

SISTEMA DE INTERPRETAÇÃO DE ANÁLISE DE SOLO PARA RECOMENDAÇÃO DE NPK PARA A CULTURA DO MILHO

Fábio Torres de Carvalho¹
Roberto Ferreira de Novais²
Víctor Hugo Alvarez V.²
Nairam Félix de Barros²
Reinaldo Bertola Cantarutti²
Antonio F.C. Bahia Filho³

RESUMO

Com informações obtidas em literatura, foram ajustadas equações com o objetivo de desenvolver um sistema alternativo às tabelas atuais de interpretação de análise de solo e recomendação de fertilizantes. Para isso, um Sistema foi gerado de modo a permitir que a partir dessas equações fossem interpretadas informações relativas à disponibilidade de nutriente no solo, seu acúmulo na planta de milho e recomendação de fertilizantes NPK (SIR). Um fluxograma foi desenvolvido de modo a estabelecer uma seqüência de cálculos, com VI etapas. Na etapa I, utiliza-se a produção de grãos esperada para calcular a produção de matéria seca vegetativa; na etapa II, estima-se em base ao teor de nutriente o coeficiente de utilização biológico (CUB) dos compartimentos matéria seca vegetativa e grãos. Na etapa III obtém-se a demanda de nutriente pela divisão da matéria seca vegetativa e de grãos pelos respectivos valores de CUB de cada compartimento. Na etapa IV divide-se a demanda de nutriente pela taxa de sua recuperação pela planta para a estimativa do nível crítico do nutriente no solo para uma dada produtividade. O suprimento do nutriente via solo é calculado pela divisão de seu teor pela taxa de recuperação do extrator (D nutriente recuperado pelo extrator/D dose do nutriente aplicado). A etapa VI representa a diferença entre a demanda da cultura e o suprimento do solo, gerando a recomendação de fertilizantes, quando essa diferença for positiva. O método utilizado para calcular o N disponível no solo é dependente de variáveis como taxa de mineralização da matéria orgânica (MO) e N potencialmente mineralizável da MO. Também o suprimento de N via resíduos de culturas de cobertura é contabilizado pelo SIR. Valores estimados pelo Sistema foram comparados com aqueles indicados por tabelas de recomendação de Minas Gerais e de São Paulo. Houve tendência para o Sistema indicar recomendações superiores às estabelecidas pelas tabelas de uso atual. Isto se deve ao fato que o SIR considera no cálculo da recomendação, além dos nutrientes exportados, também os nutrientes contidos na matéria seca vegetativa. Depois do primeiro ano de cultivo, caso haja sucessão com o próprio milho, os nutrientes contidos nos restos da palhada de milho do cultivo anterior poderão ser contabilizados como suprimento via solo, o que deverá gerar doses menores de fertilizantes.

Palavras chave: tabelas de recomendação, nutriente, nível crítico, produtividade, Zea mays.

ABSTRACT

SOIL ANALYSIS INTERPRETATION SYSTEM FOR NPK RECOMMENDATION TO MAIZE CROPS

Based on literature information, equations were adjusted viewing the development of an alternative system for the currently used soil analysis interpretation tables and fertilizer recommendations. This system (SIR) was created in order to permit the interpretation of information related to nutrient availability in the soil, nutrient accumulation in maize plants and NPK recommendation. A common flow chart was developed for all nutrients. This flow chart is characterized by a sequence of calculations, with VI steps. The first step (I) utilizes the expected grain yield for calculation of the vegetative dry mass yield. In Step II the nutrient level or the biologic utilization coefficient (BUC)

¹ Fundação Centro Oeste de Apoio a Pesquisa Agropecuária, Primavera do Leste (MT). E-mail: ftorres.fco@terra.com.br

² Departamento de Solos. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG.

³ Embrapa Milho e Sorgo. Sete Lagoas, MG.

of dry matter and grains is estimated. In Step III, it is obtained the nutrient demand by dividing vegetative dry mass and grain yield by their respective BUC's. In Step IV, the nutrient demand is divided by the plant's nutrient recuperation rate in order to estimate the critical level of the nutrient for a given yield. The nutrient supply by the soil is indicated by the nutrient concentration/extractor recuperation rate relationship (D extractor nutrient recuperation/D applied nutrient dose). Step VI represents the difference between the crop's nutrient demand and the amount supplied by the soil, giving the fertilizer recommendation when this difference is positive. The method used for calculating soil available N depends on variables such as organic matter (OM) mineralization rate and the potential mineralization of OM nitrogen. The N supply through crop residues is also computed by the RIS. The values estimated by the System were compared with the recommendation tables used in the Minas Gerais and São Paulo States, in Brazil. There was a tendency of higher recommendations by the System than by currently used tables. This difference can be attributed to the fact that SIR considers in the calculation of recommendation, the nutrients present in the vegetative dry matter as well as the exported nutrients. After the first year, if the area is cropped again with maize, the nutrients contained in the organic residues of the preceeding year can be accounted as nutrient supply by the soil, reducing fertilizer recommendations.

Key words: recommendation tables, nutrient, critical level, yield, *Zea mays*.

INTRODUÇÃO

Com as facilidades de uso do computador sistemas de interpretação de análise de solo para recomendação de fertilizantes são cada vez mais comuns. A atividade científica é dotada de ferramentas capazes de a cada pesquisa contribuir com novas informações para melhor aperfeiçoar sistemas e tabelas de recomendação. Agrupar essas novas variáveis estudadas em tabelas dificulta o desdobramento das interpretações. Agrupar variáveis em equações de regressão contribui para melhor ajuste nas doses recomendadas para eficiente aproveitamento pela planta dos fertilizantes recomendados.

