

6 – NUTRIÇÃO E ADUBAÇÃO DO MILHO

Antônio F. C. Bahia Filho*
 Carlos Alberto Vasconcellos*
 Hélio Lopes dos Santos*
 Gonçalo Evangelista de França*

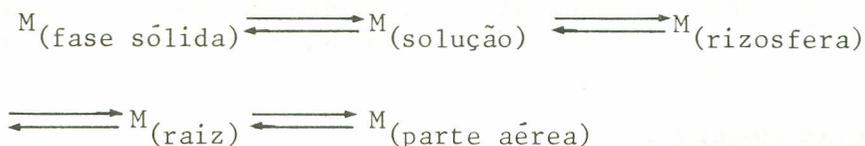
6.1 – INTRODUÇÃO

O solo é um sistema constituído pela fase sólida, líquida e gasosa. A fase sólida compreende a fração orgânica e mineral. A fração ativa desta fase é constituída por colóides classificados como argila (< 0,002 mm). Nessa fração ocorre o fenômeno 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. Os grupamentos carboxílicos e fenólicos são responsáveis pela carga negativa da matéria orgânica. Os colóides minerais são constituídos por aluminossilicatos (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, gibsitita (óxido de alumínio), hematita e goethita (óxidos de ferro) são os principais componentes da fração argila. A baixa capacidade de troca de cátions e a elevada adsorção de ânions estão condicionados, em sua maior parte, pela natureza da fração argila desses solos.

A fase gasosa no solo é constituída principalmente por CO₂ (0,3%, cerca de dez vezes mais que no ar), O₂ (20,5%) e N₂ (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.

6.2 – 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 nessa passagem há uma resistência a ser vencida. M (fase sólida) representa 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 à modificação do fator intensidade M (solução), quando há adição ou remoção do nutriente, é a capacidade tampão.

*Pesquisadores do Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG.

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 francamente 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. Há, no entanto, uma possibilidade em que a raiz praticamente encontra o nutriente na fase sólida e há uma troca entre o nutriente nessa 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 (mecanismo de dissipação de calor) cria um gradiente de potencial hídrico, ou seja, há movimentação de água do solo para a raiz e, daí, para as folhas. Cria-se, assim, a corrente transpiratória, e os íons dissolvidos na solução são carregados, por esse meio, até a superfície da raiz. Nesse caso, o mecanismo de movimentação de íons é o fluxo em massa, característico de íons que têm pouca interação com a fase sólida, e efetivo em distância 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. Esse mecanismo denomina-se difusão. A sua velocidade aumenta com o nível do nutriente no solo.

Nos dois últimos mecanismos descritos, a água desempenha papel preponderante, pois 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 do fluxo em massa. Esse 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 esses nutrientes pode-se, também, aumentar o aproveitamento do fertilizante aplicado, utilizando-se maior população de plantas. Esse é o caso da interação existente entre nitrogênio e população de plantas na qual 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, pode-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.

6.3 - EXIGÊNCIAS MINERAIS

As quantidades de nutrientes que são extraídas pela cultura dependem de produtividade, variedade, condições do clima, fertilidade do solo, adubação e tratos culturais. Os dados obtidos nessas condições fornecem, contudo, uma idéia paroximada dos nutrientes que devem ser fornecidos pelo solo ou através de adubações. O conhecimento das exigências minerais associado à marcha de absorção constitui elemento auxiliar valioso 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 magné-

sio, cálcio, fósforo e enxofre. Nos grãos a ordem de remoção desses 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*

Nutrientes	Grãos	Restos culturais	Total	% 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

* Produção de grãos - 9 t/ha; restos culturais - 6,5 t/ha

Fonte: Barber & Olson (1968)

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).

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	40,0	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

Fonte: Malvolta *et al.* (1974)

Neste período estarão completos cerca de 88% da necessidade de N; 74% de P; 100% de K e Ca; e 90% de Mg. 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 da variedade empregada. Nas Tabelas 3 e 4, verifica-se o efeito da irrigação da variedade nas produções de grãos e de massa seca total por kg de nutrientes absorvido durante o ciclo completo de duas cultivares de milho sintetizadas, no CNPMS. A cultivar BR 105 produziu mais grãos/kg de nutrientes do que a 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.

TABELA 3. Produção de grãos por quilo de nutriente absorvido, para duas cultivares de milho com e sem irrigação suplementar, em Latossolo Vermelho Distrófico. Idade da planta; 140 dias.

Cultivar	N		P		K		Ca		Mg	
	Com	Sem								
kg/kg										
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)

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

Cultivar	N		P		K		Ca		Mg	
	Com	Sem								
kg/kg										
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)

6.4 – NUTRIENTES ESSENCIAIS

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

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

Com fundamento esses critérios, são conhecidos 16 elementos essenciais que podem ser assim classificados:

- a) elementos provenientes do ar e da água: carbono (C), oxigênio (O) e hidrogênio (H);

b) macronutrientes: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S);

c) micronutrientes: boro (B), cobre (Cu), cloro (Cl) ferro (Fe), manganês (mn), molibdênio (Mo) e zinco (Zn).

6.4.1 – 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 microrganismos.

Embora seja comumente mencionado que a atmosfera é o seu maior reservatório ($3,8 \cdot 10^{15}$ t 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 mineralização. Esse processo envolve a participação de microrganismos 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 microrganismos. A mineralização normalmente não é limitada pela falta de microrganismos, 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 de mineralização é NH_4^+ que pode ser oxidado a NO_2^- (nitrito) e NO_3^- (nitrato). Essa oxidação constitui a fase de nitrificação, 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 efetuado pelas bactérias do gênero *Nitrosomonas* e o *b* pela 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 nessa forma é diminuída. A forma nítrica é pouco retida pelos colóides do solo e, em virtude disto, facilmente lixiviada pelas águas das chuvas. Esse

fato constitui uma das razões para 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. Sua absorção, pequena nos primeiros 30 dias, aumenta de maneira considerável a partir deste ponto. Atinge taxa superior a 4,5 kg de N/ha/dia durante a época do pendoamento ao embonecamento. Assim, o sucesso da adubação nitrogenada em cobertura, na cultura do milho, consiste em suprir as plantas com quantidades adequadas no seu período crítico, ou seja, entre os 40 - 50 dias após a germinação das sementes. A prática da adubação em cobertura tem mostrado ser bastante efetiva em minimizar as perdas do nutriente aplicado e em atender à demanda da cultura. A maior recuperação do fertilizante nitrogenado aplicado em cobertura pode ser comprovada nos dados de Fox *et al.* (1974) (Tabela 5). Essa recuperação pode ser ainda maior em solos que apresentam 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, aplicada isoladamente, em solos com teores médios de fósforo e potássio, apresenta resultados 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. À medida que a dose de nitrogênio é aumentada crescem os riscos de maior perda do elemento, como demonstrado na Figura 1. À medida que o nitrogênio aplicado aumentou, decresceu a quantidade do nutriente recuperado pelo vegetal. Para doses inferiores a 50 kg/N/ha os valores de recuperação não variaram e ficaram em torno de 55%.

