



Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA
Vinculada ao Ministério da Agricultura
Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo - CNPMS
Sete Lagoas, MG

ISSN 0100-8013

NUTRIÇÃO E ADUBAÇÃO DO MILHO



CNPMS
Sete Lagoas, MG
1983



Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA

Vinculada ao Ministério da Agricultura

Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo - CNPMS

Sete Lagoas, MG

ISSN 0100-8013

NUTRIÇÃO E ADUBAÇÃO DO MILHO

Antonio F. C. Bahia Filho
Carlos Alberto Vasconcellos
Hélio Lopes dos Santos
Gonçalo Evangelista de França
Gilson Villaça E. Pitta

CNPMS

Sete Lagoas, MG

1983

EMBRAPA—CNPMS. Documentos, 3

Exemplares deste trabalho podem ser solicitados à
EMBRAPA — Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo
Comitê de Publicações do CNPMS
Rodovia MG 424 - km 65
Caixa Postal 151
35700 — Sete Lagoas, MG — Brasil

Bahia Filho, A.F.C.

Nutrição e adubação do milho, por Antonio F.C. Bahia Filho; Carlos Alberto Vasconcellos; Hélio Lopes dos Santos; Gonçalo Evangelista de França e Gilson Villaça E. Pitta. Sete Lagoas, EMBRAPA/CNPMS, 1983.

44p. (EMBRAPA. CNPMS. Documentos, 3).

1. Milho-Fertilização. 2. Milho-Nutrientes. I. Vasconcellos, C.A., colab. II. Santos, H.L. dos, colab. III. França, G.E. de, colab. IV. Pitta, G.V.E., colab. V. Título. VI. Série.

CDD-633-15

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	05
TRANSPORTE DE NUTRIENTES NO SOLO	05
EXIGÊNCIAS MINERAIS	07
NUTRIENTES ESSENCIAIS	09
Nitrogênio	09
Fósforo	16
Adubação de manutenção e correção	17
Fosfatos Naturais	22
Principais fontes	24
Potássio	25
Fertilizantes potássicos	27
Cálcio	27
Magnésio	28
Enxofre	29
Micronutrientes	29
Boro	30
Cobre	31
Cloro	31
Manganês	31
Ferro	32
Molibdênio	32
Zinco	33
SINTOMAS DE DEFICIÊNCIA	34
Sintomas iniciais na parte inferior da planta	35
Com clorose	35
Sem clorose	35
Sintomas iniciais na parte superior da planta	36
Com clorose	36
ACIDEZ DO SOLO E CALAGEM	36
Componentes de acidez	36
Origem da acidez	37
Efeitos da acidez	38
Necessidade de calagem	39
Escolha do corretivo	40
REFERÊNCIAS	43

NUTRIÇÃO E ADUBAÇÃO DO MILHO

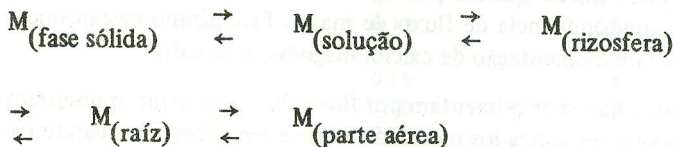
INTRODUÇÃO

O solo é um sistema constituído pelas fases sólida, líquida e gasosa. A fase sólida compreende as frações orgânica e mineral. A fração ativa desta fase é constituída por colóides classificados como argila ($< 0,002$ mm). Nesta fração ocorre o fenómeno de adsorção iônica que, do ponto de vista agrônômico, é o mais importante depois da fotossíntese. Os colóides orgânicos são constituídos por ácidos húmicos e fúlvicos sendo que os grupamentos carboxílicos e fenólicos são responsáveis pela carga negativa da matéria orgânica. Os colóides minerais são constituídos por alumínio-silicatos (argilas 1:1, tipo caolinita e 2:1, tipo montmorilonita) e por óxidos de ferro e alumínio. Nas condições brasileiras, com ampla ocorrência de latossolos, a caolinita, gibbsita (óxido de alumínio), hematita e goethita (óxido de ferro) são os principais componentes da fração argila. A baixa capacidade de troca de cátions e a elevada adsorção de ânions estão condicionadas, em sua maior parte, pela natureza da fração argila desses solos.

A fase gasosa no solo é constituída principalmente por CO_2 (0,3%, cerca de dez vezes mais que no ar), O_2 (20,5%) e N_2 (79,2%). A fase líquida compreende a água e os solutos e ocupa os poros menores do solo, enquanto que a gasosa preenche os poros maiores. As três fases interagem entre si e condicionam o crescimento e desenvolvimento de plantas por meio da absorção de água e nutrientes.

TRANSPORTE DE NUTRIENTES NO SOLO

A movimentação de um íon M da fase sólida até o interior do vegetal pode ser visualizada esquematicamente como:



Esta equação mostra que a movimentação processa-se em etapas onde intervem tanto o solo, através das suas fases, quanto o vegetal, por meio das raízes e da parte aérea (fotossíntese, respiração e transpiração).

Dentre os fatores do solo pode-se observar que o íon na fase sólida passa para a fase líquida (solução) e que nesta passagem há uma resistência a ser vencida. M (fase sólida) representa assim a reserva do íon e expressa o fator quantidade; M (solução) representa o íon na solução do solo e expressa o fator intensidade (I). A resistência que o solo oferece a modificação do fator intensidade M (solução), quando há adição ou remoção do nutriente, é a capacidade tampão.

Esses conceitos podem ser aplicados à maioria dos nutrientes exceto para aqueles muito móveis, como nitrogênio na forma de NO_3^- ou Cl^- que são fracamente retidos no solo.

Desde que o nutriente se encontre na solução do solo ele está pronto para ser absorvido devendo, no entanto, chegar à superfície da raiz. A raiz pode, no seu crescimento, encontrar o nutriente na fase sólida ocorrendo então uma troca entre o nutriente nesta fase e o cátion H^+ na superfície da raiz. É a chamada intercepção de raízes que contribui, entretanto, muito pouco para a quantidade total de nutriente absorvida. Por outro lado, o vegetal, ao transpirar, cria um gradiente de potencial hídrico ou seja, há movimentação de água do solo para a raiz e daí para as folhas. Tem-se assim, a corrente transpiratória e os íons dissolvidos na solução são carreados por este meio até a superfície da raiz. Neste caso, o mecanismo de movimentação de íons é o fluxo em massa, característico de íons que tem pouca interação com a fase sólida e efetivo em distâncias longas. Para íons que interagem fortemente com a fase sólida o mecanismo envolvido somente é efetivo a curtas distâncias sendo que a movimentação ocorre ao longo de um gradiente de concentração. Este mecanismo denomina-se difusão sendo que a sua velocidade aumenta com o nível do nutriente no solo.

Nos dois últimos mecanismos descritos a água desempenha papel preponderante sendo que o déficit hídrico reduz, em ambos os casos, a movimentação de íons e, conseqüentemente a sua absorção.

Dentre os macronutrientes, o nitrogênio é extremamente móvel na forma de nitrato e movimenta-se por fluxo de massa. Já para o fósforo que interage fortemente com a fase sólida, a difusão é o mecanismo mais importante. O potássio movimenta-se tanto por difusão quanto por fluxo de massa, havendo no caso de solos com baixa CTC, predominância de fluxo de massa. Este último mecanismo é o responsável ainda pela movimentação de cálcio, magnésio e enxofre.

Os nutrientes que se movimentam por fluxo de massa e que apresentam elevada mobilidade devem ser aplicados parceladamente e em cobertura quando há maior exigência da cultura. Para estes nutrientes pode-se, também, aumentar o aproveitamento do fertilizante aplicado utilizando-se maior população de plantas. Este é o caso da interação existente entre nitrogênio e população de plantas onde se obtém maior transpiração e maior quantidade de nitrogênio que chega até as raízes. No

caso de fósforo praticamente não deve haver efeito do aumento da transpiração na sua mobilidade. Em termos comparativos podem-se estabelecer as seguintes distâncias percorridas por N, K e P em 24 horas: N - 1 cm, K - 0,2 cm e P - 0,02 cm.

EXIGÊNCIAS MINERAIS

As quantidades de nutrientes que são extraídas pela cultura dependem da produtividade, da variedade, das condições de clima, fertilidade do solo, adubação e tratos culturais. Os dados obtidos nestas condições, fornecem, contudo, uma idéia aproximada dos nutrientes que devem ser fornecidos pelo solo ou através de adubações. O conhecimento das exigências minerais associado à marcha de absorção constituem elementos auxiliares valiosos no manejo da adubação.

Embora obtidos em condições dos EUA com elevado nível de produtividade, os dados de extração de nutrientes de Barber & Olson (1968) podem ser utilizados para efeito comparativo (Tabela 1). Através destes dados observa-se que no total a maior exigência do milho refere-se ao potássio e nitrogênio, seguindo-se o magnésio, cálcio, fósforo e enxofre. Nos grãos a ordem de remoção destes nutrientes é bastante alterada. O fósforo é quase todo translocado para as sementes (80%), seguindo-se o nitrogênio (68%), enxofre (58%), magnésio (26%), potássio (20%) e cálcio (4%). Quanto aos micronutrientes é interessante observar as pequenas quantidades dos elementos para a manutenção da cultura. Entretanto, sua falta poderá acarretar sérios prejuízos à produção.

TABELA 1. Extração de nutrientes pela cultura do milho.^a

Nutrientes	Grãos (kg)	Restos culturais (kg)	Total (kg)	% nos grãos
N	115	55	170	67,6
P	28	7	35	80,0
K	35	140	175	20,0
Ca	1,3	35	36	3,6
Mg	10	29	39	25,6
S	11	8	19	57,8
B	0,04	0,12	0,16	25,0
Cl	4	68	72	5,6
Cu	0,03	0,15	0,18	16,7
Fe	0,20	1,70	1,90	10,5
Mn	0,09	0,68	0,77	11,7
Mo	0,005	0,003	0,008	62,5
Zn	0,20	0,34	0,54	37,0

^a Produção de grãos - 9 t/ha; restos culturais - 6,5 t/ha.

Fonte: Barber & Olson (1969).

Há períodos do ciclo da planta em que a absorção do nutriente é mais pronunciada. Assim, para o milho, nos primeiros 30 dias a absorção é reduzida e, aos 90 dias a maior parte da demanda de nutrientes estará satisfeita (Tabela 2). Até os 90 dias estarão completos cerca de 88% da necessidade de N, 74% de P, 100% de K e Ca e 90% de Mg.

TABELA 2. Absorção de nutrientes em termos percentuais, durante o ciclo vegetativo do milho.

Elementos	Período			
	0-30 dias (%)	30-60 dias (%)	60-90 dias (%)	90-120 dias (%)
N	2,5	38,0	40,7	12,5
P	1,0	26,5	46,5	26,0
K	4,4	66,0	29,6	- 13,5 *
Ca	4,6	49,2	46,2	-
Mg	1,5	46,5	42,0	10,0

$K = Ca > N > Mg > P$

$K > Ca > Mg > N > P$

* Perda de K por lavagem da parte aérea.
Fonte: adaptado de Malavolta et al. (1974).

Ocorre grande intensificação na absorção de nutrientes no período de 30 a 60 dias, que é o mais adequado para se efetuar a adubação de cobertura com elementos móveis como N.

Foi mencionado anteriormente o fato de que a movimentação de nutrientes é dependente de água, seja via fluxo de massa ou difusão. As quantidades absorvidas dependem também do genótipo empregado. Nas Tabelas 3 e 4 verifica-se o efeito da irrigação e da variedade de milho nas produções de grãos e de massa seca total por kg de nutriente absorvido durante o ciclo completo de duas cultivares selecionadas no CNPMS. A cultivar BR 105 produziu mais grãos por kg de nutrientes do que a

TABELA 3. Produção de grão por kg de nutriente absorvido, para duas cultivares de milho com e sem irrigação suplementar em Latossolo Vermelho-Escuro Distrófico. Idade de planta, 140 dias.