Um dos procedimentos na modelagem dos sistemas é a de não trabalhar com faixas de teor para estimar a disponibilidade do nutriente no solo, como as tabelas de recomendação de uso atual, e sim estimar a disponibilidade de um nutriente utilizando o seu teor no solo dividido pela sua taxa de recuperação (D nutriente recuperado pelo extrator/D dose do nutriente aplicado).

Algumas dificuldades encontradas nas tabelas de recomendação e similarmente na modelagem é quantificar o N oriundo da matéria orgânica que pode ser contabilizado como suprimento de N via solo. O N contido na matéria orgânica do solo, apesar de não ser prontamente disponível para a planta, constitui uma das principais fontes do nutriente no solo.

A demanda de cada nutriente pode ser estimada a partir da produtividade esperada e do coeficiente de utilização biológico (CUB). O CUB corresponde ao

inverso da concentração do nutriente no tecido analisado, e expressa-se em kg kg^{-1} (Barros *et al.*, 1986).

Em trabalho desenvolvido por Silva (1990), relata-se que o P absorvido pelas plantas de sorgo varia entre solos. Esse autor observou ainda que quando não se aplicou P foram obtidos os maiores valores de CUB, mostrando que as plantas utilizaram o P com maior eficiência quando este se encontra em menor disponibilidade no solo. Em outro experimento, Muniz *et al.* (1985), trabalhando com soja, mostraram que valores de CUB são maiores nos solos com elevado fator capacidade (FC). Para esses solos, esses autores mencionaram a importância de utilização de plantas mais eficientes em absorver e, ou, utilizar P. Resultados semelhantes foram obtidos em diversas outras pesquisas, para diferentes espécies de plantas (Novais *et al.*, 1982; Fonseca *et al.*, 1988).

O teor de argila do solo tem sido uma das características que mais se relaciona com as variações dos níveis críticos (NCrs) de P nos solos e na planta. Normalmente, esses NCrs relacionam-se de maneira inversa com o teor de argila (Freire *et al.*, 1979; Alvarez V., 1982; Bahia Filho *et al.*, 1983).

Devido à estreita correlação do FC do solo com o P remanescente (PR-60), este se presta muito bem para estimar os NCrs de P e sua taxa de recuperação pelo extrator e pela planta, como função do P adicionado ao solo (Novais, 1977; Alvarez V., 1982; Neves *et al.*, 1987). O P remanescente é uma medida do FC de P, representada

pelo teor de P da solução de equilíbrio, determinado após a agitação durante 1 h de uma amostra de solo com solução de CaCl_2 $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ contendo 60 mg L^{-1} de P, na relação solo: solução de 1:10 (Alvarez V. *et al.*, 2000).

O conhecimento de características como o FC de P do solo, além do teor determinado por extratores, é indispensável na modelagem de recomendação de adubação fosfatada (Novais & Smyth, 1999). Nessa linha de pesquisa, Muniz *et al.* (1985) verificaram que características químicas dos extratores condicionam diferenças nos teores de P recuperado do solo, decorrentes da exaustão, ou desgaste do extrator, diante da característica de adsorção do nutriente relacionada ao FC do solo.

Este trabalho teve como objetivo desenvolver um Sistema de interpretação de análise de solo para recomendar fertilizantes para a cultura do milho (SIR).

MATERIAL E MÉTODOS

O Sistema para interpretar análise de solo e recomendar fertilizantes (SIR) apresenta procedimentos que serão descritos em várias etapas, as quais reúnem informações necessárias para compor sua seqüência de cálculo.

Apesar das características específicas do cálculo para recomendação de cada nutriente, é apresentado um esquema básico, comum, que contempla os modelos para todos os nutrientes considerados (Figura 1).

Na etapa I, estima-se a quantidade de matéria seca vegetativa produzida (MSV) como função da produtividade de grãos esperada. A equação que relaciona MSV em função da produtividade de grãos foi obtida a partir do trabalho de Coelho (1991).

Na literatura, foram obtidos os níveis críticos dos nutrientes N, P e K na planta ($\text{NCr}_{\text{planta}}$) (Etapa II). Os teores dos nutrientes correspondentes aos $\text{NCr}_{\text{planta}}$ foram transformados em coeficiente de utilização biológico (CUB), obtendo-se assim os valores de CUB da MSG e o da MSV.

Para o caso particular do P, que apresenta teor na planta variável com o FC, os valores de CUB foram corrigidos de acordo com o P remanescente (PR-60). A variação do $\text{NCr}_{\text{planta}}$ de acordo com o PR-60 estabelece CUBs diferenciados. Para tal, foi necessário ajustar uma equação que relacione $\text{NCr}_{\text{planta}}$ com PR-60.

Para obter a diferenciação do CUB, o SIR utiliza uma seqüência de cálculo onde o CUB médio corresponde

ao inverso do $\text{NCr}_{\text{planta}}$ médio, que é obtido pela equação para um PR-60 médio igual a 30 mg L^{-1} , então, multiplicam-se os valores médios de $\text{NCr}_{\text{planta}}$ com os de PR-60 e em seguida divide-os pelo $\text{NCr}_{\text{planta}}$ estimado a partir do PR-60 do solo a ser utilizado no cultivo de milho.

