

MANEJO DA ADUBAÇÃO

1. INTRODUÇÃO

Um dos problemas fundamentais no estudo do crescimento e desenvolvimento das plantas cultivadas, refere-se 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:

- a. Solo: fase sólida e fase líquida
- b. Adsorção Aniônica
- c. Absorção Iônica

A. 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 a 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.

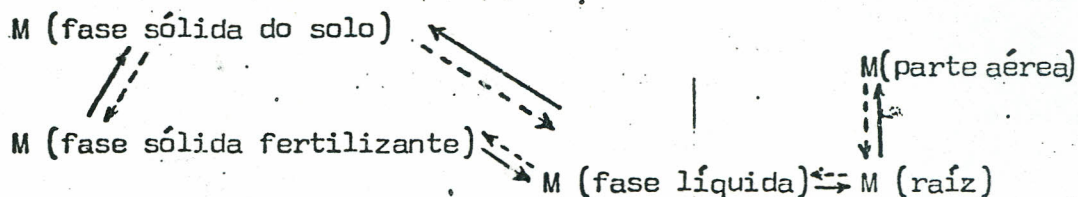


FIGURA 1. Representação esquemática da reação de um íon M no sistema solo-planta.

- 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 que 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, da fase sólida do solo. Não havendo limitação 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 ion M na fase líquida; outro que o quantifique na fase sólida e um terceiro que especifique a velocidade com que o ion é repostado na fase líquida do solo.

Estes fatores são assim representados:

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

Fator quantidade - representa a quantidade (reserva) do ion M no complexo sortivo do solo (Q);

Fator capacidade - representa a velocidade em que a concentração do ion 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 ion 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 da 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 adicionada 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 (Ex. solos 7 e 10). Estas diferenças refletem-se no manejo e nas quantidades de fósforo a serem aplicados.

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. Neste, a aplicação de maiores dosagens de uma só vez levam a uma maior duração (efeito residual) que aplicações parceladas.

A idéia de fosfatagem (ou adubação de correção), encontra 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 em extrair fósforo de formas menos disponíveis. Desta forma, a incorporação da massa verde produzida, colocaria os elementos em formas mais disponí-

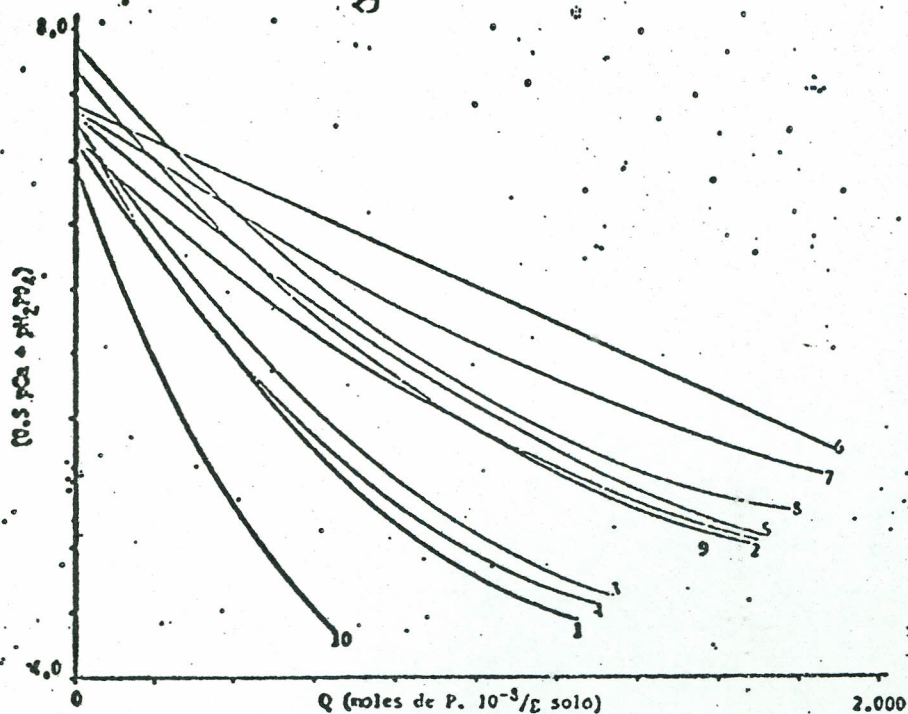


FIGURA 2. Relações entre potencial de fosfato monocálcico ($0,5 pCa + pH_2PO_4$) e fósforo adsorvido (Q) nas amostras de solo 1 a 10. (Grande grupo de solo - Latossol Vermelho Escuro).

veis pela decomposição de Matéria Orgânica.

