

8 – MANEJO DA ADUBAÇÃO

INTRODUÇÃO

Um dos problemas fundamentais no estudo do crescimento e desenvolvimento das plantas cultivadas se refere aos mecanismos de absorção e translocação de nutrientes através do sistema radicular e, deste, para a parte aérea.

Dentro desta sistemática, surgem indagações que podem orientar o uso mais racional do fertilizante, tanto por fornecer respostas sobre aspectos quantitativos (quanto colocar), como para os qualitativos (como, quando e onde aplicar).

Assim, para o melhor entendimento do sistema solo-planta ao manejo de adubação, serão abordados os seguintes itens:

- Solo: fase sólida e fase líquida
- Adsorção Aniônica
- Absorção Iônica
- Nutrientes Essenciais.

8.1 – SOLO: FASE SÓLIDA E FASE LÍQUIDA

O sistema solo-planta é constituído por três fases: a fase sólida, a fase líquida e a fase gasosa. Apesar da fase gasosa também ser importante para o desenvolvimento das plantas (a absorção iônica, por exemplo, é influenciada pelo teor de O_2 no meio), será dada maior ênfase à fase sólida e à fase líquida.

A fase sólida é composta pela fração mineral e orgânica e a líquida pela solução do solo. Em cada uma destas fases e, principalmente, na interfase, ocorrem reações que favorecem (ou limitam) o crescimento vegetal.

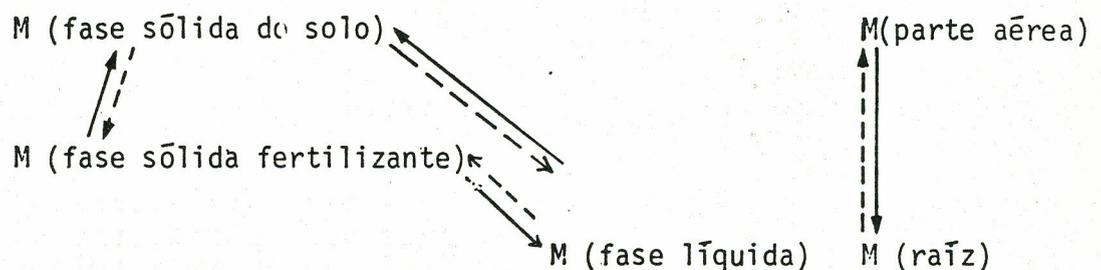


Figura 1 - Representação esquemática da reação de um íon M no sistema solo-planta.

- > reações mais rápidas
- > reações mais lentas

A reação expressa na figura 1 indica um sistema aberto, onde todas as reações ocorrem ao mesmo tempo, sendo que, em qualquer etapa, o limite pode ocasionar decréscimo na quantidade do íon (M) que atinge a parte aérea do vegetal. Desta forma, todo íon que se encontra nos tecidos vegetais saiu, direta ou indiretamente.

te, da fase sólida do solo. Não havendo limitações em nenhuma das etapas o sistema está no estado estável, ou seja, a derivada da concentração do íon (M), em relação ao tempo, é igual a zero

$$\frac{d(M)}{dT} = 0$$

Fica fácil, portanto, perceber a existência de, pelo menos, três fatores entre a fase sólida e a fase líquida do solo: um que represente a atividade do íon (M) na fase líquida; outro que o quantifique na fase sólida, e um terceiro que especifique a velocidade com que o íon é repostado na fase líquida do solo.

Estes fatores são assim representados:

Fator intensidade - representa a atividade do íon (M) na solução do solo (I);

Fator quantidade - representa a quantidade (reserva) do íon M no complexo sortido do solo (Q);

Fator capacidade - representa a velocidade em que a concentração do íon M é repostada na solução do solo.

Analisando o solo sob o aspecto de relação Q/I (Capacidade Tampão), quando Q e I possuem valores considerados altos e baixos, teremos quatro situações (Q alto e I baixo; Q alto e I alto, Q baixo e I baixo; Q baixo e I alto). Em cada uma delas haverá uma necessidade distinta na fertilização do íon M. (BRAGA, 1975).

A Figura 2, por exemplo, mostra a possibilidade que se tem de prever alterações na disponibilidade de fósforo através de estudos típicos de relação Q/I.

No eixo dos XX tem-se a quantidade de fósforo adsorvida, que é uma estimativa da reserva de fósforo na fase sólida do solo; no eixo dos YY tem-se a medida de atividade do fósforo em solução que pode, também, ser relacionada com a energia de retenção.

As relações curvilíneas obtidas indicam que a energia de retenção não é constante em toda a curva, havendo menores valores desta energia nos maiores valores de Q. Isto equivale a dizer que a reversibilidade do fósforo adicionado é maior nas maiores doses adicionadas.

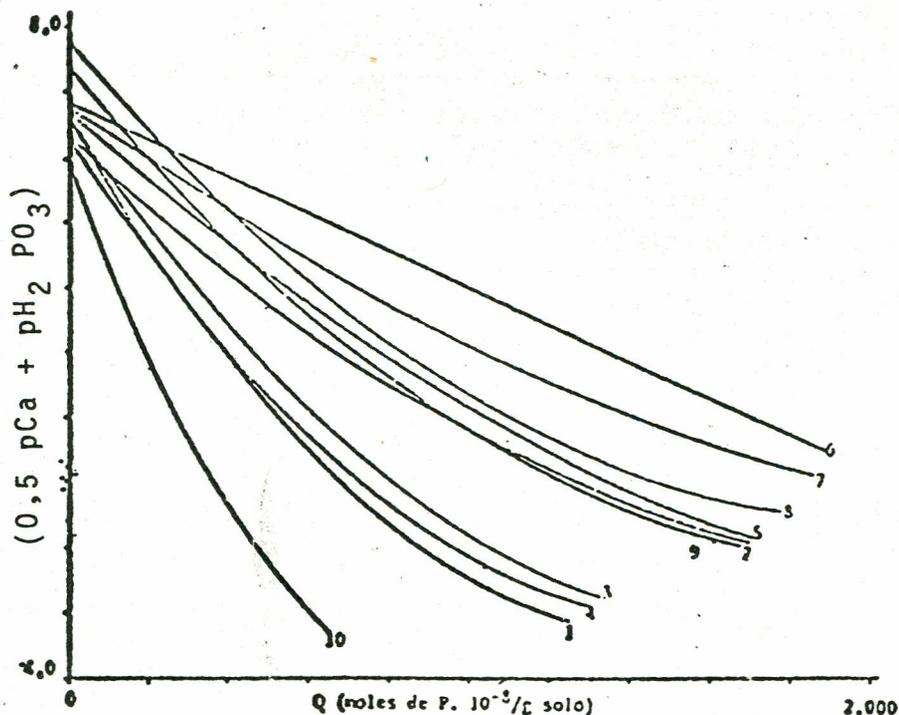
Comparando-se as inclinações das curvas verifica-se que há grandes diferenças entre solos de um mesmo Grande Grupo (Exemplo: solos 7 e 10). Estas diferenças refletem-se no manejo e nas quantidades de fósforo a serem aplicadas.

No solo 10, portanto, consegue-se, com as mesmas doses, valores mais baixos de energia que no solo 7. Desta forma, aplicações parceladas de fósforo no solo 10 são mais adequadas que no solo 7. Deste, a aplicação de maiores doses de uma só vez levam a maior duração (efeito residual) que em aplicações parceladas.

A idéia de fosfatagem (ou adubação de correção) encontra-se parte de seu embasamento neste tipo de comportamento, com relação à adsorção de fósforo nos nossos solos. É, igualmente, a separação das Tabelas de Recomendação de Fertilizantes em classes de textura.

Também a idéia de adubação verde encontra fundamento neste raciocínio. É fato conhecido que certas leguminosas têm maior habilidade de extrair fósforo de formas menos disponíveis. Desta forma, a incorporação da massa verde produzida colocaria os elementos em formas mais disponíveis pela decomposição de matéria orgânica.

Figura 2 - Relações entre Potencial de Fosfato Monocálcico ($0,5 \text{ pCa} + \text{pH}_2\text{PO}_4$) e Fósforo Adsorvido (Q) nas Amostras de Solo 1 a 10. (Grande grupo de Solo - Latossolo Vermelho Escuro).



Quanto ao potássio, a figura 3 expressa a relação Q/I para solos do CPAC (Brasília) e Santo Ângelo. O solo do CPAC, com menor valor para a Capacidade Tampão de K (CTK), apresentará maior perda de K por percolação e maior condição para consumo de luxo do que o solo Santo Ângelo.

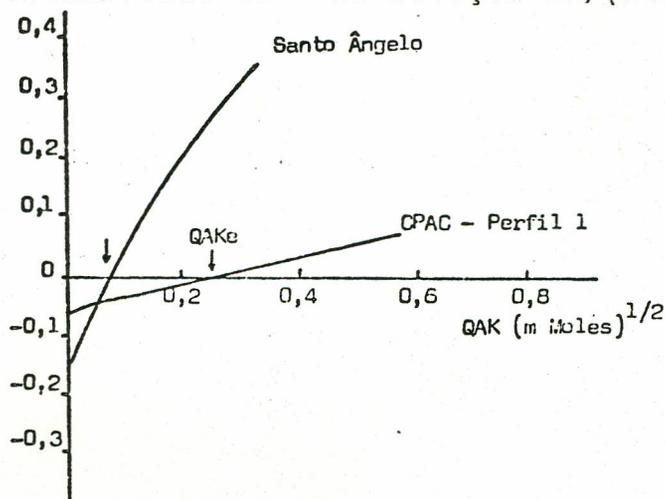
Assim, se forem aplicados $0,1 \text{ eq.mg}/100\text{g}$ de K ($78\text{Kg}/\text{ha}$ de K), o valor de QAK (quociente da atividade de equilíbrio de K) aumentará de $0,240 \text{ (m Moles/l)}^{1/2}$ para $0,600 \text{ (m Moles/l)}^{1/2}$. No solo Santo Ângelo, a mesma quantidade elevará o QAK de $0,075 \text{ (m Moles/l)}^{1/2}$ para $0,16 \text{ (m Moles/l)}^{1/2}$, (MIELNICZUK, 1977).