O cálculo da demanda de nutriente na planta (Etapa III) foi feito dividindo-se a quantidade de MSG e de MSV pelos seus respectivos valores de CUB.

A taxa de recuperação do nutriente aplicado como fertilizante foi calculada pela diferença da quantidade de nutriente acumulado na planta em resposta à aplicação de uma determinada dose e de seu acúmulo na dose zero, dividida pela dose aplicada. A variação da taxa de recuperação para o P foi estimada em função do valor do PR-60.

A quantidade do nutriente no solo, necessária para uma dada produtividade (Etapa IV), foi estimada pela divisão da quantidade de nutriente demandada (Etapa III) pela respectiva taxa de recuperação pela planta.

O valor do NCr do nutriente no solo para uma dada produtividade (NCr_{Prod}) foi estimado (Etapa IV), multiplicando-se a demanda de nutriente (Etapa III) pela taxa de recuperação do extrator, obtida a partir da regressão que relaciona os teores do nutriente

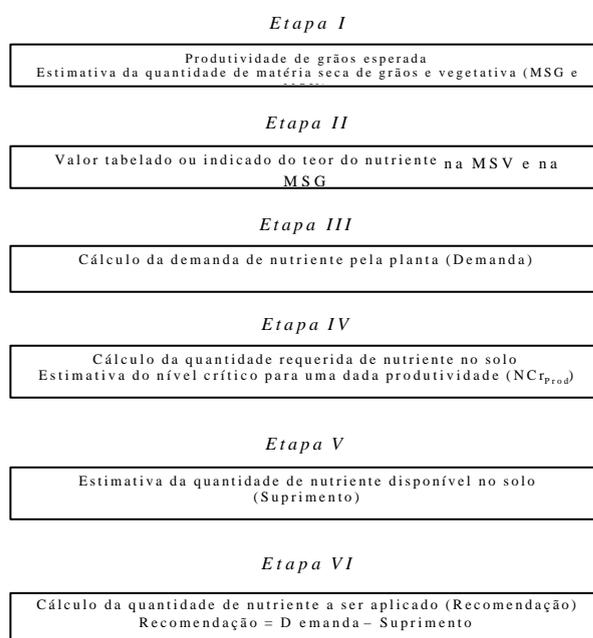


Figura 1. Etapas de cálculos utilizadas pelo Sistema de interpretação de análise de solo para recomendação de fertilizantes (SIR) para a cultura do milho.

recuperado pelo extrator com dose do nutriente aplicado (D nutriente recuperado pelo extrator/D dose do nutriente aplicado).

O suprimento de nutriente no solo, disponível para a planta, foi calculada dividindo-se o seu teor no solo pela respectiva taxa de recuperação do extrator (Etapa V).

Por não haver método de análise de rotina para estimar o N disponível, a disponibilidade do N no solo foi calculada pelo modelo de Stanford & Smith (1972) utilizando o teor de matéria orgânica (MO) como variável que determina o suprimento de N do solo. O suprimento de N total do solo é constituído pelo N da MO mais o N dos restos culturais.

A dose de fertilizante foi calculada pela diferença entre a exigência (demanda) da planta, para uma dada produtividade, e o suprimento deste nutriente disponível no solo (Etapa VI).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Determinação do coeficiente de utilização biológico (CUB) de nutrientes e do CUB corrigido em função do P remanescente

Os valores dos coeficientes de utilização biológica dos nutrientes (CUB) da matéria seca vegetativa (MSV) e da matéria seca de grãos (MSG) são utilizados no

Sistema de interpretação (SIR) (Tabela 1).

Para o nutriente P, o seu acúmulo na planta varia com o FC, sendo assim, no SIR utiliza-se função para essa correção, o que se denomina CUB_{corrigido} (Muniz *et al.* 1985; Freire *et al.* 1985; Neves *et al.* 1987; Novais & Smyth, 1999).

Para desenvolver a equação que relaciona NCr_{planta} como função do PR-60, os valores extremos da faixa de nível crítico na planta (NCr_{planta}), encontrados na literatura (Coelho & França, 1995), foram relacionados com os valores extremos de PR-60. O NCr_{planta} inferior foi relacionado com PR-60 baixo (3 mg L⁻¹) e o NCr_{planta} superior foi relacionado com PR-60 alto (40 mg L⁻¹). O valor de NCr_{planta} de P é estimado pela equação $NCr_{planta} = 0,1314 + 0,0062 (PR-60)$. Para fundamentar o modo pelo qual a equação foi ajustada, trabalhos de Muniz *et al.* (1985), Freire *et al.* (1985) e Neves *et al.* (1987), serviram de base, pois esses autores observaram que o NCr_{planta} variava inversamente com o fator capacidade (FC) ou seja, NCr_{planta} altos foram obtidos para solos com baixo FC, e vice-versa.