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

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

B. Adsorção Aniônica

Dentre os trabalhos existentes sobre a adsorção aniônica, a maioria concentra-se no anion fosfato. É fácil compreender este interesse quando se considera o fósforo como um dos principais (se não o principal) elementos que limita a produção em solos tropicais. Além disso, inúmeros estudos têm mostrado a alta capacidade de retenção de fosfatos nestes solos associado 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 "fixa-

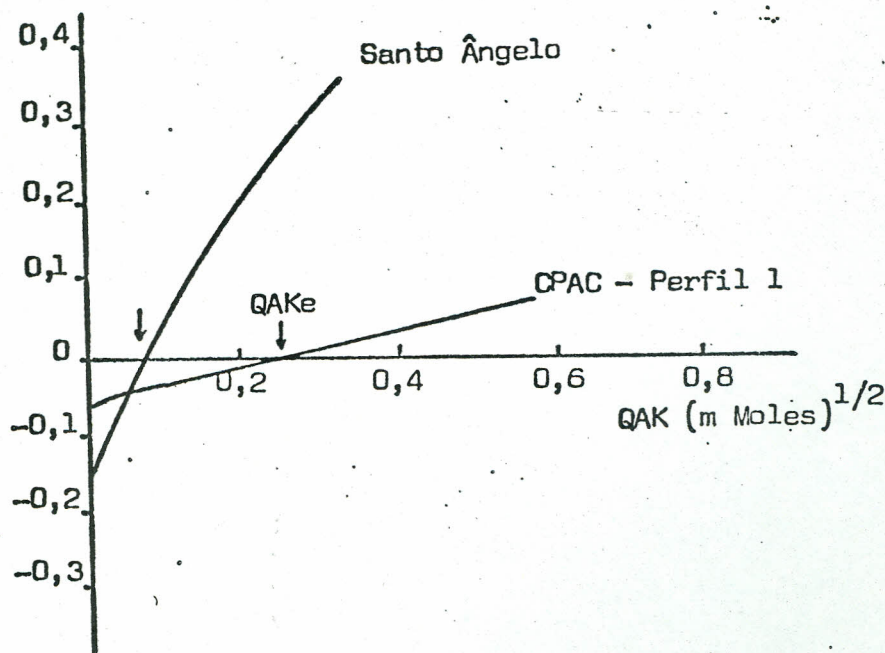


FIGURA 3. Relação Q/I de dois solos brasileiros corrigidos com calcário para pH 6,0, (MIELNICZUK, 1977).

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

QAK = intensidade do K na solução $aK/(aCa + aMg)^{1/2}$.

ção" 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.

1. Parte permanece em solução;
2. outra parte combina-se com outros constituintes e se precipita;
3. uma terceira parte é adsorvida à fase sólida;
4. o fósforo em solução é imobilizado transformando-se em fósforo orgânico;
5. 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 ($Ca_5(PO_4)_3OH$), strengita $FePO_4 \cdot 2H_2O$, variscita $AlPO_4 \cdot 2H_2O$ e outros fosfatos complexos cristalinos ou em formas amorfas.

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

Um 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 a 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 uma 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	+
$\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} - \text{pH}_{\text{KCl}}$	-
MD	+
Tempo de contacto	+
Óxidos livres	+

É interessante notar, no entanto, nestas correlações o que seria efeito direto ou indireto. Normalmente tem havido pouca preocupação em se tentar explicar o fenômeno ao invés de fazer meras constatações do mesmo.

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 a 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 - l
	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 anionica, 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 de fósforo não é o mesmo para todos os solos. Em resumo, pode-se detalhar as se-

quintas situações:

- solos com capacidade máxima de adsorção e energia diferentes;
- solos com capacidade máxima de retenção semelhantes 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 com consequente redução na energia de retenção e maior disponibilidade do elemento. Desta filosofia, aparecem várias formas de manejo, principalmente quando envolvendo fosfato 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 subsequentes 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 1280 kg 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 ion 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, essa 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 corre-

QUADRO 3. Características químicas e físicas de alguns fosfatos.

