar de nitrogênio, em período anterior ao indicado. ^{-2/}Em milho irrigado por aspersão, a aplicação de nitrogênio via água, possibilita maior flexibilidade no número de parcelamento.

Fósforo

Embora as exigências do milho em fósforo sejam em quantidades bem menores do que em relação ao nitrogênio e ao potássio (Tabela 10), 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 potenciais de 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 4 e 5. 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 13. Interpretação das classes de disponibilidade de fósforo no solo, de acordo com o teor de argila e disponibilidades de potássio.

Características	Classes de P disponível no solo ^{1/}		
	Baixo	Médio	Adequado
	----- (mg dm ⁻³) ^{2/} -----		
Argila (%)	P disponível ^{3/}		
60-100	< = 5,5	5,5 - 8,0	> 8,0
35-60	< = 8,1	8,1 - 12,0	> 12,0
15-35	< = 12,1	12,1 - 20,0	> 20,0
0-15	< = 20,1	20,1 - 30,0	> 30,0
	Classes de K disponível no solo ^{1/}		
	Baixo	Médio	Adequado
	< = 41	41 - 70	> 70

^{1/} Método Mehlich - 1, ^{2/} mg dm⁻³ = ppm (m/v), ^{3/} Nesta classe, apresentam-se os níveis de acordo com o teor de argila. O limite superior desta classe indica o nível crítico. Fonte: adaptado de Alvarez et al. (1999).

Tabela 14. Recomendação de adubação para milho grãos com base na análise de solo e na produtividade esperada.

Produtividade (t/ha)	Dose de N Plantio	Disponibilidade de P					Disponibilidade de K			Doses de N Cobertura
		-----kg/ha-----					-----			
		Baixa	Média	Adequada			Baixa	Média	Adequada	
		- Dose de P ₂₀₅ -					- Dose de K _{2O} -			
4 - 6	10 - 20	80	60	30	50	40	20			60
6 - 8	10 - 20	100	80	50	70	60	40			100
> 8	10 - 20	120	100	100	90	80	60			140

Fonte: Alves et al. (1999).

Quando o solo apresentar teores de fósforo acima do nível crítico (Tabelas 13 e 14), 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 10, a exportação de fósforo, quando se cultiva o milho para essa finalidade, é semelhante àquela para a produção de grãos, em que 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, em média, 30% são exportados nos grãos. Até pouco tempo, as respostas ao potássio, em ensaios de campo com o milho, eram menos freqüentes e mais modestas que aquelas observadas para fósforo e nitrogênio, devido principalmente aos baixos níveis de produtividade obtidos. Entretanto, nos últimos anos, tem-se verificado uma reversão desse quadro, devido aos seguintes aspectos: a) uso freqüente de formulações de fertilizantes com baixos teores de potássio; b) sistemas de produção utilizados pelos agricultores, como a rotação soja-milho, uma leguminosa altamente exigente e exportadora de potássio; e) uso de híbridos de milho de alto potencial produtivo; d) conscientização dos agricultores da necessidade de recuperação da fertilidade do solo através de uso de calcário e fertilizantes, principalmente nitrogênio; e) aumento do uso do milho como planta forrageira, altamente exigente e exportadora de potássio; f) ampliação das áreas irrigadas com 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 observadas para solos com teores muito baixos e com doses de até 120 kg de K_2O /ha. 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 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 13 e 14. As quantidades de potássio recomendadas para a adubação do milho para produção de forragem, em função do teor do nutriente no solo, são apresentadas na Tabela 15.

Tabela 15. Recomendação de adubação para milho forragem com base em análise de solo e na produtividade esperada.

Produtividade Matéria Verde (t/ha)	Dose de N Plantio	Disponibilidade de P			Disponibilidade de K			Doses de N Cobertura
		Baixa	Média	Adequada	Baixa	Média	Adequada	
		--- Dose de P_2O_5 ---			--- Dose de K_2O ^{1/} ---			
		-----kg/ha-----						
30 - 40	10 - 20	80	60	30	100	80	40	80
40 - 50	10 - 20	100	80	50	140	120	80	130
> 50	10 - 20	120	100	100	180	160	120	180

1/ Em solos com teores de K muito baixos ou para doses de cobertura = 80 kg de K_2O /ha, é aconselhável transferir a adubação potássica de cobertura para a fase de pré - semeadura, a lanço.

Fonte: Alves et al. (1999).

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. 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 80 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 (mg/dm^3) (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.

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 o uso de micronutrientes na adubação. A sensibilidade à 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.

Tabela 16. Critérios para interpretação de análise de solos para micronutrientes na região dos Cerrados.

Micronutrientes	Disponibilidade no solo		Alta
	Baixa	Média	
	----- 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.

Fonte: adaptada de Lopes (1992).

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 solos sob vegetação de cerrado. Nessa 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 (Mehlich-1) de 0,6 a 1,0 mg/dm³ a 4 kg de Zn/ha para solos com Zn (Mehlich-1) 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. Galvão (1994), comparando métodos de aplicação de zinco na cultura do milho, verificou 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 17).

Tabela 17. Fontes, doses e métodos de aplicação de zinco na cultura do milho, em latossolo vermelho-escuro. Planaltina - DF.o, 1994).

Fontes de zinco	Doses de zinco (kg/ha)	Método de aplicação	Zinco no solo ppm (mg/dm ³)	Produção de grãos (kg/ha)
Sulfato de zinco	0,4	a lanço	0,9	5.478
Sulfato de zinco	0,4	no sulco	0,4	4.913
Sulfato de zinco	1,2	a lanço	1,2	7.365
Sulfato de zinco	1,2	no sulco	1,0	5.898
Sulfato de zinco	3,6	a lanço	1,6	7.408
Óxido de zinco ^{1/}	0,8	nas sementes	0,4	6.156
Sulfato de zinco ^{2/}	1 %	viafoliar-2	0,4	7.187
Sulfato de zinco ^{3/}	1 %	viafoliar-3	0,4	7.187
Testemunha	-	-	0,3	3.880

^{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): 3a e 5a semanas após a emergência.