Em resumo, pode-se afirmar a existência de relações funcionais não só entre o fator intensidade como, também, entre o fator quantidade e o crescimento vegetal.

Figura 3 - Relação Q/I de Dois Solos Brasileiros Corrigidos com Calcário para pH 6,0, (MIELNICZUK, 1977).

ΔK = diferença entre a concentração de K^+ na solução inicial e na sobrenadente.

$\text{QAK} = \text{intensidade do K na solução } a\text{K}/(a\text{Ca} + a\text{Mg})^{1/2}$.



8.1.1 – Adsorção Aniônica

Dentre os trabalhos existentes sobre a adsorção aniônica, a maioria concentra-se no ânion fosfato. É fácil compreender este interesse quando se considera o fósforo como um dos principais (se não o principal) elementos que limitam a produção em solos tropicais. Além disso, inúmeros estudos têm mostrado a alta capacidade de retenção de fosfatos nestes solos, associada ao baixo aproveitamento do fertilizante aplicado (10%).

O termo sorção normalmente é empregado para definir a remoção de fosfatos da solução do solo. Normalmente é comum o uso do termo "fixação" para representar esta redução na disponibilidade de fósforo. A impropriedade do termo reside na idéia da irreversibilidade do processo. Pode-se ter, no entanto, pelo menos cinco caminhos diferentes para o fósforo sorvido.

- a) Parte permanece em solução;
- b) Outra parte combina-se com outros constituintes e se precipita;
- c) Uma terceira parte é adsorvida à fase sólida;
- d) O fósforo em solução é imobilizado, transformando-se em fósforo orgânico;
- e) finalmente, uma última parte é absorvida pelos vegetais.

Na reação de precipitação tem-se a formação de fosfatos de baixa solubilidade do tipo das apatitas ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$), strengita $\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, variscita $\text{AlPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ e outros fosfatos complexos cristalinos ou em formas amorfas.

A parte adsorvida refere-se à ligação em partículas coloidais do solo, tais como matéria orgânica, argilas e sesquióxidos de ferro e alumínio. É um fenômeno de superfície.

Exemplo bastante simples do fenômeno é dado pela permuta H_2PO_4^- com a hidroxila da borda da caolinita.



Na reação nota-se que o fosfato deve ser sorvido reversivelmente com respeito à concentração e pH.

Em termos genéricos, há maior probabilidade de adsorção de fósforo em solos com valores de pH baixos, argilas do tipo 1:1 ou material amorfo, e, com maior ocorrência, de sesquióxidos de ferro e alumínio.

O Quadro 1, apresentado a seguir, dá idéia das correlações que podem ser encontradas entre a adsorção de fosfatos e alguns parâmetros do solo.

Quadro 1 - Correlações entre Adsorção de P e Parâmetros do Solo.

Parâmetros	Correlação
Argila	+
Umidade equivalente	+
Óxidos de Al, Fe	+
pH	-
CTC, pH baixo	+
CTC, pH alto	-
Ki, Kr	-
Al trocável	+
pH H ₂ O - pH _{KCl}	-
MO	+
Tempo de contacto	+
Óxidos livres	+

É interessante notar, nestas correlações, o que seria efeito direto ou indireto. Normalmente tem havido pouca preocupação em se tentar explicar o fenômeno, ao invés de apenas constata-lo.

As correlações positivas indicam aumento da energia de retenção e de quantidade do fósforo sorvido em relação direta com os parâmetros do solo; as negativas, o inverso.

Quando se procura avaliar a quantidade de fósforo que um solo é capaz de reter, tem-se uma série de maneiras de fazê-lo. Uma delas é dada pela isoterma de Langmuir, onde o ajustamento é hiperbólico. Neste ajuste pode-se visualizar a capacidade máxima de adsorção e uma constante que é relacionada com a energia de retenção.

O Quadro 2 mostra os valores obtidos para 20 latossolos de Minas Gerais com relação à capacidade de adsorção.

Quadro 2 - Valores de Capacidade Máxima de Adsorção de Fósforo e Constante de equilíbrio. Determinados pela Isoterma de Langmuir, nas Amostras de Solo. (Bahia Filho & Braga, 1975).

Grande grupo de solo	Número da amostra	Capacidade de mg P/g solo	Máxima adsorção Kg P ₂ O ₅ /ha	Constante de equilíbrio ppm - 1
	1	0,4328	2,415	2,1804
	2	0,5669	3,163	6,1985
	3	0,4833	2,697	2,9199
	4	0,5168	2,884	3,2068
LE	5	0,6089	3,397	12,5076
	6	0,5714	3,188	144,6446
	7	0,6036	3,369	22,4167
	8	0,5792	3,232	14,9878
	9	0,5870	3,275	68,9757
LEm	10	0,2554	1,425	1,7028
	11	0,5388	3,006	9,4314
	12	0,6169	3,442	16,7113
LV	13	0,5995	3,345	11,5928
	14	0,6168	3,442	12,4428
	15	0,5056	2,821	1,3062
LVm	16	0,5361	2,991	1,2623
	17	0,3262	1,820	0,8054
LRd	18	0,4975	2,776	5,6474
	19	0,6273	3,500	8,1707
LRe	20	0,5998	3,347	5,7174

Os valores de capacidade, obtidos pela isoterma de Langmuir, refletem o pressuposto da quantidade de P que seria necessária para, na forma aniônica, recobrir a superfície específica dos solos estudados em uma camada monomolecular.

Os valores encontrados devem servir, assim, como um indicativo do poder de adsorção de P dos solos, e não da quantidade necessária para produções máximas. Para estas, os valores encontrados são frações da capacidade máxima de adsorção.

Já a constante de equilíbrio fornece um indicativo da energia de retenção do P adsorvido, considerando que esta é constante e uniforme em toda a superfície, localizando-se em pontos através da mesma.

Nestes vinte solos estudados há variações bastante pronunciadas, tanto nos valores de capacidade máxima quanto nas constantes de equilíbrio (relacionada com a energia de retenção).

É fácil perceber, por estes dados, que o comportamento do fósforo não é o mesmo para todos os solos. Em resumo, pode-se detalhar as seguintes situações:

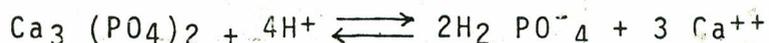
- solos com capacidade máxima de adsorção e energia diferentes;
- solos com capacidade máxima de retenção semelhante e energia diferente;
- variações de energia de retenção e da capacidade máxima de retenção dentro de um mesmo grupo de textura. (Quadro 2)

Como visto anteriormente (vide fase-sólida X fase líquida), a fosfatagem (ou adubação de correção) objetiva o aumento de Q, conseqüente redução na energia de retenção e maior disponibilidade do elemento. Desta filosofia, aparecem várias formas de manejo, principalmente quando envolvendo fosfatos naturais, fontes solúveis e modo de aplicação.

Alguns dados obtidos em Brasília sugerem, por exemplo, que o manejo mais eficiente é constituído pela associação da adubação corretiva com aplicações subseqüentes no sulco. Após quatro ciclos de cultura, em dois anos agrícolas, houve efeito considerável para as dosagens mais altas de P aplicado a lanço (680 e 1280Kg P₂O₅/ha) enquanto que as dosagens mais baixas perderam grande parte deste efeito residual. Já as aplicações localizadas de 80kg P₂O₅/ha/ano mostraram efeito residual cumulativo, sendo obtidos no terceiro e quarto cultivos 2/3 da produção máxima. Por outro lado, a dose corretiva de 320Kg de P₂O₅/ha associada a 80Kg no sulco, em cada ciclo cultural, proporcionou 80% da produção máxima dos quatro cultivos. Com esta combinação obteve-se o maior lucro, bem como a maior relação entre o valor da produção e o custo de fertilizantes, isto, em solo Latossolo Vermelho Escuro Textura Argilosa fase cerrado.

Obviamente a adoção de um ou outro sistema de manejo dependerá da capacidade do agricultor em investir em fertilizantes.

Os fosfatos naturais, "in natura", podem favorecer redução do custo no processo de recuperação do solo com alta capacidade de fixação. Assumindo sua representação como fosfato tricálcico, nos solos ácidos deverá ocorrer a seguinte reação:



O íon H₂PO₄⁻, a partir desta reação, tenderá para os processos de fixação e absorção pelas plantas. Nestas fontes, quanto maior for o grau de finura, maior será sua reatividade nos solos ácidos.

No Quadro 3 estão representadas as características químicas e físicas de alguns fosfatos.

O teor de fósforo solúvel em ácido cítrico a 2% é caracterizado, oficialmente, como o "fósforo disponível" no fertilizante. Logicamente, é de esperar que esse valor apresente uma relação direta com a produção. Entretanto, esta é uma afirmativa ainda duvidosa, como pode ser visualizada na revisão efetuada por BRAGA (1970).

Como exemplo, em trabalhos realizados no CNPMS em solo LE textura argilosa, fase cerrado, para a cultura do sorgo, verificou-se correlação positiva entre o Fator de Substituição e a solubilidade em ácido cítrico apenas para o nível de 400 kg de P₂O₅/ha (r = 0,821), figura 4.