	P ₂ O ₅ % total	Ácido ní- trico 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	-	-	-	-	-

lação 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.

Com o emprego de fosfatos naturais, o conceito de disponibilidade de 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, Araxá 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.

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 com mais adaptação 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 focar 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.

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

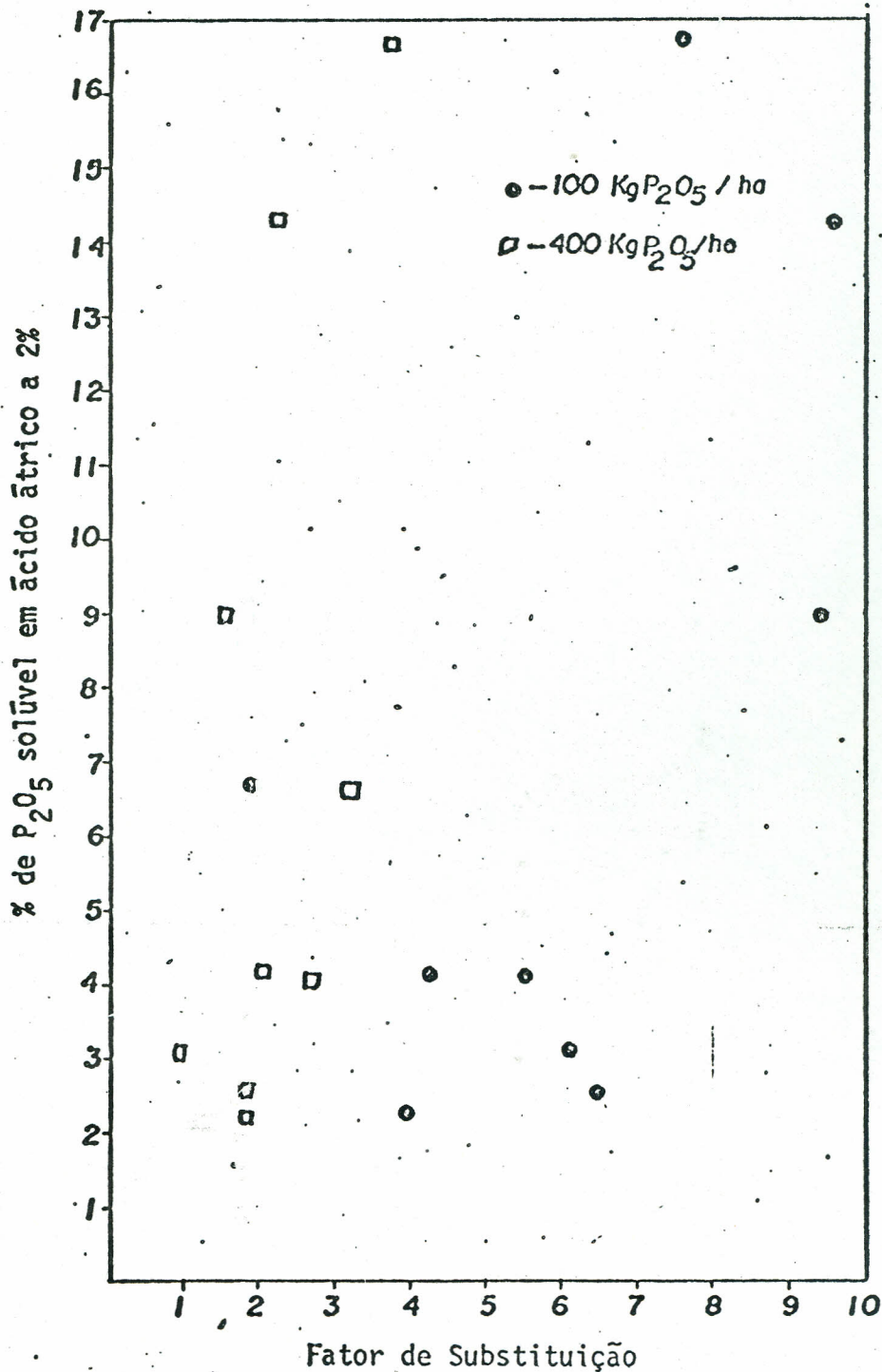


Figura 4. Relação existente entre o fator de substituição e a solubilidade em ácido cítrico a 2%.

