

03484
CPAC
1986
ex. 2
FL-03484

DOCUMENTOS
Número 22

Julho, 1986



**PRINCÍPIOS METODOLÓGICOS PARA
AVALIAÇÃO AGRONÔMICA
DE FONTES DE FÓSFORO**

Princípios metodológicos para
1986 FL-03484



29288-2

RICULTURA - MA
ra de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA
Agropecuária dos Cerrados - CPAC

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

Severino de Melo Araújo

PRINCÍPIOS METODOLÓGICOS PARA AVALIAÇÃO
AGRONÔMICA DE FONTES DE FÓSFORO

Wenceslau J. Goedert

Djalma M. Gomes de Sousa

Thomaz A. Rein

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA - MA



Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA

Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados - CPAC

Planaltina, DF.

Exemplares deste documento podem ser solicitados ao

CENTRO DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DOS CERRADOS - CPAC
BR 020 - km 18 - Rodovia Brasília-Fortaleza
Caixa Postal 70-0023
73.300 - Planaltina - DF

Tiragem: 1.000 exemplares

Editor: Comitê de Publicações

José Carlos Sousa Silva

José Luiz Fernandes Zoby

Luiz Carlos B. Nasser - Presidente

Raul C. Rosinha - Secretário

Wenceslau J. Goedert

Editoração: Dilermando Lúcio de Oliveira

Revisão bibliográfica: Suzana Sperry

Composição: Luis Gerônimo dos Santos

Desenho e montagem: Nilda Maria da Cunha Sette

Distribuição: Daniel Venâncio Bezerra

Ficha catalográfica
(Preparada pelo SIDOC do CPAC)

Goedert, Wenceslau J.

Princípios metodológicos para avaliação agrônômi-
ca de fontes de fósforo, por Wenceslau J. Goedert,
Djalma M. Gomes de Sousa e Thomaz A. Rein. Planalti-
na, EMBRAPA-CPAC, 1986.

23p. (EMBRAPA-CPAC. Documentos, 22).

1. Solos - Fertilizantes - Fósforo. Sousa, Djalma
M. Gomes de, colab. II. Rein, Thomaz, A., colab. III.
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro
de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados. Planaltina,
DF. IV. Título V. Série.

CDD 631.85

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	5
2	ETAPAS DO PROCESSO DE AVALIAÇÃO.....	5
3	CARACTERIZAÇÃO EM LABORATÓRIO.....	7
4	AVALIAÇÃO COM EXPERIMENTOS EM VASOS.....	8
5	EXPERIMENTAÇÃO A CAMPO.....	9
	5.1 Triagem das fontes promissoras.....	10
	5.2 Manejo das fontes selecionadas.....	13
6	ÍNDICES DE EFICIÊNCIA AGRONÔMICA.....	15
	6.1 Índice de eficiência agronômica (IEA).....	15
	6.2 Equivalente em superfosfato triplo (EqST).....	17
	6.3 Dosagem de fósforo.....	18
	6.4 Comparação de curvas de resposta.....	19
7	CONCLUSÕES.....	22
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	23

PRINCÍPIOS METODOLÓGICOS PARA AVALIAÇÃO
AGRONÔMICA DE FONTES DE FÓSFORO¹

Wenceslau J. Goedert²
Djalma M. Gomes de Sousa³
Thomaz A. Rein⁴

1 - INTRODUÇÃO

Os solos agricultáveis brasileiros têm, em termos médios, baixa capacidade de suprir fósforo às plantas. Em consequência disso, os fosfatos são os fertilizantes mais utilizados na agricultura do país.

Por outro lado, os fosfatos naturais brasileiros são de baixa solubilidade, tendo, portanto, pouca viabilidade de uso direto. A sua transformação, além de atender a aspectos de tecnologia industrial, deve ser dirigida no sentido de se buscar fontes com elevada eficiência agronômica.

A tarefa de estudar a eficiência de fontes de fósforo é importante para orientar a indústria de transformação, bem como para recomendar ao produtor rural o melhor manejo para cada fonte.

O objetivo deste trabalho é discutir alguns princípios metodológicos que devem nortear os pesquisadores nessa tarefa, visando homogeneizar os estudos nessa área.

Alguns trabalhos têm sido publicados sobre o assunto, particularmente pelo TVA (Tennessee Valley Authority, Muscle Shoals, Alabama), podendo-se citar Terman et al. (1962) e Terman & Engelstad (1976).

2 - ETAPAS DO PROCESSO DE AVALIAÇÃO

A avaliação de fontes de fósforo, ou mesmo de qualquer outro nutriente, pode ser esquematizada em três etapas distintas e sucessivas:

¹ Trabalho realizado dentro do Convênio EMBRAPA/PETROFÉRTIL

² Eng.-Agr., Ph.D.

³ Químico, M.Sc.

⁴ Eng.-Agr.

1^a Etapa: Triagem preliminar

Essa etapa visa avaliar as fontes de forma preliminar e, talvez, eliminar aquelas com eficiência abaixo de um nível preestabelecido; baseia-se essencialmente em estudos de laboratórios e em casa de vegetação. A análise dos dados obtidos deve ser sucinta, sem envolver aspectos de economia. Os estudos nessa etapa podem ser realizados em poucos locais, já que são executados em ambientes controlados.

2^a Etapa: Eficiência agrônômica

Os produtos selecionados na fase anterior devem, então, ser testados a nível de campo, para avaliar a sua eficiência em termos de produção de culturas e pastagens, comparando-os com uma fonte de uso comum na região. Nessa etapa, experimentos de campo devem ser instalados em alguns tipos de solos mais representativos da região e com culturas igualmente representativas. Porém, é necessário que sejam experimentos simples e que permitam comparar, lado a lado, todas as fontes com potencial agrícola. A avaliação dos resultados deve considerar aspectos econômicos.