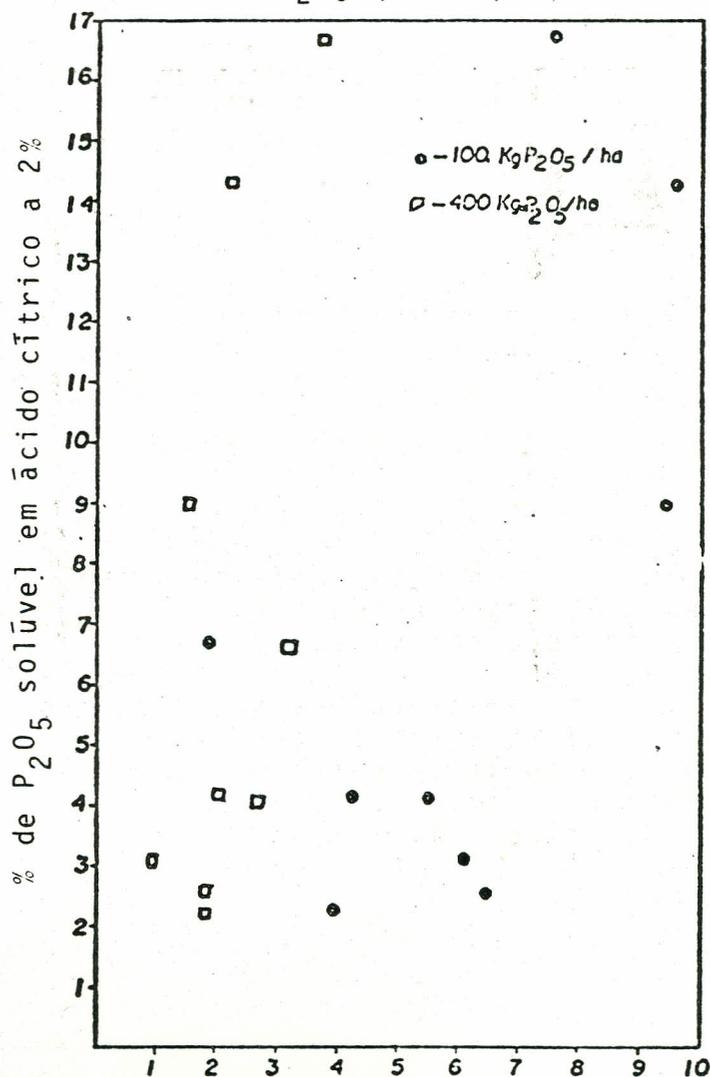
QUADRO 3 - Características Químicas e Físicas de Alguns Fosfatos

	P ₂ O ₅ % total	Ácido nítrico 2%	Granulometria (MESH)				Dados em %	
			60	60-100	100-150	150-200	200	
Hiperfosfato	29,96	14,32	-	0,4	5,0	11,6	83,0	
T.F. Yoorin	19,53	16,71	11,2	14,4	10,8	13,0	50,6	
T.F. IPT	30,81	8,98	16,6	13,0	9,0	29,0	32,4	
F. Abaeté	21,04	4,33	50,7	21,1	8,3	9,3	10,6	
F. Araxá	25,97	4,08	0,6	4,4	10,0	14,2	70,8	
F. Catalão	41,78	2,60	0,2	3,1	10,4	13,0	73,3	
F. Jacupiranga	36,90	2,20	1,0	1,3	1,8	3,7	92,2	
F. Patos de Minas	25,79	6,72	0,4	1,2	3,6	9,2	85,6	
F. Tapira	30,94	3,10	3,00	22,1	21,4	14,0	39,2	
S. Triplo	53,29	45,20	-	-	-	-	-	

Fator de Substituição

Figura 4 - Relação existente entre o fator de substituição e a solubilidade em ácido cítrico a 2%

$$FS = \frac{\text{Trat. com adubo} - \text{Testemunha}}{\text{nível de P}_{2}\text{O}_{5} \text{ (Total)}}$$

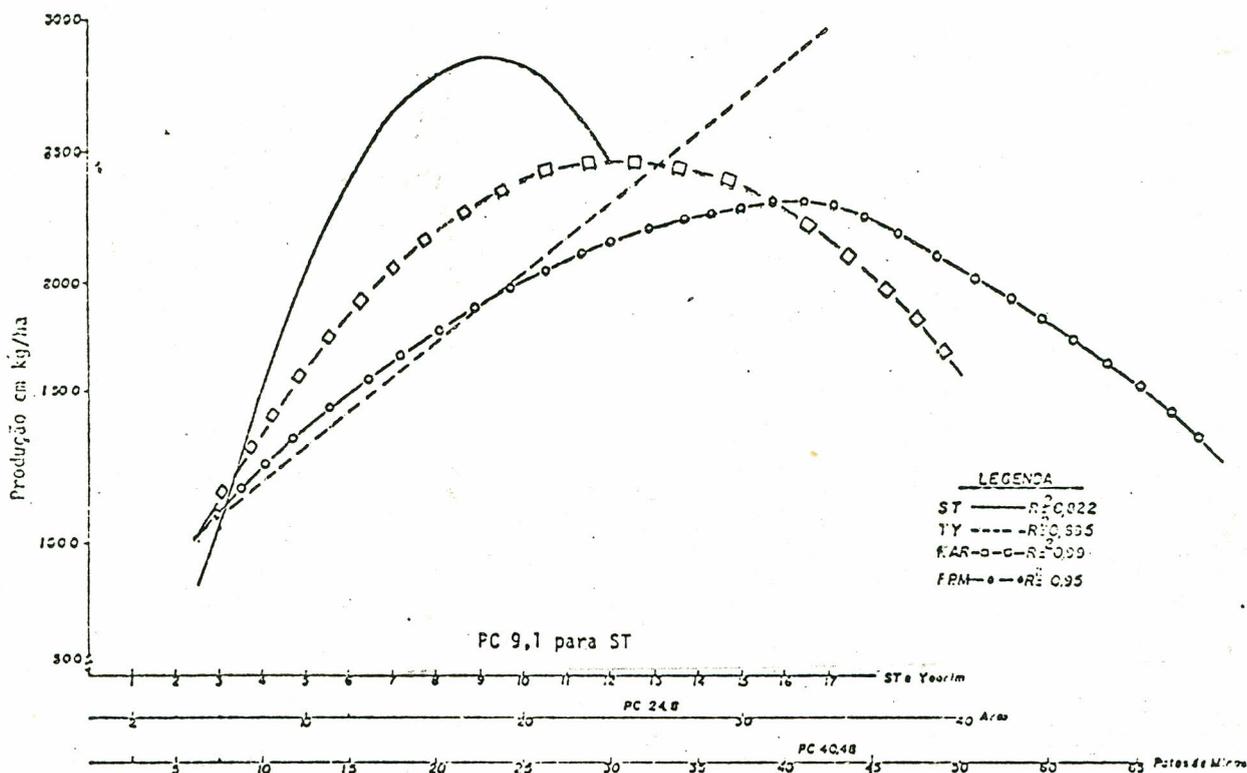


Com o emprego de fosfatos naturais, o conceito de disponibilidade relativa obtida por extratores químicos fica alterado em função da fonte aplicada e do tempo de reatividade.

A figura 5, dados obtidos no CNPMS para a cultura do sorgo, exemplifica a questão. Com o extrator de Mehlich (Norte Carolina), obteve-se o ponto crítico de 9,1, 24,8 e 40,48 para o Super-Fosfato Triplo, Araxã e Patos de Minas, respectivamente. Para a calibração dos teores do elemento no solo este é o ponto de referência para as subdivisões em teores baixo, médio e alto. Para uma idéia mais generalizada, vide no anexo 1 as classes atualmente em uso.

Fósforo no solo - ppm

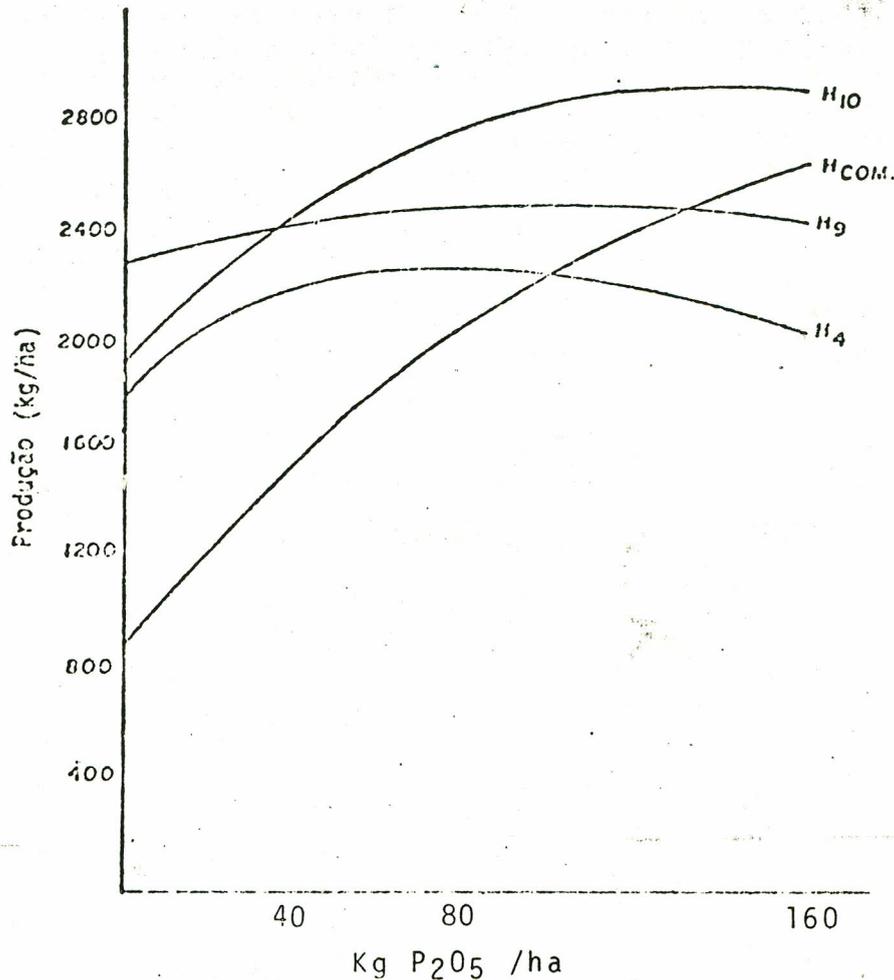
Figura 5 - Produção do sorgo em função dos teores de fósforo extraído pelo método de Mehlich (dados do 1º ano).