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

Dose aplicada	Quantidade absorvida	Recuperação aparente
kg/ha		%
0	63	-
34 L	77	43
34 C	81	55
67 L	84	32
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: Fox *et al.* (1974)

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 desse método está, em grande parte, ligado às transformações de N no solo que são bastante influenciadas pelas condições ambientais.

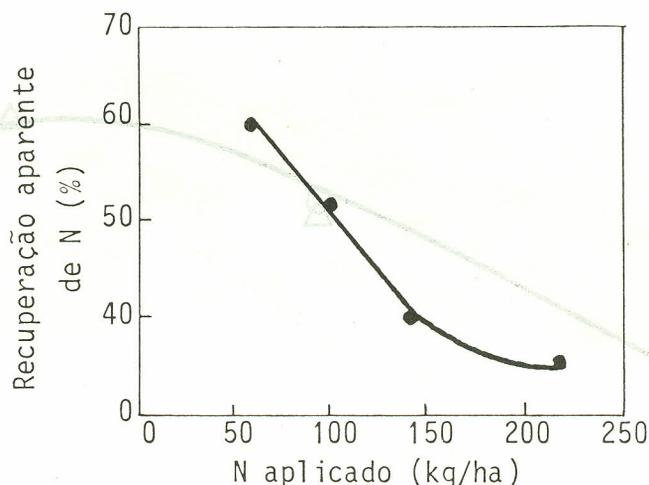


Figura 1. Efeito médio da adubação nitrogenada sobre a percentagem de recuperação de N.

Fonte: Grove *et al.* (1980).

As recomendações, no entanto, são baseadas em curvas de resposta (Figura 2) obtidos 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 (Figura 2). Por outro lado, o sistema de manejo, como a rotação milho-soja, pode levar a que a adubação nitrogenada seja total ou parcialmente abolida. (Figura 3). Somente a rotação milho-soja proporcionou aumento de 30% na produtividade de milho cultivado após a soja, (Embrapa 1981). Resultados obtidos por Mascarenhas *et al.* (1979) mostraram que a ausência de resposta à adubação nitrogenada de cobertura só foi verificada quando o solo foi cultivado por, pelo menos, três anos com soja. Outra possibilidade de substituição da adubação nitrogenada consiste no plantio de milho em área em que anteriormente foram plantadas leguminosas perenes (Tabela 6). Nesse caso, o sistema de plantio mais adequado é o plantio direto uma vez que, com o convencional, há tendência de desaparecimento das leguminosas.

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

Nível de N	Leguminosas				Sem Leguminosa
	Centrosema	Galácia	Siratro	Soja perene	
kg/ha					
0	2.267	3.896	1.947	3.030	2.744
40	2.986	4.605	3.346	4.505	4.345
80	4.194	4.260	3.969	4.431	5.208
Média	3.149	4.254	3.087	3.089	4.099

Fonte: Embrapa (1981)

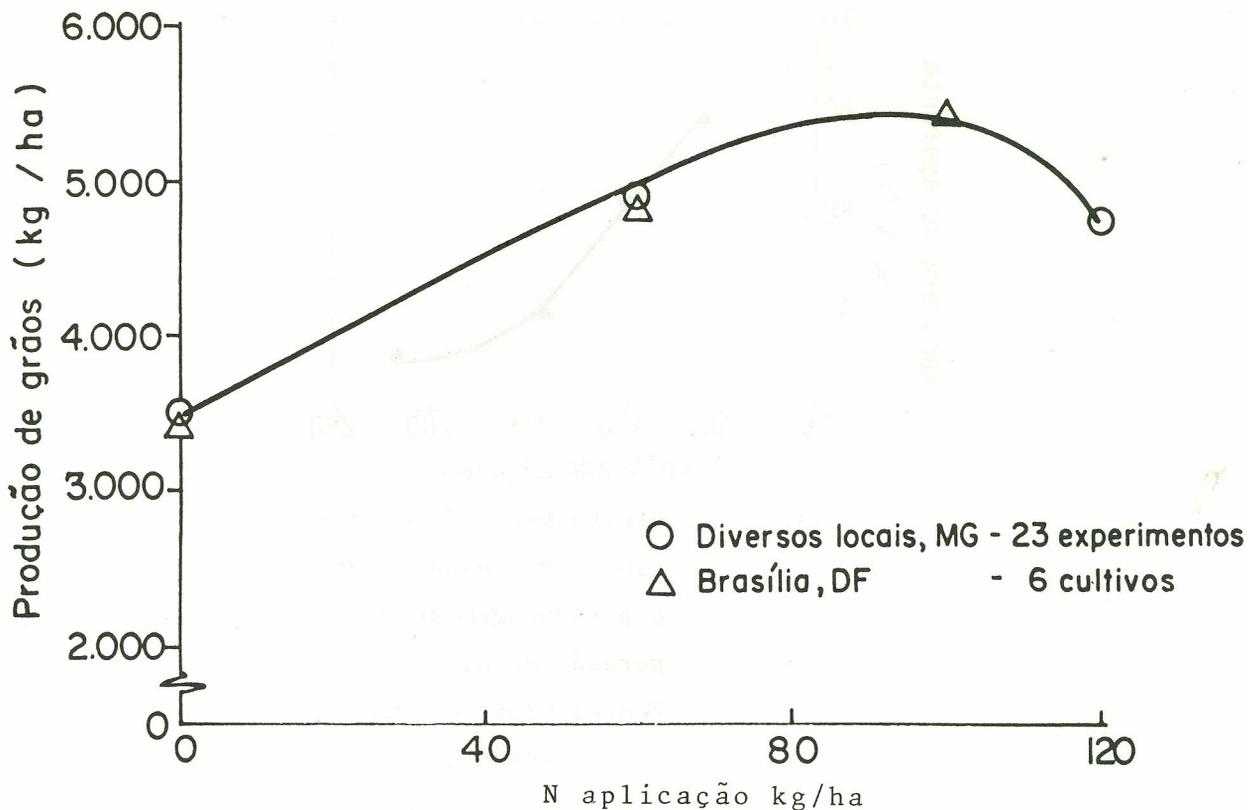


Figura 2 - Efeito médio da adubação nitrogenada sobre a produção de milho.