$$FS = \frac{\text{Trat. com adubo} - \text{Testemunha}}{\text{nível de P}_2\text{O}_5 \text{ (Total)}}$$

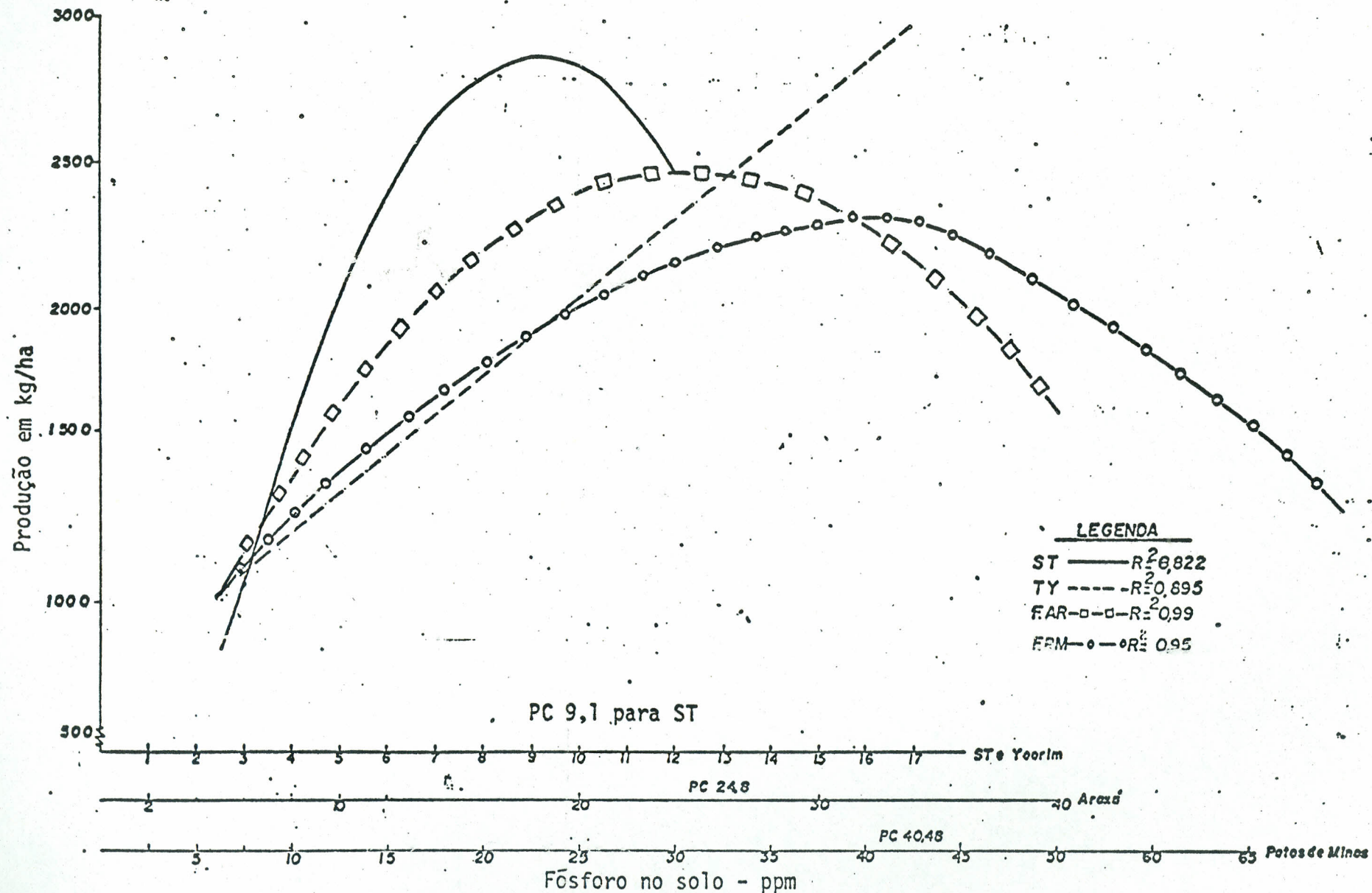


Figura 5. Produção do sorgo em função dos teores de fósforo extraído pelo método de Mehlich (dados do 19 ano).