3^a Etapa: Manejo

As fontes que apresentam um índice de eficiência elevado e, portanto, com boas chances de serem comercializadas, devem, então, ser submetidas a estudos mais amplos que permitam estabelecer o seu melhor manejo, ou seja, sua melhor adaptação aos sistemas de produção recomendados para a região. Em outras palavras, há necessidade de se conhecer as condições nas quais essas fontes possam melhor demonstrar o seu potencial. Desse modo, nessa etapa os experimentos de campo devem avaliar aspectos tais como: modo de aplicação e incorporação, dosagem, interação com outras práticas agrícolas e efeito residual. Essa etapa somente permite o estudo de poucas fontes, tendo em vista a complexidade dos esquemas experimentais. Esses estudos devem ser realizados no maior número possível de locais e envolver todas as culturas da região. A análise econômica dos resultados será realizada com todos os custos de produção.

O trabalho em três etapas distintas e sucessivas é recomendável quando um grande número de produtos desconhecidos estão sendo avaliados. Caso contrário, os estudos podem envolver simultaneamente as três.

3 - CARACTERIZAÇÃO EM LABORATÓRIO

As características mais importantes a serem determinadas em laboratório são: composição, solubilidade e características físicas das fontes. Além disso, outros aspectos podem ser importantes, tais como: mineralogia, modo de decomposição, reações com o solo, etc.

A composição é dada pela análise quantitativa total de cada produto, obtendo-se o teor de P total e também de outros elementos, principalmente nutrientes.

Para avaliar a solubilidade dos fosfatos têm sido utilizados vários extratores. Os mais comuns são: água, ácido cítrico a 2%, ácido fórmico a 2% e solução de citrato de amônio (Alcarde & Ponchio 1980).

A metodologia básica para essas análises químicas é estabelecida pela legislação brasileira (Brasil. Ministério da Agricultura 1975).

No que concerne às características físicas da fonte, o maior interesse se concentra na higroscopicidade, estado de granulação e tamanho de partículas. A higroscopicidade pode influir na viabilidade de mistura com outros compostos. O estado de granulação está relacionado com o volume de solo que ficará em contato com o fosfato, e diz respeito à facilidade de manuseio e aplicação.

O conhecimento da composição mineralógica, em termos qualitativos e quantitativos, auxilia na interpretação dos resultados. Uma escala de reatividade de fosfatos naturais, baseada em parâmetros cristalográficos, foi proposta por Lehr & McClellan (1972).

Ainda em laboratório, existem muitas alternativas de melhor caracterização das fontes, através da utilização de técnicas de incubação com solo. Após obtido um "estado de equilíbrio", pode-se estudar as reações que cada produto teve com o(s) solo(s), permitindo estimar a disponibilidade de fósforo para as plantas. Um exemplo muito comum desse método de avaliação é a obtenção de isotermas de adsorção, com amostras de solo previamente incubadas com a fonte de referência e do produto em teste, as quais procuram refletir a relação entre o P adsorvido e o P em solução. Esses estudos, entretanto, têm se preocupado mais com a adsorção de P, deixando de avaliar a dessorção ou liberação de P para a solução do solo. Desse modo, recomenda-se fazer extrações de P, após a incubação, com extratores químicos ou com resinas trocadoras de íons.

4 - AVALIAÇÃO COM EXPERIMENTOS EM VASOS

Em conjunto com os dados de caracterização em laboratório, os resultados obtidos com ensaios em vasos permitem fazer uma triagem preliminar das fontes. A pesquisa em ambientes controlados permite comparar simultaneamente um grande número de fontes, num período curto e com custo operacional relativamente baixo. Embora, nesses estudos, se tente simular condições de campo, a interpretação dos resultados considerará as limitações inerentes a esse tipo de trabalho.

O planejamento de experimentos em vasos é relativamente simples, porém, envolve uma série de precauções. A seguir são relacionadas algumas recomendações gerais:

- a) Seleção de solo com alta resposta a adição de fósforo;
- b) Calagem, para atingir saturação de Al menor do que 20% (pH em torno de 5.5), utilizando calcário dolomítico. Para estudo que inclua fosfatos naturais é recomendável utilizar dois níveis de calagem;
- c) Fonte de referência: superfosfato triplo (ST);
- d) Dose: curva completa com ST, por exemplo, cinco pontos, variando de 0 a 100 ppm de P aplicado; usar duas doses para a fonte testada, por exemplo, 20 a 40 ppm de P total. O ideal é fazer curva completa com cada fonte;
- e) Modo de aplicação: em pó ou destorroado, misturado com todo o volume de solo. Se possível, incluir tratamentos extras para estudar granulação;
- f) Níveis adequados de outros nutrientes, para produção máxima, de acordo com a expectativa de produção de matéria seca. Quando as fontes contiverem outros nutrientes além do P, deve-se atentar para o balanceamento dos mesmos;
- g) Cultura teste: preferencialmente milho ou sorgo, com uma a duas plantas por cada quilograma de solo;
- h) Cultivo por 30 a 50 dias, dependendo do volume do vaso, com corte da parte aérea. Determinação da quantidade de matéria seca e do teor de P na parte aérea;
- i) Replântio, após misturar o conteúdo dos vasos, refazendo a adubação de manutenção (menos o P). Se possível, deixar o solo 60 dias em repouso, com umidade de 80% da capacidade de campo, entre plantios. Estabelecer adicionalmente uma nova curva com ST (pelo menos dois pontos). Atentar para o excesso de sais nos vasos, após o primeiro cultivo;

- j) Coleta de amostras de solo para análise de laboratório (P extraível com Mehlich 1, Bray I e resinas). Sugere-se fazer extrações sucessivas com resinas, para tentar simular a ação da planta. Quando algum fosfato natural ou parcialmente acidulado estiver incluído entre as fontes, não se deve usar o extrator Mehlich 1.

Com base na produção de matéria seca e/ou na quantidade de P retirado pelas plantas, pode-se avaliar a eficiência agrônômica das fontes, em relação à fonte de referência, após verificação de diferenças estatisticamente significativas entre tratamentos.

Vários índices têm sido utilizados para experimentar a eficiência agrônômica, conforme será discutido posteriormente.

Visando orientar estudos futuros e obter generalizações, recomenda-se caracterizar algumas possíveis correlações, tais como:

- a) P absorvido pelas plantas e acumulado na parte aérea versus P extraído dos fertilizantes por extratores usados para avaliar sua solubilidade;
- b) P absorvido pelas plantas e acumulado na parte aérea versus P extraído do solo, após cultivo, por extratores usados em laboratórios de análises de rotina.