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

Fonte: adaptado de Galvão (1994).

É importante ressaltar a falta de 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-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, tem 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 18. Neste experimento, o milho foi plantado em solo anteriormente cultivado com soja e que apresentou sintomas de deficiência de manganês.

Tabela 18. Efeito de doses e número de aplicações foliares de manganês em diferentes estádios de desenvolvimento do milho, no rendimento de grãos.

Doses de manganês (kg/ha)	Época de aplicação		Rendimento de grãos (kg/ha)	Peso da Espiga (g)
	4 Folhas	8 Folhas		
	----- n° de aplicações -----			
0,0	-	-	2210	89
0,6	1	-	5100	143
1,1	1	-	5330	144
0,6	-	1	6030	168
1,1	-	1	6690	182
0,6	1	1	8230	218
1,1	1	1	8400	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: adaptada de Mascagni Jr. & Cox (1984).

Manejo da adubação para milho de alta produtividade 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. Por sua vez, a fertilidade do solo não pode ser limitante quando se trabalha com investimento pesado nos demais fatores de produção. No manejo do solo, além de priorizar o sistema plantio direto, deve-se realizar adubações bem dimensionadas e equilibradas quanto aos diversos macro e micronutrientes requeridos pelo milho.

O primeiro passo consiste no estabelecimento de um ambiente de fertilidade construída que garanta um bom potencial de produção. A partir daí, é preciso levar em conta a extração e exportação de nutrientes para uma dada produtividade, para a definição das quantidades de nutrientes a serem fornecidos a cada safra. 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 gradativamente o seu manejo, corrigindo de maneira ágil as tendências de deficiências e excessos de nutrientes, o que torna o sistema de produção mais eficiente.

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 19, 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 19)

passam a ser interpretados como altos e indicam oportunidades para um melhor planejamento da adubação ou uso mais racional de fertilizantes e corretivos.

Tabela 19. 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										
360 a 600	31 a 45	12 a 18	80	2,5 a 7,0	0,5 a 2,0	.....	0,5	0,8	5	3	50 a 60	
> 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.

O ideal é que a calagem, gessagem e adubações corretivas para a construção da fertilidade no perfil 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 gradagem, originarão uma camada fértil mais espessa e homogênea para o aprofundamento radicular. Assim, é recomendável que se efetuem esses procedimentos antes de iniciar no sistema plantio direto, após o que, 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).

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. Este sistema, quando 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, matem 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 plantio direto torna o ambiente de cultivo mais tamponado e resiliente. Para tanto, um preceito básico do sistema plantio direto precisa ser buscado: a rotação de culturas.

A combinação mais comum no Brasil Central é a alternância soja/milho, em sucessão ou rotação. 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⁻¹ 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 junto com a soja e o milho.

A adubação de manutenção 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 equilíbrio deste estoque, mediante a reposição das saídas de nutrientes por meio das adubações de manutenção a cada safra.

Lavouras de milho com produtividade acima de 8 t/ha de grãos estão associadas a sistemas que envolvem, basicamente, o seu cultivo na safra de verão. 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 safra 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 ciclagem de nutrientes naquele sistema de culturas, permite suprimento suficiente ao desenvolvimento e 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 de manutenção do sistema depende de um conhecimento organizado sobre o histórico de cultivos e produtividades anteriores e deve ser dinâmica, a partir de constante monitoramento do solo e das culturas, que incluam análises de macro e micronutrientes, aferição das produtividades alcançadas e, caso necessário, ajustes e reorientações no manejo de nutrientes/fertilizantes com maior frequência.

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 20 e 21, são compilados valores de extração e exportação de N, P e K pela cultura, expressos em kg de N, P₂O₅ e K₂O por tonelada de grãos. Ressalta-se a considerável variação na magnitude desses 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.

Tabela 20. 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	Bull (1993)

			de grãos.	
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	

Fonte: Resende et. al (2012)

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 21). 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.

Tabela 21. 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	

Fonte: Resende et. al (2012)

Portanto, 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 mínimo considerado adequado a um ambiente de alto potencial produtivo (Tabela 19). Essa margem de segurança acima da exportação deve ser usada também para o manejo do nitrogênio. Ou seja, em função do elevado acúmulo nas 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.

Uma lógica diferente direciona o manejo do fósforo, para o qual o solo constitui um grande reservatório com elevado grau de tamponamento e neste caso, a absorção vegetal ocorre em 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 das quantidades exportadas nas colheitas.

De acordo com o raciocínio mencionado e os valores médios da Tabela 21, são indicadas na Tabela W as quantidades de N, P₂O₅ e K₂O a serem fornecidas para produtividades crescentes de milho em solos de fertilidade construída, considerando que estes se enquadrem na caracterização de atributos de fertilidade descritos na Tabela 19.

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 W foram estipuladas mediante estimativa de demanda em torno de 20% acima da quantidade exportada do nutriente (Tabela 21), 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).

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 22. Essa possibilidade nem sempre é previsível, sendo governada pela combinação de diversos fatores que interagem 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.