A demanda do nutriente pela planta é calculada pela divisão da produtividade pelos respectivos valores de CUB da MSV e da MSG para cada nutriente. O cálculo da quantidade de matéria seca vegetativa (MSV) produzida foi obtido a partir de uma equação que relaciona a

Tabela 1. Nível Crítico médio (NCr) dos nutrientes e coeficiente de utilização biológico (CUB) médio para matéria seca vegetativa (MSV) e de grãos (MSG) da cultura do milho obtidos durante a fase de maturação fisiológica da planta

Nutriente	NCr MSV	CUB MSV ⁽³⁾	NCr MSG	CUB MSG ⁽⁴⁾
	dag kg ⁻¹	kg kg ⁻¹	dag kg ⁻¹	kg kg ⁻¹
N ⁽¹⁾	0,704	142	1,176	85
P ⁽²⁾	0,070	1.428	0,403	248
K ⁽²⁾	0,820	121	0,490	204

Fonte: ⁽¹⁾ Barber & Olson (1969). ⁽²⁾ Andrade *et al.* (1975). ⁽³⁾ kg de MSV por kg de nutriente. ⁽⁴⁾ kg de MSG por kg de nutriente

Tabela 2. Equações que estimam a razão matéria seca vegetativa (MSV) e de grãos (MSG) (kg ha⁻¹/kg ha⁻¹) em função da produtividade de grãos (Prod., em kg ha⁻¹) e o valor do P remanescente (PR-60, em mg L⁻¹) em função do teor de argila (Arg, em %)

Equação	R ²
$MSV/MSG = 1,371783 + 0,000037 \cdot \text{Prod.}^{(1)}$	0,939
$PR-60 = 78,407 - 15,975 \cdot \text{Ln Arg.}^{(2)}$	0,656

** significativo a 1% pelo teste t.

Fonte: ⁽¹⁾ Coelho (1991). ⁽²⁾ Delazari (1979); Silva (1986), Fonseca (1987); Guss (1988); Silva (1990); Mello (1991); Dias (1992); Farnes Rojas (1992); Rodrigues (1993); Campello (1993); Villani (1995); Freire (1996); Rivas Yuapanqui (1997); Freitas (1998); Ferreira (1998); Oliveira (1998) e Rolim (1998).

produtividade com a razão MSV/MSG (Tabela 2).

Caso o usuário do SIR não tenha condição de lhe informar o valor de PR-60 do solo, ajustou-se uma equação que é capaz de estimá-lo a partir do teor de argila (Tabela 2). O R² da equação é baixo, indicando que o teor de argila, por si só, não é suficientemente adequado para estimar o FC, que é melhor estimado pelo PR-60 (Novais *et al.*, 1982; Alvarez V. *et al.*, 2000).

Recuperação, pelo extrator, do nutriente aplicado ao solo como fertilizante

Para o P a taxa de recuperação do extrator (TREx) varia com o PR-60. Deste modo, o PR-60 permite estimar a TREx para P para os extratores Mehlich-1 e Resina. Todavia, os coeficientes de determinação das equações foram baixos, indicando o envolvimento de outras características sob a medida do FC dos solos. A amplitude de variação da TREx para o Mehlich-1 é superior ao da Resina. Os valores de recuperação quando simulados com as equações tabela 3, para condições de PR-60 de 3 a 40 mg L⁻¹, variaram de 0,0578 a 0,398 para o Mehlich-1 e de 0,194 a 0,320 (mg dm³/mg dm³) para a Resina, respectivamente.

Apesar de estar demonstrado, experimentalmente,

que a Resina é pouco sensível ao FC do solo, a equação ajustada mostrou efeito significativo do PR-60 sobre a taxa de recuperação de P pela Resina. (Tabela 3).

O fato do coeficiente linear (D K recuperado pelo extrator Mehlich-1 / D dose aplicada) não apresentar valor igual ou próximo a um (Tabela 3) é explicado, teoricamente, pela possível migração deste elemento para "zonas em cunha" de micas intemperizadas (Kirkman *et al.*, 1994; Melo, 1998), quando o K é aplicado como fertilizante no solo. Cátions com menor energia de hidratação, como o K, podem perder água de hidratação e penetrar mais profundamente nas cunhas, atingindo locais mais estreitos (sítios de adsorção específica), com menor reversibilidade do processo.

Taxa de recuperação do nutriente pela planta

Dividindo-se a demanda do nutriente pela sua taxa de recuperação pela planta, obtém-se o suprimento necessário do nutriente disponível no solo para uma determinada produtividade. A taxa de recuperação do P pela planta varia de acordo com o fator capacidade do solo (PR-60). A taxa de recuperação de N pela planta diminui com o aumento da dose aplicada (Tabela 4), tendo-se como fonte a uréia ou sulfato de amônio.

Para se ajustar equações que estimam a taxa de

Tabela 3. de recuperação dos nutrientes pelo extrator (TREx, em mg dm⁻³/mg dm⁻³) em função do PR-60; ou em função do nutriente aplicado (mg dm⁻³)

Nutriente	Extrator	Equação	R ²
P ⁽¹⁾	Mehlich-1	TRExP = 0,0302 + 0,0092*** PR-60	0,791
P ⁽²⁾	Resina	TRExP = 0,1847 + 0,0034*** PR-60	0,720
K ⁽³⁾	Mehlich-1	K rec. = 5,0564 + 0,7605*** K apl.	0,958

*** significativo a 0,1%, pelo teste t.

Fonte: ⁽¹⁾Fonseca (1987); Guss (1988); Rolim (1998); Novelino (1999). ⁽²⁾Gonçalves (1988); Moreira (1988); Moura Filho (1990); Campello (1993). ⁽³⁾Andrade (1976); Morais (1999).