Fonte: Bahia *et al.* (1973) e Grove *et al.* (1980)

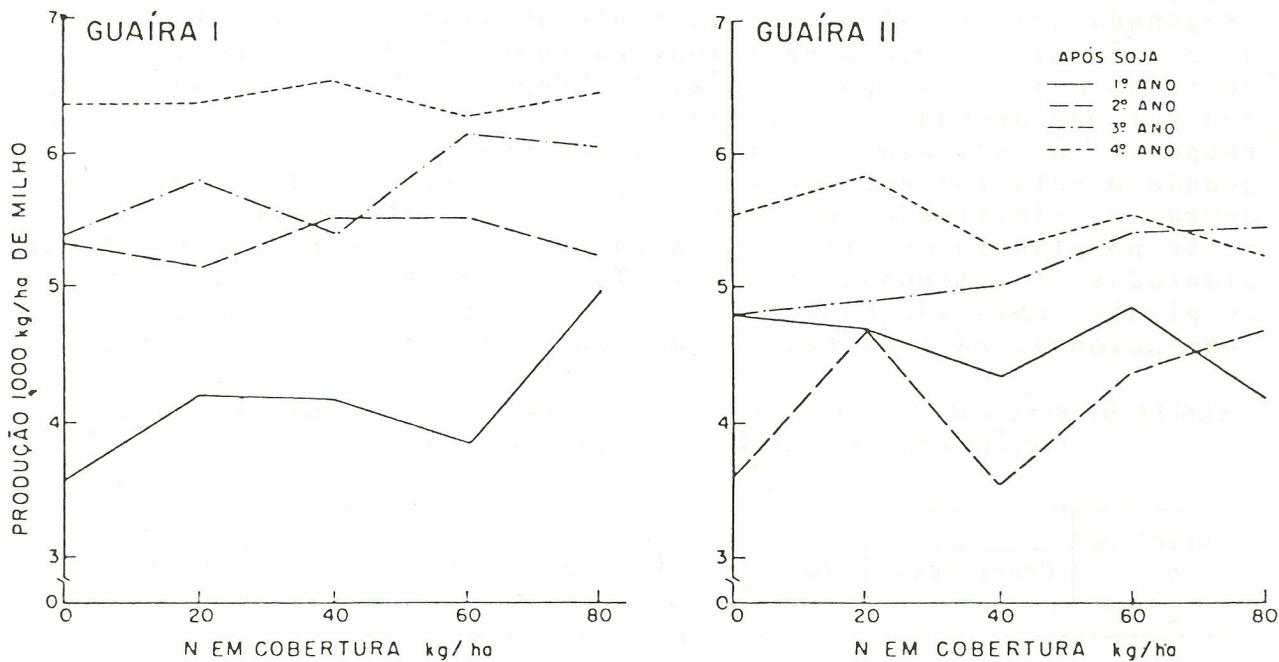


Figura 3 - Efeito de aplicação de sulfato de amônio em cobertura na produção de grão de milho após cultivos sucessivos de soja.

Fonte: Mascarenhas *et al.* (1979).

A leguminosa *Galactia striata* é a mais promissora para esse tipo de sistema cultural fornecendo grande parte do N requerido pelo milho.

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 elagamento 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). Nesse 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

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

Fonte: ANDA (1975)

As fontes de nitrogênio de solubilidade semelhante apresentam, normalmente, o mesmo comportamento quando aplicadas 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, metade na forma nítrica e metade na forma amoniacal. Tem a vantagem de apresentar reação básica, evitando a acidificação do solo na nitrificação da amônia. O inconveniente desse fertilizante reside na higroscopicidade, isto é, absorve muita umidade do ar durante o seu armazenamento. Isto dificulta muito sua manipulação em termos de mistura. O nitrocálcio tem esse 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. O 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. Essa transformação, em boas condições de temperatura e umidade, processa-se em questão e horas. Apresenta-se com alta higroscopicidade; 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 elevado conteúdo de N e P boas propriedades físicas. Os fertilizantes mais comuns são o fosfato monoamônio (MAP) e fosfato diamônio (DAP). Esses dois fertilizantes, dentre os fertilizantes nitrogenados, são os menos higroscópicos; superam o sulfato de amônio, a uréia e o nitrato de amônia.

6.4.2 - 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; 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; sua maior exigência ocorre por ocasião do florescimento.

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

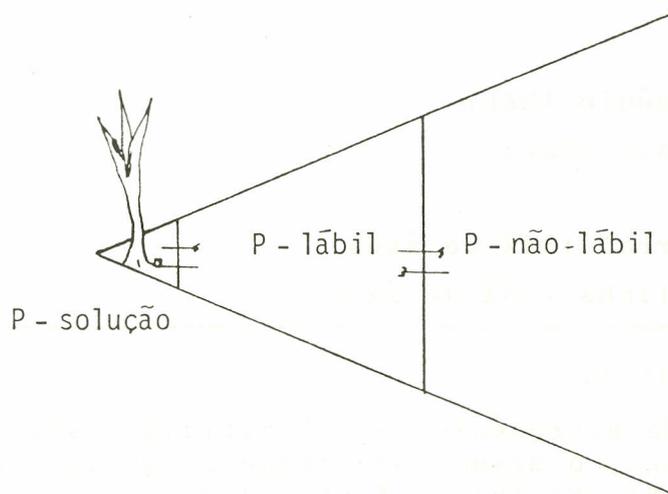


Figura 4. Representação esquemática das três frações de P no solo, importante para a nutrição das plantas.

Fonte: Mengel & Kirkby (1981)

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; 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 dominantes sendo que em pH 10, a forma PO_4^{3-} predomina. A concentração de P em solução normalmente é muito baixa; à medida que há absorção pelo vegetal, há reposição do fósforo em solução pela fração de P

lável. 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-lável é constituído de fosfatos de baixa solubilidade; 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 gibsita).

Parte do fósforo adsorvido constitui o P lábil e parte, pela natureza da ligação estabelecida, vai envelhecendo e tornando-se não-lável. A proporção de P não-lável 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, usada na literatura mais antiga, é apropriado apenas para designar o fósforo que se encontra em compostos cristalinos de baixa solubilidade da fração não-lável.