Tabela 22. 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 t/ha	Plantio			Cobertura	
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	K ₂ O
	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

Fonte: Resende et. al (2012)

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 & Lobato (2004a), incluindo informações peculiares às condições locais, como segue:

$$\mathbf{N \text{ fertilizante (kg/ha)} = [N \text{ exportado, em kg/ha, para uma dada produtividade} \times 1,2] - [N \text{ solo}] \times f ;}$$

em que:

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

$$[N \text{ solo}] \text{ em kg/ha} = [(\%MOS \times 30) + (0,11 \times n^{\circ} \text{ sc/ha soja colhida três safras atrás}) + (0,1 \times n^{\circ} \text{ sc/ha milho duas safras atrás}) + (0,45 \times n^{\circ} \text{ sc/ha soja na última safra})]$$

$$f = 1,59 \text{ (fator de eficiência média dos fertilizantes nitrogenados = 63\%)}$$

Apresenta-se a seguir 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:

$$N \text{ fertilizante} = [N \text{ exportado} \times 1,2] - [N \text{ solo}] \times f ;$$

$$N \text{ fertilizante} = [193 \times 1,2] - [(2,5 \%MOS \times 30) + (0,11 \times 50 \text{ sc/ha soja colhida três safras atrás}) + (0,1 \times 180 \text{ sc/ha milho duas safras atrás}) + (0,45 \times 61 \text{ sc/ha soja na última safra})] \times 1,59$$

$$N \text{ fertilizante} = (232 - 126) \times 1,59$$

$$N \text{ fertilizante} = 169 \text{ kg/ha (dose total de N a ser fornecida no plantio + cobertura)}$$

A dose total de nitrogênio deve ser fornecida parceladamente, em aplicações no sulco de semeadura e em uma ou duas coberturas entre os estádios V3 e V7. 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 estádio 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 estádio 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 aqui sugerida (Tabela 22) para solos com teores de P adequados (Tabela 19), 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 e Lobato, 2004 a,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. A maior 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 22 é 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 na Tabela 22 visa prevenir perda de potencial produtivo, tendo em vista que, mesmo num solo com fertilidade construída (Tabela 19), pode haver rápida depleção do teor do K disponível durante a fase vegetativa do milho (Resende et al., 2014). Assim, optou-se por estimar a demanda de K_2O em 60% acima da quantidade exportada (Tabela 21) 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 efeito salino do cloreto de potássio. A recomendação de se limitar a adubação potássica no sulco de semeadura a 50 kg/ha de K_2O (Tabela 22) visa minimizar o risco de comprometimento do estande, componente de grande relevância no desempenho da cultura, sobretudo quando se trata de lavouras de alta produtividade. O restante do potássio deve ser fornecido em cobertura juntamente com o nitrogênio, de preferência até o estádio V6. Em solos de textura argilosa, existe a opção dessa parcela da adubação potássica ser distribuída a lanço em pré-semeadura.

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. O nível crítico corresponde ao limite superior da faixa de disponibilidade considerada “média” na interpretação da análise do solo. Por conseguinte, enquadra-se imediatamente abaixo da próxima faixa de interpretação, que é tida como “boa ou adequada” e caracteriza os solos de fertilidade construída (Tabela 19). Em condições de lavouras mais tecnificadas, é frequente se obter 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” ou “altos”. 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.

A partir de informações regionalizadas ou locais, é possível aprimorar a tomada de decisão quanto ao dimensionamento das adubações. A obtenção de informações locais sobre extração e exportação de nutrientes em sistemas de produção, condições de cultivo e cultivares específicas, associadas 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 com rentabilidade maximizada.

Adubação de milho safrinha

O milho safrinha, cultivado sem irrigação, no período de janeiro a abril, possui algumas características peculiares. Nessa época, o potencial de produtividade é menor e os riscos aumentam, em virtude das menores precipitações e baixas temperaturas e radiação solar no fase final do ciclo da cultura. Quando o milho safrinha começou a ser cultivado em grande escala, no início dos anos 90, muitos agricultores não investiam em adubação. Posteriormente, uma série de ensaios experimentais conduzidos principalmente no Estado de São Paulo, mostrou respostas consistentes à adubação e bom retorno econômico.

Em razão dos riscos existentes, deve-se, preferencialmente, implantar a lavoura em áreas de boa fertilidade, com necessidades de aplicação de fertilizantes em doses suficientes para a reposição das quantidades exportadas pelos grãos. Recomenda-se efetuar o plantio de milho safrinha em solo já corrigido, uma vez que não há tempo para a correção do solo com calcário antes do plantio da safrinha. A calagem deve ser feita antes da cultura de verão.

Áreas com subsolos muito ácidos, com altos teores de alumínio trocável ou baixos teores de Ca, podem limitar o desenvolvimento do sistema radicular e afetar a profundidade até onde as plantas podem absorver água, o que é crítico para a safrinha. Devido às condições de risco da cultura, recomenda-se o plantio do milho safrinha em solo de boa fertilidade, que exige menores investimentos. Em solo arenosos, com baixa capacidade de armazenamento de água, os riscos do milho "safrinha" aumentam.

Em situações em que os fatores climáticos não são limitantes, expressivas produções são obtidas com o milho safrinha. Em Maracaju, MS, em solos de alta fertilidade, após o cultivo de soja, observou-se resposta principalmente ao nitrogênio (Salton, 1994). Estudos conduzidos na região do Médio Vale do Paranapanema, SP, por Cantarella & Duarte (1997), para as condições de milho safrinha, após o cultivo da soja, mostram respostas econômicas à aplicação de nitrogênio, principalmente em solos arenosos. Em solos argilosos, as respostas foram baixas, porém constantes, até 40 kg/ha de nitrogênio. As respostas observadas para P e K foram baixas, e as doses econômicas diminuíram com o aumento da disponibilidade dos mesmos. No caso do fósforo, quando o seu teor no solo se encontrava em nível médio, o aumento de produção foi equivalente ao custo do fertilizante.