Tabela 4. Equações que estimam a taxa de recuperação pela planta (TRpl) do nutriente (%) em função das doses aplicadas ao solo (kg ha⁻¹), ou, do PR-60 (mg L⁻¹)

Nutriente	Equação	R ²	Planta	Local ⁽¹⁾
P ⁽²⁾	TRpl = 3,3838 + 0,2595 ** PR-60	0,998	Sorgo	cv
N ⁽³⁾	TRpl = 72,95 - 0,164 ** N apl.	0,940	Milho	campo
K ⁽⁴⁾	TRpl = 70,598 - 0,150 *** K apl.	0,953	Milho	campo

***, ** significativo a 1 e 0,1 %, pelo teste t, respectivamente. ⁽¹⁾cv: casa de vegetação.

Fonte: ⁽²⁾Silva (1990). ⁽³⁾Coelho *et al.* (1992). ⁽⁴⁾Ritchey *et al.* (1979) e Raij *et al.* (1981).

recuperação de alguns nutrientes pela planta (TRpl), utilizaram-se informações de trabalhos conduzidos em casa de vegetação e onde os adubos são incorporados a todo volume de solo. Na falta de informações para a cultura do milho, em certos casos, como o do P, utilizou-se a taxa de recuperação da cultura do sorgo. Para valores de PR-60 de 3 e 40 mg L⁻¹ estima-se por meio da equação apresentada na tabela 4, as taxas de recuperação de P, aplicado em todo volume de solo, de 4,16 a 13,76%, respectivamente.

Para o K, a taxa de recuperação pela planta foi obtida a partir de estimativas que envolveram doses do nutriente, produtividade de grãos e conteúdo na planta. A quantidade de nutriente acumulado na planta (conteúdo) foi obtida dividindo-se os valores de produtividade de grãos pelos respectivos CUB da MSG e da MSV. Para o K, as informações sobre respostas de produtividades frente à aplicação de K foram obtidas em experimentos de campo conduzidos por Ritchey *et al.* (1979) e Raj *et al.* (1981). Por meio da diferença entre a quantidade acumulada com a aplicação do K e a quantidade acumulada com a dose zero, e dividido-a pela dose aplicada, obtém-se a taxa de recuperação pela planta para determinada dose. Com isso, ajustou-se uma regressão relacionando taxa de recuperação de K pela planta em função das doses de K aplicadas (Tabela 4).

Estimativa da disponibilidade de nitrogênio no solo

Para estimar o suprimento de N, utilizaram-se equações de cinética de mineralização da matéria orgânica (MO) dos solos brasileiros, segundo Parentoni *et al.* (1988) e Vasconcellos *et al.* (1999), empregando o modelo de Stanford & Smith (1972):

$$N_m = V_s N_t 0,0148 e^{0,042t}$$

$$N_m = [2.000.000 \times \text{d.a.} \times (\text{MO}/100/20) \times 0,0148] e^{0,042t}$$

em que:

$$N_m = N \text{ mineralizável}$$

V_s = massa do solo na camada de 0-20 cm, (2.000.000 dm³ de solo vezes a densidade aparente do solo, d.a., em kg dm⁻³).

O valor de N_t pode ser estimado a partir do teor de matéria orgânica (MO) pela relação MO/20.

1,48% = estimativa do N potencialmente mineralizável a partir do nitrogênio total (N_t), obtido por Parentoni *et al.* (1988), para trinta solos do Rio Grande do Sul.

e = base do logaritmo neperiano;

0,042 semana⁻¹ = constante de mineralização. Valor estimado para um Latossolo Vermelho-Escuro fase cerrado (Vasconcellos *et al.*, 1999).

t = tempo em semanas. Segundo Andrade *et al.* (1975), a absorção de N pelo milho inicia-se, aproximadamente, aos 20 dias após a emergência, chegando até ao redor dos 110 dias. Para este trabalho, considerou-se o tempo médio de 14 semanas o período de maior absorção de N pelas plantas de milho.

Disponibilidade de nutrientes oriundos de restos culturais

Neste trabalho, adequou-se ao SIR A condição de poder calcular o suprimento de nitrogênio dos restos culturais de espécies de cobertura à cultura sucessora. Utilizou-se para isto a equação desenvolvida por Amado *et al.* (2000) para estimar a quantidade de N suprida pelos resíduos das culturas de cobertura (N_{cc}) ao plantio seguinte de milho.

$$N_{cc} = 5,066 + 0,1334 \times N_{ft} - 0,424 \times C/N$$

em que

N_{cc} = N na cultura de cobertura, quantidade de N suprida pela cultura de cobertura, em kg ha⁻¹

N_{ft} = N da fitomassa, conteúdo de N na matéria seca vegetativa das culturas de cobertura, em kg ha⁻¹.

C/N = Relação dos teores de C e N na cultura de cobertura.

Recomendação de N, P e K pelo SIR e comparação a outros sistemas

A amplitude de variação do $N_{Cr_{prod}}$ obtidos pelo Mehlich-1 e pela Resina em função do PR-60 foram bastante diferentes, e está na ordem de 15,5 a 82,0 mg dm⁻³ para o Mehlich-1 e de 52,2 a 66,0 mg dm⁻³ para a Resina, para uma produtividade de 10.000 kg ha⁻¹ de grãos e valores de PR-60 de 3 a 40 mg L⁻¹, respectivamente (Figuras 2 e 3). Esta diferença pode ser relacionada ao fato da taxa de recuperação para Resina ser menos sensível à variação do PR-60.