Ao lado das idéias para correção do solo, há outras que procuram solucionar o problema via planta. Assim, no CNPMS, em extenso programa de pesquisas, procura-se obter plantas de milho e sorgo mais adaptáveis às condições de elevada acidez. Espera-se que plantas com maior tolerância no Al tóxico sejam mais eficientes na utilização de fósforo. Pode-se prever que a associação de práticas de solo com cultivares mais eficientes na utilização de P seja, também, uma das formas racionais de se enfocar o problema.

A figura 6 representa algumas respostas para eficiência na utilização de fósforo para híbridos de milho experimentais, obtidos através de materiais selecionados para condições de elevada acidez, em comparação com um híbrido comercial, geralmente obtido em materiais adaptados para solos com fertilidade elevada. Assim, o híbrido comercial não apresenta ponto de máxima até 160 Kg de P₂O₅/ha, os híbridos experimentais de 40 a 90 Kg de P₂O₅/ha.

Figura 6 - Resposta diferencial a fósforo de híbridos de milho experimentais (selecionados para solos de elevada acidez) e um híbrido comercial para fósforo.



É conveniente observar-se as diferenças obtidas entre os híbridos experimentais e o comercial no nível 0 de P₂O₅ (de 1000 a 1500 Kg/ha).

Por outro lado, quanto ao aspecto de eficiência para utilização do fertilizante, pode-se equacionar as diferenças entre os híbridos experimentais. Enquanto o H₁₀, apesar da alta produção no nível 0 de P₂O₅, apresenta acréscimo de produção com aumento da adubação fosfatada, o híbrido 2 fica praticamente estável. O híbrido 4, a partir de 80 Kg de P₂O₅, apresenta decréscimo de produção, o que indica a possibilidade de limitação por outro nutriente.

8. 1. 2 - Absorção Iônica

Através do Quadro 4, adaptado de MAVOLTA *et alli* (1974), verifica-se que a maior exigência, em termos de quantidade, refere-se ao nitrogênio, seguindo-se o potássio e o fósforo. De maneira análoga, esta é a seqüência de elementos exportados nos grãos.

Além da exigência total dos nutrientes, é importante conhecer-se como se processa a absorção iônica e qual a exigência durante o ciclo de cultura.

QUADRO 4 - Extração de Macro Nutrientes pela Cultura do Milho. Dados de Diversos Autores. (Kg/ha).

Autores	Matéria seca	Produção	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO
Jones e Huston (1914)	Espiga	5.800	88,0	38,0	28,0	-
	Restos	4.730	36,0	7,0	75,0	-
Sayre (1955)	Grãos	6.240	94,0	43,0	25,0	0,9
	Restos	7.610	68,0	34,7	107,0	16,1
Weinmann (1963)	Grãos	1.800	67	30,0	56	11

QUADRO 5 - Absorção de nutrientes, em termos percentuais, durante o ciclo vegetativo do Milho (Adaptado de MALAVOLTA *et alii*, (1974)).

Elemento	Período			
	30 dias	60 dias	90 dias	120 dias
N	2,5	38,0	47,0	12,5
P	1,0	26,5	46,5	26,0
K	4,4	66,0	29,6	13,3
				(perda)
Ca	4,6	49,2	46,2	-
Mg	1,5	46,5	42,0	10

Pelo Quadro 5 verifica-se que, durante os 30 primeiros dias, os elementos mais exigidos são o K e o Ca, (4,4 e 4,6, respectivamente). Aos 90 dias toda a demanda de cultura nestes elementos está completa

A maior demanda de nutrientes, principalmente de N e P, ocorre entre 60 e 90 dias, época em que se processam a floração e frutificação.

Estes dados, aliados aos conhecimentos dos processos de absorção, podem contribuir para um melhor manejo das adubações.

Assim, pela Figura 1, verifica-se que a primeira condição para que o íon seja absorvido é a de estar em contacto com o sistema radicular. Para que isto ocorra, existem três processos:

- 1) Intercepção radicular
- 2) Fluxo de massa
- 3) Difusão.

Os três processos ocorrem simultaneamente; entretanto, a participação na absorção total é bastante diferente.

Intercepção Radicular

É a quantidade de íons absorvidos por contato direto do sistema radicular com a fase sólida do solo. BARBER *et alii* (1963), admitem que as raízes podem absorver, por este processo, 3% dos nutrientes disponíveis.

Fluxo de Massa

É o caminhamento de íons junto com a remoção de água pelas plantas, isto é:

$$q = V \times [M]$$

q = quantidade de elemento possível de ser absorvido;

V = volume de água absorvido;

[M] = concentração do íon na fase líquida do solo.

O Quadro 6, adaptado de ARNON (1974), mostra a contribuição relativa deste processo para a cultura do milho.

QUADRO 6 - Quantidade de Nutrientes Possíveis de serem Absorvidos pelo Fluxo de Massa.

Nutriente	Teor médio no milho (ppm)	Teor médio no solo (ppm)	Teor médio ⁺¹ no solo x 500	% suprida pelo fluxo
Ca	3.000	30	15.000	500
Mg	2.000	25	12.500	625
K	20.000	4	2.000	10
P	2.500	0,05	25	-

+1 - Admite-se que o milho necessite de 500 unidades de água para cada unidade de matéria seca.

Desta forma, o fluxo de massa pode suprir a demanda de Ca, Mg e de elementos móveis, como o nitrogênio. Entretanto, é bastante limitado o suprimento de P e K. Nestes, a maior contribuição é do processo de difusão.

A difusão consiste num movimento lento dos nutrientes, em distâncias curtas e contra um gradiente de concentração. Muito embora os valores da distância percorrida pelo elemento, por difusão, até o sistema radicular, seja função de uma série de fatores, em termos médios relaciona-se: 1 cm para nitrogênio (NO₅); e 0,02 cm para fósforo, 0,2 cm para K, (BARBER, 1974).

Através destes conhecimentos teóricos, fica fácil o entendimento para melhorar o manejo da adubação, principalmente da fosfatada e potássica, que devem ser aplicados onde há "maior densidade de raízes". Portanto, tanto a época quanto o método de aplicação do fertilizante são fatores importantes para se aumentar a eficiência da adubação aplicada.

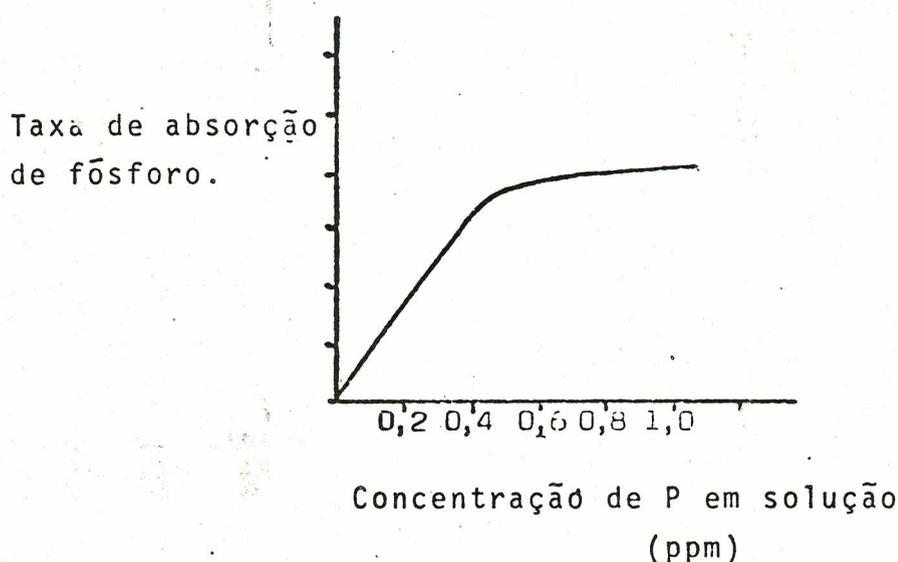
Atualmente, os métodos convencionais referem-se à adubação a lanço e no sulco do plantio.

Quanto à adubação a lanço, além das partes discutidas anteriormente pode favorecer, pela melhoria do solo, maior volume de solo explorado pelo sistema radicular. Conseqüentemente, menos sujeito às intempéries climáticas.

Quanto à adubação no sulco de plantio apresenta maior eficiência na utilização do nutriente aplicado, reduzindo a perda por fixação em formas menos disponíveis.

A taxa de absorção de fósforo em função de concentração está apresentada na Figura 7. Através desta figura verifica-se a existência de capacidade finita na absorção de nutrientes. O máximo obtido, conforme BARBER (1977), é alcançado em concentrações inferiores às aquelas encontradas quando o fertilizante é colocado no sulco de plantio.

Figura 7 - Taxa de Absorção de Fósforo em Função da Concentração de P na solução para a cultura de milho com 18 dias (BARBER, 1977).



Estas são questões a serem enfocadas com realismo para o manejo adequado dos fertilizantes.

Atualmente o CNPMS tem estudado no cerrado, uma adubação intermediária entre a adubação a lanço e no sulco: a adubação em faixa, isto é, concentrado o fósforo numa faixa de 10-15% do espaçamento de plantio. Apesar de prematura a afirmativa, os dados do 1º ano refletem melhores produções com adubação fosfatada em faixa quando comparada com a adubação no sulco.

Trabalhos apresentados por BARBER (1976, 1977) também demonstram melhores resultados para a adubação fosfatada e potássica em faixa, apesar de haver algumas variações em função do ano agrícola.

8. 1. 3 – Nutrientes Essenciais

8.1.3.1 - 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 e, predominantemente, ligados aos compostos orgânicos. Como componente essencial da proteína se faz presente nos resíduos de plantas, de animais e dos microorganismos.

O nitrogênio ligado à matéria orgânica, apesar de não ser

prontamente absorvido pelas plantas constitui a forma principal do elemento no solo.

Em nossas condições de clima tropical as elevadas temperaturas, associadas à presença de muita umidade, promovem a rápida decomposição da matéria orgânica. Em consequência, o nitrogênio contido nas formas orgânicas é convertido à forma mineral, sendo facilmente lixiviado pelas águas de chuvas.