Cultivar	N		P		K		Ca		Mg	
	Com kg	Sem	Com kg	Sem	Com kg	Sem	Com kg	Sem	Com kg	Sem
BR 105	64	56	278	254	153	127	350	247	462	390
BR 126	48	41	266	216	117	93	262	176	389	289

Fonte: Vasconcellos et al. (1982).

cultivar BR 126. Em ambas as cultivares, na ausência de irrigação suplementar, houve maior produção de matéria seca, o que pode indicar que o déficit hídrico, nestas cultivares, afetou a translocação de nutrientes para os grãos. Para qualquer dos nutrientes nos dois regimes hídricos, a cultivar BR 105 foi mais eficiente que a BR 126.

TABELA 4. Produção total de massa seca por kg de nutriente absorvido, para duas cultivares de milho com e sem irrigação suplementar em Latossolo Vermelho-Escuro Distrófico. Idade de planta, 140 dias.

Cultivar	N		P		K		Ca		Mg	
	Com	Sem	Com	Sem	Com	Sem	Com	Sem	Com	Sem
BR 105	120	131	523	595	288	297	659	577	868	913
BR 126	110	129	611	640	268	277	603	524	895	862

Fonte: Vasconcellos et al. (1982).

NUTRIENTES ESSENCIAIS

Para um elemento ser considerado essencial para o vegetal devem ser observados três critérios:

- na sua ausência, a planta não completa o ciclo de vida;
- a deficiência é específica para o elemento em questão e só é corrigida mediante o seu fornecimento; e
- o elemento está diretamente envolvido na nutrição da planta.

Fundamentado nesses critérios, são conhecidos 16 elementos essenciais que podem ser assim classificados:

- elementos provenientes do ar e da água: carbono (C), oxigênio (O) e hidrogênio (H);
- macronutrientes: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S);
- micronutrientes: boro (B), cobre (Cu), cloro (Cl), ferro (Fe), manganês (Mn), molibdênio (Mo) e zinco (Zn).

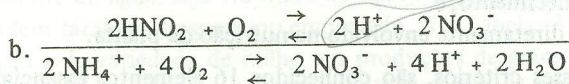
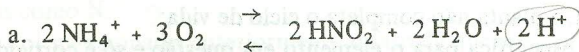
Nitrogênio

Dentre os diversos nutrientes essenciais ao desenvolvimento e crescimento das plantas destaca-se o nitrogênio, pelas suas funções relevantes na produção e síntese

de aminoácidos. Apresenta-se, também, em quantidades deficientes na quase totalidade de nossos solos estando predominantemente, ligado aos compostos orgânicos (98% do total). Como componente essencial da proteína se faz presente nos resíduos de plantas, de animais e dos microorganismos.

Embora seja comumente mencionado que a atmosfera é o seu maior reservatório ($3,8 \cdot 10^{15}$ t de N_2), a litosfera contém cerca de cinco vezes mais nitrogênio ($18 \cdot 10^{15}$ de N_2). Como o N no solo apresenta-se preponderantemente na forma orgânica é necessário, para sua liberação e absorção pelas plantas, que haja a mineralização. Este processo envolve a participação de microorganismos e compreende as fases de proteólise e amonificação. Como proteólise entende-se a liberação do N orgânico contido em proteínas e em última análise de aminoácidos do solo. É efetuada por organismos heterotróficos que requerem carbono como fonte de energia.

A decomposição da matéria orgânica é regulada principalmente pela relação C/N fazendo com que haja imobilização ou liberação do N pelos microorganismos. A mineralização normalmente não é limitada pela falta de microorganismos, mas pode ser retardada desde que haja decréscimo na atividade microbiana por fatores tais como, baixa temperatura e falta ou excesso d'água. O produto final da mineralização é NH_4^+ que pode ser oxidado a NO_2^- (nitrito) NO_3^- (nitrato). Essa oxidação constitui a fase de nitrificação sendo efetuada por bactérias autotróficas (utilizam a energia de sais inorgânicos e C do CO_2 do ar). As fases da nitrificação podem ser expressas pelas equações:



O passo a é efetuada pelas bactérias do gênero *Nitrosomonas* e o b pelas bactérias do gênero *Nitrobacter*. As equações mostram que na oxidação de NH_4^+ a NO_3^- há produção de $4 H^+$ que resulta em aumento da acidez. A implicação prática é que qualquer fertilizante nitrogenado amoniacal ou que em sua transformação seja convertido nessa forma tem caráter ácido. As bactérias referidas são exigentes em termos de reação do solo (pH ótimo na faixa de 8,0 a 8,5) tendo velocidade alta em pH de 5,5 a 10. São também exigentes em Ca^{++} , O_2 (aeróbicas), água (falta ou excesso) e temperatura.

O nitrogênio é absorvido pelas plantas na forma nítrica (NO_3^-) e amoniacal (NH_4^+); entretanto, é a forma nítrica a mais absorvida pelos vegetais. A forma amoniacal apresenta a vantagem de ser mais retida pelas cargas negativas das micelas do solo. Por esta razão, a perda do elemento no solo nesta forma é diminuída. A forma

nítrica é pouco retida pelos colóides do solo e, em virtude disto, facilmente lixiviada pelas águas de chuvas. Este fato constitui uma das razões para se recomendar a aplicação parcelada de nitrogênio, para seu melhor aproveitamento pelas plantas. Sua perda no solo ocorre ainda, pela remoção das colheitas, erosão e volatilização.

O nitrogênio na cultura do milho é absorvido em todo o seu ciclo vegetativo, sendo sua absorção pequena nos primeiros 30 dias, aumentando de maneira considerável a partir deste ponto. Atinge taxa superior a 4,5 kg de N/ha/dia durante a época do florescimento. Assim sendo, o sucesso da adubação nitrogenada em cobertura, na cultura do milho, consiste em suprir as plantas com quantidades adequadas no seu período crítico. A prática da adubação em cobertura tem mostrado ser bastante efetiva ao minimizar as perdas do nutriente aplicado e atender a demanda da cultura. A maior recuperação do fertilizante nitrogenado aplicado em cobertura pode ser comprovada nos dados de Fox et al. (1974) (Tabela 5). Esta recuperação pode ser ainda maior em solos que apresentem elevada resposta a nitrogênio. Nos dados apresentados, a aplicação de nitrogênio a lanço e incorporado sempre foi inferior à aplicação em cobertura. Resultados do CNPMS-EMBRAPA (1980) indicam que a adubação em cobertura no milho é prática que, aplicado isoladamente, em solos com teores médios de fósforo e potássio, apresenta resultado econômico superior ao da adubação completa. Por outro lado, tal prática parece ser mais importante para a cultura que a adubação nitrogenada do plantio, desde que o solo não apresente séria deficiência de nitrogênio. A medida que a dose de nitrogênio é aumentada crescem os riscos de maior perda do elemento, como demonstrado na Fig. 1. (Grove

TABELA 5. Efeito médio de dose e época de aplicação de fertilizante nitrogenado sobre a quantidade absorvida e recuperação aparente de nitrogênio.

Dose aplicada (kg/ha)	Quantidade absorvida (kg/ha)	Recuperação aparente (%)
0	63	-
34 L	77	41
34 C	81	53
67 L	84	31
67 C	103	60
134 L	119	42
134 C	129	49

L = aplicado a lanço e incorporado.

C = aplicado em cobertura 4-5 semanas após o plantio.

Fonte: adaptado de Fox et al. (1974).

et al. 1980). Com o aumento do nitrogênio aplicado, decresceu a quantidade do nutriente recuperada pelo vegetal. Para doses inferiores a 50 kg N/ha os valores de recuperação não variaram e ficaram em torno de 55%.

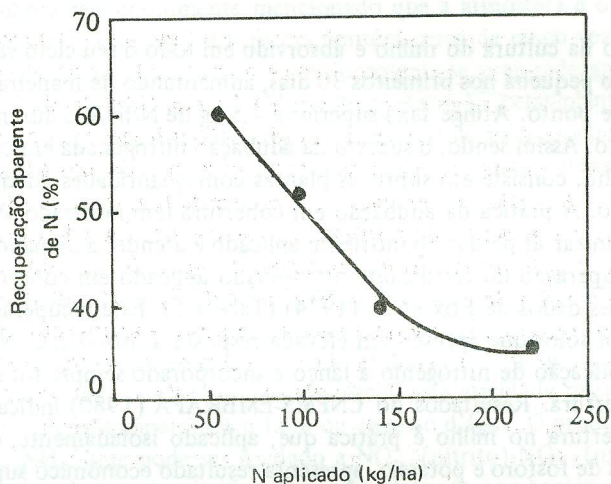


FIG. 1. Efeito médio da adubação nitrogenada sobre a % de recuperação de N.

Fonte: Grove et al. (1980).

Não existe ainda um método de análise para medir a disponibilidade de nitrogênio em solos e que possa ser aplicado em laboratórios de rotina. A dificuldade na obtenção deste método está, em grande parte, ligada às transformações do N no solo que são bastante influenciadas pelas condições ambientais.

As recomendações, no entanto, são baseadas em curvas de resposta (Fig. 2) obtidas em diferentes condições ecológicas. Como elemento auxiliar na recomendação deve ser levado em conta o rendimento usualmente obtido na região, o risco de falta de chuvas durante o ciclo cultural, o nível de rendimento desejado e a tecnologia utilizada. É possível, dependendo da tecnologia empregada e do solo cultivado, obter rendimentos de até 3 t/ha sem adubação nitrogenada (Fig. 2). Por outro lado, o sistema de manejo como a rotação milho-soja pode levar à abolição total ou parcial da adubação nitrogenada (Fig. 3). Resultados obtidos por Mascarenhas et al. (1979) mostraram que a ausência de resposta a adubação nitrogenada de cobertura só foi verificada quando o solo foi cultivado por, pelo menos, 3 anos com soja. Por outro lado, somente a rotação milho-soja pode proporcionar aumentos de até 30% na produtividade do milho cultivado após a soja (EMBRAPA, 1981). Outra possibilidade de substituição da adubação nitrogenada consiste no plantio de milho em

área em que anteriormente foram implantadas leguminosas perenes (Tabela 6). Neste caso, o sistema de plantio mais adequado é o direto uma vez que com o convencional há tendência de desaparecimento das leguminosas. A leguminosa *Galactia striata* é a mais promissora para esse tipo de sistema cultural fornecendo grande parte do N requerido pelo milho.

TABELA 6. Produção de milho na presença e ausência de leguminosas e de nitrogênio mineral utilizando plantio direto.

Nível de N (kg/ha)	Leguminosas				Sem leguminosa (kg/ha)
	Centrosema (kg/ha)	Galactia (kg/ha)	Siratro (kg/ha)	Soja perene (kg/ha)	
0	2267	3896	1947	3030	2744
40	2986	4605	3346	4505	4345
80	4194	4260	3969	4431	5208
Média	3149	4254	3087	3089	4099

Fonte: Relatório Técnico Anual. EMBRAPA-CNPMS (1981).