Essas correlações, obtidas com fosfatos parcialmente acidulados, são mostradas nas Fig. 1 e 2 (Goedert & Sousa 1986). A boa correlação verificada indica que a solução de ácido cítrico a 2% é um extrator que simula a ação da planta no primeiro cultivo. A Fig. 2 mostra, ainda, que o método Bray I fornece uma boa indicação do P disponível no solo para as plantas.

5 - EXPERIMENTAÇÃO A CAMPO

A pesquisa a nível de campo é imprescindível, pois permite simular condições de lavoura. Além da eficiência imediata, os ensaios de campo devem ser planejados para avaliar o efeito residual das fontes, permitindo, assim, a análise econômica dos resultados.

Para facilitar a discussão, pode-se separar dois tipos de experimentos, ou seja, aqueles que objetivam apenas fazer a triagem (segunda etapa no processo de avaliação) e os que visam conhecer o melhor manejo de cada fonte (terceira etapa). Contudo, essa separação só é justificável quando o número de fontes é grande, por exemplo, acima de cinco.

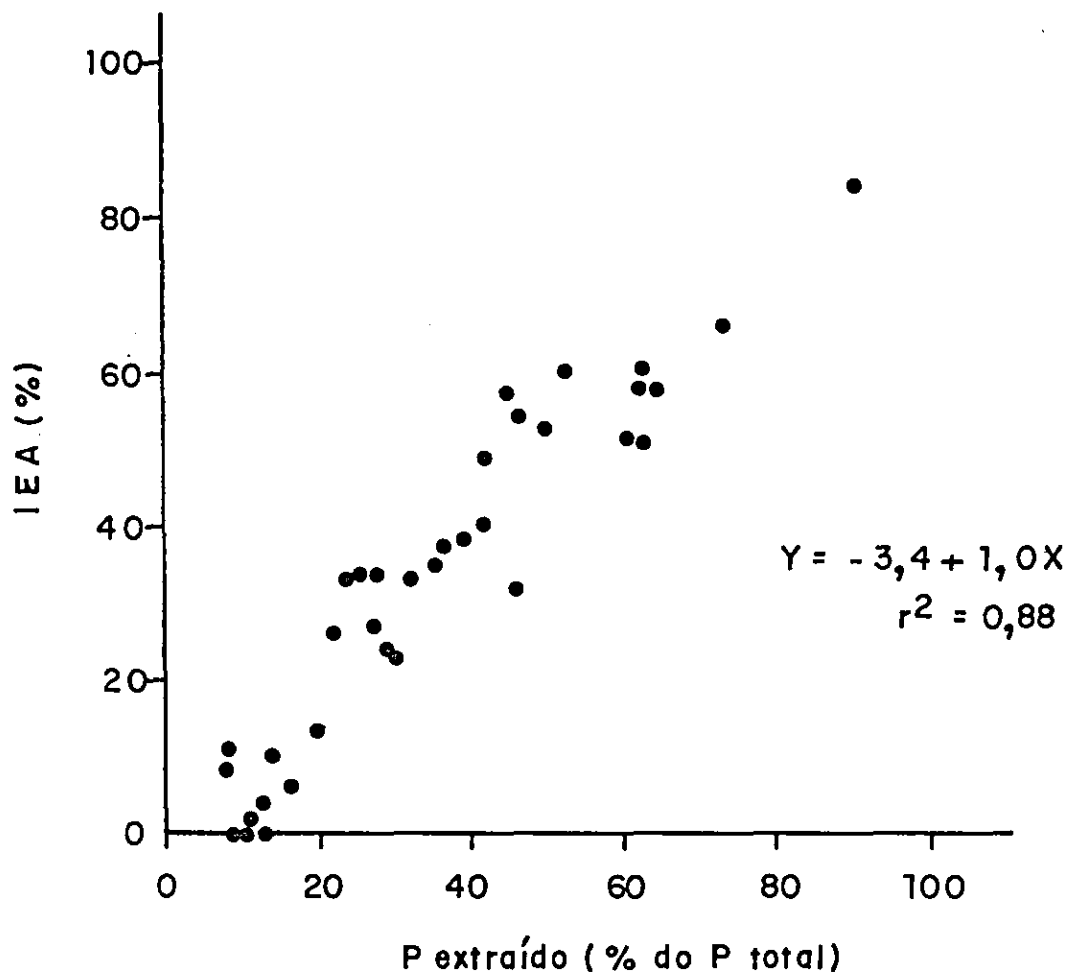


FIG. 1. Correlação entre o Índice de Eficiência Agronômica (IEA) e a taxa de extração de P por solução de ácido cítrico. Fonte: Goedert & Sousa (1986)

5.1. Triagem das fontes promissoras

Os experimentos que visam a triagem devem ser simples, estudando-se apenas a variável fonte e fixando-se as demais, tais como: calagem, nível de outros nutrientes, modo de aplicação das fontes, etc. Sugere-se a seguinte sistemática:

- a) Escolha de um solo com alta resposta a fósforo, baseada na experiência e completada pela análise do solo;