O nitrogênio é absorvido pelas plantas na forma nitríca (NO_3^-) e amoniacal (NH_4^+); entretanto, é a forma nitríca a mais absorvida pelos vegetais, favorecida pelo processo de nitrificação.

A forma amoniacal apresenta a vantagem de ser mais retida pelas micelas do solo que possuem carga negativa. Por esta razão, a perda do elemento no solo é bastante diminuída, embora a fase final de mineralização consista na formação de nitratos. A forma nitríca é pouco retida pelos colóides do solo e, em virtude disto, facilmente lixiviada pelas águas de chuvas. Este fato constitui a principal razão para se recomendar a adubação parcelada de nitrogênio, de modo a ocorrer o seu melhor aproveitamento pelas plantas.

Sua perda no solo ocorre, ainda, pela remoção das colheitas, erosão e volatilização.

A retirada dos nutrientes de NPK do solo se dá respectivamente na relação de 3-1-2. Uma produção de 5 toneladas de grãos milho/ha retira do solo, em média, de 150 Kg de N, 50 Kg de P e 100 Kg de K.

A quantidade de nitrogênio que se perde pelo processo de erosão é também bastante significativa, dependendo de muitos fatores, dentre eles destacando-se a declividade do solo, a precipitação, a textura do solo, a cobertura vegetal e o teor de N do solo. Acredita-se que a quantidade de N que se perde pela erosão seja superior àquela causada pela remoção das culturas. Outro processo de perda de nitrogênio do solo é pela volatilização. A amônia que se perde é consequência da decomposição da matéria orgânica do solo e da aplicação dos fertilizantes amoniacais. Sua perda é maior em solos alcalinos.

Outro processo no qual o N pode se perder através da forma gasosa é pela desnitrificação, que consiste na ação microbológica que ocorre na presença de deficiência de oxigênio. Pelo processo de desnitrificação o nitrogênio nitríco é reduzido a N_2O , NO , N_2 , daí se perde do solo. Sua perda pode ser de importância econômica em solos mal arejados.

O nitrogênio na cultura do milho é absorvido em todo o seu ciclo vegetativo; entretanto, sua absorção nos primeiros 30 dias é pequena, aumentando de maneira considerável a partir deste ponto e atingindo taxa superior a 4,5 Kg de N/ha/dia durante a época do pendoamento ao embonecamento. Assim sendo, o sucesso da adubação nitrogenada na cultura do milho consiste em suprir as plantas em quantidades adequadas no seu período crítico, ou seja, entre os 40-50 dias após a germinação das sementes, aplicando o nutriente em cobertura.

A deficiência de nitrogênio na cultura do milho manifesta-se por apresentar plantas com reduzido desenvolvimento vegetativo, associada à clorose, isto é amarelecimento das folhas inferiores e mais velhas.

Os fertilizantes nitrogenados mais comumente encontrados no mercado brasileiro são:

- *Nitrato de Amônio* (NH_4NO_3), apresenta cerca de 20% de N, sendo a metade na forma nitríca e a outra metade na forma amoniacal. Tem a vantagem de apresentar reação básica, evitando a acidificação do solo pela amônia. O inconveniente deste fertilizante reside no fato de apresentar bastante higroscopicidade, isto é de absor-

ver muita umidade do ar durante o seu armazenamento. Isto dificulta em muito a sua manipulação, em termos de mistura.

-Salitre do Chile (NaNO_3) encerra em sua composição 16% de N na forma de nitrato, sendo por esta razão bastante lixiviado. Contém também alguns micronutrientes, influenciando favoravelmente na acidez, reduzindo-a.

-Sulfato de amônio $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ constitui a fonte de fertilizante nitrogenado mais utilizada em nosso país. Contém 20% de N e 24% de S. Este adubo pode ser acidificante no solo, razão pela qual bastante atenção deva ser dada neste aspecto. 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.

-Uréia $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ esta fonte apresenta como vantagem sua concentração de 42-45% de N. No solo a uréia é hidrolizada pela ação das enzimas, transformando-se em amônia. Esta transformação, em boas condições de temperatura e umidade, se processa em questão de horas. Apresenta-se esta fonte como grande inconveniente sua alta higroscopicidade.

Como resumo final, as respostas da cultura do milho a estas diferentes fontes têm sido semelhantes; entretanto, o menor custo de N deve ser sempre levado em consideração.

8.1.3.2 - Fósforo

8.1.3.2.1 - Relação Solo X Planta

O fósforo ocorre nas plantas em quantidades menores do que o nitrogênio, o potássio e o cálcio. Como fator limitante, entretanto, é mais importante do que o cálcio e, provavelmente, do que o potássio. É um elemento que desempenha papel fundamental na transferência e na utilização de energia pelas plantas, além de tomar parte numa série de compostos vitais ao metabolismo dos vegetais. Como nucleoproteínas, por exemplo, está intimamente relacionado à organização celular e na reprodução; como fosfato de piridoxal funciona como coenzima nas reações de transaminação e de descarboxilação dos aminoácidos e outros.

Está distribuído em toda a planta sendo que, nas sementes de milho, são acumulados cerca de 50-60% do total absorvido (50-80 Kg de P_2O_5 /ha).

A marcha de absorção do elemento é praticamente paralela à curva de acumulação da matéria seca, ocorrendo sua maior exigência por ocasião do florescimento.

A principal forma de absorção de P pelas plantas é a de H_2PO_4^- , contudo, os vegetais podem absorvê-los nas formas de HPO_4^{2-} e PO_4^{3-} , se bem que em quantidades diminutas e dependentes do PH do solo. A forma H_2PO_4^- predomina em condições ácidas; os ânions HPO_4^{2-} , em condições mais alcalinas. Existem, também algumas evidências de absorção de P em formas orgânicas, tais como fitina e lecitina.

Em contraste com o nitrogênio, as formas de fósforo no solo são bastante estáveis, não se perdendo por volatilização ou lixiviação. Esta alta estabilidade está diretamente relacionada com a alta capacidade de sorção de fosfatos por constituintes do solo e com a baixa utilização dos fertilizantes fosfatados. Sabe-se que não mais de 20% do fósforo aplicado ao solo são prontamente aproveitados pelos vegetais, pois grande parte do P aplicado é fixado em formas menos solúveis. Quanto ao fósforo fixado, apesar da magnitude de energia de retenção, poderá ser liberado em cultivos subseqüentes.

Tendo em vista esta alta capacidade de fixação de fosfatos e a baixa mobilidade do elemento através do perfil do solo, tem-se procurado melhorar a eficiência da utilização dos fertilizantes fosfatados aplicados no sulco de plantio através do emprego da adubação de correção no 1º ano de cultivo, isto é, aplicações a lanço de 100-300 Kg de P_2O_5 /ha.

A calagem, através do fornecimento de cálcio, de magnésio e da mudança do pH do meio, igualmente favorece o melhor aproveitamento do fertilizante fosfatado.

Geralmente, em alguns solos de 1º ano, tem-se recomendado o uso de calagem, seguindo-se as adubações de correção a lanço e de manutenção, no sulco de plantio (vide Manejo de Adubação).

O suprimento correto de outros nutrientes, tais como nitrogênio, magnésio e zinco também está associado ao aproveitamento eficiente dos fertilizantes fosfatados.

A interação do fósforo e nitrogênio caracteriza-se principalmente, na absorção de fósforo, tanto por aumentar a eficiência na absorção do fósforo através do aumento de densidade das raízes; como aumentar a solubilidade do fósforo no solo pela variação de pH na rizosfera.

O nitrogênio atua, ainda, na distribuição do fósforo no interior da planta.

O magnésio, como cofator de quase todas as enzimas que atuam sobre substratos fosforilados, é um elemento cuja deficiência afeta o metabolismo das plantas, impedindo o melhor aproveitamento dos fertilizantes fosfatados.

A interação P x Zn foi descrita na parte de micro-nutrientes.

Os primeiros sintomas de deficiência ocorrem nas folhas mais velhas, que se apresentam com tonalidade arroxeada; as plantas tornam-se raquíticas e com pouco desenvolvimento do sistema radicular.

8.1.3.2.2 -Fertilizantes Fosfatados

Para a produção dos fertilizantes fosfatados a matéria prima é a rocha fosfatada que, após ser reduzida a partículas suficientemente pequenas, é tratada, física ou quimicamente, para a obtenção de fontes com teores mais elevados de P_2O_5 solúvel em água ou em ácido cítrico.

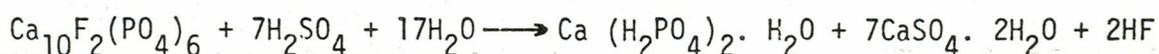
Dentre as principais fontes de fertilizantes fosfatados podem ser encontrados:

Termofosfatos:

Obtidos pelo aquecimento das rochas fosfatadas. Em alguns casos, este aquecimento é efetuado em presença de rocha magnésiana (e/ou sílica) até 1450°C, esfriando-se rapidamente com adição de água. Desta fusão obtém-se um produto em 19-20% de P_2O_5 total com cálcio, magnésio e micro-nutrientes na sua composição. É o caso do termofosfato de Yoorin, que, inclusive, apresenta reação alcalina. Em alguns trabalhos de pesquisa tem apresentado resultados se não melhores, pelo menos comparáveis aos do superfosfato.

Superfosfato Simples

É obtido pela reação da rocha fosfatada finamente moída com ácido sulfúrico. A reação básica pode ser descrita da seguinte forma:



É portanto, constituído por uma molécula de fosfato mono-cálcio e 2 moléculas de sulfato de cálcio (ou gesso). Comumente, apresenta 20% de P_2O_5 solúvel em água e 29% de enxofre, calculando como SO_4 . 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. Foi reação ácida.

Superfosfatos Concentrados

Referem-se aos superfosfatos duplo ou triplo, 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.

No processo via úmida, o excesso de H_2SO_4 em reação com rocha fornece H_3PO_4 que é separado por decantação e filtração para posterior reação com a apatita ou fosforita.

