

CPAC

Circular Técnica

Número 25

ISSN 0102-0102

Abril, 1987



CRITÉRIOS PARA RECOMENDAÇÃO DE CALAGEM E ADUBAÇÃO

CPAC
G594c
1987

LV-2005.00126

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA

Crítérios para recomendação de
1987

Agricultura

Área dos Cerrados – CPAC

LV-2005.00126



29825-1

REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL

Presidente: José Sarney

Ministro da Agricultura: Iris Rezende Machado

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA

Presidente: Ormuz Freitas Rivaldo

Diretores: Ali Aldersi Saab

Derli Chaves Machado da Silva

Francisco Ferrer Bezerra

Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados - CPAC

Chefe: Wenceslau J. Goedert

Chefe Técnico: Euclides Kornelius

Chefe Administrativo: Pedro Jaime de Carvalho Genú

Circular Técnica N° 25

ISSN 0102-0102

Abril, 1987

CRITÉRIOS PARA RECOMENDAÇÃO
DE CALAGEM E ADUBAÇÃO

Wenceslau J. Goedert
Djalma M.G. de Sousa
Dante D.G. Scolari



Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA
Vinculada ao Ministério da Agricultura
Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados – CPAC
Planaltina, DF

Copyright © EMBRAPA - 1986

Exemplares desta publicação podem ser solicitados ao:
CENTRO DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DOS CERRADOS
BR 020 KM 18 - Rodovia Brasília-Fortaleza
Caixa Postal 700023 - Telex: 0611621
Telefone: (061) 596-1171 - 73 300 Planaltina, DF

Tiragem: 2.500 exemplares

Editor: Comitê de Publicações

Eli no Alves de Moraes - Presidente, João Pereira,
José Carlos Sousa Silva, Leocadia M.R. Mecnas -
Secretária, Luis Carlos Bhering Nasser e Suzana
Sperry

Revisão: Dilermando Lúcio de Oliveira

Normalização: Leocadia M.R. Mecnas

Composição: Adonias Pereira de Oliveira

Capa, desenho e montagem: Nilda Maria da Cunha Sette

Distribuição: Daniel Venâncio Bezerra, Domingos Teodoro
Ribeiro e Francisco Araújo de Brito

Foto da capa: gentilmente cedida pelo CNPAF

Goedert, Wenceslau J.

Critérios para recomendação de calagem e adubação,
por Wenceslau J. Goedert, Djalma Martinhão Gomes de
Sousa e Dante Daniel Giacometti Scolari. Planaltina,
EMBRAPA-CPAC, 1986.

55p. (EMBRAPA-CPAC. Circular Técnica, 25).

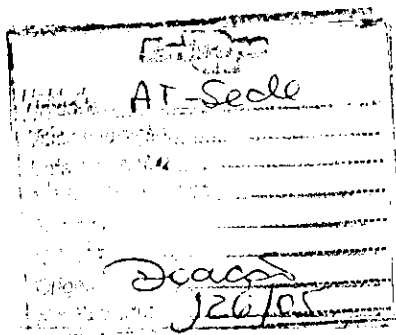
1. Solos-Calagem. 2. Solos-Adubação. I. Sousa, Djal
ma Martinhão Gomes de, colab. II. Scolari, Dante Dani
el Giacometti, colab. III. Empresa Brasileira de Pes
quisa Agropecuária. Centro de Pesquisa Agropecuária
dos Cerrados, Planaltina, DF. IV. Título. V. Série.

CDD 631.8

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO.....	5
1 INTRODUÇÃO.....	7
2 CONHECIMENTOS NECESSÁRIOS PARA RECOMENDAR CALAGEM E ADUBAÇÃO.....	8
2.1 Características da Empresa Agrícola.....	9
2.2 Tecnologia Disponível.....	11
2.3 Condições Externas.....	12
3 RECOMENDAÇÃO DE CALAGEM.....	14
3.1 Calagem e Seus Efeitos no Solo e na Planta.....	14
3.2 Métodos para Estimar a Necessidade de Calagem....	16
3.2.1 O método SMP.....	16
3.2.2 O método do Al, Ca e Mg.....	17
3.2.3 O método de saturação de bases.....	19
3.2.4 O método de curvas de neutralização.....	20
3.3 Seleção de Métodos.....	21
3.4 Efeito Residual.....	23
4 RECOMENDAÇÃO DE ADUBAÇÃO.....	24
4.1 Análise de Solo como Instrumento para Recomendação de Adubação.....	26
4.1.1 Seleção do método de análise.....	26
4.1.2 Calibração do método de análise de solos.....	27
4.1.3 Recomendação de adubação a partir da análise de solo.....	33
4.2 Análise de Planta como Instrumento de Recomendação de Adubação.....	35
4.3 Análise Econômica como Instrumento para Recomendação de Calagem e Adubação.....	40
4.3.1 Orçamentação.....	40
4.3.2 Relação benefício/custo (B/C).....	43
4.3.3 Taxa de retorno (i).....	44
4.3.4 Funções de produção.....	45

4.4 Composição de Tabelas e de Funções de Produção... 51
5 CONCLUSÕES..... 51
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 53



APRESENTAÇÃO

A calagem e a adubação são práticas importantes para a agricultura brasileira, sendo responsáveis por grande proporção da produção agrícola.

A tarefa de recomendar essas práticas não é simples, já que exige conhecimento prévio de fatores ambientais e socioeconômicos.

O objetivo deste trabalho é discutir sobre os critérios que devem ser utilizados para recomendar calagem e fertilizantes, principalmente aqueles utilizados no Brasil. Acreditamos que o pleno conhecimento dos vários critérios auxiliará todos os técnicos envolvidos no processo de recomendação.

CRITÉRIOS PARA RECOMENDAÇÃO DE CALAGEM E ADUBAÇÃO

Wenceslau J. Goedert¹
Djalma M.G. de Sousa²
Dante D.G. Scolari³

1 INTRODUÇÃO

As plantas requerem para seu desenvolvimento um número elevado de elementos, em grande parte retirados do solo. A quantidade extraída do solo está diretamente relacionada com a produção de massa vegetal e, dentro de certos limites, com o rendimento da cultura. Assim, por exemplo, para a produção de cada tonelada de grãos de soja ou de milho, cerca de 4,5 kg de fósforo (P) são retirados do solo.

O solo é um reservatório natural de nutrientes, porém o volume e o nível desse reservatório variam em função de muitos fatores. Existe toda uma gama de variação, desde solos bem supridos (solos férteis) até solos mal supridos (solos pobres). Contudo, nem mesmo os solos férteis apresentam uma reserva inesgotável. Em outras palavras, a agricultura comercial não pode ser concebida sem a aplicação de nutrientes, normalmente realizada através da adição de fertilizantes e corretivos. Esta premissa é especialmente válida para o Brasil, onde a maioria dos solos agricultáveis não apresentam fertilidade natural elevada.

¹ Eng.-Agr., Ph.D.

² Químico, M.Sc.

³ Economista, Eng.-Agr., M.Sc.

É bastante conhecida a condição de deficiência nutricional da maioria dos solos dos Cerrados e da Amazônia, que cobrem dois terços do território nacional. Além disso, são solos ácidos e necessitam da adição de corretivos. Nessas condições, há vantagens em executar um programa de adubação corretiva visando criar boas condições de nutrição para qualquer sistema de produção. Porém, mesmo em solos corrigidos ou recuperados, há sempre necessidade de repor aqueles nutrientes retirados pelas plantas, ou seja, executar a adubação de reposição ou de manutenção para cada cultivo.

A prática da calagem e da adubação tem sido um fator importante na produção agrícola brasileira e representa parcela substancial no custo dessa produção.

2 CONHECIMENTOS NECESSÁRIOS PARA RECOMENDAR CALAGEM E ADUBAÇÃO

A recomendação de calagem e adubação é um processo relativamente complexo e por isso pressupõe o conhecimento de algumas variáveis. As informações necessárias para essa tarefa podem ser organizadas em três grupos: características da empresa agrícola, conhecimento tecnológico disponível e condições de mercado.

As informações do primeiro grupo devem ser fornecidas pelo produtor ou obtidas na propriedade rural. O conhecimento da tecnologia tem origem na pesquisa e experimentação realizada na região. Finalmente, as condições de mercado representam aquelas variáveis usualmente fora do controle do produtor e da pesquisa.

2.1 Características da Empresa Agrícola

Um grande número de características devem ser conhecidas antes que uma recomendação consciente seja elaborada, merecendo destaque:

a) caracterização da propriedade e da área da lavoura, em termos de localização, acesso, dimensão, condições climáticas (riscos de seca, de geadas, etc.), tipo de solo e topografia;

b) histórico de uso da área, informando a quantidade e o tipo de insumos já aplicados, a produtividade obtida e os problemas verificados em termos de nutrição;

c) plano de exploração da propriedade, incluindo a seqüência de culturas e o prazo de exploração;

d) expectativa de rendimento da cultura a ser implantada;

e) nível de manejo das lavouras, considerando todas as práticas comuns numa atividade agrícola (preparo do solo, controle da erosão, etc.), a qualidade de insumos (sementes, pesticidas, etc.) e o uso da irrigação.

De posse dessas informações, o produtor, auxiliado pela pesquisa e pela assistência técnica, pode delinear o tipo de empreendimento desejado, através de um plano de exploração que considere um "horizonte" de planejamento de alguns anos, uma vez que os investimentos são feitos na pressuposição de que irão gerar um fluxo de produção durante um longo período de tempo.

Em termos de planejamento de calagem e adubação, pode-se considerar duas fases: período de investimentos e período de operacionalização. Durante o primeiro, a maior preocupação é a "construção" da empresa, tornando-a operacional. Durante o segundo período se espera obter um fluxo de produção. Nesse contexto deve existir um ponto

de nivelamento a partir do qual se espera obter lucros (Fig. 1).

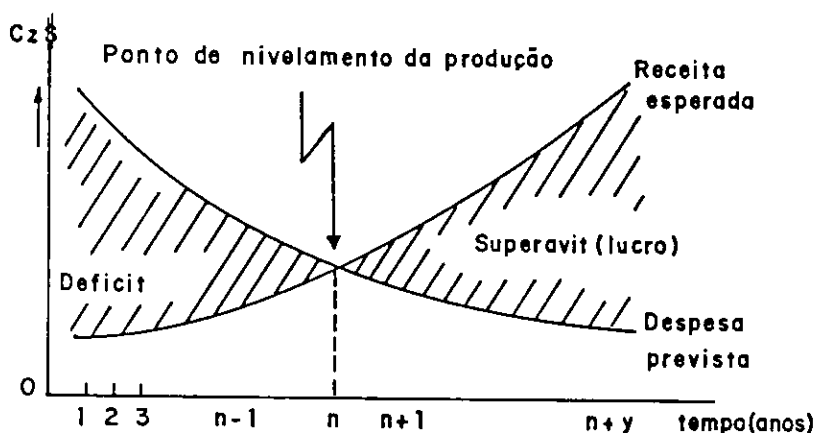


FIG. 1'. Horizonte de planejamento e ponto de nivelamento da produção em uma empresa agrícola.