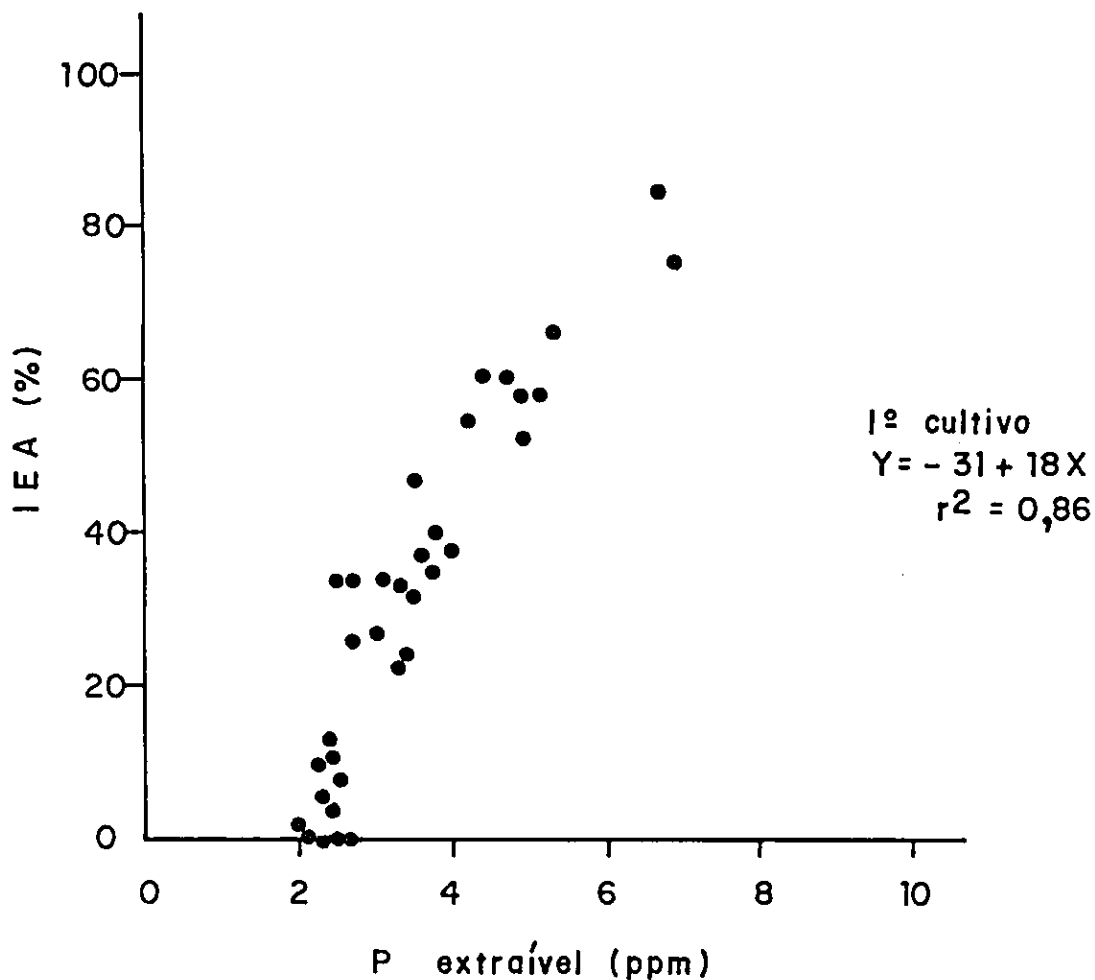


FIG. 2. Correlação entre o Índice de Eficiência Agronômica (IEA) e a extração de P pelo método Bray I, de amostras de solos coletadas após cada cultivo. Fonte: Goedert & Sousa (1986).

- b) Executar calagem em toda a área, de acordo com a recomendação para a cultura selecionada, usando calcário dolomítico;
- c) Fonte de referência: ST;
- d) Planejar uma curva completa com a fonte de referência, com, no mínimo, quatro níveis. Para as fontes a serem testadas, seleciona-se um ou dois níveis, coincidentes com os da curva com ST e cuja produção esperada se localize na porção ascendente dessa curva. A escolha de níveis muito bai

xos ou muito elevados dificulta a interpretação e pode levar a conclusões errôneas, conforme será discutido mais adiante.

- e) O modo de aplicação deve ser similar para todas as fontes testadas. Sugere-se usá-las na forma comercial (granulada), aplicá-las a lanço e incorporá-las à camada arável;
- f) O nível de outros nutrientes deve ser igual em todos os tratamentos e calculado com base na produção esperada. Quando as fontes testadas contiverem outros nutrientes, o que comumente ocorre, há necessidade de se proceder a um nivelamento. Essa tarefa pode ser laboriosa, necessitando de planejamento antecipado;
- g) A cultura-teste selecionada deve ser tradicionalmente cultivada na região. Além da produção comercial, pode-se avaliar outras características das plantas. Sendo possível, avalia-se também o total de fósforo retirado de cada parcela;
- h) Conduzir o experimento por período superior a dois cultivos, sem reaplicação de fósforo, para avaliar o efeito residual com relação à fonte de referência;
- i) Para se avaliar o efeito residual de forma mais completa, há necessidade de se conhecer a curva de resposta à aplicação de P no ano de cultivo. Desse modo, é recomendável estabelecer uma curva de resposta para ST, a cada ano de cultivo. Esses tratamentos devem ser previstos na instalação do experimento, devendo-se reservar parcelas para esse fim, dentro do esquema experimental original, ou reservar uma área vizinha ao experimento original;
- j) Coletar amostra de solo para estudos de laboratório, visando conhecer o teor de P disponível (extrator Bray I ou com resinas) e avaliar efeitos colaterais das fontes (acidificação, lixiviação, etc).

Com os resultados obtidos, pode-se fazer estudos semelhantes aos ilustrados pelas Fig. 1 e 2 e calcular índices de eficiência agrônômica das fontes. A condução do experimento por um período mais longo e a simultânea implantação de parcelas com aplicação recente de fósforo na forma de ST, a cada cultivo, permite pleno conhecimento do efeito residual das fontes, conforme ilustrado pela Fig. 3.