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.

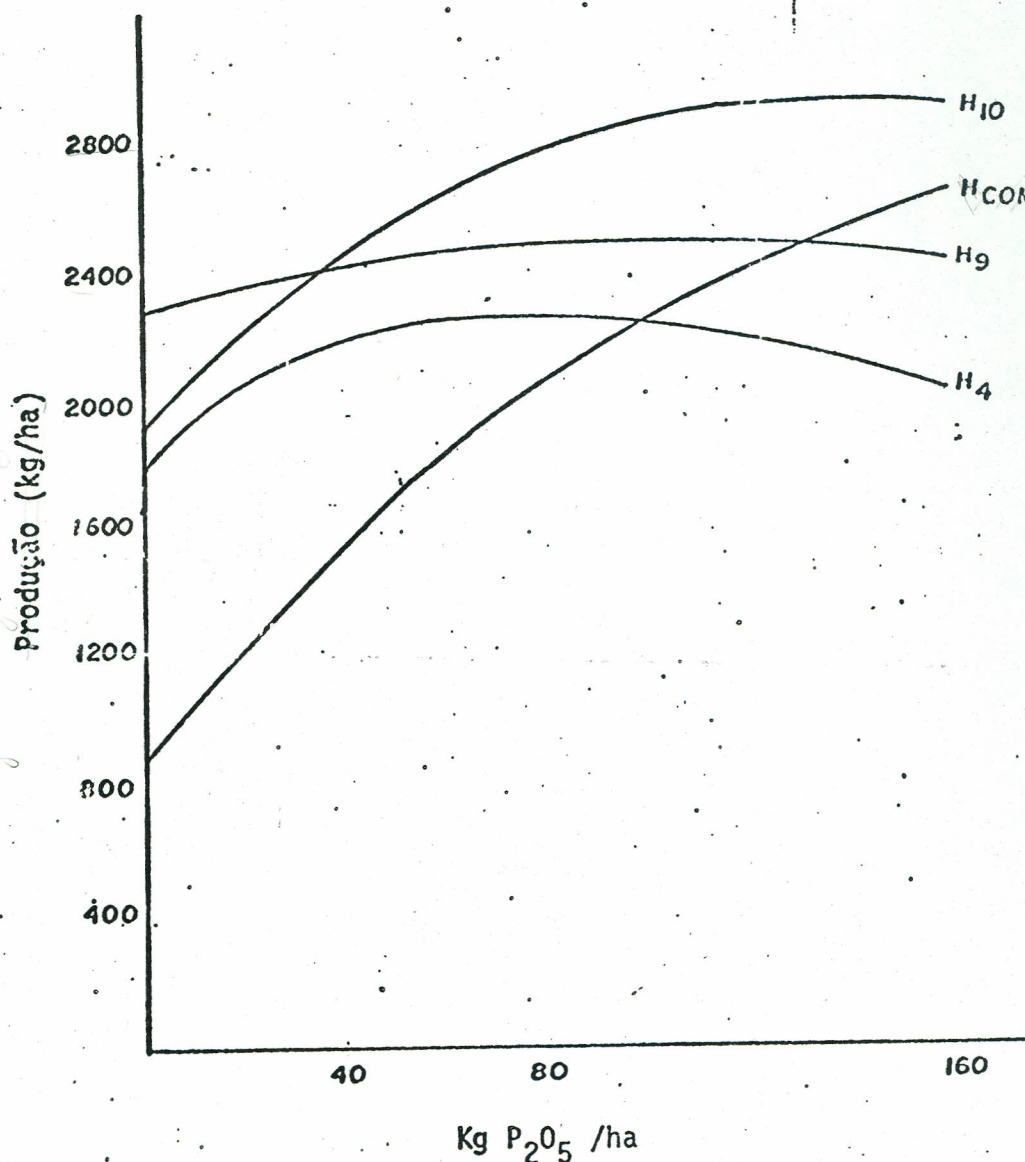


Figura 6: Resposta diferencial a fósforo de híbridos de milho experimentais (selecionados para solos de elevada acidez) e um híbrido comercial para fósforo.