A rentabilidade da exploração agrícola está condicionada a todas as variáveis citadas, mas na maioria das propriedades agrícolas brasileiras parece que o nível dessa rentabilidade é limitado pelo tipo de administração rural. Por isso, uma recomendação de adubação baseada exclusivamente em resultados de pesquisa agrônômica ou em uma situação de mercado específico pode, eventualmente, ser inadequada. Generalizações de recomendação para todas as propriedades podem trazer resultados negativos.

Reconhece-se que, no estágio atual da agricultura brasileira, nem sempre é viável obter-se todas essas informações. Contudo, considera-se indispensável, para recomendações de calagem e adubação, o conhecimento do his-

tórico de uso da área, do plano de exploração agrícola e da expectativa de rendimento da cultura.

2.2 Tecnologia Disponível

A tecnologia disponível representa o somatório da experiência existente, usualmente obtida com experimentação programada para cada região. Dentre os resultados experimentais relevantes para formalizar recomendações, destaca-se a obtenção de curvas de respostas das principais culturas a adição de calcário, de fertilizantes e de outros insumos com influência direta na fertilidade do solo. O conhecimento dessas respostas permite estabelecer níveis ou faixas de adubação com maior retorno econômico.

Além das curvas de respostas, outras linhas de pesquisa auxiliam na tarefa de recomendação de calagem e adubação, especialmente os estudos de: a) adaptação de plantas às condições adversas de acidez, drenagem, seca, etc.; b) necessidades nutricionais de espécies e variedades; c) comparação de eficiência agrônômica de fontes de nutrientes, inclusive de fertilizantes de natureza orgânica; d) efeitos residuais da aplicação de calcário e fertilizantes; e) interações entre nutrientes e outros fatores de produção; f) modos de aplicação de corretivos e nutrientes.

A obtenção de curvas de respostas exige a instalação de experimentos de campo, por um período de três anos, visando obter condições médias para a região e estudar o efeito residual. Trata-se portanto de uma atividade onerosa e que exige infra-estrutura adequada. Desse modo, o número de experimentos a serem instalados é sempre limitado, havendo necessidade de um instrumento prático que sirva como veículo de extrapolação dos resultados para

todas as propriedades agrícolas. Esse tem sido o principal objetivo das análises de amostras de solo e de planta.

A análise de uma amostra de terra representativa da área da lavoura e sua interpretação à luz dos resultados experimentais tem sido o instrumento mais universalmente usado para recomendar calagem e adubação. Mas existem muitas limitações para se obter uma amostra representativa e dados de análise que representem a disponibilidade de nutrientes. Por isso, a análise do solo deve ser usada como instrumento auxiliar ou complementar às demais informações, e raramente como instrumento de decisão. Mas, no Brasil, esse fato é um problema, uma vez que a análise de solo frequentemente tem sido supervalorizada como instrumento para recomendação. Isso se deve principalmente ao fato de que as informações oriundas da empresa agrícola (histórico, plano de exploração, etc.) não são bem conhecidas. De qualquer modo, a análise do solo pode ser um auxiliar valioso na composição de tabelas de recomendação ou na formulação de funções de produção.

De modo similar, a análise de planta, e mais especificamente a análise foliar, pode ser utilizada como auxiliar na recomendação de adubação, principalmente para culturas perenes. No Brasil, esse instrumento tem sido pouco utilizado, por falta de estudos que visem calibrar essas análises. Além dos problemas inerentes à representatividade da amostra, o processo é dificultado pela ocorrência de interações entre os nutrientes dentro da planta.

2.3 Condições Externas

As atividades do setor primário fazem parte de um sistema mais amplo; desse modo, estão intimamente rela-

cionadas com os setores secundário (produtor de insumos) e terciário (serviços). Assim sendo, é lógico que a recomendação de calagem e adubação seja também influenciada pelas condições externas à propriedade e mesmo ao setor primário. Nesse sentido, a variável mais utilizada como instrumento de recomendação tem sido a relação de preços existentes entre fertilizante e o produto a ser produzido. Conforme exemplificado posteriormente, a magnitude dessa relação estabelece o gradiente da linha de custos variáveis e influi na determinação do ponto de melhor retorno econômico, a partir da curva de resposta à adubação. Deve-se frisar que essa relação se refere aos preços e corretivos no local da empresa agrícola e ao preço líquido do produto obtido pelo empresário.

O estabelecimento da relação de custos geralmente é afetado pela incerteza que existe sobre o preço a ser obtido pelo produto por ocasião da colheita, já que a recomendação de adubação deverá ser formulada antes do plantio. Desse modo, há necessidade de estabelecer uma expectativa de preço do produto.

Além da relação de custos, outras variáveis podem auxiliar a recomendação, entre as quais pode-se citar: os custos fixos da atividade, as condições financeiras do produtor, a disponibilidade de crédito e as facilidades de transporte, armazenagem e de assistência técnica.

O nível dos custos fixos (todos os custos, sem considerar calagem e adubação) estabelece um nível mínimo de adubação. Exercitar adubações muito baixas pode ter como consequência produções insuficientes para cobrir os custos fixos. Esse fato pode ocorrer com frequência em áreas com solos muito pobres, onde a produção sem ou com pouca adubação é muito baixa, ou em áreas onde os custos fixos (sementes, combustíveis, etc.) sejam muito elevados.

As condições financeiras do produtor, somadas à disponibilidade de crédito, servem para definir a estratégia, principalmente a longo prazo. A duração do período de investimento (Fig. 1) ou do modo como se deve realizar a "construção" do solo depende fundamentalmente dessas variáveis.

As facilidades de armazenamento, transporte e de assistência técnica estão relacionadas com o nível de tecnologia e/ou intensidade no uso de insumos, numa empresa agrícola.

3 RECOMENDAÇÃO DE CALAGEM

A maioria dos solos brasileiros são comumente ácidos, o que pode causar problemas para plantios comerciais. Além da alta saturação de alumínio, que pode ter efeitos tóxicos para as plantas, os solos ácidos normalmente contêm baixo teor de cálcio e de magnésio trocáveis, cátions de grande importância para o desenvolvimento radicular. Uma das alternativas para minimizar esse problema é a correção da acidez através da prática da calagem.

A estimativa da dose de calcário a ser aplicada é comumente feita com base na análise do solo. Vários métodos têm sido utilizados, mas para cada região é possível selecionar um método que, de modo geral, propicie o melhor retorno econômico para as diferentes espécies cultivadas.

3.1 Calagem e Seus Efeitos no Solo e na Planta

Ao proceder à calagem em um solo é necessário ter em vista o sistema de produção a ser utilizado na área, pois já se dispõe de informações suficientes quanto à resposta diferencial de algumas espécies de plantas à acidez do

solo. Portanto, uma das fases importantes no início de pesquisas que visem a correção de acidez do solo é a escolha da espécie a ser utilizada como planta-teste. Em uma região onde várias espécies compõem o sistema de produção, seleciona-se uma das espécies sensíveis ao problema da acidez do solo, para desenvolver os experimentos com calcário.

Alguns efeitos da calagem podem ser facilmente acompanhados com a análise química (pH em água, pH em CaCl_2 0,01M, acidez titulável a pH 7,0, teores extraíveis de Al, Ca, Mg e K, quantidade de cargas positivas e negativas, etc.) e física (estrutura textural, permeabilidade, etc.) do solo. A amostragem do solo deve ser feita também em profundidade, pois com a calagem são alteradas características químicas no perfil, como o teor de Ca, Mg, K e outros. As amostras de solo (iniciais e anuais) devem ser guardadas, para compor o banco de solos da unidade de pesquisa. Uma amostra do calcário utilizado também deve ser guardada.

A atividade biológica no solo é outra característica alterada com a calagem. Ao se utilizar uma leguminosa como planta-teste, com a avaliação de nodulação (número e peso de nódulos) obtém-se a relação existente entre o pH do solo e o grau desta simbiose. Outras medidas, como a atividade celulolítica, podem ser utilizadas como indicadores de atividade biológica.

Os parâmetros avaliados na planta (características fenológicas, distribuição do sistema radicular no perfil do solo, produção de grãos, qualidade de grãos, etc.) completam os dados necessários para avaliação da pesquisa.

Outros efeitos indiretos da calagem, como o decréscimo na disponibilidade de zinco, manganês, cobre e boro,

com aumento na dose de calcário, podem também ser observados com a análise foliar.

3.2 Métodos para Estimar a Necessidade de Calagem

Os métodos para estimar a necessidade de calagem têm como fundamento a elevação de pH do solo e/ou a neutralização de um fator tóxico a um nível desejado, levando em conta os componentes de acidez do solo.

Os métodos mais utilizados são baseados em: decréscimo do pH de uma solução tampão, teor de alumínio e/ou de cálcio e magnésio e saturação de bases.

3.2.1 O método SMP

O método conhecido por SMP, bastante difundido no Sul do País, tem como princípio o decréscimo do pH de uma solução tampão após equilíbrio com o solo. Com o valor do pH SMP, utiliza-se uma tabela (ou função) para estimar-se a necessidade de calagem. Essa tabela (ou função) deve ser obtida para cada região, pois os dados obtidos em uma região podem subestimar ou superestimar a necessidade real de calcário em outra região (Sousa et al. 1980). Portanto, é necessário o ajuste do método SMP. Isso consiste de um trabalho desenvolvido em laboratório, utilizando-se curvas de neutralização de solos representativos da região, que vão gerar os pontos que relacionam o pH SMP dos solos com quantidades de calcário necessárias para atingir um pH em água pré-determinado (por exemplo, 5,5).