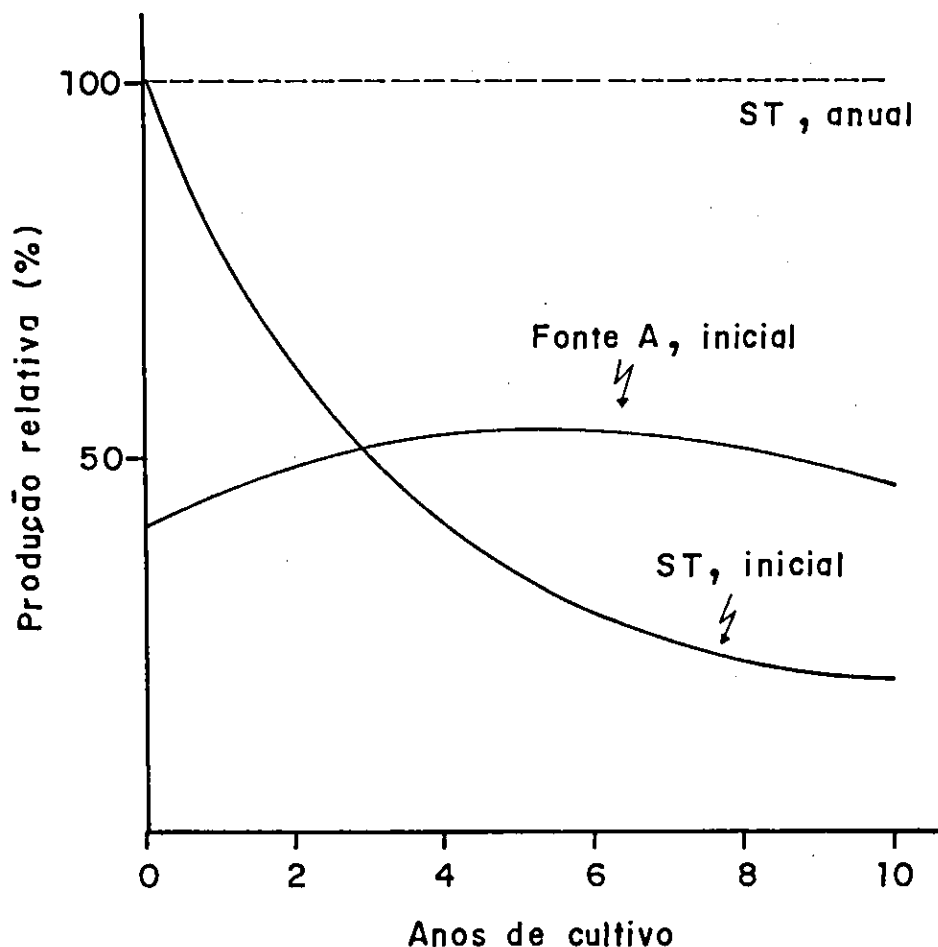


FIG. 3. Gráfico ilustrativo de efeito residual para fontes de fósforo, pela aplicação da mesma dose de P total, apenas no primeiro ano de cultivo, em comparação com uma fonte aplicada anualmente, visando manter um máximo de produção.

5.2. Manejo das fontes selecionadas

Os experimentos que visam conhecer o melhor manejo para cada fonte que foi selecionada na etapa anterior devem simular ao máximo as condições utilizadas em lavouras comerciais, ser instalados em todos

os tipos de ambiente e com as culturas mais importantes. Nessa etapa são estudadas poucas fontes, em muitos locais.

Para esses experimentos, fica difícil estabelecer diretrizes gerais, já que cada local ou cultura tem características próprias. Contudo, algumas linhas de ação indicadas para os experimentos anteriores continuam válidas também para os de manejo, tais como:

- a) Selecionar solos com resposta a adubação fosfatada e escolher a mesma fonte de referência (ST);
- b) O modo de aplicação deve ser o mais comumente utilizado pelos produtores na região; assim, para culturas anuais, deve ser no sulco do plantio, aplicado anualmente;
- c) Nessa fase, é imprescindível obter-se curvas de resposta com todas as fontes, de modo a permitir o cálculo de seu índice de eficiência, em qualquer dose;
- d) Conduzir o experimento por período superior a dois anos, a fim de se poder avaliar o efeito residual. Deve-se ter, contudo, o cuidado de deslocar anualmente o sulco de plantio.

Tendo em vista que o objetivo desses experimentos é conhecer o uso mais eficiente de cada fonte, nessa etapa, deve-se procurar avaliar a performance de cada fonte em vários níveis de manejo do solo. Desse modo, pode-se incluir algumas outras variáveis no experimento, além de fontes e níveis de P (nível de calagem, nível de outros nutrientes, modo e época de aplicação).

Outro aspecto importante nessa etapa é a avaliação de todos os nutrientes que compõem a fonte de fósforo em estudo, tais como nitrogênio e enxofre. Quando as fontes em estudo são de composição muito diversificada, torna-se muito difícil testá-las, exigindo um planejamento minucioso, podendo-se optar pelo nivelamento dos outros nutrientes.

A coleta de amostras representativas do solo, quando as fontes são aplicadas no sulco de plantio, é muito difícil, principalmente no primeiro ano do experimento. A única maneira de contornar parcialmente esse problema é a coleta de um grande número de subamostras por parcela (pelo menos uma por m^2 de área experimental).

Na avaliação dos resultados obtidos nessa etapa é fundamental considerar aspectos técnicos e econômicos. É preciso conhecer a viabilidade de produção e o custo de cada fonte a nível de propriedade agrícola.

A tarefa de quantificar a eficiência agronômica de fontes de nutrientes, especialmente de fósforo, pode induzir a grandes complicações quando se pretende comparar resultados obtidos por diversos pesquisadores que trabalham isoladamente. Em resumo, são duas as providências para evitar isso. A primeira, se refere ao estabelecimento de princípios metodológicos similares no planejamento e execução dos experimentos, conforme discutido anteriormente; a segunda, diz respeito à escolha e ao cálculo de índices de eficiência agronômica que sejam comparáveis e reflitam ao máximo a realidade agrícola.

Vários têm sido os índices utilizados pela pesquisa, no Brasil. O mais comum tem sido o cálculo da produção relativa das fontes, um índice simples e muito útil, mas com sérias limitações quando as doses de referência utilizadas se localizam em partes diferentes da curva de resposta e quando se comparam solos com diferentes respostas a adubação fosfatada.

Com o objetivo de homogeneizar esses estudos no Brasil, sugere-se o cálculo de dois índices: Índice de Eficiência Agronômica (IEA) e Equivalente em Superfosfato Triplo (EqST), cujos modos de calcular, validade e limitações são discutidos a seguir. Esses índices já vêm sendo utilizados pela pesquisa de fontes de nutrientes no Brasil (Kochhann et al. 1982, Salcedo et al. 1982).

6.1. Índice de eficiência agronômica (IEA)

O IEA é calculado com base no diferencial de produção obtido entre as fontes comparadas com a mesma dose de P total aplicado. Em estudos de casa de vegetação, a produção pode ser expressa por matéria seca produzida ou por quantidade de P absorvido pelas plantas. No campo, prefere-se usar a produção física comercial de cada cultura. Contudo, para estudos do efeito residual e em experimentos em que se utiliza rotação de culturas, é interessante conhecer o total de P extraído de cada parcela experimental.