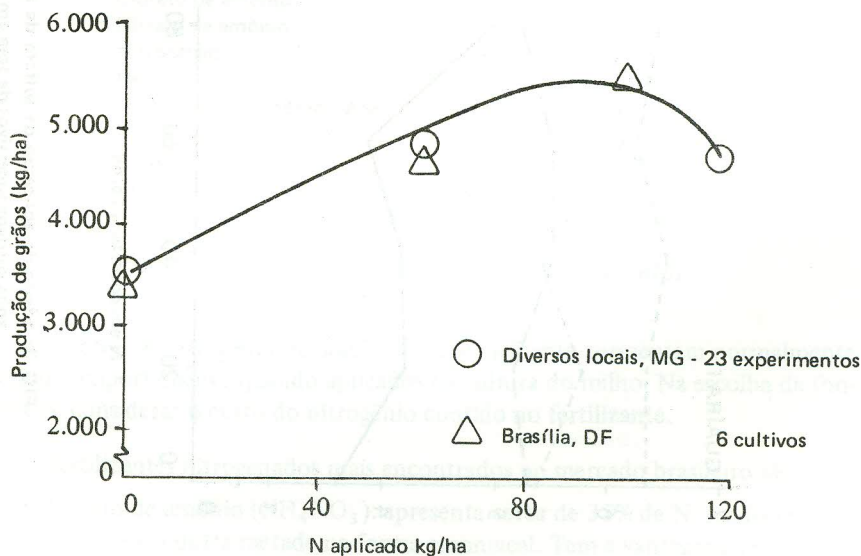


FIG. 2. Efeito médio da adubação nitrogenada sobre a produção de milho.

Fonte: Adaptado de Bahia et al. (1973), Grove et al. (1980).

APÓS SOJA

- 1.º ano
- 2.º ano
- 3.º ano
- 4.º ano

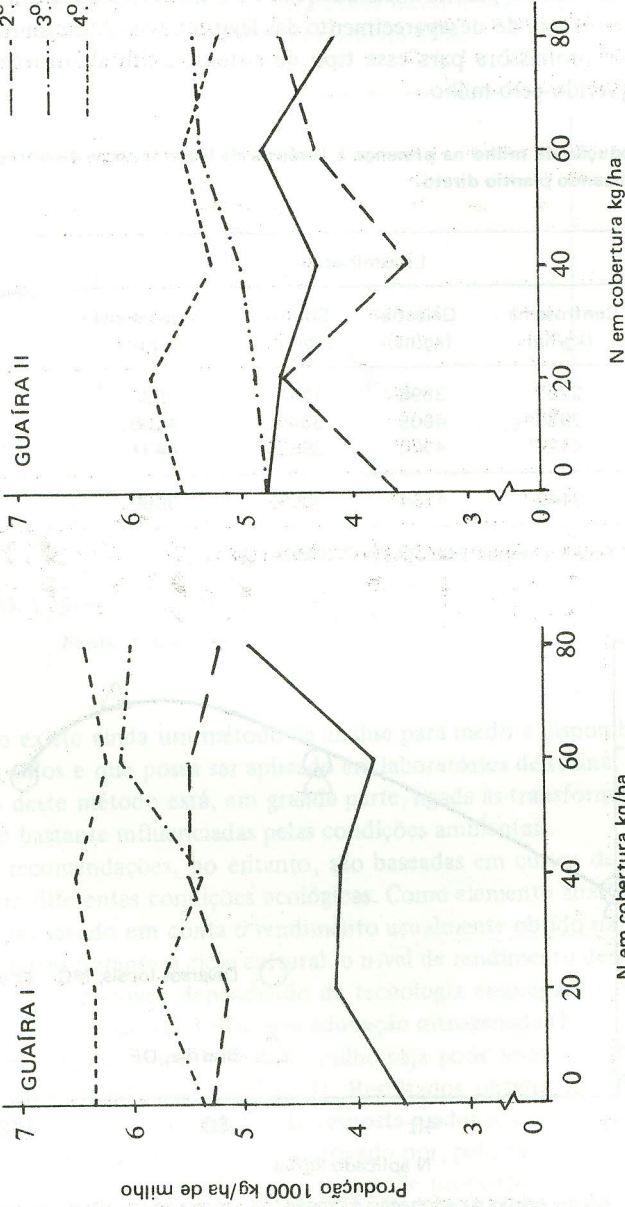


FIG. 3. Efeito de aplicação de sulfato de amônio em cobertura na produção de grãos de milho após cultivos sucessivos de soja em dois locais (Guaíra I e II).

Fonte: Mascarenhas et al. (1979).

Na utilização da adubação nitrogenada alguns pontos devem ser levados em conta. Em solos recém-desbravados, ricos em matéria orgânica e com boas condições de fertilidade, a resposta à adubação nitrogenada é pouco provável. Em solos ácidos com pH abaixo de 5,0 pode haver acúmulo de NH_4^+ uma vez que a nitrificação é completamente inibida. Já em solos alagados ou sujeitos a alagamento temporário pode haver perdas de nitrogênio por denitrificação na forma de N_2 . A perda na forma de NH_3 é verificada quando a uréia é aplicada na superfície do solo sem incorporação ou quando o solo apresenta reação básica (pH acima de 7). Neste caso, a perda é aumentada em solos que receberam calagem excessiva e/ou o corretivo foi mal distribuído ou incorporado, ficando bolsões com elevado pH. Essa perda ocorre ainda em solos neutros, salinos ou alcalinos. Outro aspecto importante no manejo da adubação é a escolha da fonte de N a aplicar.

Há bastante variação na composição das principais fontes de nitrogênio (Tabela 7).

TABELA 7. Teor de N nos principais fertilizantes nitrogenados.

Fertilizante	% de N
Sulfato de amônio	20
Cloreto de amônio	26
Nitrato de amônio	35
Nitrocálcio	21
Uréia	46
Fosfato mono-amônio (MAP)	9
Fosfato di-amônio (DAP)	16
Amônia anidra	82
Esterco de curral (86% de água)	0,60
Esterco de galinha (55% de água)	2,50

Fonte: Associação Nacional para Difusão de Adubos (1975)

As fontes de nitrogênio de solubilidade semelhante apresentam normalmente o mesmo comportamento quando aplicados na cultura do milho. Na escolha da fonte, deve-se considerar o custo do nitrogênio contido no fertilizante.

Os fertilizantes nitrogenados mais encontrados no mercado brasileiro são:

- Nitrato de amônio (NH_4NO_3): apresenta cerca de 35% de N, sendo metade na forma nítrica e a outra metade na forma amoniacal. Tem a vantagem de apresentar reação básica, evitando a acidificação do solo na nitrificação da amônia. O inconveniente deste fertilizante reside na sua higroscopicidade, isto é, absorve muita

umidade do ar durante o seu armazenamento. Isto dificulta, em muito, sua manipulação em termos de mistura. O nitrocálcio tem este problema atenuado uma vez que o NH_4NO_3 é revestido com CaCO_3 (carbonato de cálcio).

- Sulfato de amônio [$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$]: constitui o fertilizante nitrogenado mais utilizado em nosso país. Contém 20% de nitrogênio e 24% de enxofre. Seu nitrogênio encontra-se na forma amoniacal, sendo por isto melhor retido pelas micelas do solo, embora se transforme dentro de pouco tempo em nitrato; reação ácida.

- Uréia [$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$]: apresenta como vantagem a concentração de 42-46% de N. No solo a uréia é hidrolizada pela ação da enzima urease, transformando-se em amônia. Esta transformação, em boas condições de temperatura e umidade, processa-se em questão de horas. Apresenta-se com alta higroscopicidade, sendo de reação ácida.

- Salitre do Chile (NaNO_3): encerra em sua composição 16% de N na forma de nitrato; reação básica.

- Fosfatos de amônio: apresentam além do seu elevado conteúdo de N e P boas propriedades físicas. Os fertilizantes mais comuns são o fosfato mono-amônio (MAP) e fosfato di-amônio (DAP). Estes dois fertilizantes são, dentre os fertilizantes nitrogenados, os menos higroscópicos superando o sulfato de amônio, a uréia e o nitrato de amônio.

Fósforo

Relação Solo x Planta

O fósforo ocorre nas plantas em quantidades menores do que o nitrogênio, o potássio e o cálcio. É um elemento que desempenha papel fundamental na transferência e na utilização de energia pelas plantas, além de ser constituinte de uma série de compostos vitais ao metabolismo dos vegetais. Está distribuído em toda a planta sendo que, nas sementes de milho, são acumulados cerca de 80% do total absorvido. A curva de absorção do elemento é praticamente paralela à curva de acumulação da matéria seca, ocorrendo sua maior exigência por ocasião do florescimento.

Nem todo o fósforo presente no solo está disponível para o vegetal. O fósforo inorgânico pode ser dividido em três frações principais (Fig. 4).

Estas frações compreendem o fósforo em solução constituído pelos íons H_2PO_4^- e HPO_4^{2-} , o fósforo lábil e o não lábil. O fósforo em solução é o único que pode ser absorvido diretamente pelas plantas, sendo que em condições ácidas, predomina a forma H_2PO_4^- . Em pH 7,0 as três formas ocorrem em quantidades aproximadamente iguais. Em condições alcalinas HPO_4^{2-} e PO_4^{3-} são as formas do-

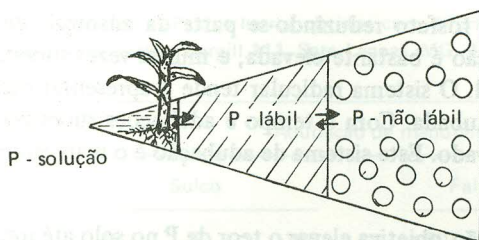


FIG. 4. Representação esquemática das três frações de P no solo, importantes para a nutrição das plantas.

Fonte: Mengel & Kirkby (1981).

minantes, sendo que a pH 10, a forma PO_4^{-3} predomina. A concentração de P em solução, normalmente é muito baixa e, à medida que há absorção pelo vegetal, há reposição do fósforo em solução pela fração de P lábil. A fração de P lábil representa assim o fósforo adsorvido em equilíbrio com o fósforo em solução e constitui o fator quantidade descrito anteriormente. O fósforo não lábil é constituído de fosfatos de baixa solubilidade, sendo a sua liberação muito lenta. Em solos tropicais a adsorção de fósforo verifica-se em argilas 1:1 e em óxidos de ferro e alumínio. (hematita, goethita e gibbsita).

Parte do fósforo adsorvido constitui o P lábil e parte, pela natureza da ligação estabelecida, vai envelhecendo e tornando-se não lábil. A proporção de P não lábil para lábil normalmente é alta. A passagem do P lábil para a solução é regulada por resistências que são ligadas à fração argila. O fator capacidade mede essas resistências. O termo fixação, usado na literatura mais antiga, é apropriado apenas para designar o fósforo que se encontra em compostos cristalinos de baixa solubilidade da fração não lábil.

Uma vez em solução, o fósforo move-se por difusão até a superfície das raízes. Sendo absorvido, ocorre decréscimo da sua concentração na superfície das raízes e é necessária a sua reposição. Dessa forma a densidade de raízes é fator bastante importante na absorção de fósforo uma vez que o ânion fosfato movimentar-se a curtas distâncias.

Outro fator que deve ser levado em conta é a demanda de fósforo pela cultura. Plantas em intenso desenvolvimento, de ciclo curto, requerem maior nível de P em solução e reposição mais rápida do P absorvido que plantas de culturas perenes.

Adubação de manutenção e correção

Há basicamente duas filosofias de adubação com fósforo no Brasil. Na primeira delas (adubação de manutenção), o adubo fosfatado é colocado no sulco de plantio localizado, geralmente, 5 cm ao lado e 5 cm abaixo das sementes. Cria-se assim

uma zona enriquecida com fosfato reduzindo-se parte da adsorção de fosfato. A concentração de P em solução é bastante elevada, e muitas vezes superior à capacidade de absorção do vegetal. O sistema radicular tende a apresentar maior concentração de raízes na zona adubada. Com o tempo e adubações sucessivas o teor de fósforo no solo torna-se elevado. Este sistema de adubação é o mais empregado para fosfatos solúveis.