Handwritten notes:
 (Cabeça de milho)
 at 10/10/70

C. Absorção Iônica

Através do Quadro 4, adaptado de MALAVOLTA et alii (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
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 está em-

prendida entre 60 e 90 dias, época em que se processa 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 ion 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

A quantidade de ions absorvidos por contato direto do sistema radicular com a fase sólida do solo. BARBER et al (1963), assumem que as raízes podem absorver, por este processo, 3% dos nutrientes disponíveis.

Fluxo de Mass

É o caminhamento de ions 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 ion 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 - Assume-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 e 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 distancia 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 (NO_3); 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 uma "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 a adubação a lanço, além das partes discutidas anteriormente pode favorecer, pela melhoria do solo, um maior volume de solo explorado pelo sistema radicular. Conseqüentemente, menos sujeito às intempéries climáticas.

Quanto a adubação no sulco de plantio, apresenta uma maior eficiência na utilização do nutriente aplicado, reduzido 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 uma capacidade finita na absorção de nutrientes. O máximo obtido, conforme BARBER (1977), é alcançado em concentrações inferiores àquelas encontradas quando o fertilizante é colocado no sulco de plantio.

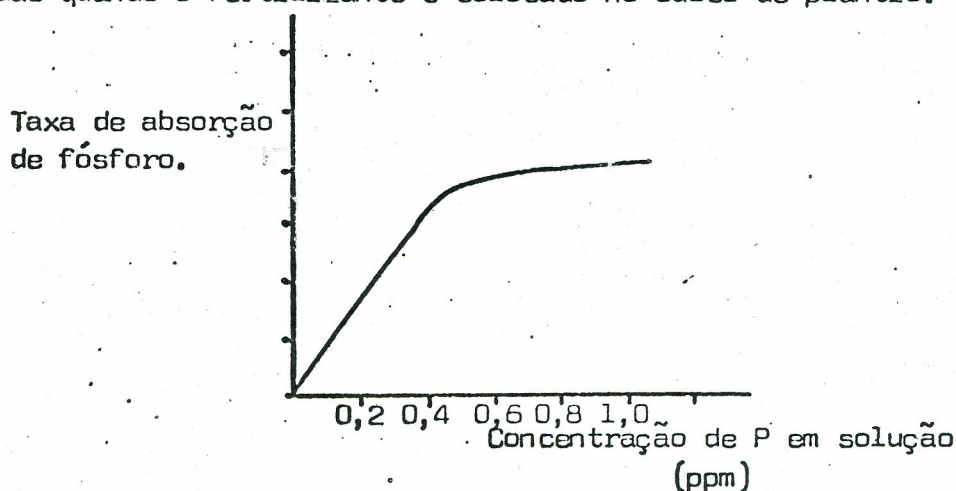


FIGURA 7. Taxa de absorção de fósforo em função de concentração de P em solução por de milho em 18 dias (BARBER, 1977).

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

Atualmente, no CNPMS, no cerrado tem-se estudado 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.

ANEXO 1.

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 que se encontra na interpretação correta dos resultados. Portanto, deve-se considerar alguns aspectos fundamentais para o sucesso da análise do solo:

- amostragem do solo
- extratores empregados
- histórico da área
- interpretação correta de análise

A amostragem do solo, apesar de outros fatores, é uma das maiores (se não o 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 a interpretação dos resultados da análise atualmente, no CNPMS e em MG, tem-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, dado as correlações entre os CTC (Capacidade de Troca de Cátion), 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 1 N, 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

Um 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 1 N, de maneira idêntica ao Alumínio Trocável.

Algumas análises trazem separado 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 o ideal. Inclusive quando há desbalaceamento 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/100 g

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	
Fósforo disponível - ppm			
Baixo	< 6	5	< 10
Médio	6 - 10	5 - 10	10 - 30
Alto	> 10	> 10	> 30

Matéria Orgânica

A determinação da matéria orgânica dos solos é efetuada, indiretamente, pela determinação do teor de Carbono por combustão úmida com bicromato de potássio e ácido sulfúrico. A multiplicação do teor de C pelo fator 1,724(+) fornece a % de matéria orgânica do solo.