No processo por via seca, após aquecimento, o P elementar é tratado com H_2O para fornecer H_3PO_4 , que é utilizado para a produção dos superfosfatos concentrados.

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

Hiperfosfato

É o nome comercial de fosfato natural de origem sedimentar, oriundo do Norte da África. Apresentam-se cerca de 30% de P_2O_5 , total, que chegam a ser solubilizados por extrações sucessivas de ácido cítrico. Tem, ainda, 47% de cálcio, expresso em CaO.

Fosfato de Amônio

Englobam uma série de fertilizantes com teores e fontes variáveis de nitrogênio. São produzidas pela reação do amônio com o ácido fosfórico e posterior neutralizado. Os adubos mais comuns são:

Fosfato de di-amônio (DAP) - 16-18% de N, 46-48% de P_2O_5

Fosfato de mono-amônio (MAP)- 11% de N, 48% de P_2O_5

Fosfato duplo de sulfato de amônio- 13% de N, 39% de P_2O_5 , e 7% de S

8.1.3.3 - Potássio

8.1.3.3.1 -Relação Solo x Planta

As diferentes formas de K no solo podem ser agrupadas em quatro categorias distintas na disponibilidade para as plantas:

1- K-Mineral

Corresponde aos minerais primários que possuem potássio na sua composição, tais como as micas, biotita e muscovita, e os feldspatos ortoclásio e microclina.

A grande maioria do potássio, em solos minerais, encontra-se nesta categoria (90-98%) e, gradualmente, é liberada para formas mais solúveis pela ação do intemperismo.

Os minerais de argila, particularmente aqueles derivados de micas, também possuem K, que pode ser liberado lentamente.

Do exposto não se deve concluir que o K seja absorvido somente quando presente na solução do solo. Existem três mecanismos aptos para favorecer a absorção de K pelas raízes: contato direto das raízes com a superfície coloidal, fluxo de massa e difusão. No caso do K, diversas pesquisas têm demonstrado a importância da difusão, movimentação ao longo de um gradiente de concentração no fornecimento de K para diferentes culturas (milho, soja, sorgo, etc).

Cerca de 70% do K na planta está na forma iônica, e apenas 30% adsorvido à proteína.

Embora não se conheça composto orgânico com K^+ , sabe-se que o elemento é necessário para ativação de uma série de enzimas implicadas em vários processos metabólicos: glicose, ciclo de Krebs, incorporação de aminoácidos em proteínas etc. Tanto a fosforilação oxidativa como a fosforilação fotossintética são atingem seu ponto de máxima em presença de K^+ . É necessário ao desenvolvimento da clorofila, embora não constitua fração predominante na sua estrutura molecular.

O fornecimento de potássio para as plantas também apresenta-se correlacionado com resistência a determinadas doenças, a stress de umidade, a baixa temperatura e ao acamamento. Além disso, o potássio é importante para obtenção de produtos de boa qualidade.

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

- a) plantas pequenas, com crescimento prejudicado;
- b) aparecimento de clorose nas pontas e margens das folhas, seguido de necrose. A parte central das folhas permanece verde.

8.1.3.3.2 - Fertilizantes Potássicos

O cloreto de potássio (KCl) é a forma mais usual dos fertilizantes potássicos. Algumas estimativas demonstram que o KCl representa cerca de 95% do consumo anual dos fertilizantes potássicos no mundo. O sulfato de potássio, o sulfato de potássio e magnésio e o nitrato de potássio também são importantes fontes de potássio. No Quadro 7 estão apresentados os respectivos teores de K.

QUADRO 7 - Principais Fertilizantes Potássicos

Adubo	Fórmula	% de K_2O	% de K
Cloreto de Potássio	KCl	60-62,5	49,8-51,8
Sulfato de Potássio	K_2SO_4	50-53,3	41,5-44,2
Sulfato de Potássio e magnésio ⁺¹	Sal duplo de K e Mg	22-22,9	18,3-19,0
Nitrato de Potássio ⁺²	KNO_3	44,0-44,6	36,5-37,0

⁺¹ - Contém cerca de 25% de $MgSO_4$

⁺² - Contém cerca de 13% de N

Além dos fertilizantes descritos no Quadro 7 podem ser mencionados o hidróxido de K (KOH), o carbonato de K (K_2CO_3) e o meta-fosfato de potássio (KPO_3). Atualmente estas fontes não são muito usuais.

Cloreto de Potássio

O cloreto de potássio é obtido, principalmente, de jazidas de silvinita. A separação de KCl é efetuada basicamente por duas técnicas diferentes:

- a) flutuação
- b) dissolução e recristalização.

Uma outra fonte importante de KCl é a água do mar. Apesar de possuir pequenas concentrações de K, com a concentração de um grande volume da água para a obtenção de sal de cozinha torna-se interessante a obtenção do KCl.

O cloreto de potássio pode ser misturado a adubos fosfatados e nitrogenados sem causar problemas de incompatibilidade.

Sulfato de Potássio

É obtido por um dos seguintes métodos:

- a) através da jazida de langbeinita ($K_2SO_4 \cdot 2MgSO_4$), formando-se sulfato de potássio e cloreto de magnésio quando tratada com solução de KCl.
- b) através da reação de KCl com o enxofre (S_2) (ou em H_2SO_4);
- c) através da reação entre a burkeita ($Na_2CO_3 \cdot 2NaSO_4$) KCl.

O sulfato de potássio, menos higroscópico do que o cloreto de potássio, facilita na incorporação e na mistura com outros fertilizantes. Dado ao seu custo elevado, é usado com menor frequência.

Nitrato de Potássio

Este sal é obtido pela reação do KCl com o $NaNO_3$ ou com ácido nítrico (HNO_3). Os fertilizantes apresentam um teor mínimo de 13% de N, 44% de K_2O e, no máximo, 0,1% de Cl.

8.1.3.4 - 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, pois geralmente, estando em quantidades insuficientes, o solo contém teores que impedem o aparecimento visual de sua deficiência.

É encontrado no solo sob diferentes formas:

- a) Minerais silicatados, que incluem vários tipos de feldspatos, tais como: anortita; anfibólios como hornblenda, actinolita e piroxênios como augita e outros.

Muitos desses silicatos estão incluídos em vários tipos de rochas ígneas e metamórficas, que podem ser consideradas como fontes naturais de cálcio do solo. Quando os silicatos se decompõem sob a influência da água e do CO_2 , ocorrem reações de hidrólise, hidratação e carbonatação, passando o cálcio à solução do solo, de tal forma que pode ser absorvido pelos vegetais ou passar para a forma trocável;

- b) Carbonatos de cálcio -dentre eles citam-se a calcita (CaCO_3), fonte de cálcio em muitos solos de regiões áridas e semi-áridas e em solos jovens de regiões úmidas. Os calcários são depósitos que podem ter sido originados da água do mar ou mesmo dos lagos. São comuns as combinações do carbonato de cálcio com o carbonato de magnésio, que é denominada dolomita, quando o conteúdo de magnésio é maior ou igual a 21%; quando os valores de MgO estão compreendidos entre 5% e 21% é denominado calcário dolomítico;
- c) Outros sais -Sulfato de cálcio ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), também chamado de gipsita ou gesso natural. Seu uso na agricultura tem sido no sentido de melhorar os solos alcalinos com altos teores de sódio, colocando também cálcio em disponibilidade às plantas; fluoreto de cálcio (CaF_2), também chamado Fluorita. O CaF_2 é formado quando a fluorapatita (componente das rochas ígneas) se decompõe sob a influência do ácido carbônico e fosfatos de cálcio. Dentre eles, o fosfato bicálcio (CaHPO_4) constitui a principal fonte de fósforo para os vegetais.

Perdas de Cálcio

As perdas de cálcio são consideradas altas, sendo superadas apenas pelos cloretos e nitratos. As perdas podem se dar por:

- a) lixiviação, que depende de precipitação pluviométrica, da capacidade de fornecimento de cálcio e também da textura do solo. Há relações entre a quantidade de cálcio lixiviado e o tipo de fertilizante adicionado. Se o adubo é o $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ há o deslocamento do cálcio pelo amônio e uma combinação cálcio e sulfato;
- b) remoção pelas plantas, em função da cultura, pelo fato de apresentarem diferentes exigências nutricionais em relação ao elemento.

O cálcio 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 nos tecidos vegetais e para favorecer 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 Ca e Mg 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 atinge a totalidade exigida pela cultura. Daí em diante não mais absorve o elemento. Sua maior concentração se dá nas folhas mais velhas, enquanto que nos grãos são encontradas 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.

1

8.1.3.5 - Magnésio

O magnésio constitui cerca de 2,68% da crosta terrestre. No solo, seu teor depende da textura, da lixiviação e da riqueza em Mg do material de origem. De modo geral, solos arenosos e ácidos de regiões úmidas são os mais pobres, enquanto que os de textura fina das regiões áridas ou semi-áridas são os mais ricos.

Sob as mesmas condições climáticas tem-se verificado que solos de textura pesada têm maior teor de Mg que os de textura leve. Em alguns casos podem aparecer elevados teores de Mg, principalmente em solos derivados de materiais contendo altos teores de Mg.

Os minerais de ocorrência mais generalizada que contêm Mg são os silicatos, como: hornblenda, augita, olivina, talco, serpentina, clorita, biotita e outros. Em regiões de precipitação limitada a dolomita, a magnesita ($MgCO_3$), o calcário dolomítico e a epsomita ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$) podem constituir fontes apreciáveis desse elemento. A solubilização desses materiais primários leva o magnésio a ficar na solução do solo, adsorvidos aos colóides do solo, se precipitar como minerais secundários ou, ainda, ser arrastado pelas águas de percolação.

Na agricultura o magnésio tem como fontes principais o calcário dolomítico, dolomita (21,7% MgO), sulfato de magnésio comercial (16% de MgO), nitrato de magnésio (15,5% MgO) e a magnesita (27% de Mg), que é praticamente insolúvel em água, sendo lentamente aproveitada pelas plantas. 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, dentre eles citam-se: nitrocálcio (8% de MgO) superfosfato simples (0,5% MgO); escória de Thomas (2-6% MgO); termofosfato (18% de MgO).