A adubação de correção objetiva elevar o teor de P no solo até um valor desejado (nível crítico p. ex.). Para atingir este objetivo são feitas aplicações de fósforo a lanço e incorporadas. Na adubação de correção há considerável adsorção do P aplicado e também seu envelhecimento ou passagem do P lábil para o P não lábil. Esta prática demanda maior volume de recursos para investimento e é aplicada em solos de baixa fertilidade. Enquanto a adubação de manutenção objetiva nutrir a planta num sentido imediato, a adubação de correção objetiva corrigir a fertilidade do solo. No primeiro caso as produções não são elevadas, nos primeiros anos de cultivo, aumentando com o tempo. Com a adubação de correção os rendimentos são elevados desde o primeiro ano de aplicação.

Uma forma intermediária entre os dois sistemas de adubação, é a aplicação em faixa. Neste caso, há correção de volume limitado de solo (10% do volume até a profundidade de 15 cm). Consegue-se, assim, uma concentração adequada de P em solução, associada com redução da adsorção propiciando ainda uma exploração de maior volume de solo pelas raízes. Além do aspecto de nutrientes essa exploração é importante quando ocorre redução na disponibilidade d'água para a cultura.

Uma comparação entre os três métodos de aplicação de fertilizante fosfatado vem sendo efetuada há alguns anos, no CNPMS, em Latossolo Vermelho Escuro distrófico, textura argilosa, fase cerrado, utilizando o superfosfato triplo (EMBRAPA, 1981). Neste trabalho calculou-se o valor presente do lucro/ha (VP) para os diferentes tratamentos em estudo. Considerando-se o maior VP como 100, elaboraram-se os dados constantes na Tabela 8. É interessante observar que os menores lucros foram obtidos com as adubações no sulco de plantio. Além disso, apenas 50 kg de P_2O_5 /ha, em faixa, foram suficientes para aumentar em 19% o lucro obtido comparado com a aplicação de 100 kg de P_2O_5 a lanço e doses anuais de 50 kg de P_2O_5 /ha, como manutenção, no sulco de plantio. Deve-se considerar que os lucros obtidos com a adubação a lanço foram sempre superiores aos obtidos com a adubação no sulco, indicando haver maior produção naqueles tratamentos, apesar de não ter havido problemas de umidade em dois dos três anos do ensaio.

A aplicação de 100 kg de P_2O_5 /ha a lanço e doses anuais de 100 kg de P_2O_5 /ha também a lanço, forneceu lucros idênticos aos obtidos com apenas 50 kg de P_2O_5 /ha, aplicados em faixa.

TABELA 8. Valor Presente (VP) dos lucros obtidos com diferentes métodos de aplicação de fósforo na cultivar Cargill 111. Sete Lagoas, MG. 1979/80¹.

Adubação de correção kg/ha	Adubação de manutenção - kg/ha								
	Sulco			Faixa			Lanço		
	0	50	100	50	100	50	100		
0	46	68	71	100	82	59	91		
100	67	81	68	87	92	86	100		

¹ Média de 3 anos de aplicação de P.

Fonte: Relatório Técnico Anual. EMBRAPA-CNPMS (1981).

Esses dados, portanto, indicam a possibilidade de obtenção de maiores lucros com o uso de menores quantidades de fertilizantes fosfatados aplicados de maneira mais adequada. Além disso, indicam a necessidade de se favorecer a exploração de maior volume de solo pelas raízes.

A medida que são aumentadas as doses de fertilizante no sulco de plantio diminui a probabilidade de resposta ao adubo aplicado a lanço. Este manejo possibilita o emprego de menores doses a lanço combinadas com aplicações no sulco de plantio.

A Fig. 5 mostra dados de 3 anos obtidos em Sete Lagoas (EMBRAPA, 1981) onde somente foram obtidas respostas acentuadas para a adubação a lanço quando na presença de baixos níveis de adubação no sulco de plantio (até 50 kg P₂O₅/ha). A produção de grãos equivalente a 80% da produção máxima correspondeu, aproximadamente às aplicações de 300 kg P₂O₅/ha a lanço no 1º ano de plantio, 75 kg P₂O₅/ha a lanço e 50 kg P₂O₅/ha a mais no sulco ou 100 kg P₂O₅/ha colocados anualmente no sulco de plantio.

Num período de 3 anos a aplicação combinada de adubo fosfatado representou uma economia de 75 kg P₂O₅/ha em relação às adubações a lanço e no sulco.

A adubação de correção, utilizando uma fonte pouco solúvel como o fosfato de Patos de Minas não proporcionou aumentos de produção confirmando a baixa solubilidade deste fosfato (Fig. 6).

Quando são comparados os lucros obtidos com a adubação de correção (lanço) e a de manutenção (sulco) verifica-se que a aplicação de 100 kg de P₂O₅/ha a lanço na forma de superfosfato triplo, e 50 kg de P₂O₅/ha no sulco de plantio como dose anual de manutenção, apresentou maior lucro (Tabela 9). A aplicação

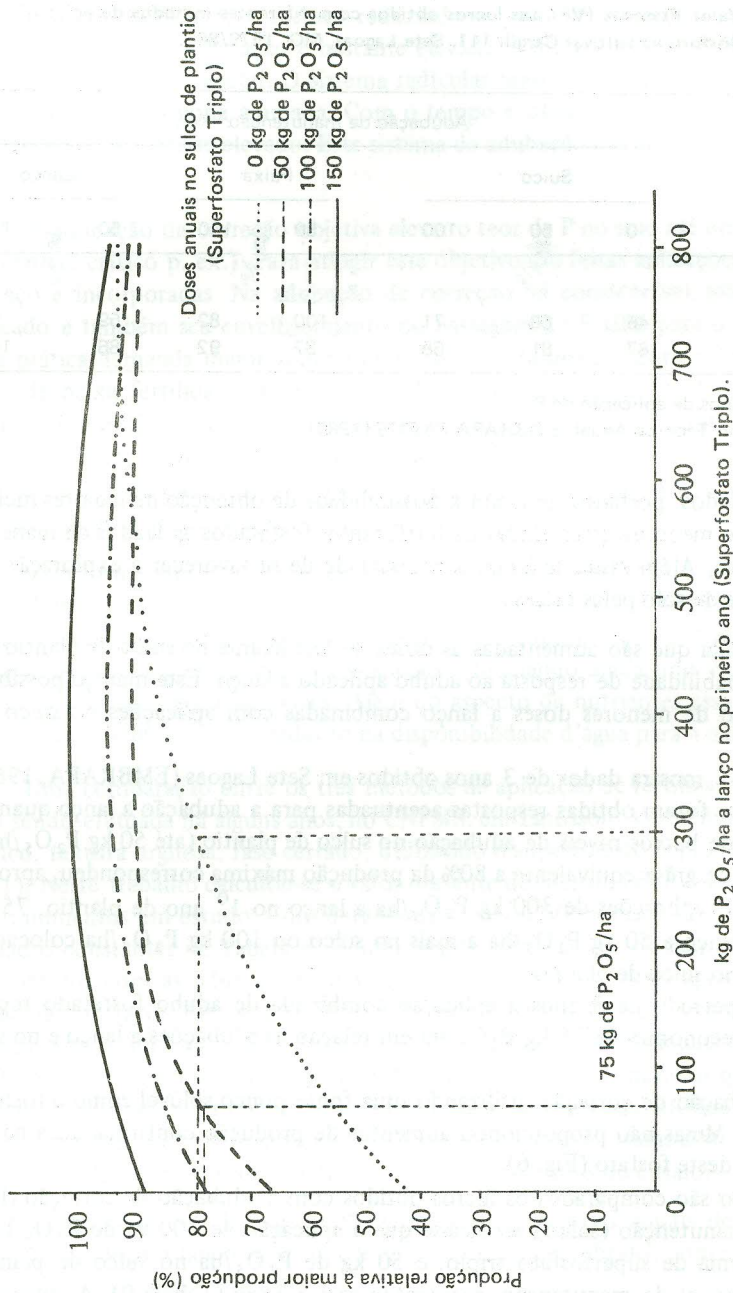


FIG. 5. Rendimento relativo da cultivar Cargill 111 em função de níveis de P_2O_5 aplicados a lanço no primeiro ano (1977) e no sulco de plantio por três anos consecutivos em solo LVE (100% = 3993 kg/ha). Média de três anos. Sete Lagoas, 1979/80.

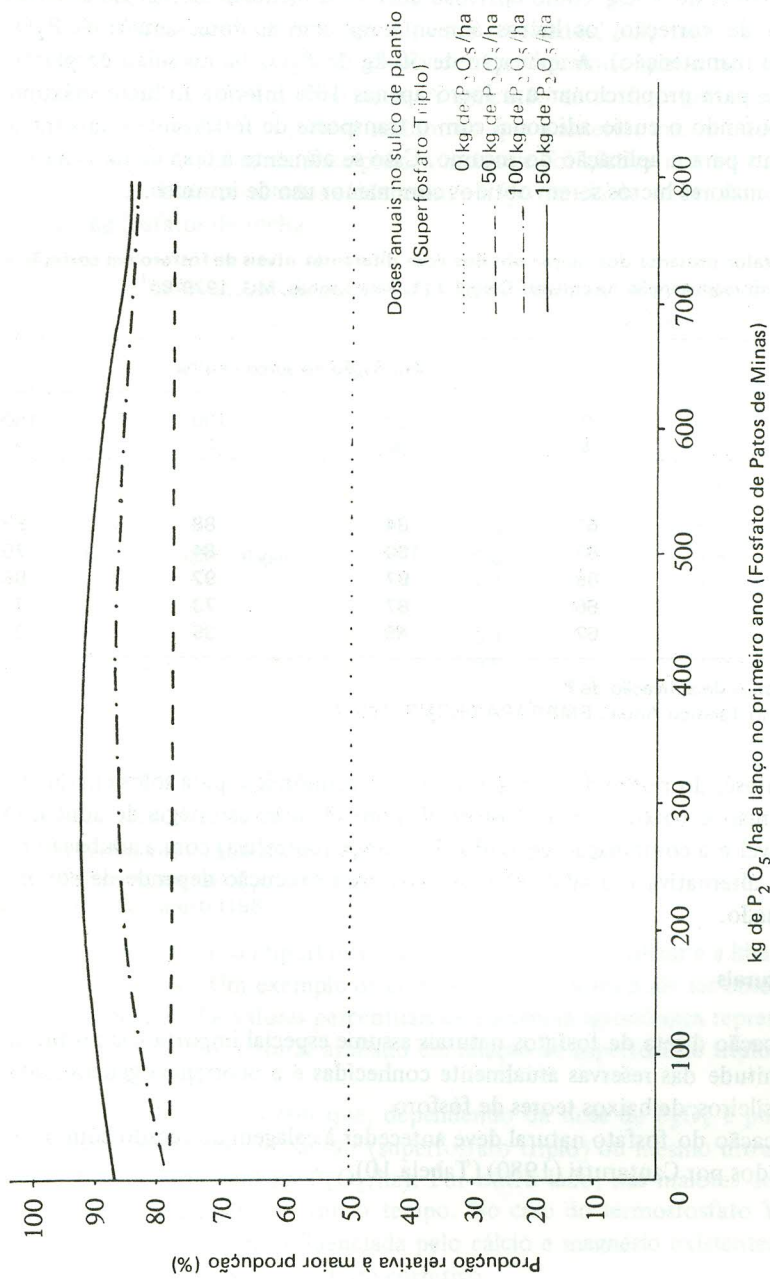


FIG. 6. Rendimento relativo da cultivar Cargill 111 em função de níveis de P_2O_5 aplicados a lanço no primeiro ano (1977) e no sulco de plantio por três anos consecutivos em solo LVE (100% = 3993 kg/ha). Média de três anos. Sete Lagoas, 1979/80.

de maiores níveis de P_2O_5 como correção acarretou menores lucros. Na ausência de adubação de correção, os lucros aumentaram com as doses anuais de P_2O_5 (adubação de manutenção). A aplicação de 50 kg de P_2O_5 /ha no sulco de plantio foi suficiente para proporcionar um lucro apenas 16% inferior ao lucro máximo, não se computando o custo adicional com o transporte de fertilizante e dos trabalhos adicionais para a aplicação do insumo. Caso se aumente a taxa de juros haverá tendência de maiores lucros serem obtidos com menor uso de insumos.