3.2.2 O método do Al, Ca e Mg

O método baseado nos teores de alumínio, cálcio e magnésio extraídos com uma solução normal de cloreto de potássio é bastante utilizado no Brasil-Central. Estima a necessidade de calcário com 100% de PRNT, em t/ha (N.C.), através de fórmulas às vezes consideradas empíricas. No caso de solos com teor de argila maior que 20%, a fórmula utilizada é:

Fórmula 1

$$N.C. = (Al \times 2) + [2 - (Ca + Mg)] \times f$$

sendo o Al e Ca + Mg expressos em me/100 cm³ de solo. Em geral, é necessário verificar se o fator que multiplica o Al é adequado para os solos da região, o que pode ser obtido com auxílio das curvas de neutralização. O valor 2, do qual se subtrai o teor de Ca + Mg, visa exclusivamente manter um teor mínimo de 2 meq de Ca + Mg por 100 cm³ de solo, e f significa um fator de correção para a qualidade (PRNT) do calcário.

Como a maioria dos calcários tem PRNT (Poder Relativo de Neutralização Total, índice que indica a qualidade de um calcário) menor do que 100%, deve-se corrigir essa diferença utilizando-se a fórmula:

Fórmula 2

$$f = \frac{1}{PRNT}$$

Assim, toda vez que o valor do PRNT do calcário considerado for menor que 100%, o valor de f será maior que 1,0.

Por exemplo, quando o PRNT for 80%, o valor de f será $1,0/0,80 = 1,25$; quando for de 70%, o valor de f será $1,0/0,70 = 1,43$.

Quando se tratar de solos arenosos (teor de argila menor que 20%), a quantidade de calcário a ser utilizada é dada pelo maior valor encontrado de uma destas duas fórmulas:

Fórmula 3

$$\text{N.C. (t/ha)} = (2 \times \text{Al}) \times f$$

Fórmula 4

$$\text{N.C. (t/ha)} = ((2 - (\text{Ca} + \text{Mg})) \times f)$$

Os solos arenosos têm uso agrícola limitado, devido ao fato de apresentarem baixa capacidade de troca de cátions, baixa capacidade de retenção de água e maior suscetibilidade a erosão.

De modo geral, o pH do solo considerado, utilizando-se as fórmulas 1, 3 e 4 para estimar a dose de calcário, situa-se em torno de 5,5. Na maioria dos casos, já é suficiente para reduzir o alumínio tóxico a valores pequenos. Uma das limitações das fórmulas 1, 3 e 4 é a não consideração da matéria orgânica como componente de acidez, uma vez que leva em conta um só componente, que é o alumínio.

Sousa et al. (1980), em estudo com diferentes solos do estado de Goiás e do Distrito Federal, observaram que o Al e a matéria orgânica são os principais componentes de acidez desses solos. Com o auxílio de regressões múltiplas, obtiveram uma função que estima a N.C. dos solos

em função desse parâmetros, para obter-se pH em água de 5,5 ou 6,0.

Quando utiliza-se o método de SMP, o pH a ser atingido no solo é pré-fixado, e quando este valor é de 5,5 ou 6,0 a quantidade estimada é, em geral, superior à recomendada pelas fórmulas 1, 3 e 4.

3.2.3 O método de saturação de bases

No estado de São Paulo, um dos métodos utilizados é baseado na correlação do pH e saturação de bases (Fig. 2). Esse método requer a determinação de Ca, Mg, K e, em alguns casos, Na, além da determinação de H + Al extraíveis em acetato de cálcio 1N a pH 7,0. A determinação de H + Al com acetato de cálcio apresenta algumas dificuldades de execução em laboratório de rotina. Devido a este

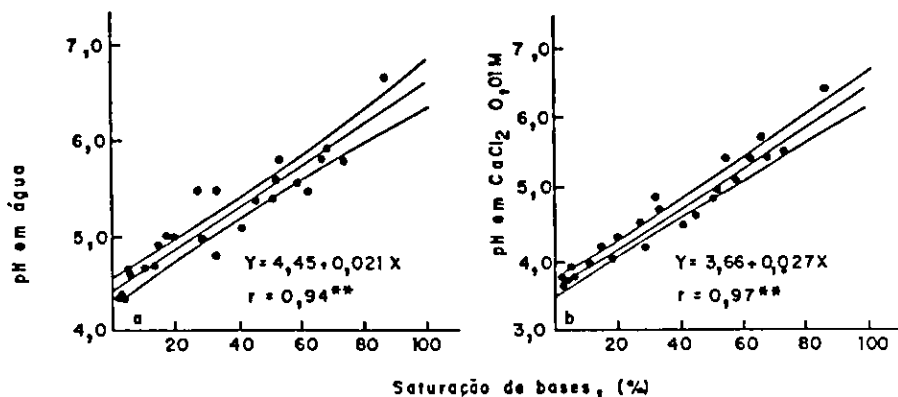


FIG. 2. Relação entre o pH e a saturação de bases de solos do Estado de São Paulo (Fonte: Quaggio 1983).

problema, Quaggio (1983) desenvolveu uma pesquisa em que obteve uma equação de regressão que permite estimar os valores de H + Al a partir de pH SMP.

A escolha da saturação de bases a ser utilizada no solo é feita através da relação pH em água e/ou Ca Cl_2 0,01M com este parâmetro. Por exemplo, para atingir um pH em água em torno de 5,5 (Fig. 2), a saturação de bases deverá ser em torno de 50%. Para utilização do método de saturação de bases é necessário obter-se a relação entre H + Al extraídos com acetato de cálcio 1N a pH 7,0 e o pH SMP para os solos da região, além da relação do pH em água e em Ca Cl_2 0,01M com a saturação de bases. A fórmula utilizada é a seguinte:

Fórmula 5

$$\text{N.C.} = \frac{\text{CTC} (V_2 - V_1)}{100}$$

onde, CTC = capacidade de troca de cátions obtida pela soma de bases (Ca, Mg, K, Na) e H + Al extraídos com acetato de cálcio 1N pH 7,0.

N.C. = Necessidade de calcário, com 100% de PRNT, em t/ha.

V_1 = Saturação de bases atual do solo, obtida pela relação soma de base x 100/CTC.

V_2 = Saturação de bases desejada.

3.2.4 O método de curvas de neutralização

Um outro método utilizado é o de curvas de neutralização, que serve como padrão para ajustes dos métodos ci-

tados acima, não sendo utilizado em laboratório de rotina por ser demorado e laborioso. Esse método consiste na incubação de amostras de solo com doses crescentes de carbonato de cálcio por um período suficiente para atingir equilíbrio (3 a 4 meses). Após a incubação, o solo é analisado e obtêm-se então as relações das doses de carbonato de cálcio com pH em água, pH em $\text{CaCl}_2, 0,01\text{M}$, saturação de bases, etc. Com isto pode-se estimar a quantidade de calcário a ser adicionada ao solo para qualquer valor de pH desejado. Uma observação importante a ser feita para este critério é quanto à mineralização da matéria orgânica que ocorre durante o período de incubação, o que pode aumentar a concentração salina do solo e, conseqüentemente, reduzir o pH em água. Isto pode originar uma superestimativa da necessidade de calagem. A lavagem do solo com água destilada elimina o excesso de sais, como também pode-se utilizar o pH em $\text{Ca Cl}_2, 0,01\text{M}$, que elimina o problema da concentração de sais.

3.3 Seleção de Métodos

Na seleção de um método para estimar a necessidade de calagem é necessário obter a relação entre o rendimento de grãos de diferentes espécies e o pH do solo ou dose de calcário (Fig. 3). Por isso, ao escolher as doses de calcário a aplicar no solo é necessário ter certeza de que as doses recomendadas estejam dentro dos limites selecionados. Se possível, a dose máxima de calcário deve atingir um pH em água em torno de 6,0 e 6,5 ou uma saturação de bases entre 70 e 80%.

Para se obterem os melhores resultados com a calagem, é necessário que outras práticas sejam adotadas em níveis adequados. Um exemplo pode ser apresentado: a recomendação

de calcário, em área em que não se aplicou fósforo, foi de 12 t/ha; na mesma área, com a aplicação de 160 kg de P_2O_5 /ha a dose mais econômica de calcário passou a ser de 7²₅ t/ha, apresentando ainda um lucro maior do que na ausência do fósforo (Mielniczuk 1983).

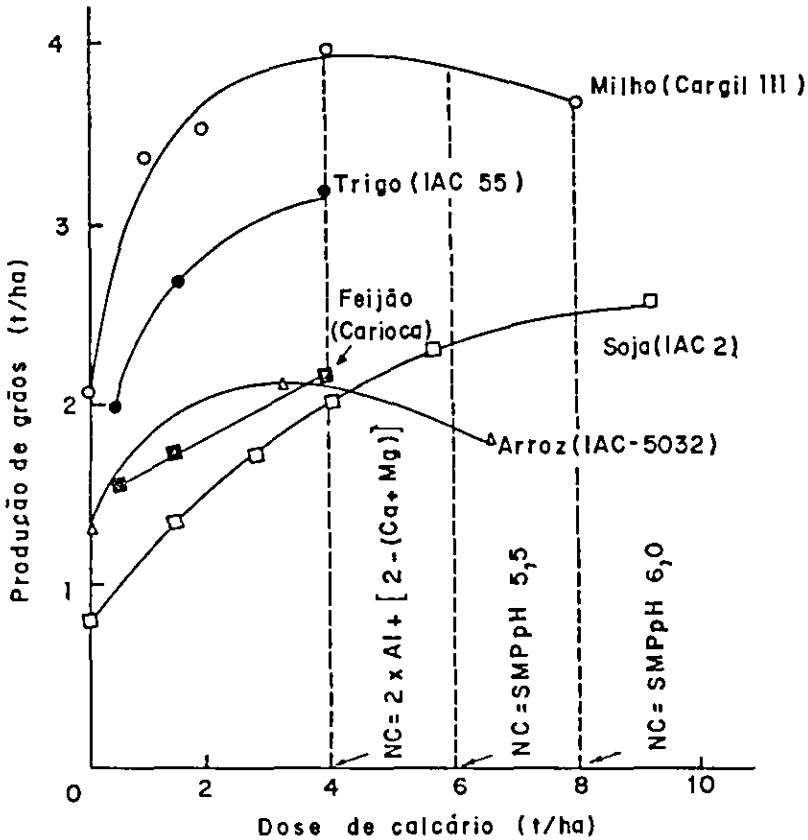


FIG. 3. Produção de grãos de algumas culturas em função de doses de calcário aplicadas, em um LE argiloso (Fonte: Sousa et al. 1985).

3.4 Efeito Residual

Devido ao prolongado efeito residual do calcário, a análise econômica não deve ser feita só com dados de um ano, e sim com dados de 4 a 5 anos. Se considerados os dados só do 1º ano, pode-se correr o risco de não recomendar a calagem, como ilustra a Fig. 4, onde o maior retorno econômico foi obtido para a dose zero de calcário. Entretanto, após 5 anos de cultivos, o máximo retorno econômico foi obtido com 12,4 t de calcário/ha (Fig. 4).