Nas condições do Mato Grosso do Sul e do Mato Grosso, não existem estudos de calibração de níveis críticos e doses econômicas para o milho safrinha. No entanto, algumas indicações podem ser feitas visando auxiliar a tomada de decisão para a aplicação de fertilizantes na cultura.

Os princípios usados na recomendação de adubação do milho safrinha são os mesmos da época normal. Deve-se, ainda, levar em consideração os maiores riscos que limitam as doses econômicas e a pluviosidade decrescente, que pode afetar o parcelamento da adubação. A dose de N recomendada para o plantio permite dispensar aplicações em cobertura para produtividades até 3 t/ha.

Na recomendação de nitrogênio em cobertura feita por Cantarella & Duarte (1977), além da produtividade esperada, considera-se a classe de resposta. Em área onde o milho safrinha é cultivado em solo arenoso ou após outra gramínea cultivada no verão, o mesmo é enquadrado na classe de média resposta ao elemento. Contudo, classifica-se o milho safrinha como de baixa resposta a nitrogênio, quando este é cultivado após soja ou outra leguminosa de verão (Tabela 19).

Tabela 23. Doses de nitrogênio em cobertura para o milho safrinha.

Produtividades Esperadas (t/ha)	Classes de resposta ao nitrogênio	
	média	Baixa
2-3	0	0
3-4	20	10

Fonte: Cantarella & Duarte, 1997.

Em razão do baixo potencial de rendimento, as doses de fósforo e potássio a serem aplicadas, quando necessárias, são menores. Em solos onde os níveis de fósforo e potássio são altos e as possibilidades de respostas econômicas são baixas, as quantidades a serem aplicadas compensariam parte da retirada pelos grãos. Como orientação na tomada de decisão sobre a aplicação de fósforo e potássio, foi feita uma adaptação da recomendação de Cantarella & Duarte (1997), que é mostrada na Tabela 20.

Tabela 24. Sugestões para adubação do milho safrinha com fósforo e potássio.

Produtividade esperada	N (kg/ha)	Nível de Fósforo no solo				Nível de Potássio no solo			
		Muito baixo P ₂ O ₅ (kg/ha)	Baixo	Médio	Alto	Muito baixo	Baixo	Médio	Alto
2-3	30	50	30	10	0	40	30	20	0
3-4	30	60	40	20	10	50	40	30	10
4-6	30	*	60	40	30	*	50	40	20

* É pouco provável que esse nível de produtividade seja atingido em solos com teores muito baixos de P e K.
Fonte: Cantarella & Duarte, 1997.

Adubação orgânica

Introdução

O aproveitamento integral e racional de todos os recursos disponíveis dentro da propriedade rural, com a introdução de novos componentes tecnológicos, aumenta a estabilidade dos sistemas de produção existentes, bem como maximiza a eficiência dos mesmos, reduzindo custos e melhorando a produtividade. A associação dos diversos componentes em sistemas integrados, que preservem o meio ambiente, estabelece o princípio da reciclagem: "o resíduo de um passa a ser insumo de outro sistema produtivo".

Os sistemas agropecuários dão origem a vários tipos de resíduos orgânicos, os quais, corretamente manejados e utilizados, revertem-se em fornecedores de nutrientes para a produção de alimentos e melhoradores das condições físicas, químicas e biológicas do solo. Quando inadequadamente manuseados e tratados, constituem fonte de contaminação e agressão ao meio ambiente, especialmente quando direcionados para os mananciais hídricos. A produção econômica, tanto de grãos quanto de pastagens, pressupõe a oferta de nutrientes às plantas oriunda de uma fonte que não o solo, em quantidade e qualidade compatíveis com a obtenção da produtividade que se pretende. Essa fonte são os adubos químicos e orgânicos, que podem ser usados de maneira exclusiva ou associados. As culturas, especialmente as produtoras de grãos, após sua colheita, deixam uma grande quantidade de resíduos contendo nutrientes retirados do solo. As produções animais recebem seus alimentos através dos concentrados e das plantas cultivadas e nativas. Somente uma parte desses elementos contidos nos alimentos ingeridos pelos animais resulta em ganho de peso e crescimento, sendo a maior parte

eliminada através do esterco e da urina. A transformação dos resíduos em insumos agrícolas de baixo risco ambiental exige a adoção de adequados processos de manejo, tratamento, armazenamento e utilização.

O princípio da sustentabilidade dos processos se verifica na implantação dos sistemas de produção pecuários, cujos projetos e programas integram as construções e equipamentos de manejo dos animais, bem como a estrutura de armazenamento, manejo, tratamento e utilização dos resíduos gerados. As dietas, tanto para suínos e aves quanto para bovinos, são oriundas de sistemas de produção de grãos e forragens, exigindo cuidadoso balanceamento para um resultado técnico e econômico. Sabe-se que a alimentação representa a maior parte do custo final da produção.