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 torna-se necessária uma reposição. Dessa forma a distância entre raízes é fator bastante importante na absorção de fósforo, uma vez que o ânion fosfato movimentava-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.

6.4.2.1 – Adubação de manutenção e correção

Há basicamente duas filosofias de adubação com fósforo no Brasil. Na primeira (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, prevenindo-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 lanco 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-lável. 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. Nesse caso há correção de volume limitado de solo (10% do volume até a profundidade de 15 cm). Conseguem-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 fertili-

zante 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 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 tratamentos do ensaio.

A aplicação de 100 kg de P_2O_5 /ha a lanço e doses anuais de 100 kg, também a lanço, fornecêram 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 tratamentos e métodos de aplicação de fósforo na cultivar Cargill 111. Sete Lagoas, MG, 1979*

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	

* Média de três anos de aplicação de P.

Fonte: Embrapa (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 favorecer a exploração de maior volume de solo pelas raízes.

Em outro trabalho, considerando apenas o modo de aplicação em sulco para os quatro níveis de P_2O_5 usados, verificou-se que as adubações de correção com superfosfato triplo somente proporcionaram aumentos razoáveis de produção, quando na presença de 0 a 50 kg de P_2O_5 , aplicados no sulco de plantio (Figura 7). Neste caso, as respostas da adubação de correção ocorreram com doses de 400 e 200 kg de P_2O_5 /ha, respectivamente. As aplicações de fosfato-de-patos-de-minas não proporcionaram aumentos, confirmando a baixa solubilidade desse fosfato natural (Figura 8). A Figura 7 mostra que a produção de grãos equivalente a 80% da produção máxima correspondeu, aproximadamente, às aplicações de: 300 kg de P_2O_5 /ha a lanço, no primeiro ano de plantio; de 75 kg de P_2O_5 /ha a lanço e 50 kg anuais no sulco; 100 kg de P_2O_5 /ha colocados anualmente no sulco de plantio.

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 P_2O_5 /ha a lanço, na forma de superfosfato triplo e 50 kg de P_2O_5 /ha, no sulco de plantio, como dose anual de manutenção, apresentou maior lucro. (Tabela 9). A aplicação 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 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 os maiores lucros serem obtidos com menor uso de insumo.

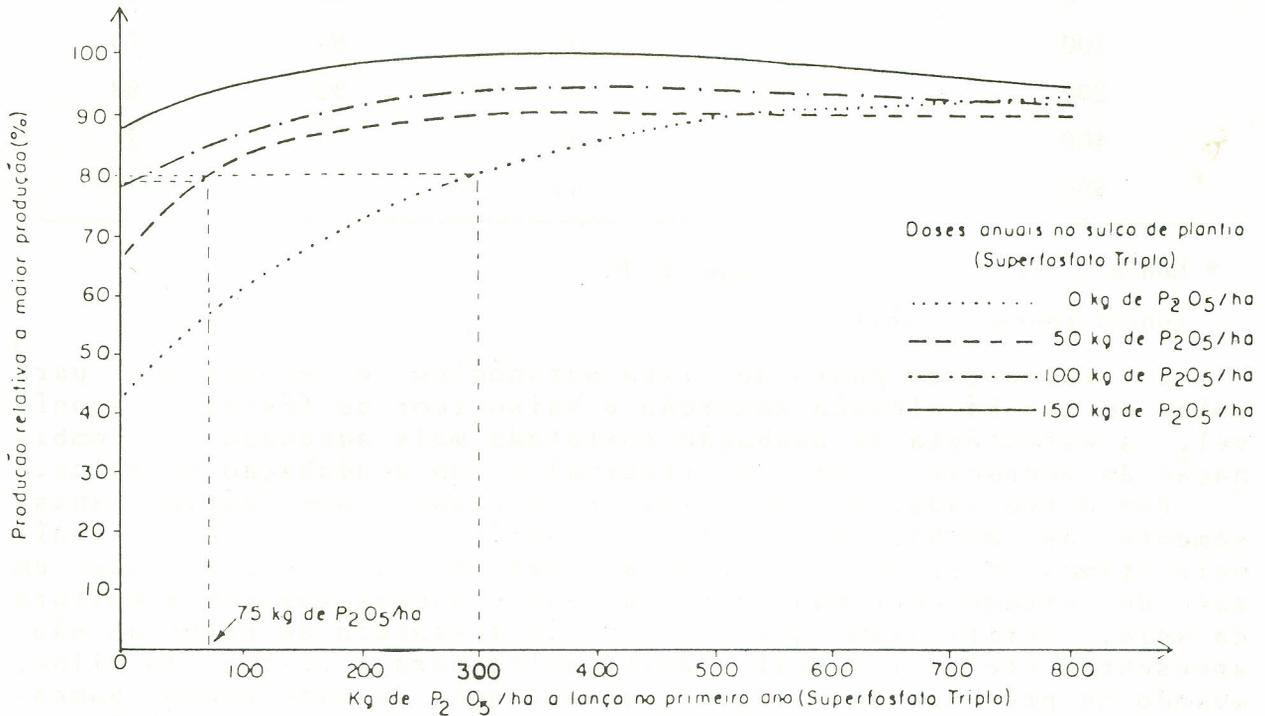


Figura 7 - Rendimento relativo da cultivar Cargill 111 em função de níveis de P_2O_5 aplicados a lanço no primeiro ano (1977) e no sulco de plantio por três anos consecutivos em solo LVE (100% = 3993 kg/ha). Média de três anos. Sete Lagoas, 1979/80.