Na Fig. 4 procura-se esquematizar o conceito do IEA, ou seja:

$$\text{IEA}(\%) = \frac{Y_2 - Y_1}{Y_3 - Y_1} \times 100$$

Y_1 = produção obtida pela parcela onde não houve aplicação de fósforo;

y_2 = produção obtida pela fonte que está sendo testada, com a dose x_2 ;

y_3 = produção obtida pela fonte de referência (ST) na mesma dose (x_2) de P total aplicado.

O cálculo deste índice é muito simples e tem a vantagem de exigir apenas uma dose de P para a fonte de referência, não necessitando da curva de resposta.

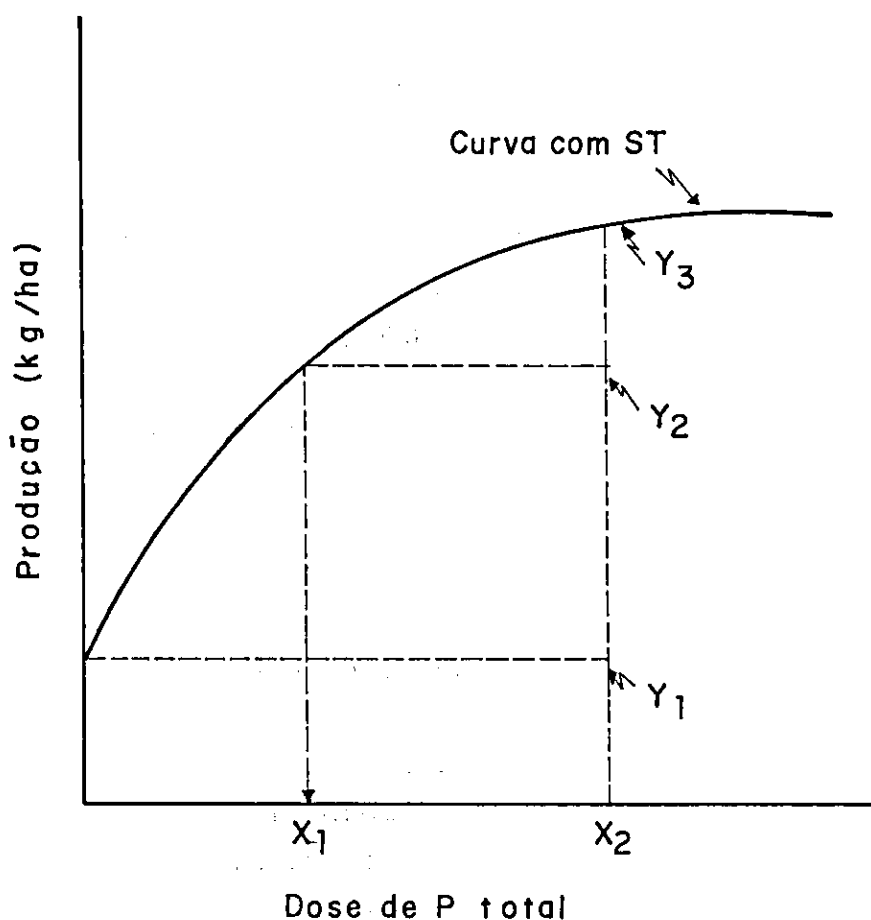


FIG. 4. Gráfico ilustrativo para o cálculo do Índice de Eficiência Agronômica (IEA) e do Equivalente em Superfosfato Triplo (EqST), quando uma fonte em teste produziu y_2 , na dose x_2 .

Por outro lado, este índice pode apresentar sérias limitações. Inicialmente, o seu cálculo se fundamenta em duas premissas nem sempre totalmente válidas, ou seja, a de que a quantidade de P nativo extraído é igual para todas as parcelas experimentais (tratamentos), e de que a resposta a adição de P é linear. A primeira premissa parece ser válida para solos extremamente pobres em fósforo, porém, pode ser problemática para solos em que o P nativo é responsável pela maior parte da produção. A segunda pode ser aceitável como verdadeira, se a dose de P selecionada se localiza na porção ascendente da curva de resposta a adubação fosfatada, o que exige o prévio conhecimento do comportamento do solo e da cultura.

Uma maneira de contornar as inconveniências da primeira premissa é calcular o IEA sem considerar o valor y_1 , ou seja, expressar o IEA apenas pela razão y_2/y_3 . Contudo, essa alternativa conduzirá a valores de IEA completamente diferentes, para a mesma fonte de P, quando obtidos em solos com diferente capacidade natural de suprir fósforo à planta.

6.2. Equivalente em superfosfato triplo (EqST)

O cálculo do EqST também é bastante simples, pois representa a relação percentual entre a dose de P na forma de ST e a dose de P da fonte testada, que correspondem à mesma produção. Conforme mostrado na Fig. 4, este índice pode ser assim expresso:

$$\text{EqST (\%)} = \frac{x_1}{x_2} \times 100$$

x_1 = dose de P total na forma de superfosfato triplo necessária para se obter a produção y_2 .

x_2 = dose de P total da fonte em teste necessária para se obter a mesma produção y_2 .

Desse modo, para calcular este índice é necessário que se conheça a curva de resposta com a fonte de referência. Embora isso seja mais trabalhoso, tem a vantagem de atenuar as limitações discutidas para o cálculo do IEA, ou seja, leva-se em consideração a forma real da curva de resposta. Assim sendo, o EqST é um índice mais preciso; contudo, sua validade também depende da localização na curva de resposta e da produção obtida com a dose escolhida para a fonte em teste. Em resumo, a relação x_1/x_2 deve ser similar para qualquer ponto da curva de resposta.

6.3. Dosagem de fósforo

Quando se utiliza apenas uma, ou mesmo duas doses da fonte em teste, é muito importante selecionar a dose mais apropriada. No Brasil, o uso de doses que se localizam em porções diferentes da curva de resposta tem sido a principal causa de confusões e más interpretações de resultados experimentais. Para exemplificar esse aspecto, procura-se reproduzir na Fig. 5 curvas de resposta comumente obtidas para duas fontes de fósforo, superfosfato triplo e outra fonte alternativa.