Produção de milho com a utilização de resíduos orgânicos

As alternativas de reciclagem de dejetos de suínos, aves e bovinos mais adotadas nas regiões de cerrado são as adubações para produção de grãos e forragens. O alcance da adequada reciclagem necessita do conhecimento do volume e da composição em nutrientes dos resíduos produzidos pelos diversos processos criatórios. O estabelecimento da estrutura de armazenamento e a subsequente estabilização dos resíduos de suínos baseia-se, para ciclo completo, em 150 a 170 litros/dia por fêmea no plantel. Para o núcleo de produção de leitões, o volume de dejetos é considerado de 35 a 40 litros/dia por matriz. Os criatórios somente com terminados geram normalmente de 13 a 15 litros/suíno/dia. A produção diária de esterco (fezes + urina) dos bovinos leiteiros é aproximadamente 10% de seu peso corporal, o que representa, na maioria dos casos, uma quantidade de 45 a 48 kg/vaca/dia. Já bovinos de corte confinados produzem em torno de 30 a 35 kg/cabeça/dia. Os sistemas de produção animal geram continuamente dejetos e estes, para serem utilizados como insumo adequado, necessitam de armazenamento e estabilização. Para efeito do estabelecimento da capacidade dessa estrutura, recomenda-se sempre a adoção da quantidade real de dejetos produzidos num período de 90 a 120 dias, acrescidos de 20% como margem de segurança. Uma das razões é a disponibilidade de área livre para a aplicação e outra a de efetuar estabilização natural anterior ao seu uso, aumentando, assim, a segurança ambiental. A locação dos depósitos em pontos estratégicos dentro das áreas de utilização minimiza o custo operacional do sistema de distribuição. A utilização dos dejetos como insumo pode ser feita de forma integral ou com separação de sólidos. A fertilização normalmente realiza-se de forma integral e a fertirrigação, de ambas as maneiras. O sólido deve sempre ser submetido ao processo de compostagem, para evitar perdas e disponibilizar os nutrientes para culturas a serem desenvolvidas na propriedade. A compostagem é um processo de fermentação aeróbia que reduz a carga orgânica nociva dos resíduos sólidos. A eficiência da estabilização depende da relação entre o carbono e o nitrogênio (C:N) dos resíduos (1:25 a 1:30), bem como da umidade dos mesmos, que deve ser em torno de 55 a 60%.

Composição

Uma lavoura de milho pode gerar entre 6 e 12 t ha⁻¹ de resíduos vegetais. As lavouras com maior produtividade de grãos certamente proporcionam quantidades maiores de resíduos do que as menos produtivas. Esses resíduos contêm quantidades apreciáveis de nutrientes que se encontram temporariamente imobilizados. A taxa de liberação para a cultura subsequente depende do manejo destes. Se incorporados ao solo, essa taxa se acelera; se mantidos sobre o solo, como cobertura morta para plantio direto, ela é retardada, observando-se que, quanto menos picada for, menor é a taxa de decomposição. Decorrente disso, em sistema de plantio direto há inicialmente maior demanda de nutrientes, especialmente de nitrogênio. Após estabelecido o sistema, a demanda decresce, pois a reciclagem entra em equilíbrio, quando, então, os nutrientes imobilizados são liberados às plantas. Em média, pode-se considerar que a palhada de milho imobiliza as quantidades de nutrientes mostrados na Tabela 21.

Tabela 25. Quantidade média de nutrientes imobilizados pela palhada de milho.

Palhada (t ha ⁻¹)	Nitrogênio (kg ha ⁻¹)	Fósforo	Potássio	Cálcio	Magnésio
6 - 12	30 - 45	4 - 6	50 - 70	12 - 20	5 - 7

Fonte: Adaptado de resultados analíticos de diversas cultivares (Embrapa Milho e Sorgo).

Quando a cultura de milho é colhida para ensilagem, cortando-se as plantas a 0,40 m, a exportação de potássio pode ser reduzida em mais de 50%, em comparação ao corte próximo ao solo. Os resíduos culturais de milho compostados em mistura com dejetos animais proporcionam um adubo orgânico de alta qualidade.

A utilização dos resíduos depende do conhecimento de sua qualidade. A maioria dos sistemas de produção de suínos gera dejetos com o conteúdo de matéria seca variando de 1,7 a 3,5% e os de bovinos estabulados e/ou confinados varia de 5% a 16% (Tabela 22).

Tabela 26. Composição média dos esterco de suínos, bovinos e frangos.

Estercos	kg m ⁻³ ou tonelada				
	PH	MS %	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Suínos (líquido integral)	7,2 - 7,8	1,3 - 2,5	1,6 - 2,5	1,2 - 2,0	1,0 - 1,4
Suínos (líquido separado)	7,0 - 7,5	0,1 - 0,3	0,7 - 0,9	0,3 - 0,5	0,6 - 0,8
Bovinos (chorume)	7,0 - 7,5	10 - 15	1,5 - 2,5	0,6 - 1,5	1,5 - 3,0
Bovinos (fezes+urina)	6,8 - 7,5	12 - 15	4,5 - 6,0	2,1 - 2,6	2,8 - 4,5
Bovinos (sólido)	7,0 - 7,5	45 - 70	15 - 25	8 - 12	8 - 15
Aves (cama frango)	6,0 - 7,5	65 - 90	24 - 40	20 - 35	18 - 35

Fonte: Adaptado de KONZEN et al. (1997).

Esses conteúdos poderão variar, dependendo do sistema de higienização empregado e do desperdício dos comedouros e bebedouros. O conhecimento desses valores é a base para o cálculo da adubação que cada cultura exige, em função da produtividade pretendida.

Os dejetos, como fertilizante, podem ser aplicados no solo de maneira uniforme e/ou localizada, dependendo do tipo de equipamento envolvido e do sistema de plantio adotado. Os equipamentos mais utilizados são os tanques ou carretas tratorizados e sistemas de aspersão. Para os líquidos, os aspectos positivos da aspersão são a maior área possível de ser fertilizada com o mesmo equipamento, maior precisão nas doses estabelecidas e menor investimento em equipamentos por unidade de área e conseqüente menor custo da fertilização. A distribuição por aspersão é em torno de 50% menor que o da fertilização com tanque tratorizado. Este, por sua vez, traz grave inconveniente de compactar o solo, pelo intenso trânsito na hora da aplicação.

Produção de milho com adubação orgânica

As pesquisas realizadas pela Embrapa Milho e Sorgo mostraram produtividades de 5.200 a 7.600 kg de milho por hectare, em plantio convencional, com o uso de doses crescentes de dejetos de suínos (45, 90, 135 e 180 m³ ha⁻¹), em aplicação uniforme, exclusiva e combinada com adubação química, em solo de cerrado (Figura 15).