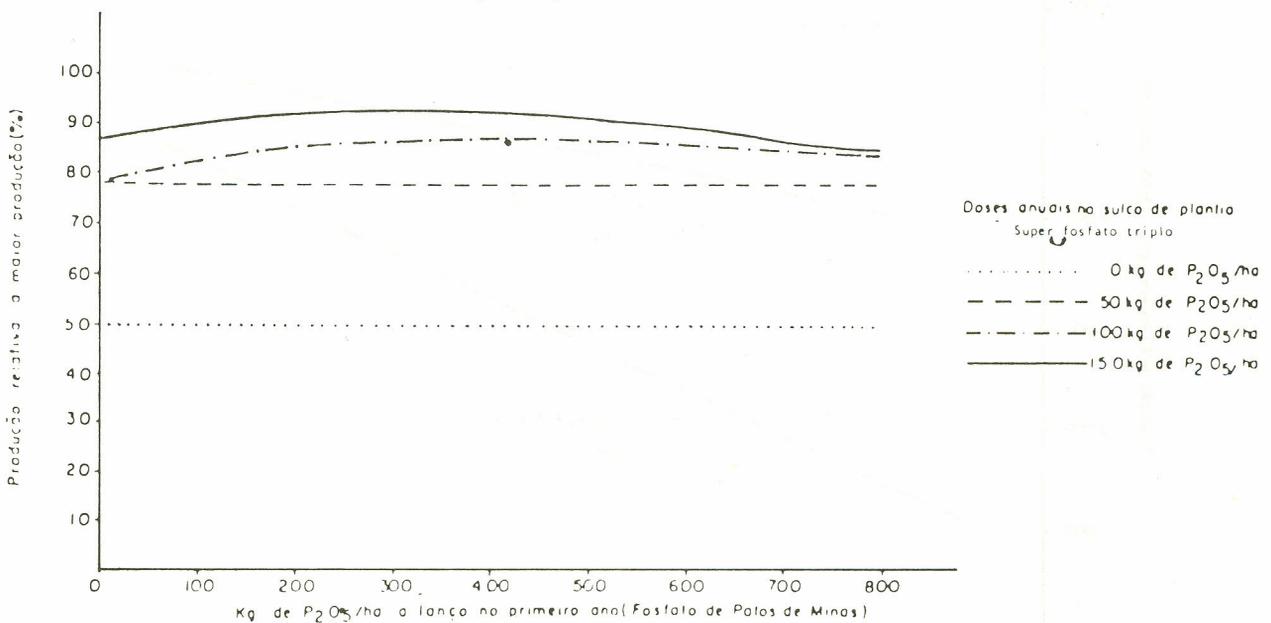


Figura 8 - Rendimento relativo da cultivar Cargill 111 em função de níveis de P_2O_5 aplicados a lanço no primeiro ano (1977) e sulco de plantio por três anos consecutivos em solo LVE (100% = 3993 kg/ha). Média de três anos, Sete Lagoas, 1978/80.

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*

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

* Média de três anos de aplicação de P.

Fonte: Embrapa (1981)

Em síntese, do ponto de vista agrônômico e econômico, para solos em que há elevada adsorção e baixo teor de fósforo disponível, a estratégia de adubação fosfatada mais adequada é a combinação de adubação a lanço (corretiva) e com a adubação no sulco.

Por outro lado, quando o solo é cultivado por vários anos, somente as adubações de sulco são suficientes para alcançar níveis ótimos de produção. Coelho & Silva (1981), trabalhando em solo de cerrado cultivado por cinco anos sucessivos com a cultura da soja, verificaram que a adubação fosfatada de correção não apresentou efeito residual significativo para a cultura do milho, quando na presença de calagem e de adubação de manutenção. Somente o efeito residual da adubação de manutenção (80 kg de P₂O₅/ha) foi suficiente para produções de até 4.000 kg de milho por hectare (Figura 9).

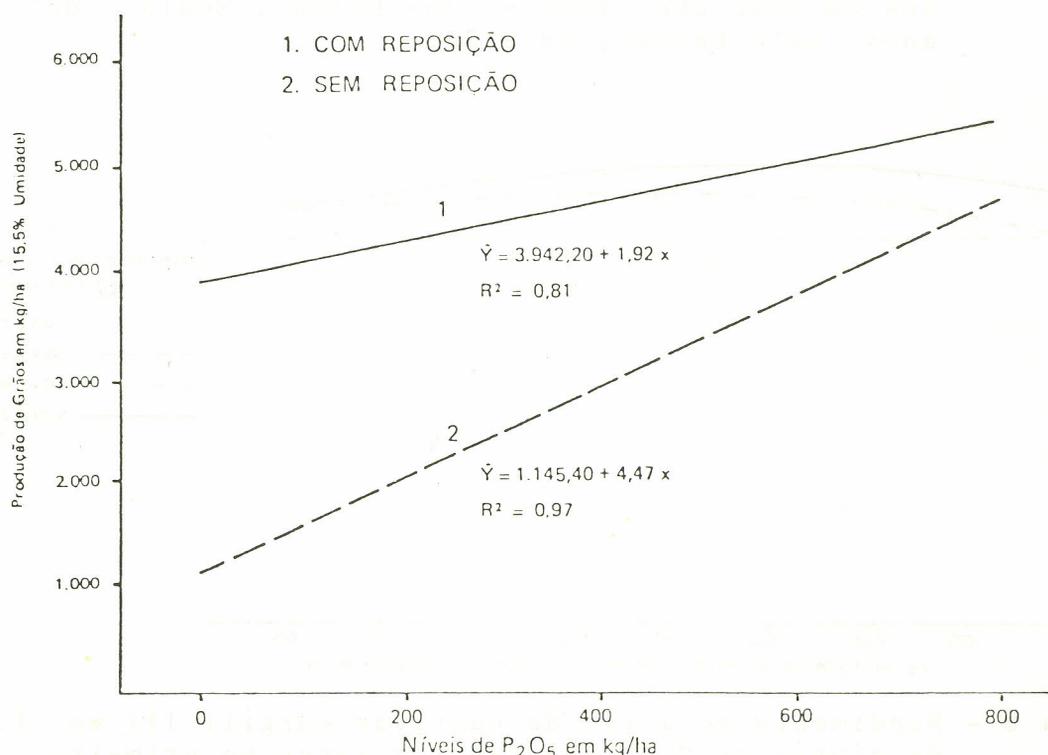


Figura 9 - Efeito residual estimado do fósforo aplicado ao solo em kg/ha de P₂O₅ total, no rendimento de grãos de milho. Ano Agrícola 1978/79.

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 a calagem, de acordo com os resultados obtidos por Cantarutti (1980) (Tabela 9).

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 à calagem*.

Modo de aplicação	Doses de P	Matéria seca	Fósforo absorvido
	Fração da 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

Dentre os modos de aplicação testados, a calagem que procede 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 junto 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 na solubilização de fosfatos de rocha.

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.

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

TABELA 11. Eficiência agrônômica de alguns fosfatos naturais em relação ao superfosfato triplo.

Fonte	Dose de P_2O_5 aplicada — kg/ha —				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: Embrapa (1981).