TABELA 9. Valor presente dos lucros obtidos com diferentes níveis de fósforo em correção e em manutenção na cultivar Cargill 111. Sete Lagoas, MG. 1979/80¹ (ST)

Adubação de correção kg/ha	Adubação no sulco - kg/ha			
	0 %	50 %	100 %	150 %
0	61	84	88	89
100 →	83	100	84	75
200	88	97	92	88
400	86	87	73	71
800	62	45	35	21

¹ Média de 3 anos de aplicação de P.

Fonte: Relatório Técnico Anual. EMBRAPA-CNPMS (1981).

Em síntese, do ponto de vista agrônomico e econômico, para solos em que há elevada adsorção e baixo teor de fósforo disponível, uma estratégia de adubação fosfatada viável é a combinação de adubação a lanço (corretiva) com a adubação no sulco. Outra alternativa é a adubação em faixa cuja execução depende de equipamento adequado.

Fosfatos Naturais

A aplicação direta de fosfatos naturais assume especial importância no Brasil, dada a magnitude das reservas atualmente conhecidas e a ocorrência generalizada, em solos brasileiros, de baixos teores de fósforo.

A aplicação do fosfato natural deve anteceder à calagem de acordo com os resultados obtidos por Cantarutti (1980) (Tabela 10).

Dentre os modos de aplicação testados, a calagem precedendo a aplicação de fosfato foi a que apresentou os piores resultados, pois tanto a produção de matéria seca quanto o fósforo absorvido mantiveram-se praticamente constantes nos três níveis de adubação fosfatada. A aplicação de fosfato juntamente com o material corretivo foi uma prática melhor do que a anterior mas inferior ao fosfato aplicado antes da calagem. Essa prática inclusive foi efetiva mesmo nas menores doses aplicadas. Esses resultados evidenciam a importância da acidez do solo na solubilização de fosfatos de rocha.

TABELA 10. Produção de matéria seca e fósforo absorvido por plantas de sorgo em função de diferentes modos de aplicação de fosfato de araxá, em relação a calagem*.

Modo de aplicação	Doses de P	Matéria seca	Fósforo absorvido
	Fração de CMA**	g/vaso	mg/vaso
Fosfato-incubação-calagem	0,4	2,6	1,6
	0,8	3,3	2,2
	1,2	3,8	3,4
Calagem-incubação-fosfato	0,4	2,0	1,1
	0,8	2,1	1,3
	1,2	2,2	1,3
Fosfato-calagem-incubação	0,4	1,8	1,0
	0,8	2,3	1,5
	1,2	2,9	2,3

* Período de incubação: 30 dias

** Capacidade máxima de adsorção

Fonte: Cantarutti (1980)

Outro ponto importante é a fonte de fosfato a utilizar e a liberação de fósforo com o tempo. Um exemplo de comparação de fontes pode ser observado nos dados da Tabela 11. Os valores percentuais de eficiência agrônômica representam a equivalência do fosfato natural avaliado em relação ao superfosfato triplo na produção de grãos de sorgo.

Os dados mostram que, dependendo da dose de P_2O_5 é possível obter-se a mesma eficiência do padrão (superfosfato triplo) ou mesmo ultrapassá-la (Termofosfato Yoorin 800 kg P_2O_5 /ha). Por outro lado, nas maiores doses, a eficiência agrônômica aumentou com o tempo. No caso do termosfosfato Yoorin a sua eficiência está também influenciada pelo cálcio e magnésio existentes na sua composição bem como pelo seu efeito corretivo.

TABELA 11. Eficiência agrônômica de alguns fosfatos naturais em relação ao superfosfato triplo na cultura do sorgo em Latossolo Vermelho-Escuro fase cerrado - Sete Lagoas, MG.

Fonte	Dose de P_2O_5 aplicada (kg/ha)	Ano			Média
		1º	2º	3º	
Termofosfato Yoorin	100	90	100	64	85
	400	75	80	65	73
	800	155	65	187	136
Fosfato de Araxá	100	52	68	62	61
	400	56	45	61	54
	800	68	74	106	83
Fosfato de Patos de Minas	100	23	13	18	18
	400	55	59	59	58
	800	45	69	98	71

Fonte: Relatório Técnico Anual. EMBRAPA-CNPMS (1981).

Principais fontes

As principais fontes de fósforo com os seus teores de P_2O_5 encontram-se na Tabela 12.

TABELA 12. Teores de P_2O_5 nos adubos fosfatados mais comuns.

Adubo	P_2O_5		Sol. ac. cítrico 2% relação 1:100 (%)
	Total (%)	Sol. H_2O (%)	
Superfosfato simples	19-21	14-18	16-18
Superfosfato triplo	42-46	38-40	40-44
Fosfato mono-amônio (MAP)	50-54	46-50	48-52
Fosfato di-amônio (DAP)	42-46	38-40	40-44
Escória de Thomas	19-20	-	14-16
Fosfatos naturais	20-30	-	8-20
Termofosfato	19	-	17

Fonte: Associação Nacional para Difusão de Adubos (1975).

Superfosfato Simples: É obtido pela reação da rocha fosfatada finamente moída com ácido sulfúrico. Comumente, apresenta 20% de P_2O_5 solúvel em água e 12% de enxofre. Apresenta uma série de outros compostos considerados impurezas, tais como: fosfatos bi e tri-cálcio, ácido sulfúrico, fosfatos de magnésio, de ferro e de alumínio e sílica. Possui reação ácida.

Superfosfatos Concentrados: Referem-se aos superfosfatos triplos, principalmente. Podem ser obtidos por via úmida ou por via seca. Diferem do superfosfato simples por serem constituídos principalmente por fosfatos monocálcicos e com teores mais elevados de P_2O_5 solúvel em água.

Geralmente, são fertilizantes com até 50% de P_2O_5 solúvel, 14% de Ca e 2% de S.

Fosfatos de Amônio: Englobam uma série de fertilizantes com teores e fontes variáveis de nitrogênio. São produzidos pela reação do amônio com o ácido fosfórico, posteriormente neutralizado. Os adubos mais comuns são Fosfato de di-amônio (DAP) e o Fosfato de mono-amônio (MAP).

Hiperfosfato: É o nome comercial do fosfato natural de origem sedimentar oriundo do Norte da África. Apresenta cerca de 30% de P_2O_5 total, que chega a ser solubilizado por extrações sucessivas de ácido cítrico. Tem ainda, 47% de cálcio, expresso em CaO.

Termofosfatos: Obtidos pelo aquecimento das rochas fosfatadas. Em alguns casos, este aquecimento é efetuado em presença de rocha magnesianas até $1450^{\circ}C$, esfriando-se rapidamente pela adição de água. Dessa fusão obtém-se um produto com 19-20% de P_2O_5 total e ainda com cálcio, magnésio e micronutrientes na sua composição. O termofosfato de Yoorin, por exemplo apresenta reação alcalina.

Fosfatos Naturais: Obtidos pela moagem direta da rocha fosfatada apresentam composição variável dependente da origem e do grau de finura. Dentre as diversas rochas fosfatadas moídas no Brasil o fosfato de Araxá é um dos mais utilizados. Apresenta de 5 a 6% de P_2O_5 solúvel em ^{ácido} cítrico a 2% na relação 1:100 e cerca de 30% de P_2O_5 total.

Potássio

O potássio no solo pode ser dividido em três frações:

- potássio como elemento estrutural em minerais do solo (feldspatos, micas, argilas micáceas e como ilita);
- potássio adsorvido na forma trocável a colóides do solo tais como argila e matéria orgânica; e
- potássio presente na solução do solo.

O potássio liberado dos minerais pode entrar na solução do solo e ser absorvido ou ser adsorvido e constituir a forma trocável.

Em solos intemperizados não se deve esperar a existência de minerais primários como fonte de potássio. Por outro lado, a semelhança do fósforo, pode-se identificar no potássio trocável, o fator quantidade e no potássio em solução o fator intensidade. É aplicável igualmente o conceito do fator capacidade.

É o cátion mais abundante na planta, sendo notável a diferença na velocidade de absorção, quando comparado com outros elementos. Embora não se conheça composto orgânico com K^+ , sabe-se que o elemento é necessário para ativação de uma série de enzimas presentes em vários processos metabólicos. É necessário ao desenvolvimento da clorofila, embora não constitua fração predominante na sua estrutura molecular, na absorção de CO_2 , na abertura estomática, bem como no regime hídrico das células e dos tecidos da planta.

O teor de potássio na planta está estreitamente correlacionado com resistência a determinadas doenças, a "stress" de umidade, à baixa temperatura e ao acamamento.

A taxa de absorção de potássio no milho é relativamente lenta até 30 dias após a emergência da plântula, aumentando consideravelmente a partir deste período, mantendo-se constante por um período de 20 a 25 dias. Neste período a absorção diária pode atingir a taxa de $7,3 \text{ kg. ha}^{-1} \cdot \text{dia}^{-1}$.

Furlani et al. (1977) demonstraram que a taxa de absorção iônica varia com o material genético e com a população de plantas. As maiores taxas de absorção foram obtidas no período compreendido entre 29 e 42 dias após a emergência da plântula, isto é, do estágio de diferenciação floral ao estágio de diferenciação da espiga. Neste período, para uma população de $42.000 \text{ plantas. ha}^{-1}$ obteve-se uma taxa de $2,58 \text{ kg de } K^+ \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{dia}^{-1}$.

Lopes (1975), em análises de 518 amostras de solo (0 a 20 cm de profundidade) tomadas em uma área de aproximadamente 600.000 km^2 no Brasil Central (Goiás e Minas Gerais), verificou que 85% destas amostras apresentaram um teor de K disponível inferior ao nível crítico de 60 ppm. Entretanto, as respostas ao fertilizante potássico, nestes solos não são tão acentuadas como as respostas ao calcário e ao fósforo. Provavelmente, como demonstrado através da análise de K-não trocável, a capacidade de fornecimento das demais formas esteja limitando as respostas nos ensaios de curta duração. Deve-se ainda, considerar que a incorporação dos restos culturais ao solo repõe quase que a totalidade do K extraído pela cultura do milho (80%) como indicado na Tabela 1. Por outro lado, a análise do solo refere-se apenas aos primeiros 20 cm de profundidade e é possível haver exploração, pelo sistema radicular, de camadas mais profundas. Entretanto, como a adubação média aplicada não é suficiente para repor a quantidade de nutrientes expórtada pelos grãos o potássio pode ser considerado um elemento problema no futuro, ou seja, os cultivos sucessivos e a baixa reposição pelas adubações deverá acarretar, a médio e longo prazo, limitações de produção devido à deficiência de potássio. Esta

deficiência pode ocorrer rapidamente quando se utiliza o milho como planta forrageira (silagem) cultivado seguidamente em área em que não haja reposição adequada do potássio removido.

Dada a mobilidade do elemento no interior da planta, os sintomas da deficiência aparecem nas folhas mais velhas, pois há translocação do elemento para suprir os tecidos em desenvolvimento.

Fertilizantes potássicos

O cloreto de potássio (KCl) é a fonte mais usual dos fertilizantes potássicos. Algumas estimativas demonstram que o KCl representa cerca de 96% do consumo anual dos fertilizantes potássicos do mundo. O sulfato de potássio, o sulfato de potássio e magnésio e o nitrato de potássio também são importantes fontes de potássio (Tabela 13).

TABELA 13. Principais fertilizantes potássicos.

Adubo	% de K ₂ O	% de K
Cloreto de potássio	60 - 62	50 - 52
Sulfato de potássio	50 - 53	41 - 44
Sulfato de potássio e magnésio ⁺¹	22 - 23	18 - 19
Nitrato de potássio ⁺²	44 - 45	36 - 37

⁺¹ Contém cerca de 18% de MgO.