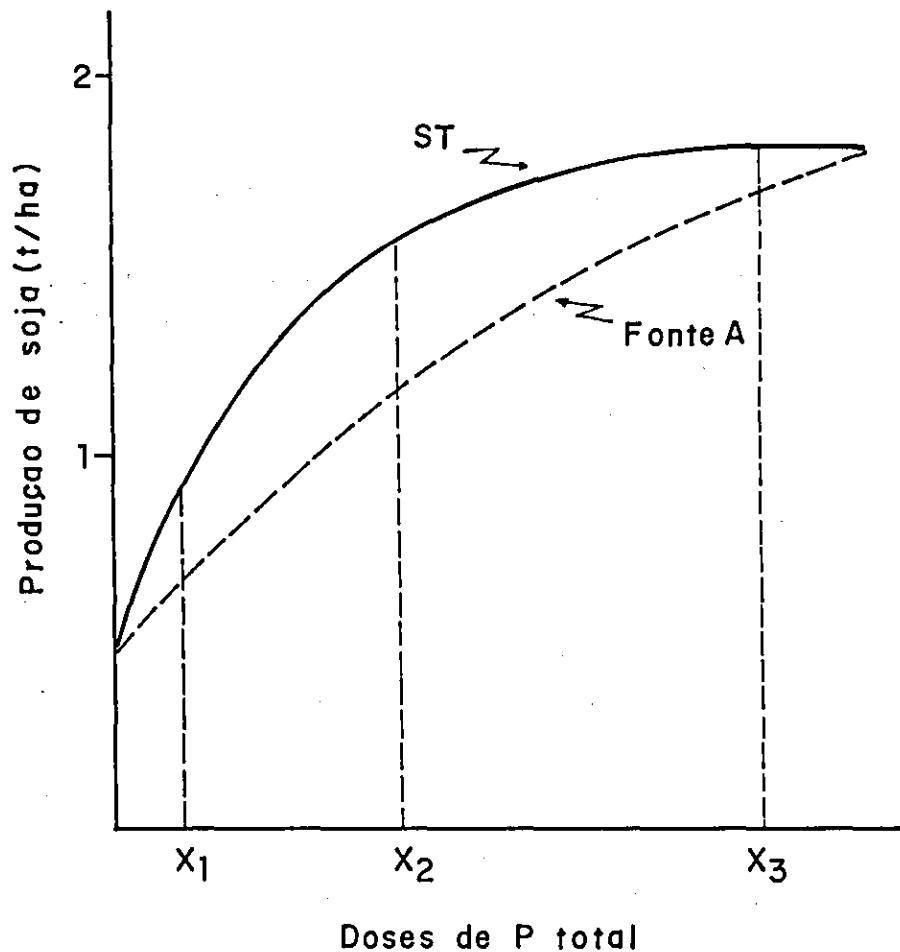


FIG. 5. Curvas de resposta típicas para o ST e uma fonte alternativa.

Com o auxílio deste gráfico pode-se calcular o IEA ou o EqST para qualquer ponto das curvas. Para ilustrar a discussão, foi calculado o IEA para três doses de P total aplicado, ou seja, x_1 , x_2 e x_3 (Fig. 5). Os valores obtidos foram aproximadamente de:

$$\text{IEA } (x_1) = 36\%$$

$$\text{IEA } (x_2) = 60\%$$

$$\text{IEA } (x_3) = 90\%$$

Assim, valores completamente diferentes podem ser obtidos para a mesma fonte de fósforo. Este exemplo é auto-explicativo sobre a dificuldade de se comparar resultados (principalmente valores de IEA) obtidos por diferentes pesquisadores e sem o conhecimento prévio do comportamento do solo.

Por outro lado, a ilustração da Fig. 5 mostra que a escolha de doses muito baixas ou muito elevadas pode invalidar as conclusões, já que as diferenças de produção entre as fontes são muito pequenas e, por isso, as suas relações ficam sujeitas a grandes variações. Adicionalmente, a escolha de doses muito elevadas (doses que resultam em produções próximas ao teto máximo da curva de resposta) é um erro grave, pois não permite comparar as fontes. Esse tipo de problema também pode ocorrer quando o experimento é instalado em um solo com pouca resposta a fósforo, independentemente da fonte a ser testada, já que qualquer dose levará a produções próximas ao teto máximo.

Quando fontes de fósforo completamente diferentes são comparadas no mesmo experimento, inevitavelmente surgirão essas dificuldades de interpretação dos resultados, se for utilizada apenas uma dose de P, baseado no teor de P total de cada fonte. Esse problema pode ser contornado pelo cálculo da dose baseando-se no teor de P solúvel em ácido cítrico, mas calculando-se o IEA com base no teor de P total.

6.4. Comparação de curvas de resposta

O estudo da eficiência agronômica de fontes de fósforo, baseado em resultados experimentais obtidos com apenas poucas doses de P aplicado, apresenta limitações. A estratégia para solucionar esse problema é a obtenção e a comparação de curvas de resposta completas para todas as fontes. Logicamente, isso só é viável com um número pequeno de fontes, conforme sugerido para a terceira etapa do processo de avaliação.

Na Fig. 6 são apresentadas duas curvas de resposta hipotéticas para duas fontes de fósforo, entre as doses de fósforo x_0 e x_1 . Com estes resultados, pode-se calcular o índice de eficiência para

qualquer dose ou nível de produção. Porém, o mais importante é que, desse modo, é possível calcular a eficiência comparativa média, resultado mais interessante, considerando-se que cada produtor usará uma dose diferente.