Sintomas de deficiência

Sendo um elemento móvel na planta, os primeiros sintomas de deficiência de fósforo ocorrem nas folhas mais velhas que se apresentam com tonalidade arroxeada. As plantas tornam-se raquíticas e com pouco desenvolvimento do sistema radicular.

Principais fontes

As principais fontes de fósforo e 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 monoamônio (MAP)	50-54	46-50	48-52
Fosfato diamônio (DAP)	42-46	38-40	40-44
Escória-de-thomas	19-20	-	14-16
Fosfatos naturais	20-30	-	8-20
Termofosfato	19	-	17

Fonte: ANDA (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 29% de enxofre. Apresenta uma série de outros compostos considerados impurezas, tais como: fosfatos bi e tricálcio, ácido sulfúrico, fosfato 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 de fosfatos monacálcicos 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 diamônio (DAP) e o fosfato de monoamônio (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.

Termofosfato

Obtidos pelo aquecimento das rochas fosfatadas. Em alguns casos, este aquecimento é efetuado em presença de rocha magnesiânica até $1.450^{\circ}C$, 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 ciclo cítrico e 2% na relação 1:100 e cerca de 30% de P_2O_5 total.

6.4.3 – Potássio

O potássio no solo pode ser dividido em três frações:

- 1) potássio como elemento estrutural em minerais do solo (feldspatos, micas, argilas micáceas e como ilita);
- 2) potássio adsorvido na forma trocável a colóides do solos tais como argila e matéria orgânica e
- 3) 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, à semelhança do fósforo, pode-se identificar, no potássio trocável, o

fator quantidade e no potássio em solução, o fator intensidade. É aplicável igualmente no 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.

O teor de potássio na planta está estreitamente correlacionado com resistência a determinadas doenças, stress de umidade, baixa temperatura e acamamento. Além disso, o potássio é importante para obtenção de produtos de boa qualidade.

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, e mantendo-se constante por um período de 20 a 25 dias. Nesse período a absorção diária pode atingir a taxa de $7,3 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{dia}^{-1}$.

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 plantas ha^{-1} obteve-se uma taxa de $2,58 \text{ kg}$ de K^+-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 potássio, 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 estejam limitando as respostas nos ensaios de curta duração. A médio e longo prazo, o K poderá limitar a produção das culturas. 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 11. 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 exportada 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.

A deficiência de potássio 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. Os sintomas principais de deficiência do elemento são: plantas pequenas com o aparecimento de clorose e queima nas pontas e margens das folhas mais velhas, sendo que a parte central das folhas permanece verde.

Fertilizantes potássicos

O cloreto de potássio (KCl) é a fonte mais usual dos fertilizantes potássicos. Algumas estimativas demonstram que o KCl re-

presenta cerca de 96% do consumo anual dos fertilizantes potássicos do mundo. O sulfato de potássico, o sulfato de potássio e magnésio e o nitrato de potássio também são importantes fontes de potássio (Tabela 13).

QUADRO 13. Principais fertilizantes potássicos

Adubo	% de K_2O	% 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	44 - 45	36 - 37

+1 - Contém cerca de 18% de Mgo.

+2 - Contém cerca de 13% de N.

6.4.4 - 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, que se apresenta sob o aspecto de roseta. Nas folhas do milho, as margens são incompletas e de forma irregular. Há também redução no crescimento do sistema radicular.

6.4.5 - 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 molécula de clorofila (2,7% do

total). Este elemento funciona ainda como ativador de várias enzimas relacionadas com o metabolismo dos carboidratos e síntese dos ácidos nucleicos 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 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 bronzeamento ou avermelhamento das folhas. Devido à facilidade com que o magnésio se transloca das folhas mais velhas para as mais novas, as colocadas na base da planta são as primeiras a mostrarem a deficiência do elemento.

6.4.6 – 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. No solo, o elemento passa por diversas transformações, em que interferem microorganismos dependentes em seu coportamento 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 e 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. Nesse caso, essas 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 elemento, sulfato de cálcio, ou gesso ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$), ou como componente de outros fertilizantes.

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

6.4.7 – 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. Esse último, é o que tem apresentando maiores respostas na cultura do milho.

6.4.7.1 – Boro

O milho é considerado como semitolerante à toxidez de boro, sendo compatível para o crescimento normal o conteúdo máximo de 1 ppm. Como exemplo, uma colheita de 6.270 kg/ha de milho extrai apenas 11,2 gramas de boro.

O boro que é absorvido na forma iônica (B) 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; 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 tetraborato 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, suprimindo 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.

6.4.7.2 – Cobre

No vegetal, o cobre interfere em atividades enzimáticas e nos processos de oxidação e redução. A forma de absorção é de íons cúpricos. O milho é considerado entre os vegetais como sensível à deficiência deste elemento; 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 nos bordos. 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.

6.4.7.3 – Cloro

Os sintomas de toxidez de cloro caracterizam-se pelo aparecimento de bronzeamento e queima das folhas, independentemente da idade destas. Também são comuns o aparecimento prematuro de folhas amareladas e redução no tamanho. Diferem dos sintomas de deficiência de fósforo, principalmente pela forma com que aparecem nas folhas, e pela queima.

6.4.7.4 – Manganês

O aumento do pH reduz a disponibilidade de manganês. Assim, a calagem excessiva pode induzir a 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 em razão do uso contínuo de adubos acidificantes do solo. Especialmente em solos ácidos, os níveis de manganês disponível podem 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.

6.4.7.5 – Ferro

A solubilidade do ferro encontra-se ligada também ao pH do meio, sendo maior em condições ácidas, predominando a forma Fe^{+3} ; em condições de inundação, com elevação do pH e abaixamento no potencial de oxidação, 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 ou na forma de sais orgânicos. 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 bastante baixos de ferro. 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 estádios avançados, as fo-

lhas novas apresentam coloração quase branca, as folhas medianas com estrias e as mais velhas verdes. Nas condições brasileiras, a deficiência de ferro não é frequente.

6.4.7.6 – Molibdênio

Para o milho apenas 0,1 ppm de Mo é suficiente para manter o crescimento normal. As sementes podem conter molibdênio suficiente para várias gerações, desde que produzida 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, decorrente da falta de sua redução, processo no qual o molibdênio participa como co-fator na atividade da enzima nitrato-redutase. Resultados recentes evidenciaram, no 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.

6.4.7.7 – Zinco

No Brasil, especialmente nos solos sob vegetação de cerrado, os teores de zinco disponível (extraído com HCl 0,05N + H₂SO₄ 0,025N) são baixos.