A avaliação do efeito residual pode também ser feita com monitoramento dos resultados da análise de solo (pH,

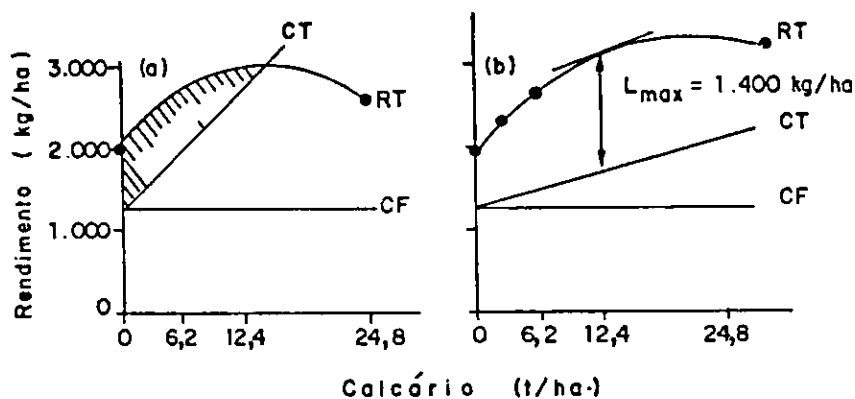


FIG. 4. Representação gráfica da análise econômica da aplicação de calcário em soja: (a) Receita Total (RT) da primeira colheita e todo o custo da calagem descontado no primeiro ano; (b) RT média de 5 anos e custo do calcário mais juro de 12% ao ano, descontado em cinco parcelas anuais. Média de sete locais. Soja a Cr\$ 30,00/kg; calcário a Cr\$ 3.200,00/t (Fonte: Mielniczuk 1983).

teores de Al e Ca trocáveis, etc.) e determinação do calcário residual não dissolvido. Estes parâmetros podem ser de grande valia para indicar a necessidade de se proceder a uma nova calagem e avaliar a solubilização do calcário.

Em experimentos de longa duração, deve-se utilizar tratamentos que permitam indicar métodos para estimar a dose de calcário a ser reaplicada, bem como tratamentos que estudem a manutenção, em sulco de plantio, com pequenas doses do corretivo (150 a 350 kg/ha/ano), aplicadas após o período em que os efeitos residuais de calagem iniciais sejam mínimos, comumente 4 a 5 anos.

4 RECOMENDAÇÃO DE ADUBAÇÃO

Em algumas regiões do Brasil, praticam-se dois tipos de adubação, comumente conhecidas como adubação corretiva e adubação de manutenção.

A adubação corretiva é praticada quando a fertilidade natural do solo é baixa e visa elevar esse nível de fertilidade, criando condições favoráveis de nutrição e desenvolvimento radicular para todas as culturas subsequentes. Essa adubação é feita com nutrientes que não são sujeitos a grande perdas por lixiviação, evaporação ou desnitrificação, ou seja, com fertilizantes fosfatados e, em alguns solos, com potássicos. Devido ao seu alto custo e ao seu efeito a longo prazo, a adubação corretiva deve ser considerada como investimento. Do ponto de vista técnico, parece conveniente que a adubação corretiva deva ser executada totalmente no primeiro ano de cultivo. Contudo, tem sido demonstrado que é igualmente válido realizar essa adubação parceladamente, ao longo dos anos. Isso significa aplicar anualmente doses de fertilizantes superiores às necessidades, para compensar as retiradas da

cultura e, assim, acumular um efeito residual ao longo do tempo (Federação das Cooperativas de Trigo e Soja do Rio Grande do Sul 1981; Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária 1986; Lobato 1982 e Kochhann et al. 1982).

A adubação de manutenção visa repor ao solo os nutrientes extraídos, retirados da lavoura pela cultura, e aqueles perdidos por erosão, lixiviação, vaporização, etc. É praticada para cada cultivo e deve ser considerada como um custo variável de produção.

Tendo em vista que as variáveis a serem consideradas para recomendação de adubação corretiva e de manutenção são similares, será feita uma discussão conjunta.

A recomendação de adubação, incluindo doses, fontes, métodos e épocas de aplicação de fertilizantes, é um processo relativamente complexo, e exige um conjunto de informações. No Brasil, o processo ainda mais comum para generalizar recomendações é a organização de tabelas. Apesar de as tabelas constituírem instrumento simples, elas impõem algumas limitações em termos do número de variáveis a serem consideradas na recomendação. Por isso, há uma tendência de que as tabelas sejam substituídas por funções de produção, que, além de permitirem o envolvimento de um maior número de informações, apresentam uma relação contínua entre variáveis dependentes e a produção.

Há um grande número de variáveis que devem ser consideradas na recomendação de adubação. Contudo, para organização de tabelas ou funções de produção, é possível utilizar apenas aquelas variáveis facilmente extrapoláveis ou generalizáveis. As mais utilizadas no Brasil são: a) análise de solo e planta; b) expectativa de rendimento da cultura; c) relação de custo insumo/produto.

4.1 Análise de Solo como Instrumento para Recomendação de Adubação

A análise de solo tem sido um instrumento universalmente usado como base para avaliar o estado nutricional do solo e, conseqüentemente, para a recomendação de adubação. A maior parte das tabelas de adubação, no Brasil, considera apenas essa variável, ou seja, são tabelas de dupla entrada: valor ou classe de análise do solo e tipo de cultura.

A análise de solo tem como produto a obtenção de um número que, se considerado isoladamente, não tem significado. Para que esse número possa ser interpretado e, desse modo, ser usado como instrumento na recomendação de adubação, há necessidade de que a análise do solo seja precedida de uma série de trabalhos experimentais, para cada região. Em outras palavras, há necessidade de que seja estabelecida uma relação entre a análise do solo e o rendimento das culturas.

Visando facilitar a discussão, esse processo pode ser separado em algumas etapas; a) seleção de métodos de análise; b) calibração do método de análise; c) recomendação de adubação, baseada no valor da análise.

4.1.1 Seleção do método de análise

Na seleção do método de análise, o fator mais importante a considerar é o grau de correlação entre os valores de um nutriente absorvido pela planta e os extraídos pelo método de análise do solo; por isso, esses trabalhos são comumente conhecidos como estudos de correlação.

Os estudos de correlação devem ser feitos inicialmente em experimentos em casa de vegetação e com amostras de

solos de diferentes características, para representar o universo da região na qual o método pretende ser usado.

Os passos básicos no processo de seleção de um método são:

- a) selecionar amostras que representem toda a amplitude de variação dos solos da região. Caso os solos nativos não tenham grandes diferenças no teor nutritivo, deve-se coletar solos já em uso pelos produtores ou fazer incubações prévias ao experimento em casa de vegetação;
- b) executar experimentos em vasos, colhendo-se a parte aérea e analisando-se o seu conteúdo nutritivo total;
- c) analisar o solo pelos métodos a serem testados;
- d) calcular a correlação entre a quantidade de nutrientes na matéria seca da planta e a quantidade extraída do solo pelos vários métodos de análise;
- e) selecionar o melhor método de análise, tendo como critério principal o índice de correlação, mas considerando-se também a simplicidade e o custo da análise, ou seja, sua exequibilidade.

Estudos de correlação têm sido realizados em todo o Brasil. Com base nesses estudos, foram selecionados os métodos de rotina em uso nos laboratórios, sendo mais comuns os métodos Mehlich 1, Bray I e resinas (Raij 1981). A Fig. 5 apresenta um estudo de correlação realizado para fósforo, em solos do Rio Grande do Sul (Galvão & Volkweiss 1981).

4.1.2 Calibração do método de análise de solos

O objetivo da calibração é estabelecer a relação entre a análise do solo e o rendimento das culturas. A calibração deve ser feita para cada nutriente e cultura (ou grupo de culturas semelhantes) e para cada região.

Qualquer experimento pode ser útil para estudos de calibração, porém é conveniente que atendam a alguns princípios gerais (Mielniczuk 1975):

a) ser conduzidos a campo e procurando-se obter rendimentos potencialmente máximos para a região;

b) o método de aplicação do nutriente estudado deve ser o mais eficiente;

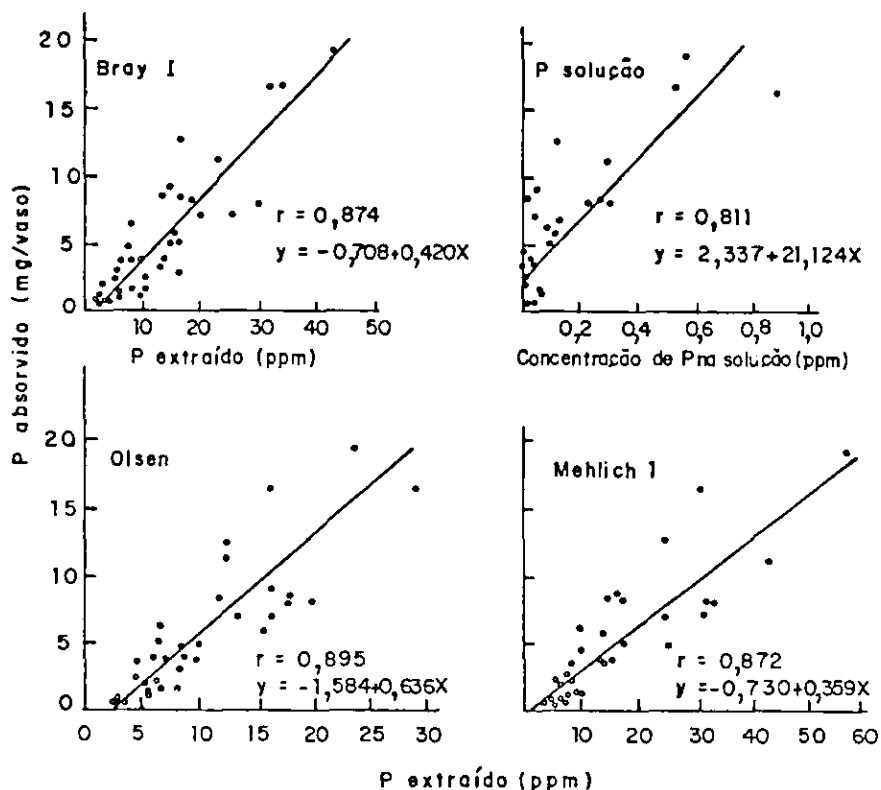


FIG. 5. Relações entre P absorvido por trigo e P extraído por diferentes métodos de extração (Fonte: Galvão e Volkweiss 1981).

c) os efeitos dos demais fatores do rendimento devem ser controlados ou conhecidos;

d) os experimentos devem ser conduzidos em vários locais e por vários anos, para avaliar os efeitos residuais e conhecer os riscos da cultura;

e) os delineamentos experimentais devem possibilitar a obtenção de uma curva de resposta completa do nutriente em estudo e, também, suas interações com outros nutrientes e corretivos do solo;

f) os trabalhos de calibração são de caráter dinâmico, e por isso devem ser contínuos e em constante adaptação às inovações no campo da agricultura. Esse caráter permite um aperfeiçoamento contínuo das recomendações de adubação.