As doses de P₂O₅ recomendadas pelo SIR, para diferentes produtividades, teor de P no solo pelos extratores e PR-60 encontram-se na faixa de 0 a 239 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (Figura 3). A dose extrema de 239 kg ha⁻¹ de P₂O₅ foi para condição de produtividade de 13.000 kg ha⁻¹.

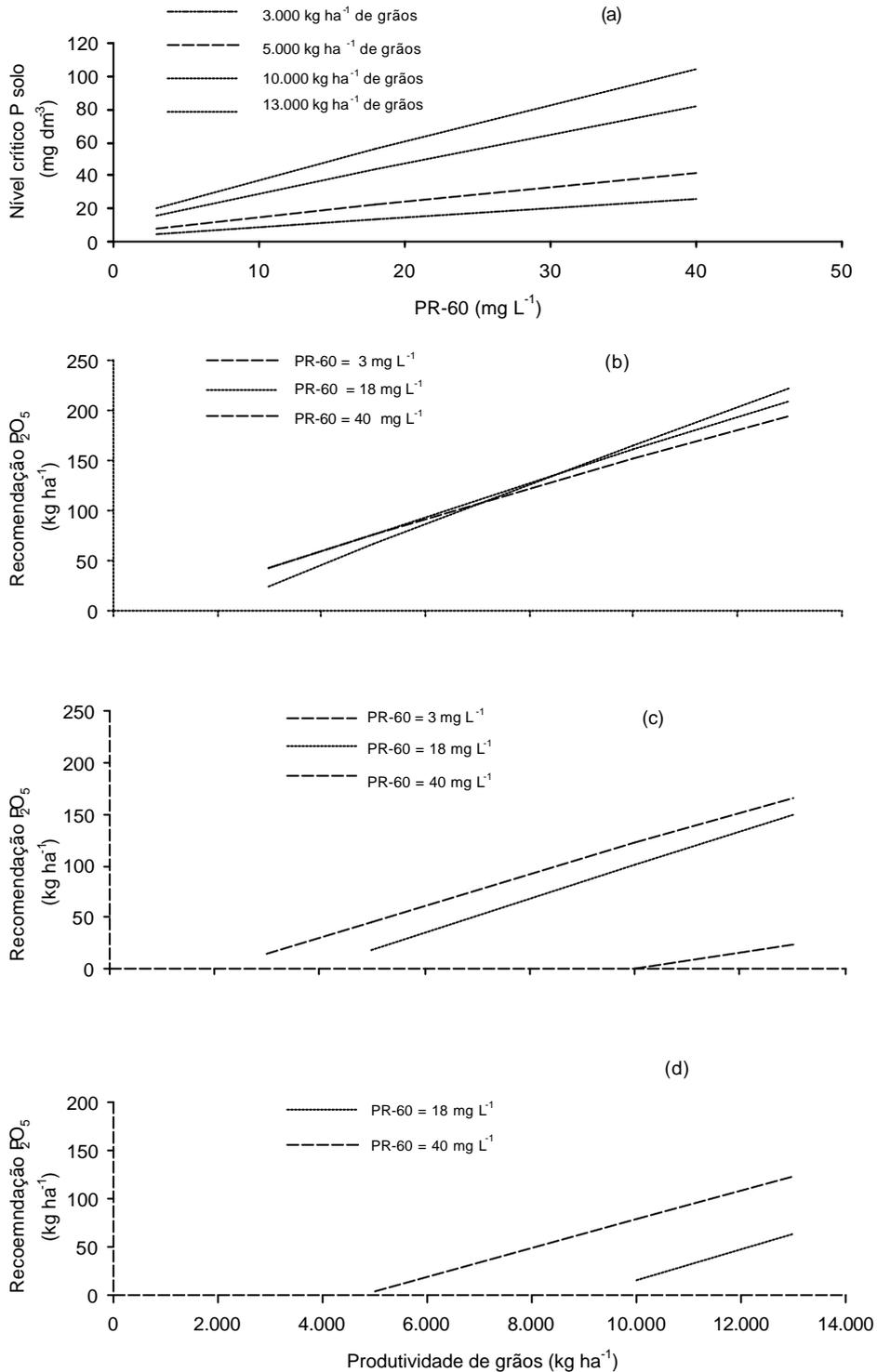


Figura 2. Níveis críticos de fósforo em função da produtividade de grãos e do PR-60 (a); e doses de P a ser aplicada no sulco de plantio, como função da produtividade de grãos, do PR-60 e do teor de P disponível no solo igual a 5 (b), 18 (c) e 40 mg dm⁻³ (d), pelo extrator Mehlich-1