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; 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 têm sido semelhante. Para aplicações a lanço em solo de cerrado, a dosagem de 9 kg/Zn/ha é suficiente para alcançar os máximos de produção em quatro colheitas sucessivas. As aplicações anuais, no sulco de plantio, de 2 kg de Zn/ha são igualmente recomendadas em solos deficientes nesse micronutriente. As pulverizações, embora efetivas na correção de deficiência, apresentam a desvantagem de serem feitas somente após o aparecimento dos sintomas. A pulverização pode ser efetuada com soluções a 0,5% de ZnSO₄, neutralizada com Ca (HO)₂ (cal extinta) a 0,25%. A mistura deve ser filtrada para evitar entupimento dos bicos.

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

TABELA 15. Principais de micronutrientes

Fontes	Elemento
Boro - B	%
Bórax ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)	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 [$\text{Fe}(\text{NH}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$]	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

6.5 – SINTOMAS DE DEFICIÊNCIA

Os sintomas de deficiência podem constituir, no campo, elemento auxiliar na identificação da carência nutricional. É necessário, no entanto, 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-se confundir.

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

A. Sintomas iniciais na parte inferior da planta

A.1. Com clorose

A.1.1. 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

A.1.2. 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

A.1.3. 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

A.1.4. Faixas brancas ou amareladas entre a nervura principal e os bordos, podendo seguir necrose e ocorrer tons roxos; folhas novas na região de crescimento são esbranquiçadas ou de cor amarelo-pálida; internódios curtos.

.....Zinco

A.2. Sem clorose

A.2.1. Cor verde-escura das folhas mais velhas, seguindo tons roxos nas pontas e margens; o colmo também pode ficar roxo.

.....Fósforo

A.2.2. Pequenas manchas brancas nas nervuras maiores, encurvamento do lombo ao longo da nervura principal.

.....Molibdênio

B. Sintomas iniciais na parte superior da planta

B.1. Com clorose

B.1.1. 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

B.1.2. 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

B.1.3. 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

B.1.4. Clorose internerval em toda a extensão da lâmina.

.....Ferro

B.1.5. 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

6.6 – ACIDEZ DO SOLO E CALAGEM

6.6.1 – 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. Essa 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⁺ (Figura 9).

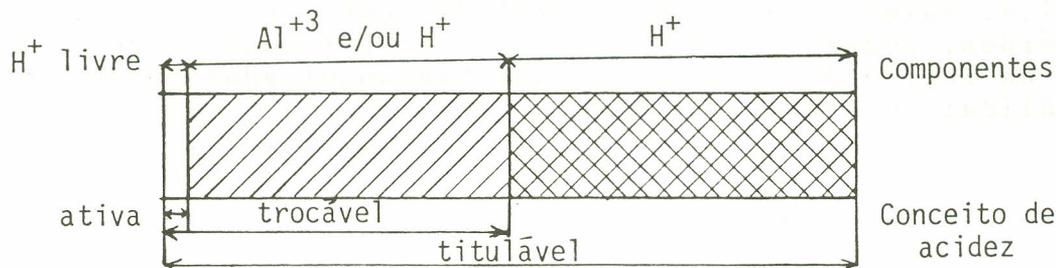


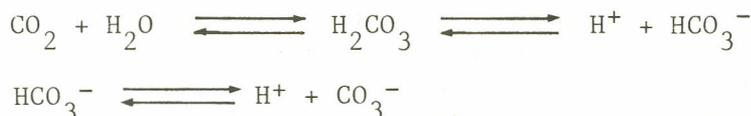
Figura 10 - Representação dos tipos de acidez do solo, Ribeiro 1982)

Além da acidez ativa existe ainda a acidez potencial. Essa acidez compreende os íons H⁺ e Al³⁺ 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, tem-se a acidez ativa (pH) e a acidez trocável (H⁺ + Al³⁺) na qual predomina o cátion Al³⁺. Os cátions que também são extraídos por KCl, somados à acidez trocável constituem a CTC (capacidade de troca de cátions) efetiva.

6.6.2 – Origem da acidez

A acidez do solo tem sua origem na dissolução de CO₂ em água, propiciando a formação de ácido carbônico que, por dissociação, fornece íons H⁺ (mais apropriadamente H³O⁺).



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 de hidrogênio. A decomposição da matéria orgânica leva também à produção de acidez. Na respiração, o CO₂ produzido é gerador de íons H⁺. No processo de nitrificação, são produzidos prótons na passagem de NH₄⁺ a NO₃⁻ (ver nitrogênio). Na oxidação do enxofre, também há produção de acidez bem como na oxidação de Fe²⁺ e Fe³⁺. Outras fontes de acidez no solo são as raízes no processo de respiração e absorção de nutrientes, os microrganismos produtores de HNO₃ e H₂SO₄ e os adubos acidificantes (amoniacais, superfosfatos).

A liberação de Al³⁺ 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 se encontra no solo, e que são tóxicos aos vegetais.

Nem todo 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. Esses solos têm, desta forma, maior poder tampão.

A 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 $Al(OH)^{+2}$ e $Al(OH)^{+2}$ tornam-se mais fracamente adsorvidos, e mais Al^{+3} entra em solução.

6.6.3 – Efeitos da acidez

Em valores de pH 5,5 os fungos dominam a população de microrganismos 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, seja em simbiose, é afetada pelo pH, ocorrendo com maior intensidade em condição menos ácida.

A disponibilidade dos nutrientes é também afetada pelo pH (Figura 10).

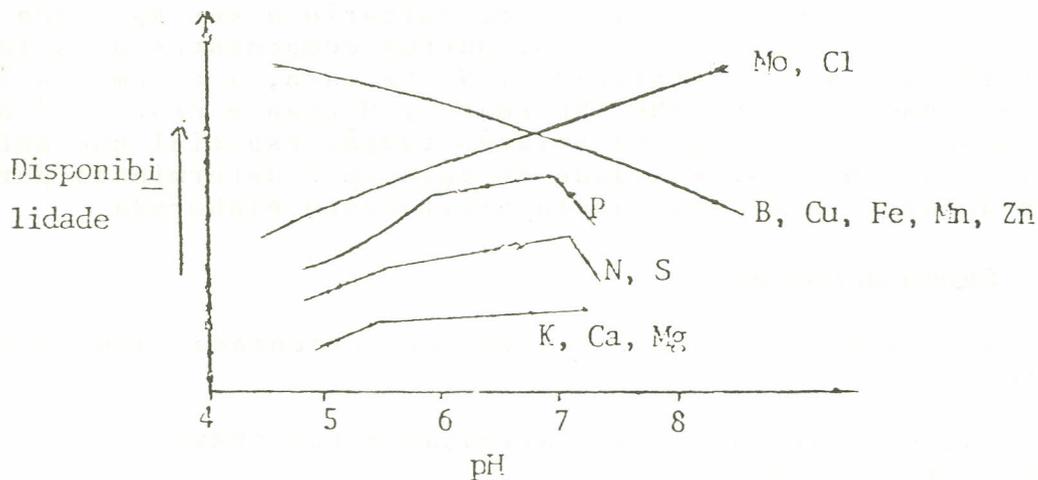


Figura 11 - Disponibilidade de nutrientes em função do pH.