Em regiões que mostram grau de variação quanto à fertilidade natural do solo, os estudos de calibração são mais simples, porque basta obter curvas de resposta para diferentes solos. Contudo, na maior parte do Brasil, a grande maioria dos solos são pobres, e, nesse caso, há necessidade de que níveis de fertilidade sejam criados, antes que curvas de resposta sejam estabelecidas. Um exemplo dessa situação são os experimentos de calibração para fósforo conduzidos na região dos Cerrados, com as seguintes características: níveis de P aplicados a lanço, no 1° ano (0, 150, 300, 600 e 1.200 kg de P_2O_5 /ha) em parcelas grandes, que no 2° ano, foram subdivididas para permitirem a aplicação de doses anuais de manutenção, em linha (0 a 150 kg de P_2O_5 /ha).

Uma vez obtidos os resultados com os experimentos de campo, pode-se construir um gráfico no qual a produção de cada local ou parcela é comparada com o teor do nutriente obtido pela análise da amostra de solo, retirada antes do plantio. Com base nesses gráficos, pode-se então "ca-

librar" a análise do solo, ou seja, estabelecer níveis críticos e classes de teores de um nutriente no solo (Fig. 6).

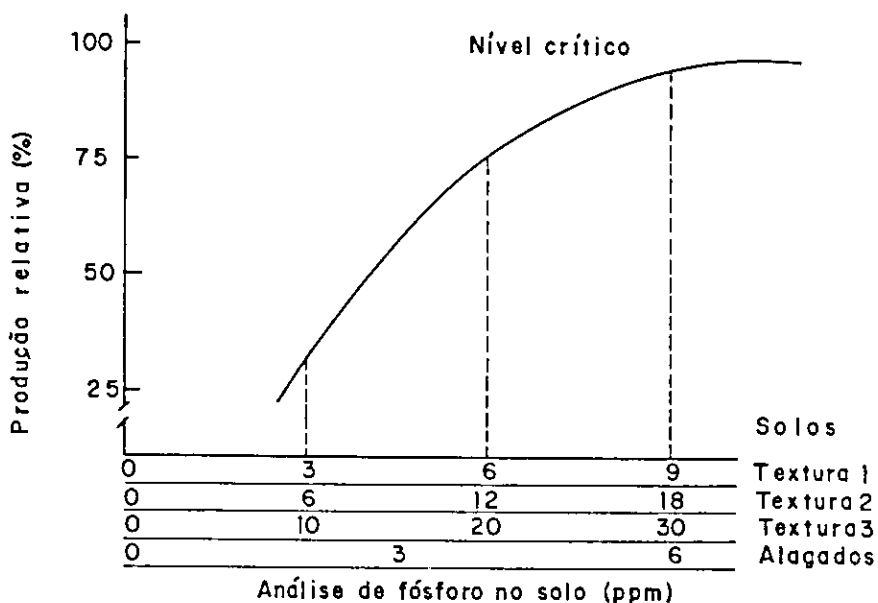


FIG. 6. Interpretação da análise de fósforo baseada nos níveis críticos em relação aos tipos de solos, determinados em experimentos de calibração (Fonte: FECOTRIGO 1981).

O conceito geral é de que o nível crítico é dado pelo teor do nutriente extraído, acima do qual há pouca probabilidade de resposta à adição de fertilizante. Vários são os critérios usados para estabelecer o nível crítico. O mais simples é o método gráfico, sugerido por Cate & Nelson (1965).

Um critério ainda muito utilizado no Brasil é a seleção de um percentual de produção máxima, normalmente variando de 75 a 95% do rendimento máximo. Assim, por exemplo, no Rio Grande do Sul, se utiliza o nível de 90% do máximo (Fig. 6).

A partir do nível crítico são estabelecidas classes de resposta de acordo com a probabilidade de resposta à aplicação de fertilizante. O número de classes depende da quantidade de resultados experimentais existentes. Normalmente são estabelecidas 3 a 5 classes, variando de teores muito baixos a teores altos do nutriente. Os limites das classes podem então ser relacionados com produções relativas específicas.

Em algumas regiões, pode haver vantagens em separar os solos por textura ou por outra propriedade do solo, porém esses critérios ainda necessitam mais estudos.

Finalmente, convém frisar que a definição de nível crítico, embora seja útil para separar solos, não é indispensável para se estabelecer classes de resposta. A divisão em classes facilita a organização de tabelas; contudo, não é necessária, se, em vez de tabelas, foram utilizadas funções de produções.

Mas, embora seja largamente utilizado, esse método do "máximo rendimento relativo" apresenta limitações, quando se pretende utilizá-lo para recomendações de uso de fertilizantes. Analiticamente, esse método pode ser representado pela expressão:

$$\% Y = \frac{Y}{B} (100)$$

onde, Y é a variável dependente, isto é, a produção que se pretende atingir, e B é uma constante, ou seja, o va-

lor considerado como máximo, que, a rigor, é um valor aleatório. A premissa fundamental para utilizar o método dos rendimentos relativos é que o valor de B pode ser facilmente obtido para qualquer região.

Além disso, os usuários desse método argumentam que a taxa ótima de utilização de um determinado nutriente pode ser definida independentemente das relações de preços da matriz insumo-produto e das taxas de juros do mercado. Assim, é que alguns pesquisadores "recomendam" doses de fertilizantes para se atingir um nível de 80% ou 90% de um máximo (que a rigor não se sabe qual é).

Esse procedimento tem sido objeto de críticas ao longo do tempo. A principal objeção diz respeito ao valor ou valores utilizados para definir a variável B. Quando da determinação da taxa econômica de aplicação de um nutriente, a taxa ótima é dada pela expressão:

$$\frac{DY}{DX} = \frac{C}{V} (1 + r)^t$$

onde, X = quantidade de insumo a ser aplicado (variável independente).

Y = produção esperada (variável dependente).

C = custo unitário do insumo X.

V = valor unitário do produto Y.

r = taxa de juros ou custo de oportunidade.

t = período de tempo considerado.

Quando se utiliza o conceito de rendimento relativo, essa expressão transforma-se em:

$$\frac{d\%Y}{dX} = \frac{100 C}{B V} (1 + r)^t$$

Observe-se que o uso de um percentual (% Y) introduz o elemento 100/B na segunda parte da equação. Agora, a taxa econômica ótima de aplicação de um nutriente fica na dependência de um valor a ser dado para B. Desse modo, deve ficar entendido que, em termos científicos, há muito empirismo no uso desse conceito de rendimento percentual de um máximo relativo.

Em algumas situações, mormente quando não há grandes alterações na relação de preços da matriz insumo-produto ao longo do tempo, é possível que recomendações do tipo "80% do máximo relativo" se situem próximas ao ponto ótimo econômico. Mas, normalmente, não ocorre esse tipo de coincidência no mundo real.

Adicionalmente, comparações de resultados entre diferentes locais ficam prejudicados, normalmente quando a variância dos valores estimados para B é elevada.

4.1.3 Recomendação de adubação a partir da análise de solo

Para a recomendação de adubação deve-se conhecer a relação entre a análise do solo e a quantidade de nutrientes a ser aplicada, para se obter a produção desejada. O sistema mais simples é a obtenção, para cada classe de solo, de curvas de resposta relacionando o rendimento da cultura com a dose do fertilizante aplicado (Fig. 7). Isso pode ser obtido pelo agrupamento de classes de solo ou pela obtenção de curvas para solos previamente fertilizados, em diferentes níveis.

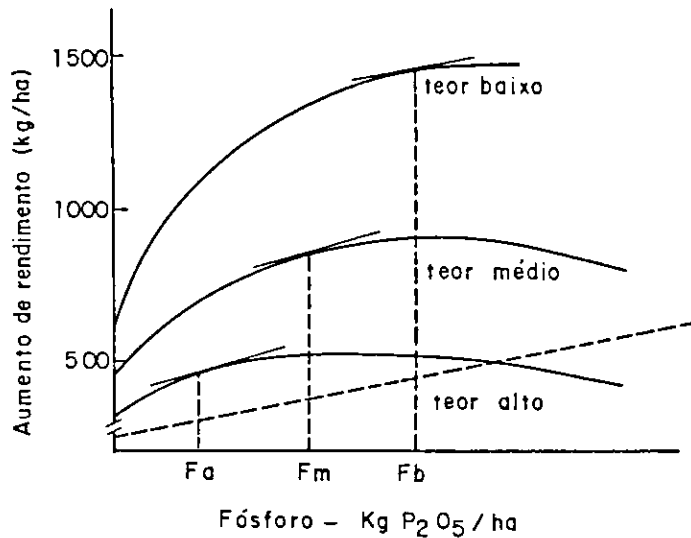


FIG. 7. Curvas de resposta a aplicações de fósforo em solos com diferentes teores originais de P "disponível" e doses de fertilizantes para a máxima eficiência econômica. Fb = para solos com baixo teor de P; Fm = para solos com teor médio de P e Fa = para solos com alto teor de P (Fonte: FECOTRIGO 1981).

A definição da dose de fertilizante recomendada para cada classe é um processo relativamente complexo, já que deve considerar vários fatores, tais como: interação, efeito residual, nível de manejo da lavoura e, principalmente, os aspectos econômicos da adubação.

O esquema mais simples e mais utilizado é o estabelecimento da dose de máxima eficiência econômica (Fig. 7).

As doses mais econômicas para cada classe de solo podem servir para construir tabelas de adubação, para cada cultura e nível de manejo.

Normalmente, todos os experimentos para calibração são realizados com o uso de fertilizantes solúveis. A substituição por fontes de baixa solubilidade requer o prévio conhecimento da eficiência agrônômica dessas fontes quando comparadas com as solúveis.