O magnésio é sempre 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 é 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 outras, envolvidas na síntese dos ácidos nucleicos e de proteínas.

Os sintomas de deficiências podem ter seu aparecimento 15 dias após a emergência das plantas. 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 pon-

ta 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, aquelas colocadas na base da planta são as primeiras a mostrarem a deficiência do elemento.

8.1.3.6 - Enxofre

8.1.3.6.1 - Relação Solo X Planta

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 S existente no solo.

No solo, o elemento passa por diversas transformações, idênticas às descritas para o nitrogênio e, portanto, sujeitas a fatores semelhantes.

As perdas do S se verificam principalmente por lixiviação. Alguns trabalhos têm evidenciado perdas de até 80% do S adicionado como fertilizante. Aliado a este aspecto, o desenvolvimento de tecnologia para a fabricação de fertilizantes e pesticidas sem a presença de enxofre e a maior necessidade de produção de alimentos contribuem para que haja deficiência de S nos solos. Alguns trabalhos realizados em São Paulo evidenciaram que a aplicação de 40 Kg de S na forma de sulfato de cálcio, na cultura do milho, favorecem aumentos significativos da produção.

O S 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 amino-ácidos (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 amino-ácidos 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 catalísticas 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, as folhas mais novas 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 maturidade.

8.1.3.6.2 - Enxofre como Fertilizante

O enxofre pode ser aplicado diretamente no solo na forma de S elementar, sulfato de cálcio, gesso ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) ou como componente de outros fertilizantes. No Quadro 8 estão representados alguns fertilizantes com enxofre na sua composição.

QUADRO 8 - Alguns Fertilizantes com 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
Sulfato de Magnésio	13
Sulfato de Amônio	24
Sulfato de Cobre	12,8
Sulfato ferroso	18,8
Sulfato de manganês	21,2
Sulfato de zinco	17,8

8.1.3.7 - Micronutrientes

A maioria dos micronutrientes é constituinte de compostos chaves no metabolismo de plantas ou essenciais ao funcionamento de sistemas enzimáticos. As quantidades destes nutrientes requeridas pelas plantas são muito pequenas, quando comparadas com os macronutrientes. A deficiência de um deles, no entanto, pode ter efeito de desorganização nos processos metabólicos. Assim, 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, na cultura do milho é o que tem apresentado maiores problemas.

8.1.3.7.1 -Boro

Solos que podem ser deficientes em boro incluem os derivados de rochas ígneas ácidas, solos ácidos lixiviados, solos arenosos calcários e aqueles com baixos teores de matéria orgânica. O principal mineral que contém boro é a turmalina, que é um borossilicato contendo de 9 a 11,5% de B. Outra forma mineral é o borax $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ que, para fins agrícolas, tem sido a fonte mais empregada. Na matéria orgânica encontra-se cerca de 1 a 2 parte por milhão (ppm). O conteúdo total de B nos solos vai de 20 a 200Kg/ha, sendo disponível apenas 5% (1 a 10 Kg/ha).

Em áreas cultivadas, no Brasil, o boro total varia de 31 a 54 ppm, localizando-se nas camadas superiores do perfil de solo, principalmente, à maior quantidade da fração orgânica.

O milho é considerado como semi-tolerante 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 grãos de milho contém apenas 11,2 gramas de boro.

O boro 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 distúrbios 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 a paralização do desenvolvimento da planta. Agra-

vando-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. Na presença de excesso de boro os sintomas são semelhantes aos da deficiência de potássio. 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 ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$). Entre os adubos, o boro está também presente como impureza, suprimindo as necessidades do milho. O esterco de curral contém cerca de 20ppm, o superfosfato de 5 a 20ppm e o salitre do Chile, 30ppm.

8.1.3.7.2 - Cobre

O teor de cobre na natureza é relativamente alto nas rochas ígneas. No solo, o cobre trocável está associado com a fração argila e na formação de complexos com a matéria orgânica. A retenção pela matéria orgânica aumenta com a elevação do pH. O teor total de Cu apresenta grande variação, tendo sido constatadas amplitude da ordem de 2 a 100 ppm. As deficiências relatadas incluem solos arenosos ou solos orgânicos.

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, 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 severas, as folhas superiores apresentam-se necrosadas nos bordos. As quantidades exigidas de cobre são pequenas. Como exemplo, uma produção de 18,7 t/ha de matéria seca de milho contém apenas 0,199 Kg/ha de cobre.

8.1.3.7.3 - Cloro

É o mais recente dos micronutrientes, sendo que a sua essencialidade foi demonstrada em 1954. Normalmente os casos de deficiência são muito raros, tanto por sua larga distribuição na natureza como por constituir impureza normal nos adubos. Quando se faz adubação com KCl são aplicadas altas quantidades de cloro. Em condições de chuva ou irrigação normal este micronutriente é facilmente lixiviado. O cloro somente é acumulado na superfície do solo em condições de impedimento de drenagem ou baixa disponibilidade de água; neste caso podem ocorrer problemas de toxidez.

Os sintomas de toxidez de Cl 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, como aparecem nas folhas e pela queima das mesmas.

8.1.3.7.4 - Manganês

O manganês encontra-se no solo nas formas de óxidos, hidróxidos e nos minerais pirolusita, hausmanita e manita. A quantidade total varia de 200 a 3.000 ppm. A semelhança do ferro, a disponibilidade de Mn é influenciada por reações de oxidação e redução, sendo que a forma reduzida (Mn^{++}) é considerada disponível para o vegetal. A deficiência de manganês ocorre em solos deriva-

dos de calcário, solos alcalinos ou neutros, solos arenosos com alto teor de matéria orgânica e solos orgânicos.

O aumento do pH reduz a disponibilidade de Mn; portanto, a calagem excessiva pode induzir à deficiência deste micronutriente. No caso de solos orgânicos o Mn pode complexar-se, reduzindo a 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 pela coalescência das manchas menores. O tecido morto é facilmente destacado no limbo das folhas.

De maior importância nas condições brasileiras é o problema da toxidez de Mn, principalmente em solos ácidos ou pelo uso continuado de adubos acidificadores do meio. Especialmente em solos ácidos, os níveis de Mn disponível podem ser aumentados pelo uso de KCl. No milho, os níveis de 400 ppm de Mn na planta são considerados tóxicos. Embora os sintomas de toxidez de Mn não sejam bem definidos, usualmente ocorre necrose das folhas, manchas nas margens e paralisação do desenvolvimento da planta. Normalmente os problemas de toxidez de Mn são resolvidos pela calagem.

8.1.3.7.5 - Ferro

Na litosfera o teor de ferro varia de 0,2 a 10%. A maioria deste elemento é encontrada em minerais primários, argilas, óxidos e hidróxidos no solo. As formas de Fe^{+2} e Fe^{+3} ocorrem nos minerais, embora a forma Fe^{+3} predomine em solos bem drenados. As transformações de uma forma para outra dependem do teor de oxigênio presente no solo. O Fe^{+3} predomina em potenciais acima de 200 mv e, em valores abaixo deste potencial, a forma bivalente aumenta rapidamente.

A solubilidade do ferro encontra-se ligada também ao pH do meio, sendo maior em condições ácidas, predominando a forma Fe^{+3} , sendo que em condições de inundação, com elevação do pH e do abaixamento no potencial de oxi-redução, predomina o Fe^{+2} .

A deficiência ocorre em solos com alto pH, solos ácidos com baixo teor de Fe total, em solos com alto teor de P e solos com baixo conteúdo de matéria orgânica.

O Fe é assimilado principalmente na forma bivalente ou na forma de sais orgânicos complexos. 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/ha 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 estágios avançados as folhas novas apresentam coloração quase branca, as folhas medianas em estrias e as mais velhas verdes. Nas condições brasileiras, a deficiência de ferro não é freqüente.

8.1.3.7.6 - Molibdênio

A quantidade total de Mo no solo é menor do que qualquer outro nutriente, variando de 0,5 a 3,5 ppm. O Mo encontra-se nas redes cristalinas dos minerais primários e secundários e na forma trocável, além de quantidades apreciáveis na forma de MoO_4^{-2} , que reage com óxidos hidratados de Fe e Al. A disponibilidade de Mo aumenta com a elevação do pH, principalmente quando é feita a

calagem em solos ácidos. A deficiência de Mo ocorre em solos ácidos arenosos, solos podzolizados com baixos teores em Mo total e solos ácidos com teores elevados de óxidos hidratados de Fe e Al. Ocorre também em solos derivados de calcário ou neutros.

Para o milho apenas 0,1 ppm é suficiente para manter o crescimento normal, sendo que as sementes podem conter Mo 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 0,0111 Kg/ha de Mo.

Os sintomas de deficiência são semelhantes à do nitrogênio. Nas plantas deficientes há o aumento do teor nitrato nos tecidos vegetais, decorrentes da falta de sua redução, processo no qual o Mo participa como co-fator na atividade da enzima nitrato-reductase. Resultados recentes evidenciaram, a 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 Mo houve aumento no aproveitamento de N atmosférico por bactérias do gênero *Azospirillum* associadas às raízes.

8.1.3.7:7 - Zinco

A mobilidade de Zn no solo é muito limitada, sendo que a retenção pelos colóides do solo é superior à que ocorre com o Ca, Mg e K. A disponibilidade decresce com o aumento do pH do solo devido, possivelmente, à precipitação de $Zn(OH)_2$ e $Ca.Zn(OH)_4$. Os solos deficientes em zinco normalmente são solos arenosos e ácidos, com baixo teor de Zn total, neutros ou alcalinos (especialmente solos calcários), solos com altos teores de P disponíveis e alguns solos orgânicos. No Brasil, especialmente nos solos sob vegetação de cerrado, os teores de Zn disponível (extraído com HCl, (0,05N+ H₂SO₄ 0,025N)) são baixos. Normalmente, a concentração de 0,1ppm na solução do solo é suficiente para o desenvolvimento normal da cultura do milho, considerada sensível à deficiência de Zn.