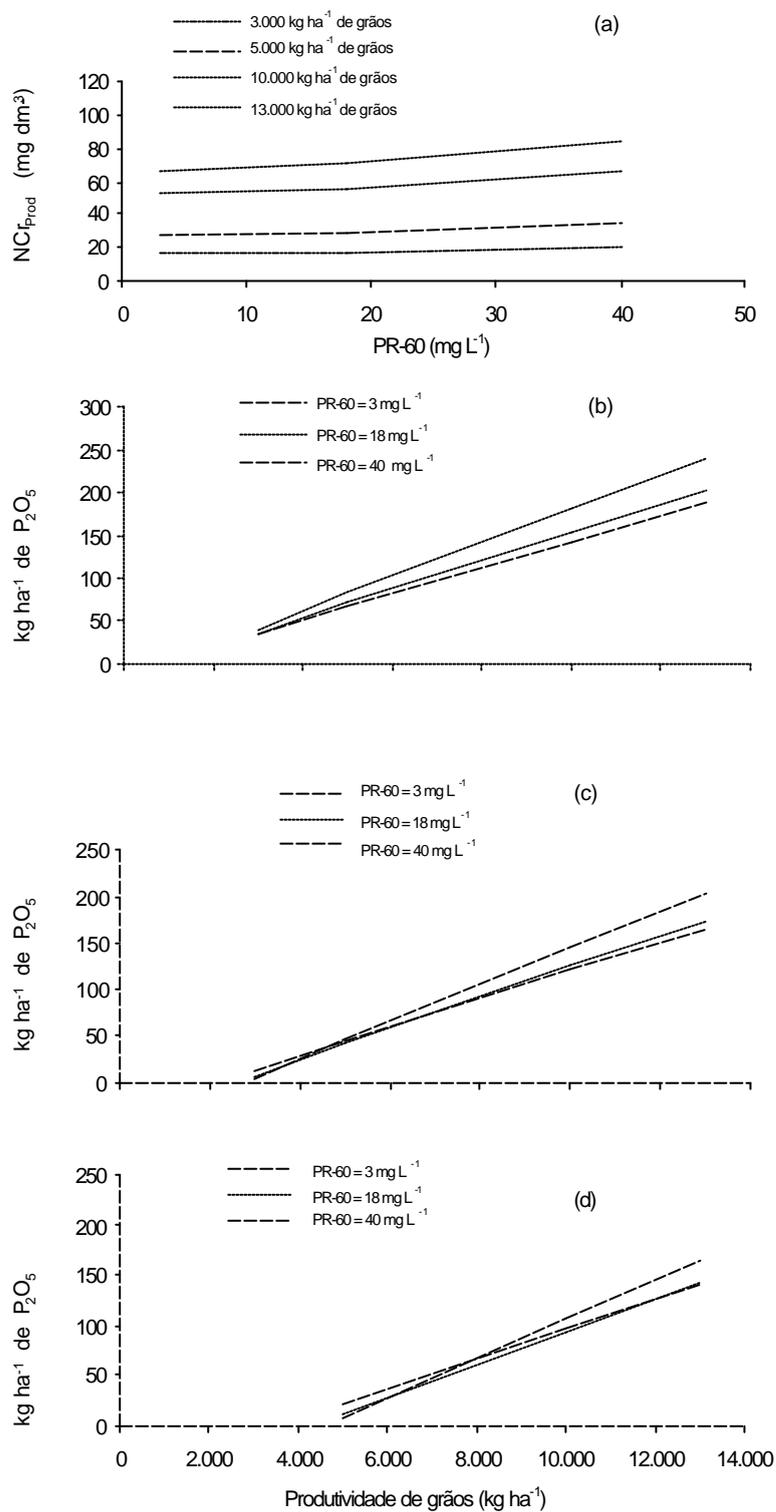


Figura 3. Níveis críticos de fósforo em função da produtividade de grãos e do PR-60 (a); e doses de P a ser aplicada no sulco de plantio, como função da produtividade de grãos, do PR-60 e do teor de P disponível no solo igual a 5 (b), 15 (c) e 25 $mg\ dm^{-3}$ (d), pelo extrator Resina

¹ de grãos, PR 60 igual a 40 mg L⁻¹ e teor no solo de 6 mg dm⁻³ (Resina). Nessas mesmas condições de produtividade e PR-60, porém com teor no solo de 5 mg dm³ pelo Mehlich-1 a dose recomendada foi de 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (Figura 2).

Ao estabelecer produtividades de 3.000 a

13.000 kg ha⁻¹, o NCr_{Prod} de K variou de 32,4 a 134,9 mg dm³ (Figura 4). Para um teor baixo de K no solo (20 mg dm³, Mehlich-1), a recomendação indicada pelo SIR varia de 40 a 364 kg ha⁻¹ de K₂O para produtividades de 3.000 a 13.000 kg ha⁻¹ (Figura 4).