As classes para interpretação são:

Matéria Orgânica %	
Baixo	< 1,50
Médio	1,5 - 3,0
Alto	> 3,00

⁺¹ Considera-se que 58% do C do solo é pertencente à matéria orgânica ($100 \div 58 = 1.724$).

(+) Deve-se destacar que, apesar de ser um valor útil para interpretação da análise, é necessário considerar-se a qualidade de M.O., seu grau de decomposição e a textura do solo.

Transformações de Unidade

No caso de resultados de análise em que o teor de nutriente seja em ppm e se deseja em eq.mg/100 g, a transformação é efetuada da seguinte maneira:

$$K \text{ (ppm)} \times 0,00256 = K \text{ (eq. mg/100 g de solo)}$$

$$P \text{ (ppm)} \times 0,01 = PO_4^{-3} \text{ (eq. mg/100 g de solo)}$$

No caso inverso:

$$K \text{ (eq. mg/100 g)} \times 390,62 = K \text{ (ppm)}$$

$$PO_4^{-3} \text{ (eq. mg/100 g)} \times 100 = P \text{ (ppm)}$$

ppm = parte por milhão (Ex: mg/lml; lmg/lkg; 0,1 mg/100 g)

$$1 \text{ eq. mg de K} = 39 \text{ mg (} 39 \div 1 \text{)}$$

$$1 \text{ eq. mg de } PO_4^{-3} = 31,67 \text{ mg (} 95 \div 3 \text{)}$$

Se em 1 ppm de K tem-se 0,1 mg de K:

$$1 \text{ eq. mg} \quad \underline{\hspace{2cm}} \quad 39,1 \text{ mg de K}$$

$$x \quad \underline{\hspace{2cm}} \quad 0,1$$

$$x = 0,00256$$

$$(1 \div 0,00256 = 390,62).$$

Em 95 mg de PO_4^{-3} tem-se 31 mg de P:

$$95 \quad \underline{\hspace{2cm}} \quad 31$$

$$x \quad \underline{\hspace{2cm}} \quad 0,1 \text{ mg}$$

$$x = 0,3064 \text{ mg de } PO_4^{-3}$$

$$1 \text{ eq. mg de } PO_4^{-3} \quad \underline{\hspace{2cm}} \quad 31,67$$

$$y \quad \underline{\hspace{2cm}} \quad 0,3064$$

$$Y = 0,01 \text{ eq. mg de } PO_4^{-3}$$

$$(1 \div 0,01 = 100).$$

LITERATURA CONSULTADA

1. ARMOM, I. Mineral nutrition of maize, Bem, International Potash Institute, 1974.
2. 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.
3. BAHIA FILHO, A.F.C. & BRAGA, J.M. Fósforo em latossolos do Estado de Minas Gerais. III. Índices de disponibilidade de fósforo e crescimento vegetal, Experientiae, Viçosa, 20 (8): 218-34. 1975.
4. BARBER, S.A. Efficient fertiliser use. Agronomic Research for Food. American Society of Agronomy, Special Publication. 26: 13-29, 1975.
5. BARBER, S.A. Placement of phosphate and potassium for increased efficiency. Fertiliser Solutions, march/abril 1977.
6. BRAGA, J.M. Fixação de fósforo. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa 1973. 20 p. (mimeografado).
7. BRAGA, J.M. Fósforo e fosfatagem. Curso de solos e difusão de tecnologia. Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo. 1975 Sete Lagoas 24 p.
8. MALAVOLTA, E.; HAAG, H.P.; MELLO, F.A.F.; BRASIL SOBRº, M.O.C. Nutrição Mineral e Adubação de plantas cultivadas. São Paulo, Pioneira, 1974. (371-418).
9. MIELNICZUK, J. Formas de potássio em solos do Brasil. R.bras. C. Solo, Campinas, 1 (2,3): 55-61. 1977.
10. N.C.S.U. Agronomic - economic research on tropical soils. Soil Science Dept. Annual Report for 1974, 1975. 230 p.