⁺² Contém cerca de 13% de N.

Cálcio

O cálcio é um elemento de ocorrência generalizada na natureza. O seu teor médio na litosfera é de 3,64%. Combina-se rapidamente com ácidos, formando um grande número de compostos de solubilidade variável.

O aparecimento de sintomas de deficiência em condições de campo não é comum. É absorvido pelas plantas na forma iônica Ca⁺² e pode provir da solução do solo ou do complexo sortivo, pelo processo de troca. O cálcio é o elemento principal da lamela média das paredes celulares, razão pela qual apresenta importante relação com a resistência mecânica dos tecidos. É também essencial para neutralizar os efeitos prejudiciais de elementos tóxicos, favorecendo também a absorção iônica através do sistema radicular. Apenas uma enzima, a amilase, tem cálcio como elemento. Além disso, o cálcio pode inibir por competição o efeito ativador

enzimático do magnésio, deslocando-o de seus sítios funcionais. É importante, portanto a manutenção de equilíbrio entre os teores de cálcio e magnésio no solo. Alguns trabalhos têm evidenciado uma relação ideal entre 3/1 a 5/1. O cálcio é absorvido pelo milho logo após o aparecimento da radícula até a ocasião de sua polinização, o que se dá aproximadamente aos 90 dias, quando absorve praticamente a totalidade de cálcio exigido. Sua maior concentração ocorre nas folhas mais velhas, enquanto que nos grãos encontram-se pequenas quantidades. Como consequência da pouca mobilidade do cálcio os primeiros sintomas de deficiência ocorrem primeiramente nas folhas e órgãos mais novos, apresentando uma clorose internerval das folhas e morte da gema apical. Nas folhas do milho as margens são incompletas e de forma irregular. Há também redução no crescimento do sistema radicular.

Magnésio

O magnésio é absorvido pelas plantas na forma iônica (Mg^{2+}). No milho, sua absorção é pequena nos primeiros 30 dias. Sua maior necessidade dá-se entre os 30 e 90 dias. Após este período, apenas 10% do total serão absorvidos. Sua maior concentração está nas folhas, porém nos grãos atinge cerca de 30% do total absorvido pela planta. A importância do magnésio para as plantas deve-se ao fato de ser ele componente de moléculas de clorofila. Cerca de 15 a 20% do total do magnésio na planta estão na clorofila. Este elemento funciona ainda como ativador de várias enzimas relacionadas com o metabolismo dos carboidratos e síntese dos ácidos nucléicos e de proteínas.

Na agricultura, o magnésio tem como fontes principais o calcário dolomítico, dolomita (21,7% MgO), sulfato de magnésio comercial (16% de MgO), sulfato duplo de potássio e magnésio (11% MgO), nitrato de magnésio (15,5% MgO) e a magnesita (45% de MgO). A magnesita é praticamente insolúvel em água. Em mistura com outros fertilizantes como o superfosfato, sua solubilidade é aumentada pelas reações químicas que ocorrem. O subproduto de calcinação da magnesita fornece um produto com 35% de Mg denominado magnesita calcinada, que pode ser utilizado com sucesso para fins agrícolas. Alguns adubos comumente utilizados apresentam teores variáveis de Mg, como nitrocálcio (8% de MgO) superfosfato simples (0,5% MgO); escória de Thomas (2-6% MgO), termofosfato (18% de MgO).

Os sintomas de deficiência podem aparecer 15 dias após a emergência das plântulas. Em geral, o tecido foliar mostra a perda de coloração verde entre as nervuras. A evolução do processo continua até o surgimento de faixas esbranquiçadas da ponta à base das folhas. Outro sintoma comum é a ocorrência de um bronzea-

mento ou avermelhamento das folhas. Devido à facilidade com que o magnésio se transloca das folhas mais velhas para as mais novas, aquelas colocadas na base da planta são as primeiras a mostrarem a deficiência do elemento.

Enxofre

O enxofre apresenta-se no solo nas formas inorgânicas (sulfato e sulfetos) e orgânicas. Estas últimas, como componentes da matéria orgânica, são predominantes e chegam a constituir 3/4 partes do total de enxofre existente no solo. Neste, o elemento passa por diversas transformações, em que interferem microorganismos dependentes em seu comportamento de fatores ambientais. As perdas do enxofre verificam-se principalmente por lixiviação. Alguns trabalhos têm evidenciado perdas de até 80% do enxofre adicionado como fertilizante. Aliado a este aspecto, o desenvolvimento de tecnologia para a fabricação dos fertilizantes e pesticidas sem a presença de enxofre e a maior necessidade de produção de alimentos contribuem para que haja aumento no aparecimento de deficiência de enxofre nos solos. Alguns trabalhos realizados em São Paulo evidenciaram que a aplicação de 40 kg de enxofre na forma de sulfato de cálcio, na cultura do milho, favoreceu aumentos significativos da produção.

O enxofre é absorvido na forma de SO_4^{-2} , podendo também, ser absorvido em pequenas proporções na forma de SO_2 (absorção foliar) e na forma de aminoácidos (cisteína, por exemplo). Apesar de ser absorvido na forma oxidada, é reduzido, no interior da planta, para a formação de grupos - SH e S-S- que aparecem nos aminoácidos e em determinadas enzimas. O enxofre ainda faz parte da tiamina, da biotina e da coenzima A, que são coenzimas de baixo peso molecular, essenciais para o metabolismo das plantas, principalmente em atividades catalíticas dos carboidratos, gorduras e proteínas. É elemento de pouca mobilidade no interior das plantas o que leva ao aparecimento de sintomas nas folhas mais novas. Neste caso, estas folhas aparecem com uma coloração variável entre o verde-claro e o amarelo. Nas folhas mais velhas, devido ao acúmulo de antocianina, pode-se observar o aparecimento de coloração arroxeada. Há retardamento da maturação. O enxofre pode ser aplicado diretamente no solo na forma de enxofre elementar, sulfato de cálcio ou gesso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ou como componente de outros fertilizantes (Tabela 14).

Micronutrientes

A maioria dos micronutrientes é constituinte de compostos chaves no metabolismo de plantas ou essenciais ao funcionamento de sistemas enzimáticos. As quantidades desses nutrientes requeridas pelas plantas são muito pequenas, quando

comparadas com os macronutrientes. A deficiência de um deles, no entanto, pode ter tanto efeito na desorganização de processos metabólicos quanto a deficiência de um macronutriente. Uma aplicação em excesso pode ser mais prejudicial à planta do que a própria deficiência.

São considerados micronutrientes o boro, o cobre, o cloro, o ferro, o manganês, o molibdênio e o zinco. Este último, é o que tem apresentado maiores respostas na cultura do milho.

TABELA 14. Principais fertilizantes que contêm enxofre.

Adubo	% de S
Sulfato de cálcio (gesso)	18,6
Superfosfato simples	10 - 12
Sulfato de potássio	17,6
Sulfato de potássio e magnésio	22,0
Sulfato de magnésio	13,0
Sulfato de amônio	24,0
Sulfato de cobre	12,8
Sulfato ferroso	18,8
Sulfato de manganês	21,2
Sulfato de zinco	17,8

Boro

O milho é considerado semi-tolerante à toxidez de boro, sendo compatível para o crescimento normal o conteúdo máximo de 1 ppm. Como exemplo, uma colheita de 6270 kg/ha de milho extrai apenas 11,2 gramas de boro.

O boro, que é absorvido na forma iônica, é relativamente imóvel, fazendo com que a planta exija um suprimento constante deste micronutriente. A sua falta determina desorganização celular nos tecidos, com distúrbio em diversos órgãos, tais como: espessamento de raízes, ausência de anteras e espigas pouco desenvolvidas. Os sintomas de deficiência aparecem nas folhas mais novas, que não se desenrolam. Há paralização do desenvolvimento da planta. Agravando-se a deficiência, as folhas tornam-se esbranquiçadas, com o ápice seco e, nas folhas mais velhas, aparecem estrias cloróticas paralelas às nervuras. Estas estrias são resultado da coalescência de numerosas manchas esbranquiçadas situadas entre as nervuras. O ápice das folhas tende a secar. A deficiência, embora não seja comum em condições de campo, pode ser corrigida pela aplicação de 0,7 a 1 kg B/ha no solo, na forma de tetra-

borato de sódio ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$). Entre os adubos, o boro está também presente como impureza suprindo as necessidades do milho. O esterco de curral contém cerca de 20 ppm, o superfosfato de 5 a 20 ppm e o salitre do Chile, 30 ppm.

Cobre

No vegetal, o cobre interfere em atividades enzimáticas e nos processos de oxidação e redução. A forma de absorção é de íons cúpricos. Entre os vegetais, o milho é considerado, como sensível à deficiência deste elemento, sendo que nas folhas são considerados normais os teores de 0,3 a 0,6 ppm. Os sintomas de deficiência promovem, em plantas jovens, uma coloração levemente verde-amarelada na base das folhas e o aparecimento de necrose. Em plantas adultas, em condições de deficiência menos severa, as folhas superiores apresentam-se necrosadas nas bordas. As quantidades exigidas de cobre são pequenas. Uma produção de 18,7 t/ha de matéria seca de milho contém apenas 199 g de cobre.

Cloro

O cloro é um cofator essencial na fotossíntese.

Os sintomas de toxidez caracterizam-se pelo aparecimento de bronzeamento e queima das folhas, independentemente da idade das mesmas. Também são comuns o aparecimento prematuro de folhas amareladas e redução no seu tamanho. Diferem dos sintomas de deficiência de fósforo, principalmente pela forma que aparecem nas folhas e pela sua queima. A deficiência de cloro não é comum em função da influência do sal cíclico de origem marinha.

Manganês

À semelhança do magnésio, o manganês participa de ligações energéticas entre ATP e complexo enzimático. É também requerido na fotossíntese na fotólise da água com liberação de oxigênio.

O aumento do pH reduz a disponibilidade de manganês. Assim sendo, a calagem excessiva pode induzir à deficiência deste micronutriente. No caso de solos orgânicos o Mn pode ser complexado, com redução na sua disponibilidade.

Os sintomas de deficiência em milho consistem no aparecimento, em plantas novas, de manchas brancas ou cloróticas no limbo foliar. Estas manchas tendem a aumentar. O tecido morto é facilmente destacado no limbo das folhas.

De maior importância nas condições brasileiras é o problema da toxidez de manganês, principalmente em solos ácidos ou pelo uso contínuo de adubos acidificantes do solo. Especialmente em solos ácidos, os níveis de manganês disponível po-

dem ser aumentados pelo uso de KCl. No milho, os níveis de 400 ppm de manganês na planta são considerados tóxicos. Embora os sintomas de toxidez de manganês não sejam bem definidos, usualmente ocorre necrose das folhas, manchas nas margens e paralização do desenvolvimento da planta. Normalmente, os problemas de toxidez de Mn são resolvidos pela calagem.

Ferro

A solubilidade do ferro encontra-se ligada também ao pH do meio, sendo maior em condições ácidas, predominando Fe^{+3} , sendo que em condições de inundação, com elevação do pH e abaixamento no potencial de oxiredução, predomina o Fe^{+2} . A deficiência ocorre em solos com alto pH, em solos ácidos com baixo teor de Fe total, em solos com alto teor de P e com baixo conteúdo de matéria orgânica.

O ferro é assimilado principalmente na forma bivalente sendo que o quelato orgânico tem papel importante no seu fornecimento para a planta. Desempenha importante função catalítica na síntese de clorofila, participa nos sistemas enzimáticos respiratórios e nas enzimas catalase e peroxidase.