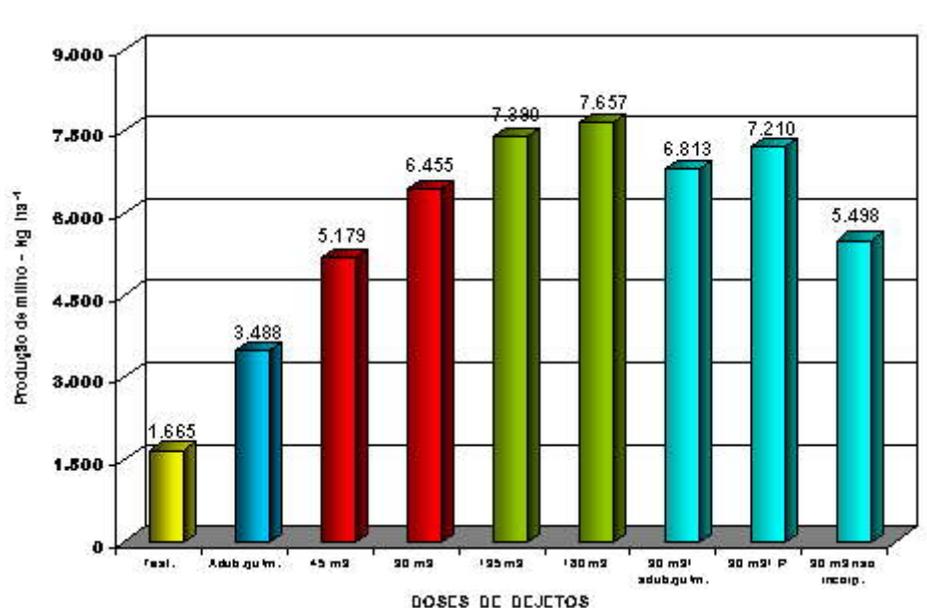


Figura 15. Produção de milho, em plantio convencional, obtida com o uso de doses crescentes de esterco líquido de suínos, em aplicação exclusiva e combinada com adubação química, em latossolo vermelho-amarelo (LV).

Fonte: KONZEN (2000).

As doses de 45, 90 e 135 m³ ha⁻¹, associadas a 30, 60 e 90 kg ha⁻¹ de nitrogênio em cobertura, indicam efeito nulo em qualquer das doses aplicadas, o que evidencia a eficiência da adubação orgânica com dejetos de suínos, para produções de 7.000 a 8.000 kg ha⁻¹ de milho, em solo argiloso de cerrado. O efeito residual, mesmo com altas doses, é baixo, recomendando doses anuais de manutenção. O preparo do solo adubado com dejetos de suínos pode, inclusive, ser feito com 4 a 5 meses antecipados ao plantio (abril a outubro), possibilitando ao produtor distribuir melhor as suas atividades.

A produção de milho em sistema de plantio direto, adubado com dejetos de suínos, de maneira exclusiva e combinada, alcançou produtividades que variaram de 6.400 até 8.400 kg ha⁻¹. A produtividade atingida com 50 m³ ha⁻¹, em aplicação exclusiva, foi 21% superior à obtida com adubação química. As doses de 75 e 100 m³ ha⁻¹ não propiciaram vantagem sobre a de 50 m³ ha⁻¹ (Figura 16).

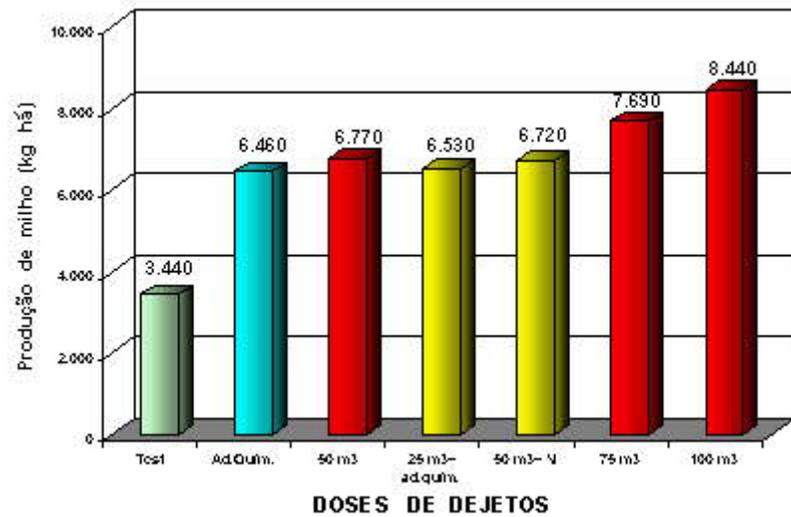


Figura 16. Produção de milho em plantio direto com adubação de dejetos de suínos e adubação química. Embrapa/Fesurv/Perdigão, Rio Verde, GO. Fonte: KONZEN (2000).

A adubação com chorume de bovinos leiteiros na produção de milho forragem, matéria seca e grãos, desenvolvida pela Embrapa Milho e Sorgo, resultou em produção similar em todas as modalidades de adubação, tanto químicas quanto orgânicas (Figura 17).