Um aspecto importante nos estudos de recomendação de adubação diz respeito aos delineamentos experimentais mais adequados. Em princípio, qualquer experimento que vise obter curvas de resposta pode ser útil para a composição de tabelas, desde que sejam obtidos níveis aceitáveis de produção e seja acompanhado de análise do solo, feita em amostra representativa (difícil de ser obtida em experimentos em que o fertilizante é aplicado continuamente na linha de plantio). Contudo, a grande maioria desses experimentos tem sido delineada para avaliar um nutriente de cada vez, mantendo-se os demais em nível adequado para a cultura. Por isso, há uma tendência recente em usar esquemas experimentais fatoriais (completos ou incompletos) que possibilitem o estudo de interações e o estabelecimento de funções de produção mais completas do que uma simples curva de resposta a um nutriente. A Tabela 1 mostra uma relação de delineamentos que podem ser utilizados para essa finalidade.

4.2 Análise de Planta como Instrumento de Recomendação de Adubação

A análise da planta, no sentido restrito, significa a determinação da concentração de elementos ou frações extraíveis desses elementos numa amostra de parte da planta, num certo tempo e estágio de desenvolvimento da cultura. Os principais objetivos dessa análise têm sido: a) medir a quantidade extraída de um nutriente pela planta;

TABELA 1. Alguns delineamentos fatoriais incompletos, apropriados para testar deficiências de nutrientes no solo e para obtenção de funções de respostas do uso de fertilizantes e calcário.

Número do de- lineamento	Número de nutrientes	N° de níveis p/ nutriente	Número de blocos	N° total de parcelas	Fracionado (incompleto)
1	1	5	3	15	1
2	3	222	2	8	1/2
3	4	2222	2	16	1/2
4	3	333	3	27	1/3
5	2	44	2	16	1/2
6	3	442	1	16	1/2
7	2	44	4	32	1/4
8	3	444	1	32	1/2
9	3	443	2	48	1/2
10	4	4432	1	48	1/2
11	3	444	4	64	1/4
12	4	4444	1	64	1/4

Fonte: Colwell 1981.

b) avaliar o estado nutricional das plantas; c) auxiliar na análise e interpretação de resultados experimentais; d) estimar a disponibilidade de nutrientes do solo e, conseqüentemente, auxiliar na recomendação de adubação.

A análise da planta tem uso limitado como instrumento de recomendação de adubação, devido às dificuldades em coletar amostras representativas, principalmente em culturas anuais e pastagens sob pastoreio. Para culturas anuais, inclusive, a diagnose do problema, obtida por análise foliar, geralmente tem pouca utilidade para o cultivo em pauta, porém, pode ser útil para os cultivos subsequentes.

Os princípios de calibração da análise de planta são similares aos discutidos para análise de solo. A Fig. 8 ilustra uma relação esquemática entre rendimento e teor

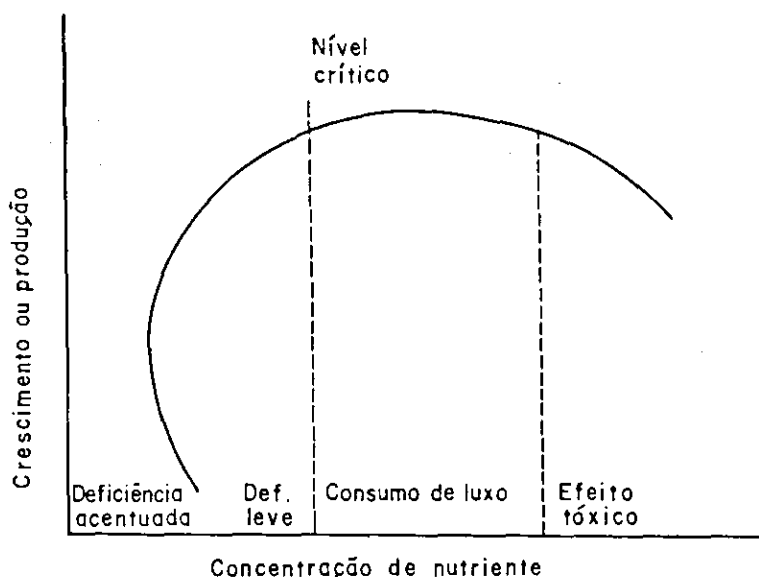


FIG. 8. Relação entre o crescimento vegetal e o conteúdo de nutriente (Fonte: Chapman 1967).

de um nutriente na planta, onde se notam as faixas de deficiência, de suficiência e de excesso. Através do conhecimento dessas relações pode-se determinar um nível ótimo (ou nível crítico) do elemento e classes de teores. A recomendação de adubação pode então ser estabelecida pela composição de gráficos, relacionando rendimento, dose do adubo e teor do elemento na planta. Para uma determinada produção corresponde um teor do elemento e uma dose de adubação (Fig. 9). Exemplos dessa relação são apresentados por Malavolta (1979), com a produção de laranjeiras em São Paulo, onde se verifica uma relação bem definida entre as variáveis estudadas.

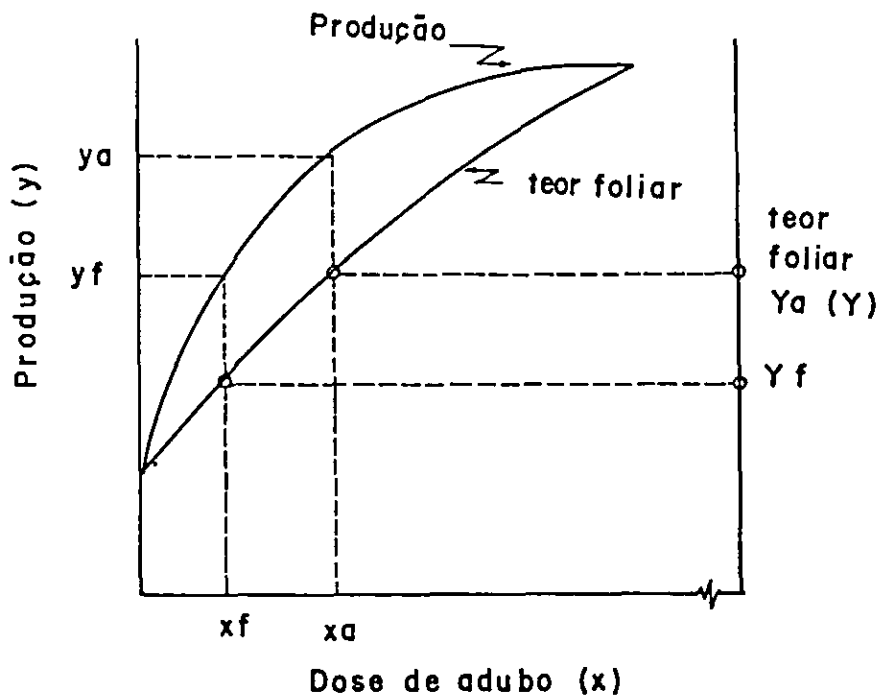


FIG. 9. A diagnose foliar na determinação da dose de adubo (Fonte: Malavolta 1979).

Com base nesses estudos pode-se então estabelecer classes de resposta para a cultura (Tabela 2). Em alguns países já foram desenvolvidos esquemas de recomendação de adubação para culturas perenes, tendo como base a análise da planta (Malavolta 1981).

As ilustrações apresentadas evidenciam a grande utilidade da análise da planta no processo de recomendação

TABELA 2. Guia para a diagnose foliar de laranjeiras em produção*.

Elemento	Níveis		
	Deficiente	Baixo	Ótimo
N %	< 2,2	2,2-2,3	2,4-2,6
P %	< 0,09	0,09-0,11	0,12-0,16
K %	< 0,40	0,40-0,69	0,70-1,09
Ca %	< 1,6	1,6-2,9	3,0-5,5
Mg %	< 0,16	0,16-0,25	0,26-0,6
S %	< 0,14	0,14-0,19	0,2-0,3
Cl %	-	-	0,3
B ppm	< 21	21-30	31-100
Cu ppm	< 3,6	3,6-4,9	5,1-16
Fe ppm	< 36	36-59	60-120
Mn ppm	< 16	16-24	25-200
Mo ppm	< 0,06	0,06-0,09	0,10-0,29
Zn ppm	< 16	16-24	25-100

*Folhas com 5-7 meses de idade do fluxo de primavera, ramos não frutíferos.

Fonte: Resumido de Malavolta 1979.

de adubação, principalmente para as culturas perenes. Contudo, poucos estudos têm sido feitos no Brasil no sentido de calibrar e definir uma metodologia para utilizar esse instrumento na rotina dos laboratórios (Trani et al. 1983).

4.3 Análise Econômica como Instrumento para Recomendação de Calagem e Adubação

De modo geral, a grande maioria das recomendações de uso de calagem e adubação não são contempladas com uma análise econômica. Os critérios de recomendação são baseados em relações de natureza física, tipo produção máxima e/ou 80% da máxima, conforme salientado anteriormente. Com base nesses resultados elaboram-se tabelas de recomendação do tipo da Tabela 3.

Atualmente, esse tipo de posicionamento para recomendações não atende mais as necessidades nem dos produtores nem da sociedade. Qualquer recomendação deve ser baseada em algum princípio econômico, com indicações claras e precisas sobre em que condições essas práticas são viáveis e/ou inviáveis economicamente.

Existem vários métodos de análise econômica do uso de calagem e adubação, desde os mais simples até os mais sofisticados. Alguns desses métodos são enumerados a seguir.

4.3.1 Orçamentação*

A calagem e a adubação corretiva devem ser consideradas como investimento, conforme já foi salientado. Desse

*O CPAC já dispõe de "Software" nessa área (Scolari et al. 1985).

TABELA 3. Recomendação de adubação de manutenção para a cultura do arroz irrigado.

Análise de fósforo (P - ppm)	Análise de Potássio (K) - ppm								
	< 30			30-60			>60		
	N*	P ₂ O ₅ *	K ₂ O*	N*	P ₂ O ₅ *	K ₂ O*	N*	P ₂ O ₅ *	K ₂ O*
kg/ha (± 3)	kg/ha (± 5)	kg/ha (± 5)	kg/ha (± 3)	kg/ha (± 5)	kg/ha (± 5)	kg/ha (± 3)	kg/ha (± 5)	kg/ha (± 5)	
< 3,0	10	60	60	10	60	40	10	60	20
3,1-6,0	10	40	60	10	40	40	10	40	20
>6,0	10	20	60	10	20	40	10	20	20

*Os números entre parênteses indicam as variações em kg/ha, permitidas pela tabela na indicação de fórmulas comerciais.

A quantidade de nutrientes (P) refere-se a análise em ácido cítrico a 2%, na relação 1:100.

Fonte: FECOTRIGO 1981.

modo, deve-se considerar um período de tempo de alguns anos para se amortizar esses investimentos.