O milho, em comparação com outras culturas, tem requerimentos de ferro bastante baixos. Para uma produção de 18,7 t/ha de matéria seca são acumulados cerca de 6,24 kg de Fe. Os sintomas de deficiência aparecem nas folhas superiores (ou mais novas), com estrias amarelo-pálidas e verde-escuras, alternadamente, em toda a extensão longitudinal da folha. Em estágio avançados as folhas novas apresentam coloração quase branca, as folhas medianas com estrias amareladas e as mais velhas verdes. Nas condições brasileiras, a deficiência de ferro não é freqüente.

Molibdênio

Para o milho apenas 0,1 ppm de Mo é suficiente para manter o seu crescimento normal, sendo que as sementes podem conter molibdênio suficiente para várias gerações, desde que produzidas em solo não deficiente. Para uma produção de 18,7 t/ha de matéria seca são removidos apenas 11 g de Mo.

Os sintomas de deficiência são semelhantes aos do nitrogênio. Nas plantas deficientes há o aumento do teor de nitrato nos tecidos vegetais, decorrentes da

falta de sua redução, processo no qual o molibdênio participa como co-fator na atividade da enzima nitrato-redutase. Resultados recentes evidenciaram, ao nível de campo, aumento da atividade de nitrogenase nas raízes de milho com a aplicação em pulverização de 1 kg/ha de molibdato de amônio. Desta forma, com a aplicação do molibdênio houve aumento no aproveitamento de nitrogênio atmosférico por bactérias do gênero *Azospirillum* associadas às raízes.

Zinco

A única enzima ativada especificamente pelo zinco é a anidrase carbônica. Por outro lado este micronutriente está estreitamente vinculado ao metabolismo de nitrogênio principalmente na síntese protéica. É requerido também para a síntese de triptofano precursor do AIA (ácido indol acético) que é um hormônio de crescimento.

Para a produção de 18,7 t/ha de matéria seca são necessários 440 g de Zn. A deficiência de zinco pode ocorrer com a aplicação de calcário e/ou fósforo. A interação entre o cálcio e o zinco verifica-se principalmente antes da absorção de zinco pelas plantas, enquanto que a interação fósforo x zinco ocorre nas raízes, reduzindo a translocação de zinco para a parte aérea. Os sintomas de deficiência compreendem clorose internerval nas folhas mais velhas, que se transforma rapidamente em uma faixa larga e descolorida. Os internódios se encurtam e, quando a deficiência é muito severa, as folhas que estão se desenrolando ficam esbranquiçadas. A planta adulta não forma espigas e o sistema radicular é muito superficial. A correção da deficiência pode ser feita por aplicações de zinco a lanço e incorporado ao solo, no sulco de plantio e em pulverizações.

Diversas fontes podem ser aplicadas ao solo, sendo as mais comuns o sulfato ou o óxido de zinco. A eficiência destas duas fontes tem sido semelhante, desde que o óxido apresente-se moído finamente. As aplicações anuais, no sulco de plantio, de 2 kg de Zn/ha são igualmente recomendadas em solos deficientes neste micronutriente. As pulverizações, embora efetivas na correção de deficiência, apresentam a desvantagem de somente serem feitas após o aparecimento dos sintomas. A pulverização pode ser efetuada com soluções a 0,5% de $ZnSO_4$, neutralizada com $Ca(OH)_2$ (cal extinta) a 0,25%. A mistura deve ser filtrada para evitar entupimento dos bicos.

As principais fontes de micronutrientes com seus respectivos teores encontram-se na Tabela 15.

TABELA 15. Principais fontes de micronutrientes.

Fontes	Elemento
Boro - B	
	%
Borax ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)	11,3
Ácido bórico (H_3BO_3)	17,5
Cobre - Cu	
Sulfato de cobre ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)	25,4
Quelato de Cu (CuEDTA)	7,0-13,0
Ferro - Fe	
Sulfato ferroso $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	20,1
Sulfato ferroso amoniacal [$\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$]	14,1
Quelato de Fe (FeEDTA)	5,0-14,0
Manganês - Mn	
Sulfato manganoso $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	24,6
Óxido manganoso MnO	77,5
Quelato de Mn (MnEDTA)	5,0-12,0
Molibdênio - Mo	
Molibdato de amônio [$(\text{NH}_4)_6(\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O})$]	54,3
Molibdato de sódio ($\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)	39,8
Peróxido de molibdênio (MoO_3)	66,7
Zinco - Zn	
Sulfato de zinco ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)	22,7
Óxido de zinco (ZnO)	80,3
Quelatos de Zn (ZnEDTA)	6,0-14,0
(ZnHEDTA)	9,0

SINTOMAS DE DEFICIÊNCIA

Os sintomas de deficiência podem constituir, ao nível de campo, elemento auxiliar na identificação da carência nutricional. É necessário no entanto, que para identificação da deficiência com base na sintomatologia, que o técnico já tenha razoável experiência de campo uma vez que as deficiências, sintomas de doenças e distúrbios fisiológicos, podem estar confundidos.

A sintomatologia apresentada em forma de chave baseou-se no trabalho de Malavolta & Dantas (1978).

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.

..... 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.

..... POTÁSSIO

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

..... MAGNÉSIO

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

..... ZINCO

Sem clorose

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

..... FÓSFORO

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

..... MOLIBDÊNIO

Sintomas iniciais na parte superior da planta

Com clorose

As pontas das folhas mais novas em desenvolvimento gelatinizam e, quando secas, grudam umas às 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.

..... 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.

..... BORO

Amarelecimento das folhas novas logo que começam a se desenrolar; depois as pontas se encurvam 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.

..... COBRE

Clorose internerval em toda a extensão da lâmina.

..... FERRO

Clorose internerval das folhas mais novas 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.

..... MANGANÊS

ACIDEZ DO SOLO E CALAGEM

Componentes de acidez

Um dos problemas agrícolas de importância no Brasil é a acidez do solo. Usualmente a medida empregada para avaliar a acidez é o pH. Esta medida que varia de 0 a 14 é representada matematicamente, pelo logaritmo do inverso da atividade de prótons (H^+) na solução do solo em determinado instante. Quantifica a

acidez ativa ou atual que não tem efeito tóxico direto sobre as plantas na faixa de pH de 3 a 9. A acidez ativa é constituída por pequena quantidade de prótons H^+ (Fig. 7).

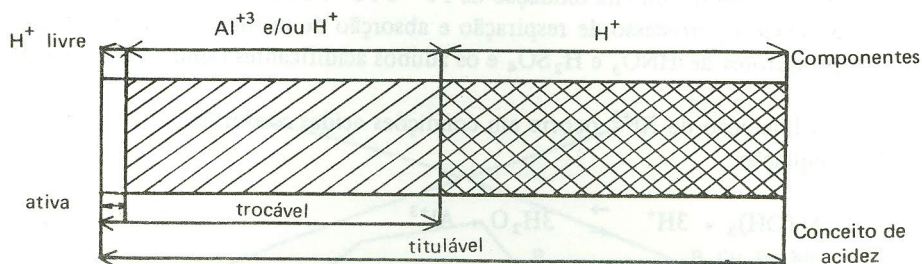


FIG. 7. Representação dos tipos de acidez do solo. (Ribeiro 1982).

Além da acidez ativa existe ainda a acidez potencial. Esta acidez compreende os íons H^+ e Al^{3+} adsorvidos à micela além de hidrogênio em grupamentos não dissociados. Quando são empregados sais deslocadores dos cátions adsorvidos ao pH natural do solo (KCl p.ex.), mede-se o componente da acidez potencial denominado acidez trocável. Quando se utiliza um sal a pH tamponado (Acetato de cálcio p.ex.) a acidez medida é a titulável.

Usualmente nas análises de solo mede-se a acidez ativa (pH) e a acidez trocável ($H^+ + Al^{3+}$) onde predomina o cátion Al^{3+} . Os cátions, que também são extraídos por KCl, somados à acidez trocável, constituem a CTC (capacidade de troca de cátions) efetiva.

Origem da acidez

A acidez do solo tem sua origem na dissolução de CO_2 em água propiciando a formação de ácido carbônico que, por dissociação, fornece íons H^+ (mais apropriadamente H_3O^+).



Por outro lado a solubilização de minerais de rocha que contém Ca, Mg e Fe através da formação de carbonatos e bicarbonatos promove a remoção desses cátions. No solo o H^+ liberado pelo ácido carbônico troca com cátions, na fase sólida,

tornando o solo cada vez mais saturado com hidrogênio. A decomposição da matéria orgânica leva também à produção de acidez. Na respiração, o CO_2 produzido é gerador de íons H^+ . No processo de nitrificação são produzidos prótons na passagem de NH_4^+ a NO_3^- (ver nitrogênio). Na oxidação do enxofre também há produção de acidez bem como na oxidação de Fe^{+2} e Fe^{+3} . Outras fonte de acidez no solo são as raízes no processo de respiração e absorção de nutrientes, os microorganismos produtores de HNO_3 e H_2SO_4 e os adubos acidificantes (amoniacais, superfosfatos).

A liberação de Al^{+3} ocorre em condições ácidas conforme pode ser visualizado na equação:



O Al^{+3} substitui, nos colóides do solo, os cátions trocáveis à semelhança do H^+ . Na realidade há outras formas em que o Al encontra-se no solo e que são tóxicas aos vegetais.

Nem todo o H^+ que está na fase sólida entra em solução. Em outras palavras, há um poder tampão no solo que evita que haja variações bruscas no pH causadas por alterações da acidez ativa (H^+ em solução). O poder tampão também define as alterações no pH do solo quando é efetuada a calagem. Assim esperam-se menores alterações no pH, em solos argilosos, ricos em matéria orgânica e com argila mais ativa. Estes solos têm, desta forma, maior poder tampão.

A concentração de H^+ na solução do solo afeta constituintes do solo como minerais, microorganismos e a disponibilidade de nutrientes. Alta concentração de H^+ favorece o intemperismo e liberação de íons como K^+ , Mg^{+2} , Ca^{+2} , Mn^{+2} , Cu^{+2} e Al^{+3} . A liberação de Al nas suas várias formas também é dependente do pH. À medida que cai o pH, íons de Al do tipo $\text{Al}(\text{OH})^{+2}$ e $\text{Al}(\text{OH})^{+1}$ tornam-se mais fracamente adsorvidos e mais Al^{+3} entra em solução.

Efeitos da acidez

A acidez do solo afeta a população microbiana e o seu desenvolvimento, a disponibilidade de nutrientes bem como a toxidez de alguns elementos.

Em valores de pH 5,5, os fungos dominam a população de microorganismos no solo e na rizosfera enquanto que em valores mais altos de pH as bactérias são mais abundantes. A fixação de N, seja através de organismos de vida livre ou em simbiose, é afetada pelo pH, ocorrendo com maior intensidade em condição menos ácida.

A disponibilidade dos nutrientes é também afetada pelo pH sendo que apenas Mo e Cl têm sua disponibilidade aumentada pelo pH além da faixa ácida. Os demais micronutrientes têm a sua disponibilidade diminuída, à medida que cresce o pH (Fig. 8).