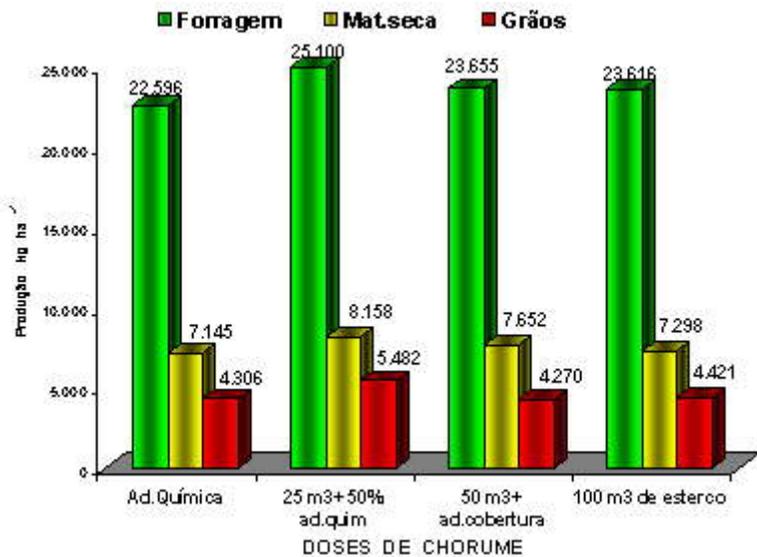


Figura 17. Produção de milho forragem, em plantio convencional, com o uso de doses de chorume de bovinos, exclusivas e associadas à adubação química.

Fonte: KONZEN (2000).

A utilização de dejetos de bovinos (chorume) proporcionou produtividade na ordem de 20% inferior à da de suínos, e a rentabilidade situou-se em torno de 45 a 50%.

Além dos esterco de suínos e bovinos, a cama de frango, proveniente dos criatórios de frangos de corte, serve como adubo orgânico para a cultura de milho. A produção de milho em plantio direto foi realizada em áreas demonstrativas conduzidas pela Embrapa Milho e Sorgo, em parceria com a Perdigão Agroindustrial, utilizando-se doses de 5 e 7,5 t ha⁻¹, em aplicação exclusiva, e 5 t ha⁻¹, combinadas com adubação química. As adubações foram realizadas em solo de cerrado corrigido, com plantio direto, durante oito anos (Figura 18).

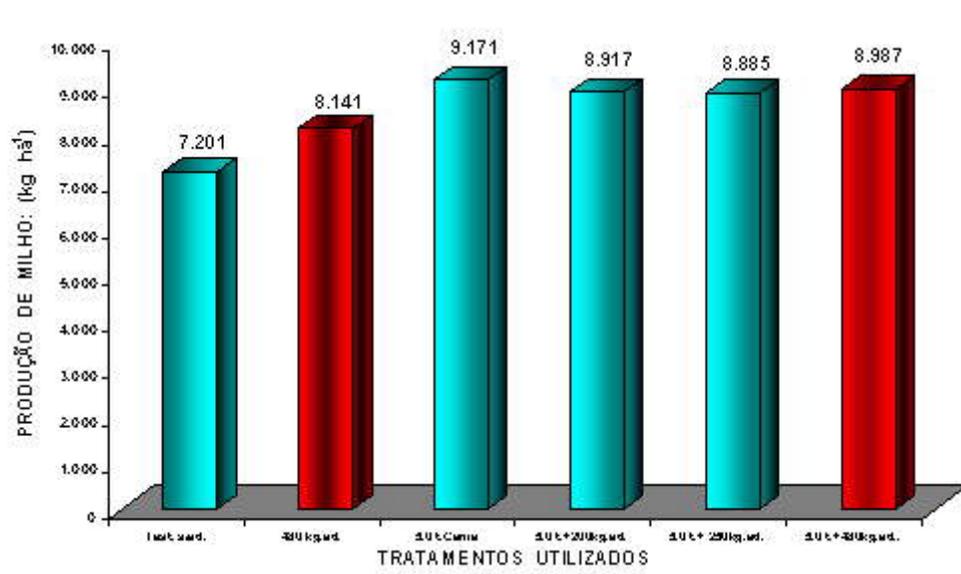


Figura 18. Produção de milho, em plantio direto, obtida com o uso de cama-de-frango, em aplicação exclusiva e combinada com adubação química, em latossolo vermelho de cerrado (LV). Embrapa/Fesurv/Perdigão, Rio Verde, GO.

Fonte: KONZEN (2004).

As produções mostradas comprovam que os esterco de suínos, aves e bovinos constituem fertilizantes eficientes na produção de milho, tanto para grãos quanto para forragem. Os sistemas de uso dos dejetos de suínos com doses crescentes exclusivas proporcionaram uma rentabilidade de 48% a 70%, sem contar com os efeitos benéficos que a adubação orgânica opera no solo.

Movimentação de elementos no solo

O estudo de um perfil de solo de cerrado, onde se utilizou adubação orgânica de resíduos de suínos, 45, 90 e 135 m³ ha⁻¹, durante três anos sucessivos, abrangendo as camadas de 0-20, 20-40 e 40-60 cm, mostrou algumas diferenças nas concentrações de fósforo e potássio, magnésio e cálcio, cobre e zinco. A matéria orgânica não teve variação com diversas doses aplicadas na mesma camada do solo. O comportamento do fósforo, do potássio, do magnésio e do cálcio foi similar em todos os tratamentos. A concentração do cobre e do zinco, entretanto, tendeu ao acúmulo nas camadas mais profundas, trazendo uma preocupação com relação à segurança ambiental (Figuras 19 e 20).