Tendo em vista esse critério, os custos devem ser calculados em termos de valores presentes, ou seja, quanto custa hoje um investimento que gera benefícios futuros durante um período "p" de vida útil.

Isso pode ser feito através da fórmula:

$$VP = A_0 + \frac{A_1}{(1+i)} + \frac{A_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{A_P}{(1+i)^P}$$

onde, VP = valor presente, em cruzados, das futuras amortizações.

A = pagamento das amortizações.

P = período de tempo considerado.

i = taxa de juros ou custo de oportunidade do investimento.

Nesse método, são somadas as despesas assim calculadas, agregadas àquelas outras despesas necessárias para a utilização da prática, sob a rubrica "custo"; são somadas todas as receitas obtidas com o uso da prática (adubação e/ou calagem) sob a rubrica "receita". A diferença entre receita e custo denomina-se "margem bruta", que serve como critério de decisão. O melhor tratamento é aquele que apresentar a maior "margem bruta".

$$MB = RT - CT$$

onde, CT = custo total em valores presentes.

RT = receita total obtida, em valores presentes.

MB = margem bruta.

Embora seja considerado um método de análise pouco sofisticado, a orçamentação, ou análise tabular, apresenta algumas vantagens muito importantes, principalmente para aqueles pesquisadores que não possuem uma formação matemática e estatística sólida. Trata-se de um instrumento de análise simples, mas eficiente, que dispensa o uso de equipamentos sofisticados (computadores, por exemplo) ou formulações teóricas muito profundas. Além disso, representa com relativa clareza a linha de raciocínio utilizada na agricultura com relação ao processo de decisão sobre o uso ou não de fertilizantes. O produtor empresário rural orienta suas decisões com base em considerações econômicas bastante simplificadas. No fundo, o que interessa saber é se o aumento de custos devido ao uso de fertilizantes é compensado economicamente pelo aumento da produção. Uma vantagem adicional é que o uso dessa técnica pressupõe o conhecimento do "sistema de produção" ao nível da fazenda, ou seja, permite considerar variáveis ou dados obtidos fora do domínio de abrangência do experimento de pesquisa, que, quando agregados às informações geradas experimentalmente, permitem análises mais abrangentes.

Além disso, é possível utilizar alguns conceitos clássicos de economia, tais como magnitudes marginais (incrementos na renda líquida, por exemplo) e/ou taxas de retorno. Desse modo, conhecendo-se os acréscimos marginais na receita e nos custos, pode-se determinar a conveniência do uso de doses maiores ou menores de fertilizantes.

4.3.2 Relação benefício/custo (B/C)

À semelhança do método de orçamentação, essa técnica de cálculo econômico do uso de calagem e adubação pressu-

põe a existência de um fluxo de benefício ao longo do tempo.

Para determinação dessa relação benefício/custo (B/C) se usa a fórmula abaixo:

$$\frac{B}{C} = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{Bt}{(1+i)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{Ct}{(1+i)^t}}$$

onde, Bt = benefícios esperados no período considerado.

Ct = custos (despesas realizadas).

t = período considerado.

n = número de anos (períodos).

i = taxa de juros ou custo de oportunidade.

O critério de decisão é baseado no valor da relação B/C. Quando maior que 1,0, a prática é recomendada, e quando menor que 1,0, não é recomendada.

4.3.3 Taxa de retorno (i)

Nesse método, o critério de decisão envolve a determinação de uma certa taxa de retorno que satisfaça a equação:

$$\sum_{t=1}^n \frac{Bt - Ct}{(1+i)^t} = 0$$

O valor dessa taxa encontrada é então comparado com a rendimento que se poderia obter com aplicações em outras oportunidades de investimento (como rendimento em caderneta de poupança, por exemplo). O significado dos parâmetros é idêntico ao exposto no item b.

O critério de decisão fica então subordinado ao valor dessa taxa. Caso ele seja maior que o rendimento que se obtenha em um investimento alternativo (poupança ou certificados de depósitos bancários, por exemplo), a prática seria recomendada.

4.3.4 Funções de produção

Através desse método de avaliação econômica do uso de fertilizantes, é possível estudar simultaneamente um número maior de variáveis e quantificar analiticamente as interações positivas e/ou negativas entre os parâmetros considerados.

A rigor, o que se procura é definir a relação existente entre um estímulo aplicado (uso de diferentes quantidades de fósforo ou calcário) e a produção resultante (kg de milho/ha, por exemplo). Essa relação é apresentada sob forma gráfica ou, mais comumente, através de equações matemáticas. Existem na literatura diversas formas analíticas de resposta, mas ainda não há uma teoria fundamental para indicar qual o modelo mais apropriado para diferentes situações em diferentes regiões em estudo. Alguns autores dão preferência a modelo polinomiais, do tipo quadrático ou raiz quadrada, outros preferem modelos exponenciais ou funções do tipo Cobb-Douglas.

A escolha do modelo matemático a ser utilizado para explicar a relação existente entre insumos aplicados e respostas obtidas deve ser baseada em alguns critérios,

dos quais os mais utilizados são:

a) conveniência computacional, ou seja, infra-estrutura existente no ambiente de trabalho, que possibilite o uso de computadores para realizar cálculos econômicos e/ou matemáticos;

b) significado biológico dos parâmetros a serem utilizados, uma vez que as variáveis e seus respectivos sinais matemáticos devem ser uma representação do mundo real;

c) número de parâmetros a serem pesquisados - via de regra, raramente se utilizam mais do que três ou quatro variáveis explicativas para modelos de recomendação de calagem e/ou adubação;

d) grau de ajuste dos modelos utilizados, tendo por base alguns parâmetros estatísticos com R^2 (coeficiente de determinação), que serve para explicar ou "medir a margem de acerto de um ou outro modelo;

e) formas de desvios verificados com relação à equação ajustada, que possibilitam melhor entendimento do fenômeno em estudo.

De modo geral, os modelos mais comumente encontrados na literatura são os seguintes:

Modelos Polinomiais

Entre esses, os mais utilizados são os modelos quadráticos e a raiz quadrada (devido às facilidades de utilização dos conceitos matemáticos envolvidos), da forma:

$$Y = A_0 + A_1 X_1 + A_2 X_1^2 \quad (\text{quadrático com uma variável independente}).$$

$$Y = A_0 + A_1 X_1 + A_2 X_1^{0,5} \quad (\text{raiz quadrada com uma variável independente}).$$

$$Y = A_0 + A_1 X_1 + A_2 X_2 + A_3 X_1^2 + A_4 X_2^2 + A_5 X_1 X_2 \quad (\text{quadrático com duas variáveis independentes}).$$

onde as variáveis são definidas como:

Y = variável dependente que significa a produção que se espera obter com o uso dos insumos.

X_1 e X_2 = representa a taxa de uso dos insumos (fertilizantes).

A = parâmetros a serem estimados.

Modelos Exponenciais

Os mais conhecidos dos pesquisadores são a função de Mitscherlich e a função Cobb-Douglas, cujas fórmulas matemáticas são:

$$Y = M \left[1 - 10^{-c(x+b)} \right] \quad (\text{Mitscherlich})$$

onde M é a produção máxima teórica possível quando se aumenta indefinidamente a dose do nutriente, c é um parâmetro físico do nutriente em questão (chamado coeficiente de eficácia), e b o teor desse nutriente no solo, em forma assimilável pelas plantas. Os demais parâmetros são definidos como anteriormente.

$$Y = A X^b \quad (\text{Cobb-Douglas})$$

Dentre os resultados de pesquisa publicados que utilizam esses conceitos, pode-se enumerar os trabalhos desenvolvidos por Scolari et al. (1982), que ajustaram funções de resposta para as culturas do milho e do trigo-de-sequeiro para a região dos Cerrados de Brasília. Utilizando um modelo quadrático, determinaram que a resposta de milho à aplicação de fósforo é representada pela equação:

$$Y = 790 + 8,10 P - 0,0019 P^2 \quad R^2 = 0,98$$

onde Y é a produção estimada de milho (kg/ha) e P a taxa de aplicação de fósforo. Todos os parâmetros estimados foram significativamente diferentes de zero a um nível de 1% de significância.

Nesse modelo, o ótimo agrônômico foi alcançado com o uso de 1.400 kg/fósforo por hectare, o que resultou numa produção estimada de 6.440 kg de milho. Mas o ponto de ótimo econômico, tendo por base uma relação de preços milho/fósforo de 8,65:1,0 (isto é, são necessários 8,65 kg de milho para comprar 1,0 kg de fósforo), foi alcançado com o uso de 94 kg de fósforo, com uma produção ótima de 1.526 kg/ha. Deve ficar claramente entendido que, ao se alterarem as relações de preços insumo/produto, o ponto de ótimo econômico também será modificado.

Nesse mesmo trabalho, Scolari et al. (1982) ajustaram também uma função de resposta do trigo-de-sequeiro a aplicação de fósforo e calcário do tipo:

$$Y = 152^* + 2,2936 X_1^{**} - 0,00124 X_1^{2**} + 185,92 X_2^{**} - 15,75 X_2^{2*} - 0,00372 X_1 X_2 + 192 X_3^* \quad R^2 = .93$$

onde as variáveis são definidas como:

Y = produção de trigo esperada, em kg/ha.

X_1 = quantidade aplicada de fósforo, em kg de P_2O_5 por hectare.

X_2 = quantidade aplicada de calcário, em t/ha (com 100% de PRNT).

X_3 = variável binária que representa adubação de manutenção.

A anotação * significa que os parâmetros são significativamente diferentes de zero a 7% de significância. A equação teve bom ajuste, uma vez que foram explicadas cerca de 93% das variações na produção.

Nesse modelo, o ótimo agrônômico foi alcançado com o uso de 850 kg de P_2O_5 e 4,9 t de calcário por hectare, com uma produção esperada de 1.858 kg de trigo por ha. Mas, quando se consideraram as relações de preços entre trigo e fósforo (2,14:1,0) e trigo e calcário (1,0:26,0), o ponto de máxima eficiência econômica (ótimo econômico) foi o uso de 476 kg de P_2O_5 e 5,34 t de calcário por hectare, com uma produção esperada de 1.412 kg/ha.

Com esses exemplos deve ficar entendido que a escolha do método de análise econômica depende de vários fatores, destacando-se a quantidade e a qualidade dos dados experimentais e a infra-estrutura disponível para analisar esses dados.

Existem outros métodos mais sofisticados, envolvendo desde análise de risco até programação matemática, mas esses não serão abordados neste trabalho.