Para a produção de 18,7 t/ha de matéria seca são necessários 0,44 Kg/ha de Zn. A deficiência de Zn pode ocorrer com a aplicação de calcário e/ou de fósforo. A interação calagem e 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 Zn 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 Zn. A eficiência destas duas fontes tem sido semelhante, como demonstram alguns trabalhos realizados nos USA. Para aplicações a lanço em solo de cerrado a dosagem de 9 Kg/Zn/ha foi suficiente para se 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 neste micronutriente. As pulverizações, embora sejam 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 ZnSO₄, neutralizada com Ca(OH)₂ (cal extinta) a 0,25%.

QUADRO 9 - Fontes de Micronutrientes, Teores e Solubilidade em Água.

FONTES	Teor (%)	Solubilidade. g/100 g Água	$\frac{t}{\text{OC}}$
<u>Boro - B</u>			
Boro ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)	11,3	2,5	00
Ácido bórico (H_3BO_3)	17,5	1,95	00
<u>Cobre - Cu</u>			
Sulfato de Cobre ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)	25,45	24	00
Quelato de Cu (CuEDTA)	7-13		
<u>Ferro - Fe</u>			
Sulfato Ferroso $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	20,1	33	00
Sulfato Ferroso Amônico $(\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)6\text{H}_2\text{O})$	14,2	18	00
Quelato de Fe (FeEDTA)	5-14		
<u>Manganês - Mn</u>			
Sulfato Manganoso $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	24,63	105	00
Óxido manganoso MnO	77,46	i*	
Quelato de Mn (MnEDTA)	5-12		
<u>Molibdênio - Mo</u>			
Molibdato de amônio $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	54,3	44	250
Molibdato de sódio $(\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O})$	39,75	56	00
Peróxido de Molibdênio (MoO_3)	66,65	0,11	180
<u>Zinco - Zn</u>			
Sulfato de Zinco $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	22,74	96,5	200
Óxido de Zinco (ZnO)	80,33	i*	
Quelatos de Zn (ZnEDTA)	6-14		
(ZnHEDTA)	9		
(ZnLTDA)	13		

i* - insolúvel

Anexo - I

Ao se pensar em fertilidade do solo, deseja-se saber as quantidades de nutrientes a serem aplicadas, de maneira equilibrada (e econômica), com base nas condições que cada solo oferece. Estas condições são determinadas pela análise do solo.

Através do exposto em capítulos anteriores visualiza-se as dificuldades encontradas na interpretação correta dos resultados. Portanto deve-se considerar alguns aspectos fundamentais para o sucesso da análise do solo:

- a) amostragem do solo
- b) extratores empregados
- c) histórico da área
- d) interpretação correta de análise

A amostragem do solo, apesar de outros fatores, é uma das maiores (se não a maior) fonte de erro na análise química do solo. Basta se considerar que uma amostra pese, aproximadamente, 0,5 Kg e, se aumentada para 1 hectare de terra, representará cerca de 2.000.000 de Kg. Aumentando-se a área, aumentará a distância desta representatividade.

É necessário, portanto, que se oriente detalhadamente esta amostragem.

Quanto à interpretação dos resultados da análise atualmente, no CNPMS e em MG, têm-se adotado os seguintes critérios:

pH do Solo

A determinação do pH é efetuada em potenciômetros, numa solução água: solo na proporção 2:1. Mede a atividade do hidrogênio na solução, constitui um indicativo das características de fertilidade do solo, dadas as correlações entre os CTC (Capacidade de Troca de Cation), Alumínio trocável, Saturação de Bases, etc.

As classes empregadas são as seguintes:

Acidez elevada	< 5,00
Acidez média	5,0 - 5,9
Acidez fraca	6,0 - 6,9
Neutro	7,0
Alcalinidade fraca	7,1 - 7,8
Alcalinidade alta	> 7,8

Alumínio Trocável

Sua determinação é efetuada através de extração com KCl 1N, durante 15 minutos de agitação. O resultado, além de envolver o teor de Al^{3+} , apresenta teores de H^+ . Entretanto, como este teor é relativamente pequeno, o resultado é expresso apenas em Al^{3+} trocável.

Deve ser lembrado que o alumínio é impróprio para a maioria das culturas, pois inibe o desenvolvimento do sistema radicular e impede a absorção (e translocação) de nutrientes.

As classes para interpretação do teor de Alumínio trocável são:

Alumínio Trocável - eq. mg/100 cc

Baixo	< 0,3
Médio	0,3 - 1
Alto	> 1,00

Outro critério para se avaliar o grau de toxidez do alumínio trocável é através da % de saturação de Al^{3+} trocável, isto é:

$$\% \text{ de Sat. de Al} = \frac{100 \times Al}{Al+Ca+Mg+K}$$

Com as concentrações expressas em eq. mg/100 cc. Geralmente, este valor é considerado médio entre 10 e 45%; nesta faixa, dependendo de cultura, não há efeito nocivo.

Cálcio + Magnésio Trocáveis

A disponibilidade destes elementos também é efetuada por extração com KCl 1N, de maneira idêntica ao Alumínio Trocável.

Algumas análises trazem separadamente os teores de Ca e Mg. Nestas, é conveniente adotar-se o critério de verificar a relação Ca/Mg. Alguns trabalhos têm evidenciado a relação 4 a 5/1 como a ideal. Inclusive quando há desbalanceamento e não há necessidade de calagem, procura-se recomendar adubos com Mg na sua formulação (Ex. Termo-Fosfato de Yoorin).

As classes para interpretação são as seguintes:

Ca+Mg: eq. mg/100g

Baixo	< 2,00
Médio	2,1 a 5,0
Alto	> 5,0

Ca: eq. mg/100 g

Baixo	< 1,50
Médio	1,6 - 4,00
Alto	> 4,00

Mg: eq. mg/100 g

Baixo	< 0,5
Médio	0,51 - 1,0
Alto	> 1,0

Potássio Trocável e Fósforo Disponível

Nas análises de rotina, tanto o fósforo como o potássio são determinados pelo método de Mehlich (ou Carolina do Norte).

A calibração das análises, efetuadas para diferentes tipos de solos, separam as diversas classes.

Atualmente, tem se adotado os seguintes critérios para interpretação:

Potássio trocável - ppm

Baixo	< 60
Médio	60 - 120
Alto	> 120

Textura argilosa Textura arenosa

Baixo	< 6	5	< 10
Médio	6 - 10	5 - 10	10 - 30
Alto	> 10	> 10	> 30

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- 01 - BAHIA, F. G. F. T. C. *Absorção de zinco em relação à adubação fosfatada e à calagem, em dois solos de Minas Gerais*. Viçosa, 1973, 38 p. Tese.
- 02 - BAHIA FILHO, A. F. C. & BRAGA, J. M. Fósforo em latossolos do Estado de Minas Gerais; I. Intensidade e capacidade Tampão de fósforo. *Experientiae*, Viçosa, 19(2):17-32, 1975.
- 03 - _____ & _____. Fósforo em latossolos do Estado de Minas Gerais; III. Índices de disponibilidade de fósforo e crescimento vegetal. *Experientiae*, Viçosa, 20(8):218-34, 1975.
- 04 - BARBER, S. A. *Efficient fertilizer use: agronomic research for food*. Madison, American Society of Agronomy, 1970. p. 13 - 29 (Special publication, 26).
- 05 - _____. *Placement of phosphate and efficiency; fertilizer solutions*. S.l., s. Ed., 1977.
- 06 - BLACK, C.A. *Soil-plant relationships*. 2. ed. New York, John Wiley, 1968. 792 p.
- 07 - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo. *Fósforo e fosfatagem*, por J. M. Braga. Sete Lagoas, 1975. 24p. Trabalho apresentado no Curso de Solos e Difusão de Tecnologia.
- 08 - EPSTEIM, E. *Nutrição Mineral das plantas; princípio e perspectiva*. Trad. de E. Malavolta. S. Paulo, Universidade de São Paulo, 1975. 341 p.
- 09 - INTERNATIONAL POTASH INSTITUTE. *Mineral nutrition of maize*, by I. Arnon. Bern, 1974. 452 p.
- 10 - INTERNATIONAL SOIL FERTILITY EVALUATION AND IMPROVEMENT PROGRAM. *Soil nitrogen*, by W. V. Bartholomew. S.l., 1972. 78 p. (Technical bulletin, 6).
- 11 - JORGE, J. A. *Solo: manejo e adubação*. São Paulo; Melhoramentos, 1969, p. 23-33.
- 12 - KILMER, V. J. et alii. *The role of potassium in agriculture*. Madison, American Society of Agronomy, 1968. 509 p.
- 13 - MALAVOLTA, E. *Apostila do curso de pós-graduação em solos e nutrição de planta*. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1970. p. 35-40. mimeogr.
- 14 - _____. *Manual de química agrícola; adubos e adubação*. 2 ed. São Paulo, Livrosceres, 1967. p. 11-57, 128-70.
- 15 - _____ et alii. *Nutrição mineral e adubação de plantas cultivadas*. São Paulo, Pioneira, 1974. p. 317-418.
- 16 - MIELNICZUK, J. Formas de potássio em solos do Brasil. *R. bras. Ci. Solo*, Campinas, 1(2/3): 55-61, 1977.
- 17 - MORTVERDI, J. J. et alii. *Micronutrients in agriculture*. Madison, Soil Science Society of America, 1972. 666 p.
- 18 - OLSON, R. A. et alii. *Fertilizer Technology and usage*. 2 ed. Madison, Soil Science Society of America, 1971. 611 p.
- 19 - TEUSCHER, H. & ADLER, R. *The soil, its fertility*. New York, Reinhold Publ., 1960. p. 219-27.
- 20 - UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA. *Fixação de fósforo*, por J.M. Braga. Viçosa, 1973. 20 p. mimeogr.