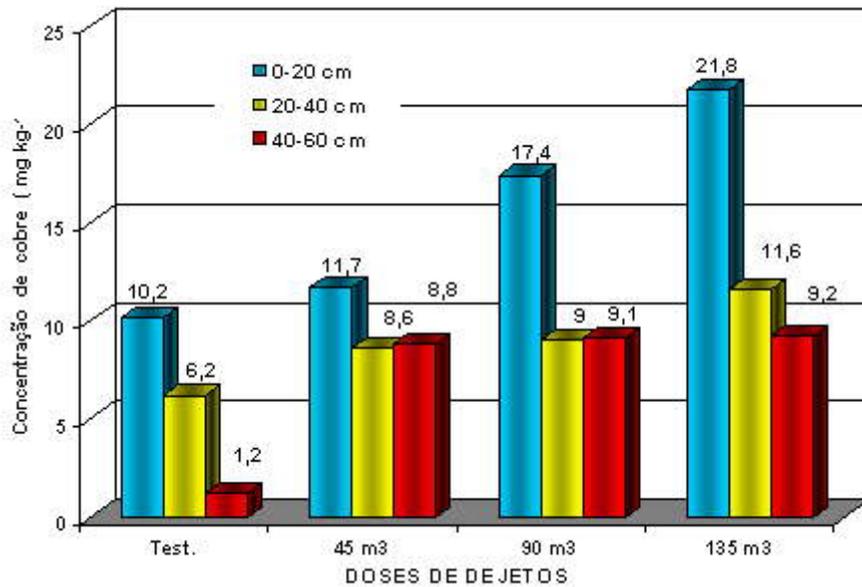


Figura 19. Teores de cobre no perfil de latossolo vermelho de cerrado, com três anos sucessivos de aplicação de dejetos de suínos.
Fonte: KONZEN (2000).

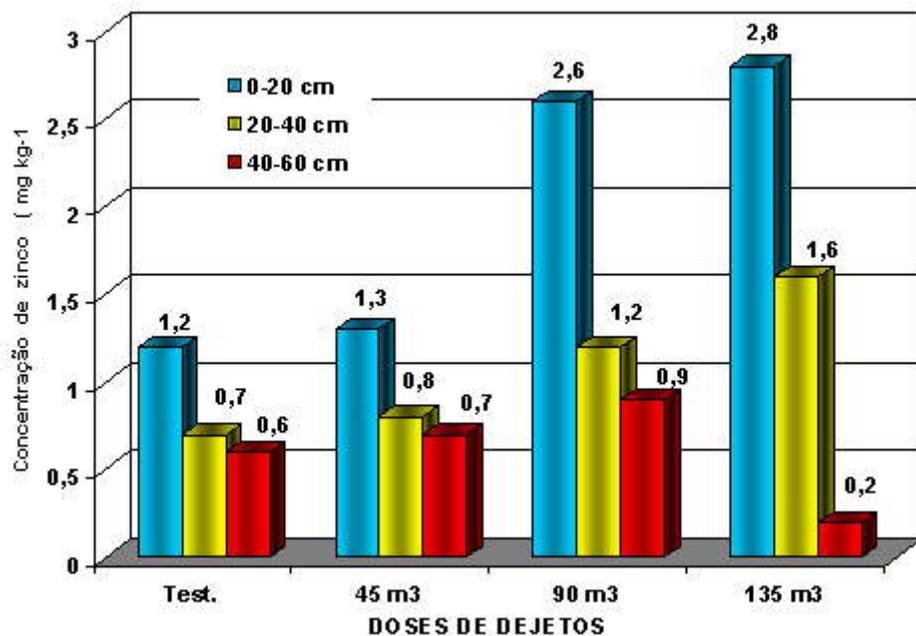


Figura 20. Teores de zinco no perfil de latossolo vermelho de cerrado, com três anos sucessivos de aplicação de dejetos de suínos.
Fonte: KONZEN (2000).

Recomendações

- Os resíduos de suínos, bovinos e aves podem ser utilizados como fertilizantes eficientes e seguros na produção de milho, devendo sempre obedecer as doses de reposição dos nutrientes retirados pela cultura.
- As adubações orgânicas com resíduos devem sempre atentar para as doses econômicas, sendo as de suínos de 45 a 90 m³ ha⁻¹ para plantio convencional e de 50 a 100 m³ ha⁻¹ para plantio direto; de cama de aves é de 5 toneladas em plantio direto, e a de bovinos, de 25 e 50 m³, combinados com adubação química e 100 m³ ha⁻¹ exclusiva, em plantio convencional.

Autores deste tópico: Antonio Marcos Coelho, Alvaro Vilela de Resende, Flavia Cristina dos Santos

Expediente

Embrapa Milho e Sorgo

Comitê de publicações

Sidney Netto Parentoni
[Presidente](#)

Elena Charlotte Landau
[Secretário executivo](#)

Flávia Cristina dos Santos
Guilherme Ferreira Viana
Eliane Aparecida Gomes
Flávio Tardin
Paulo Afonso Viana
Rosângela Lacerda de Castro
[Membros](#)

Corpo editorial

Israel Alexandre Pereira Filho
[Editor\(es\) técnico\(s\)](#)

Antonio Claudio da Silva Barros
Guilherme Ferreira Viana
[Revisor\(es\) de texto](#)

Rosângela Lacerda de Castro
[Normalização bibliográfica](#)

Enilda Alves Coelho
Arnaldo Macedo Pontes
[Editoração eletrônica](#)

Embrapa Informação Tecnológica

Selma Lúcia Lira Beltrão
Rúbia Maria Pereira
[Coordenação editorial](#)

Corpo técnico

Cláudia Brandão Mattos (Auditora)
Karla Ignês Corvino Silva (Analista de Sistemas)
Talita Ferreira (Analista de Sistemas)
[Supervisão editorial](#)

Cláudia Brandão Mattos
Mateus Albuquerque Rocha (SEA Tecnologia)
[Projeto gráfico](#)

Embrapa Informática Agropecuária

Kleber Xavier Sampaio de Souza
Sílvia Maria Fonseca Silveira Massruha
[Coordenação técnica](#)

Corpo técnico

Leandro Henrique Mendonça de Oliveira (Suporte operacional)
[Publicação eletrônica](#)

Dácio Miranda Ferreira (Infraestrutura de servidor)
[Suporte computacional](#)