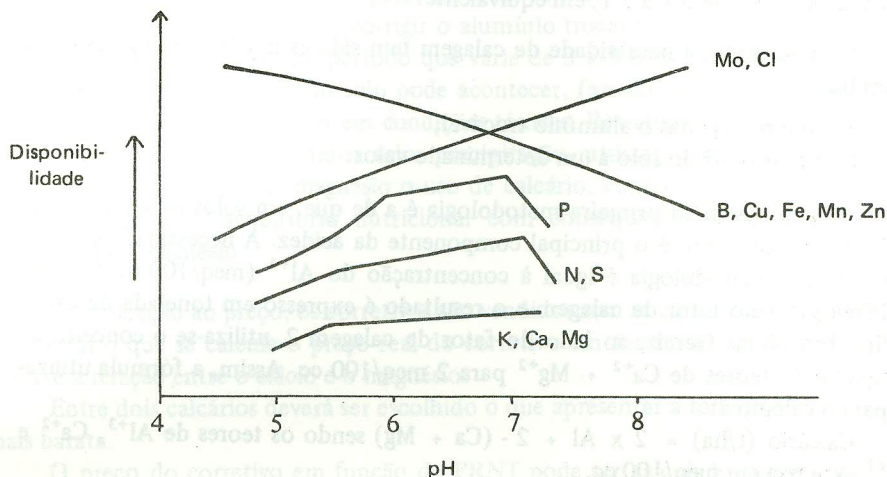


FIG. 8. Disponibilidade de nutrientes em função do pH

Fonte: Malavolta (1976)

O efeito direto da acidez manifesta-se por meio da toxidez de Al e/ou Mn constituindo problema sério em solos tropicais. Embora a correção possa ser efetuada na camada arável, permanece, em muitos casos, a toxidez nos horizontes mais profundos limitando o crescimento de raízes. Praticamente acima do pH 5,5 não há problema de toxidez de Al, uma vez que há precipitação do mesmo na forma de $Al(OH)_3$. A toxidez de Al manifesta-se pelo encurtamento e engrossamento de raízes, com pequena ou nenhuma ramificação, desenvolvimento reduzido da parte aérea que apresenta, freqüentemente, sintomas de deficiência de fósforo e magnésio.

Necessidade de calagem

Com a prática da aplicação do calcário objetiva-se, basicamente, a redução da solubilidade de certos elementos tóxicos (alumínio e/ou manganês) que, em determinadas concentrações, podem limitar a produção.

O neutralizante mais empregado para eliminar a presença desses elementos é o calcário calcítico ou o dolomítico, apesar de existirem outros materiais para tal finalidade. Além de neutralizar o alumínio, o calcário dolomítico fornece cálcio e magnésio, elementos essenciais para a nutrição mineral do milho. Alguns estudos têm evidenciado que a relação ideal entre os teores de cálcio, e de magnésio do corretivo, deve variar de 3:1 a 5:1, em equivalente.

Normalmente, a necessidade de calagem tem sido estimada por duas metodologias básicas:

- a. eliminar apenas o alumínio trocável;
- b. elevar o pH do solo a um determinado valor.

A idéia básica da primeira metodologia é a de que, em solos minerais intemperizados, o alumínio é o principal componente da acidez. A necessidade de calagem por esta metodologia é igual à concentração do Al^{+3} (meq/100 cc do solo) multiplicado pelo fator de calagem e o resultado é expresso em tonelada de calcário/ha. Em Minas Gerais, ao lado do fator de calagem 2, utiliza-se o conceito de completar os teores de $Ca^{+2} + Mg^{+2}$ para 2 meq/100 cc. Assim, a fórmula utilizada para o cálculo é:

Calcário (t/ha) = $2 \times Al + 2 - (Ca + Mg)$ sendo os teores de Al^{+3} , Ca^{+2} e Mg^{+2} expressa em meq/100 cc.

Na segunda metodologia, como o objetivo é elevar o pH a um determinado valor, a quantidade de calcário a ser aplicada geralmente é maior. Além do alumínio, outros componentes de acidez do solo terão que ser neutralizados. Neste caso a recomendação mais usual é conhecida como SMP (Shoemaker, McLean & Pratt). É baseada na reação do solo com uma solução tampão especial que sofre uma depressão de pH. A necessidade de calagem é determinada por esta depressão, através de uma tabela previamente elaborada.

Escolha do corretivo

A escolha de um corretivo deve ser orientada nos seguintes aspectos:

- poder relativo de neutralização total (PRNT)
- relação Ca/Mg
- preço da tonelada do PRNT.

O PRNT estima a eficiência total do material corretivo através do valor neutralizante (% equivalente de $CaCO_3$) e da eficiência relativa, determinada em função da granulometria do calcário. Todas as recomendações de calcário são efetuadas com base no PRNT a 100%. Caso o calcário adquirido possua um valor su-

perior ou inferior a 100% é necessário corrigir a quantidade recomendada. A velocidade de reação do calcário com o solo está intimamente relacionada com o grau de finura do corretivo. Quanto mais fino for o calcário, mais rápida, será sua reação no solo, pois a superfície de contato solo/calcário, será bastante aumentada. Evidentemente, além desta característica, o poder de neutralização do calcário reveste-se, também de grande importância.

O nível de calagem indicado pelos métodos tem como objetivos suprir o solo de cálcio e magnésio, bem como corrigir o alumínio trocável, propiciando também efeito residual no solo por um período que varia de 3 a 5 anos. Após este período o processo de re-acidificação do solo pode acontecer, fazendo-se novamente sentir a presença de alumínio trocável em condições tóxicas. Ressalte-se que este período é variável, tendo em vista o fator solo, precipitação, utilização da área etc. Em solos com baixos teores de magnésio o uso de calcário, contendo apenas o cálcio, poderá promover desequilíbrio nutricional com conseqüente aparecimento da deficiência de magnésio.

Com relação ao preço, os corretivos são vendidos sem se considerar qualidade. É necessário que se calcule o preço real do corretivo em função do PRNT e que se observe a relação entre o cálcio e o magnésio.

Entre dois calcários deverá ser escolhido o que apresentar a tonelada de PRNT mais barata.

O preço do corretivo em função do PRNT pode ser calculado através da seguinte expressão:

$$\frac{\text{Preço/tonelada} \times 100}{\text{PRNT}} = \text{preço real do corretivo}$$

A incorporação do calcário deve ser realizada à profundidade de aproximadamente 20 cm. A incorporação a maiores profundidades é recomendável desde que o solo apresente Al^{+3} trocável em todo o perfil. Neste caso considerar que a dosagem recomendada pelo laboratório é para uma camada corrigida de 20 cm. Para correção a maiores profundidades esse valor deverá ser recalculado. Por outro lado a recomendação de aplicação com antecedência de no mínimo 60 dias antes do plantio, prende-se ao fato de propiciar condições para reação do calcário com o solo. Esta reação é mais rápida quanto mais fino for o corretivo e somente se processa em presença de umidade no solo.

REFERÊNCIAS

- Associação Nacional para Difusão de Adubos, São Paulo, SP. **Manual de adubação**. São Paulo, ANDA, 1975. 265p.
- ARNON, I. **Mineral nutrition of maize**. Bern, International Potash Institute, 1974. 452p.
- BAHIA, F.G.F.T.C. **Absorção de zinco em relação à adubação fosfatada e à calagem, em dois solos de Minas Gerais**. Viçosa, UFV, 1973. 38p. Tese Mestrado.
- BAHIA, F.G.F.T.C.; MAGNAVACA, R.; SANTOS, H.L.; SILVA, J.; BAHIA FILHO, A.F.C.; FRANÇA, G.E.; MURAD, A.M.; MACEDO, A.A.; SILVA, T. & CUNHA FILHO, E. Ensaio de adubação com nitrogênio, fósforo e potássio na cultura do milho em Minas Gerais. I. Análise pela lei de Mitscherlich. **Pesq. agropec. bras. Série Agron.**, 8:231-8, 1973.
- BAHIA FILHO, A.F.C. **Índices de disponibilidade de fósforo de Latossolos do Planalto Central com diferentes características texturais e mineralógicas**. Viçosa, UFV., 1982. 179p. Tese Doutorado.
- BARBER, S.A. **Efficient fertilizer use: agronomic research for food**. Madison, American Society of Agronomy, 1970. p.13-29. (Special publication, 26).
- BARBER, S.A. & OLSON, R.A. Fertilizer use on corn. In: NELSON, L.B.; MCVICKAR, M.H.; MUNSON, R.D.; SEATZ, L.F.; TISDALE, S.L. & WHITE, W.L. **Changing patterns in fertilizer use**. Madison, Soil Science Society of America, 1968. p.163-88.
- BARTHOLOMEW, W.W. **Soil nitrogen**. s.l., International Soil Fertility Evaluation and Improvement Program, 1972. 78p. (Technical Bulletin, 6).
- CANTARUTTI, R.B. **Época de aplicação de fosfato natural, em relação à calagem, num solo com elevado teor de alumínio trocável**. Viçosa, UFV, 1980. 44p. Tese Mestrado.
- COELHO, A.M. & SILVA, B.G. Efeito residual da adubação fosfatada e da calagem na cultura da soja sobre a cultura do milho. In: EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DE MINAS GERAIS, Belo Horizonte, MG. **Relatório projeto milho/sorgo: 77/79**. Belo Horizonte, EPAMIG, 1981. p.40-6.
- EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DE MINAS GERAIS, Belo Horizonte, MG. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 3.^a aproximação**. Belo Horizonte, 1978. 80p.
- FOX, R.H.; TALLEYRAND, H. & BOULDIN, D.R. Nitrogen fertilization of corn an sorghum grown in oxisols and ultisols in Puerto Rico. **Agron. J.**, 66:534-40, 1974.
- FURLANI, P.R.; HIROCE, R.; BATAGLIA, O.C. & SILVA, W.J. Acúmulo de macronutrientes, de silício e de matéria seca por dois híbridos simples de milho. **Bragantia**, Campinas, 36:223-9, 1977.

- GROVE, T.L.; RITCHEY, D. & NADERMAN JR, G.C. Nitrogen fertilization of maize on an oxisol of the cerrado of Brazil. *Agron. J.*, 72:261-65, 1980.
- INTERNATIONAL FERTILIZER DEVELOPMENT CENTER – IFDC. *Fertilizer Manual*. Muscle Shoals, International Fertilizer Development Center, 1979. 353p.
- LOPES, A.S. *A survey of the fertility status on soil under "cerrado" vegetation in Brazil*. Raleigh, North Carolina State University, 1975. 138p. Tese Mestrado.
- MALAVOLTA, E. *Manual de química agrícola; adubos e adubação*. São Paulo, Livroceres, 1967. 606p.
- MALAVOLTA, E. *Manual de química agrícola; nutrição de plantas e fertilidade do solo*. São Paulo, Agronômica Ceres, 1976. 528p.
- MALAVOLTA, E. & DANTAS, J.P. Nutrição e adubação do milho. In: PATERNIANI, E. *Melhoramento e produção do milho no Brasil*. Piracicaba, ESALQ/Fundação Cargill, s.d. p.428-79.
- MALAVOLTA, E.; HAAG, H.P.; MELLO, F.A.F. & BRASIL SOBRINHO, M.O.C. *Nutrição mineral e adubação de plantas cultivadas*. São Paulo, Pioneira, 1974. p.317-418.
- MASCARENHAS, H.A.A.; HIROCE, R.; BRAGA, N.R.; MIRANDA, M.A.L.; POMMER, E.V. & SAWAZAKI, E. Efeito do nitrogênio residual de soja na produção de milho. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE PESQUISA DE SOJA, 1, Londrina, 1978. *Anais...* Londrina, EMBRAPA-CNPSo, 1979. p.307-18.
- MENGEL, K. & KIRKBY, E.A. *Principles of plant nutrition*. Bern, International Potash Institute, 1982. 655p.
- MORTVEDT, J.J.; GIORDANO, P.M. & LINDSAY, W.L. *Micronutrients in agriculture*. Madison, Soil Science Society of America, 1972. 666p.
- RELATÓRIO TÉCNICO ANUAL DO CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE MILHO E SORGO, 1979. Sete Lagoas, EMBRAPA-CNPMS, 1980.
- RELATÓRIO TÉCNICO ANUAL DO CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE MILHO E SORGO, 1979-80. Sete Lagoas, EMBRAPA-CNPMS, 1981.
- RIBEIRO, A.C. *Fertilidade do solo*. Viçosa, UFV, 1982.
- VASCONCELLOS, C.A.; BARBOSA, J.V.A.; SANTOS, H.L. & FRANÇA, G.E. Acumulação de matéria seca e de nutrientes em duas cultivares de milho. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 14, Florianópolis, 1982. *Resumos...* Florianópolis, EMPASC, 1982. p.151.