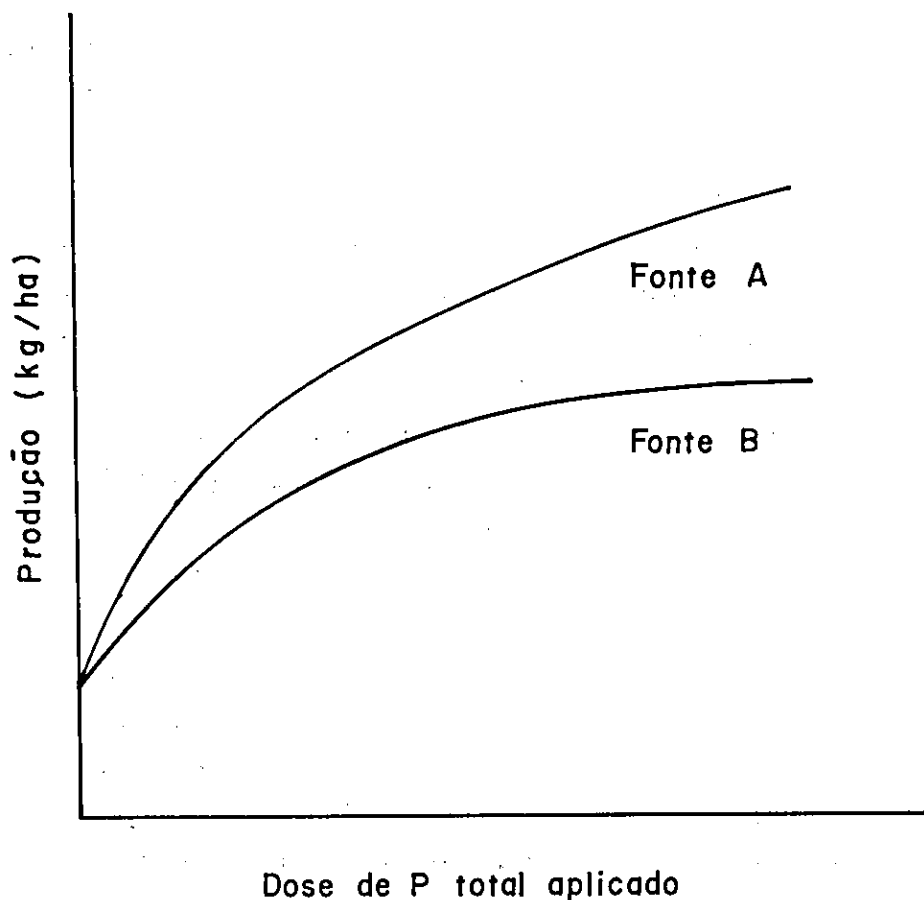


FIG. 6. Gráfico ilustrativo de curvas de resposta de duas fontes de fósforo.

A análise comparativa dessas curvas de resposta pode ser executada de várias formas, exigindo apenas facilidade de análise estatística. Uma maneira relativamente simples requer a obtenção das equações que melhor descrevam cada curva. Considerando, principalmente, a parte

da curva de maior resposta a adição de P, a equação que parece se adequar melhor é a da forma:

$$y = a + bx^{1/2}$$

y = produção

x = dose de fósforo aplicada

Desse modo, para a Fig. 6 teremos duas equações:

$$Y_{(A)} = a + b_{(A)} x^{1/2}$$

$$Y_{(B)} = a + b_{(B)} x^{1/2}$$

Neste caso, a relação de substituição para qualquer dose de P (representada matematicamente pela letra s), seria obtida pelo quociente dos quadrados dos gradientes das curvas, ou seja:

$$s = [b_{(B)}/b_{(A)}]^2$$

O índice EqST médio seria, então, dado pelo valor de s multiplicado por cem, na hipótese da fonte A representar o superfosfato triplo.

Evidentemente, outros tipos de equações e comparações podem ser utilizados, dependendo das formas das curvas de resposta. Se as respostas se apresentam lineares ($y = a + bx$), o valor s representa o quociente dos gradientes das respostas.

O estudo comparativo entre curvas de resposta pode se complicar, caso as fontes exibam forma de resposta muito diferenciada. A mesma complicação pode ocorrer se o efeito residual for diferente para cada fonte, embora se possa considerar a soma de todas as produções obtidas ao longo do tempo.

7 - CONCLUSÕES

As principais recomendações para a pesquisa que visa conhecer a eficiência agronômica de fontes de fósforo são:

- a) estabelecer e utilizar princípios metodológicos que permitam a comparação de resultados. Sem essa providência, será muito difícil analisar profundamente dados obtidos em diferentes locais;
- b) em estudos que objetivem recomendar o uso de fontes de fósforo para o produtor, deve-se obter a curva de resposta completa de cada fonte e avaliar seu efeito residual.

8 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALCARDE, J.C. & PONCHIO, C.O. Caracterização das solubilidades das rochas fosfatadas brasileiras e termofosfatos em diferentes extractores químicos. R.bras.Ci.Solo, 4:196-200, 1980.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Departamento de Produção Vegetal. Divisão de Corretivos e Inoculantes. Legislação da inspeção e fiscalização do comércio de fertilizantes, corretivos e inoculantes. Brasília, 1975. 87p.
- GOEDERT, W.J. & SOUSA, D.M.G. Avaliação preliminar da eficiência de fosfatos com acidulação parcial. Planaltina, EMBRAPA-CPAC, 1985. R.bras.Ci.Solo, 10:75-80, 1986.
- KOCHHANN, R.; ANGHINONI, I. & MIELNICZUK, J. Adubação fosfatada no Rio Grande do Sul e Santa Catarina. In: OLIVEIRA, A.; LONRENÇO, S. & GOEDERT, W.J., eds. Adubação fosfatada no Brasil. Brasília, EMBRAPA-DID, 1982. p.29-61.
- LEHR, J.R. & McCLELLAN, G.H. A revised laboratory reactivity scale for evaluating phosphate rock for direct application. Muscle Shoals, Tennessee Valley Authority, 1972. 36p. (Bulletin, Y-43).
- SALCEDO, I.H.; SAMPAIO, E.V.S.B. & ANDRADE, A. Fontes de fósforo e potássio na fertilização de milho em solo Podzólico Vermelho-amarelo. R.bras.Ci.Solo, 6:215-9, 1982.
- TERMAN, G.L.; BOULDIN, D.R. & WEBB, J.R. Evaluation of fertilizer by biological methods. Advances in Agronomy, 14:265-319, 1962.
- TERMAN, G.L. & ENGELSTAD, O.P. Agronomic evaluation of fertilizers: principles and practices. Muscle Shoals, Tennessee Valley Authority, 1976. 45p. (Bulletin, Y-21).