Fonte: Malavolta (1976).

O efeito direto da acidez manifesta-se por meio da toxidez de Al e/ou Mn e constitui 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 deste 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, frequentemente, sintomas de deficiência de fósforo e magnésio.

6.6.3.1 –Necessidade de calagem

Com a prática de aplicação do calcário objetiva-se, basicamente, a redução da solubilidade de certos elementos tóxicos (a-

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 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 evidenciam 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, cuja extração é efetuada com KCl 1N;
- b) elevar o pH do solo a um determinado valor.

A idéia básica da primeira metodologia é 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/100cc do solo) multiplicado pelo fator de calagem; 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 a meq/100cc. Assim, a fórmula utilizada para o cálculo é:

$$\text{Calcário (t/ha)} = 2 \times Al + 2 - (Ca + Mg)$$

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 e 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.

6.6.3.2 – Escolha do corretivo

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

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

O PRNT estima a eficiência total do material corretivo através do valor neutralizante (percentagem 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 superior 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 três a cinco anos. Após este período, o processo de reacidificação do solo pode acontecer, fazendo-se nova-

mente sentir a presença de alumínio trocável em condições tóxicas. Ressalte-se que este período é variável, tendo em vista o fator solo, precipitação e utilização da área. 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 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 profundidade é recomendável desde que o solo apresente Al^{+3} trocável em todo o perfil. Nesse 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 fator de propiciar condições para reação do calcário com o solo. Essa reação, que é tanto mais rápida quanto mais fino for o corretivo, somente se processa em presença de umidade no solo.

LITERATURA CONSULTADA

- 01 - ANDA. *Manual de adubação*. São Paulo. Associação Nacional para Difusão de Adubos. 1975. 265 p.
- 02 - ARNON, I. *Mineral nutrition of maize* Bern, International Potash Institute. 1974. 452 p.
- 03 - BAHIA, F.G.F.T.C. *Absorção de zinco em relação à adubação fosfatada e à calagem, em dois solos de Minas Gerais*. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1973. 38 p. (Tese M.S.)
- 05 - BAHIA FILHO, A.F.C. *Índices de disponibilidade de fósforo de Latossolos do Planalto Central com diferentes características texturais e mineralógicas*. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa. 1982. 179 p. (Tese D.S.).
- 06 - BARBER, S.A. *Efficient fertilizer use: agronomic research for food*. Madison, American Society of Agronomy, 1970. p. 13-29. (Especial publication, 26).
- 07 - BARBER, S.A. & OLSON, R.A. *Fertilizer use on corn*. In: DINAUER, R.C. *Change in patterns in fertilizer use*. Madison, Soil Science Society of America. 1968.
- 08 - BARTHOLOMEW, W.V. *Soil nitrogen*. International Soil Fertility Evaluation and Improvement Program. 1972. 78 p. (Technical Bulletin 6)

- 09 - CANTARUTTI, R.B. *Época de aplicação de fosfato natural, em relação à calagem, num solo com elevado teor de alumínio trocável*. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1980. 44 p. (Tese M.S.)
- 10 - COELHO, A.M. & SILVA, B.G. Efeito residual da adubação fosfatada e da calagem na cultura da soja sobre a cultura do milho. In: EPAMIG. Relatório projeto milho/sorgo: 77/79. Belo Horizonte, EPAMIG, 1981. p. 40-46.
- 11 - EMBRAPA. *Relatório Técnico Anual. CNPMS - 1979*. Sete Lagoas, Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo. 1980. 121 p.
- 12 - EMBRAPA. *Relatório Técnico Anual do Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo. 1979 - 1980*. Sete Lagoas, Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo. 1981. 207 p.
- 13 - EPAMIG. *Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 3ª aproximação*. Belo Horizonte, Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais. 1978. 80 p.
- 14 - FOX, R.H.; TALLEYRAND, H. & BOULDIN, D.R. Nitrogen fertilization of corn and sorghum grown in oxisols and ultisols in Puerto Rico. *Agron. J.* 66:534-40. 1974.
- 15 - 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*, 36:223-9. 1977.
- 16 - 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.
- 17 - IFDC. *Fertilizer Manual*. Muscle Shoals. International Fertilizer Development Center. 1979. 353 p.
- 18 - LOPES, A. S. *A survey of the fertility on soil under "cerrado" vegetation in Brazil*. Raleigh, North Carolina State University, 1975. 138 p. (Tese M.S.)
- 19 - MALAVOLTA, E. *Manual de Química Agrícola; adubos e adubação*. São Paulo, Livroceres. 1967. 606 p.
- 20 - MALAVOLTA, E. *Manual de química agrícola. Nutrição de plantas e fertilidade do solo*. São Paulo, Agrônômica Ceres. 1976. 528 p.
- 21 - MALAVOLTA, E. & DANTAS, J.P. Nutrição e adubação do milho. In: Paterniani, E. *Melhoramento e produção do milho no Brasil*. Piracicaba, Marprint, 1978 p. 428-79.
- 22 - 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.
- 23 - MASCARENHAS, H.A.A.; 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 CNPSo, 1979. p. 307-18.

- 24 - MENGEL, K. & KIRKBY, E.A. *Principles of plant nutrition*. Bern, International Potash Institute. 655 p. 1982.
- 25 - MORTVEDT, J.J.; GIORDANO, P.M. & LINDSAY, W.L. *Micronutrients in agriculture*. Madison, Soil Science Society of America. 1972. 666 p.
- 26 - RIBEIRO, A.C. *Fertilidade do solo*. Viçosa, Departamento de Solos. 1982. s.n.p. (mimeo).
- 27 - 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. Florianópolis, 1982. *Resumos*. . . Florianópolis, Secretaria da Agricultura, 1982. p. 151.