A relação de custos da matriz insumo-produto continua a ser o mais importante instrumento para recomendação de calagem e adubação. Em algumas regiões do Brasil, pesqui-

sadores já estão utilizando mais intensamente esse instrumento, combinado com o uso de tabelas de análise de solos, como pode ser visto na Fig. 10.

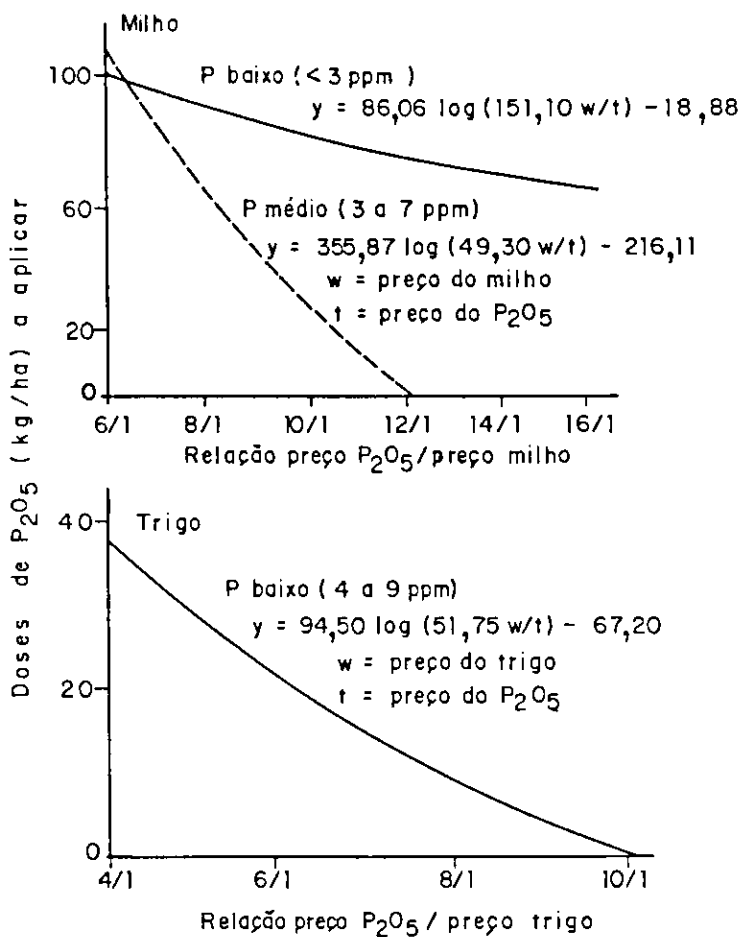


FIG. 10. Estimativa de doses econômicas de adubação fosfatada para o milho e trigo no Estado do Paraná, em função da relação entre preço do adubo (P₂O₅) e preço dos produtos, conforme as classes de teores de fósforo no solo (Fonte: Muzilli 1982).

4.4 Composição de Tabelas e de Funções de Produção

A organização de uma tabela facilita o processamento de recomendação de calagem e adubação, porém pode induzir o técnico que recomenda a não levar em conta os demais fatores que devem ser considerados no processo. Por isso, a tabela deve ser entendida como uma sugestão, cabendo principalmente ao agente da assistência técnica a interpretação para cada empresa agrícola.

A maioria das tabelas existentes no Brasil são elaboradas a nível estadual, sendo preparadas considerando apenas o tipo de cultura e os dados da análise de solo. No preparo dessas tabelas pressupõe-se um determinado nível de rendimento a ser atingido, o qual deve ser especificado de modo claro. Tabelas para adubação fosfatada para todas as regiões do Brasil são mostradas por Oliveira et al. (1982). A Tabela 3 apresenta um exemplo de tabela de recomendação de adubação NPK para a cultura de arroz irrigado no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina.

Apesar de as tabelas serem o modo mais comum de sugerir adubação no Brasil, tudo indica que com o aumento do volume de informações e com o desenvolvimento de facilidades de computação de dados, deverá ganhar terreno o uso de funções de produções.

5 CONCLUSÕES

O processo de recomendação de corretivos e fertilizantes é relativamente complexo, já que deve levar em consideração as características da empresa e do empreendimento agrícola, o conhecimento tecnológico e as condições de mercado.

Por outro lado, é um processo de natureza dinâmica e de caráter flexível. Dinâmico para que possa incorporar continuamente os avanços e as inovações tecnológicas, pois cada nova variedade ou nova fonte de fertilizante requer condições específicas para se obter a máxima eficiência, e flexível para que possa se ajustar às características de cada empreendimento agrícola e às nuances do mercado. Preços de insumos e produtos variam constantemente; programas de crédito são iniciados e encerrados.

Considerando a natureza desse processo, cabe discutir uma questão relevante: quem deve ser responsável pela recomendação de adubação? Parece que essa atividade envolve vários setores, numa ação integrada, não havendo limites definidos entre os mesmos.

À luz dos resultados experimentais, cabe à pesquisa preparar sugestões (por exemplo, tabelas). A partir dessas sugestões e das características do empreendimento agrícola, pode a assistência técnica formular recomendações. Entretanto, a decisão sobre o manejo da calagem e adubação é responsabilidade exclusiva do produtor. Essa atividade está incluída na área de administração rural a ser exercitada pelo empresário ou administrador.

No Brasil, a análise de solo ainda é o critério mais utilizado para recomendação de corretivos e fertilizantes. A validade desse critério está na dependência direta da obtenção de curvas de resposta das diversas culturas à adição desses insumos. Para a adubação nitrogenada, as recomendações estão quase na dependência exclusiva dos conhecimentos das curvas de resposta, já que não se tem encontrado um índice satisfatório de disponibilidade obtido com análise do solo. Porém, o ajustamento da recomendação cada vez mais necessita do conhecimento sobre a

expectativa de rendimento e das relações econômicas do mercado.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CATE, R.B.; NELSON, L.A. A rapid method for correlation of test analysis with plant response data. Raleigh, North Carolina Agricultural Experiment Station, 1965. 13p. (Technical Bulletin, 1).

CHAPMAN, H.D. Plant analysis values suggestive of nutrient status of selected crops. In: SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA, Madison. Soil testing and plant analysis. Madison, 1967. v.2, p.77-92. (SSSA. Special Publication Series, 2).

COLWELL, J.D. The optimal use of fertilizers. Brasília, EMBRAPA-DMQ, 1981. 55p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados, Planaltina, DF. Relatório técnico anual do Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados 1975-1976. Planaltina, 1976. 154p.

FEDERAÇÃO DAS COOPERATIVAS DE TRIGO E SOJA DO RIO GRANDE DO SUL, Porto Alegre, RS. Manual de adubação e calagem para cultivos agrícolas no Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Porto Alegre, 1981. 34p. (FECOTRIGO. Boletim Técnico, 56).

GALRÃO, E.Z.; VOLKWEISS, S.J. Disponibilidade de fósforo do solo para as plantas. R.bras.Ci.Solo, 5:114-8, 1981.

- KOCHHANN, R.; ANGHINONI, J.; MIELNICZUK, J. Adubação fosfatada no Rio Grande do Sul e Santa Catarina. In: OLIVEIRA, A.J.; LOURENÇO, S.; GOEDERT, W.J., eds. Adubação fosfatada no Brasil. Brasília, EMBRAPA-DID, 1982. p.29-60.
- LOBATO, E. Adubação fosfatada na região Centro-Oeste. In: OLIVEIRA, A.J.; LOURENÇO, S.; GOEDERT, W.J., eds. Adubação fosfatada no Brasil. Brasília, EMBRAPA-DID, 1982. p.201-39.
- MALAVOLTA, E. Nutrição mineral e adubação da laranjeira. In: YAMADA, T., ed. Nutrição mineral e adubação; citros. Piracicaba, Instituto da Potassa & Fosfato, 1979. p.13-71.
- MALAVOLTA, E. Nutrição mineral e adubação do cafeeiro; passado, presente e perspectivas. In: YAMADA, T., ed. Nutrição e adubação do cafeeiro. Piracicaba, Instituto da Potassa & Fosfato, 1981.
- MIELNICZUK, J. Calibração de métodos de análise de solos. s.n.t. Palestra apresentada no Curso de Fertilidade do Solo e Adubação, Itabuna, BA, 1975.
- MIELNICZUK, J. Economicidade da calagem. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO, 15., Campinas, SP, 1983. Acidez e calagem no Brasil. Campinas, SBCS/IAC, 1983. p.63-77.
- MUZILLI, O. Adubação fosfatada no Estado do Paraná. In: OLIVEIRA, A.J., LOURENÇO, S.; GOEDERT, W.J., eds. Adubação fosfatada no Brasil. Brasília, EMBRAPA-DID, 1982. p.61-101.
- OLIVEIRA, A.J.; LOURENÇO, S.; GOEDERT, W.J., eds. Adubação fosfatada no Brasil. Brasília, EMBRAPA-DID, 1982. 326p.

- QUAGGIO, J.A. Métodos de laboratório para a determinação da necessidade de calagem em solos. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO, 15., Campinas, SP, 1982. Acidez e calagem no Brasil. Campinas, SBCS/IAC, 1983. p.33-48.
- RAIJ, B. van. Avaliação da fertilidade do solo. Piracicaba, Instituto da Potassa & Fosfato, 1981. 142p.
- SCOLARI, D.D.G.; COSTA, M.E.F. da, SOUSA, M.C. de. Programa de análise econômica através de orçamentação parcial; ANECOR. Planaltina, EMBRAPA-CPAC, 1985. 43p. (EMBRAPA-CPAC. Documentos, 13).
- SCOLARI, D.D.G.; LOBATO, E.; MAGALHÃES, J.C.A.J. Um estudo econômico sobre fósforo e calcário em solos de Cerrado do Brasil. Pesq.agropec.bras., Brasília, 17(4):505-11, 1982.
- SOUSA, D.M.G.; CARVALHO, L.J.C.B.; MIRANDA, L.N. Correção de acidez do solo. In: GOEDERT, W.J., ed. Solos dos Cerrados; tecnologias e estratégias de manejo. São Paulo, Nobel/EMBRAPA-CPAC, 1985. p.99-127.
- SOUSA, D.M.G.; MIRANDA, L.N.; LOBATO, E.; KLIEMAN, H.J. Avaliação de métodos para determinar as necessidades de calcário em solos de Cerrados de Goiás e do Distrito Federal. R.bras.Ci.Solo, 4:144-8, 1980.
- TRANI, P.E.; HIROCE, R., BATAGLIA, O.C. Análise foliar; amostragem e interpretação. Campinas, Fundação Cargil, 1983. 18p.