A recomendação da adubação nitrogenada para a

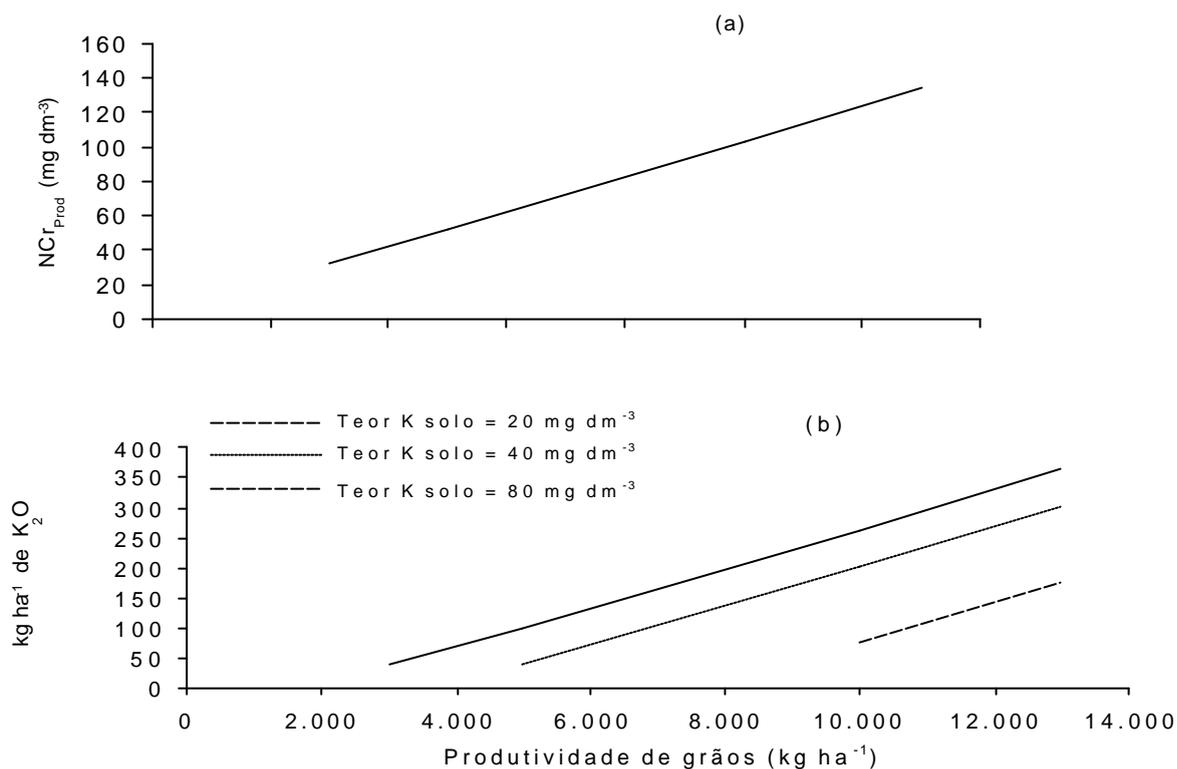


Figura 4. Níveis críticos de K no solo em função da produtividade de grãos (a); e doses de K₂O a serem recomendadas como função da produtividade de grãos e do teor de K disponível no solo pelo Mehlich-1 (b)

cultura do milho varia segundo Coelho *et al.* (1991), em média, de 60 a 100 kg ha⁻¹. Em agricultura de alta tecnologia, com elevadas produtividades, estas doses seriam insuficientes pois, neste caso, são necessárias doses de 150 a 200 kg ha⁻¹ de N (Coelho *et al.*, 1991). A recomendação de N para a cultura do milho indicada por Alves *et al.* (1999) varia de acordo com a produtividade, sendo de 80 a 150 kg ha⁻¹ para produtividades de 5.000 a 10.000 kg ha⁻¹. Para essa mesma produtividade, o SIR recomenda de 83 a 234 kg ha⁻¹ para solos com teor de MO de 2,5 dag kg⁻¹ (Figura 5).

A comparação entre os sistemas utilizados para recomendar fertilizantes indica diferenças entre os valores estimados pelo SIR e as recomendações

indicadas por Alves *et al.* (1999) e Raij *et al.* (1996). Nota-se que a recomendação proposta pelo SIR apresenta valores, em geral, superiores aos recomendados pelas tabelas apresentadas por Alves *et al.* (1999) e Raij *et al.* (1996) (Tabela 5). Isto se deve ao fato que o SIR considera no cálculo da recomendação, além dos nutrientes exportados, também os nutrientes contidos na matéria seca vegetativa. Depois do primeiro ano de cultivo, caso haja sucessão com o próprio milho, os nutrientes contidos nos restos da palhada de milho do cultivo anterior poderão ser contabilizados como suprimento via solo, o que deverá gerar doses menores de nutrientes.

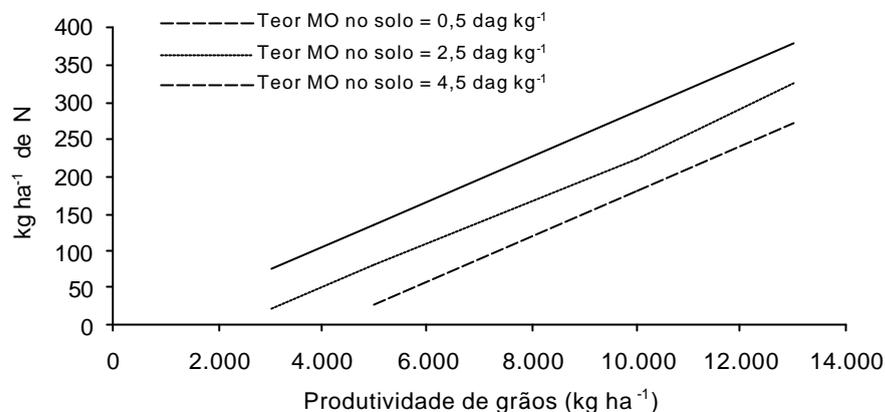


Figura 5. Doses recomendadas de N em função da produtividade e do teor de MO do solo

Tabela 5. Interpretação de análise de solo e recomendações de N, P e K para oito solos (1 a 8), segundo o Sistema proposto (SIR) comparativamente à 5ª Aproximação e ao Boletim 100. Nessa simulação utilizaram-se as informações: cultura anterior ervilhaca comum; produtividade do milho 8.000 kg ha⁻¹ de grãos

Análise química	Solo							
	1	2	3	4	5	6	7	8
MO (dag kg ⁻¹)	1,81	2,75	3,67	2,89	0,75	0,75	5,94	3,56
PR-60 (mg L ⁻¹)	36,1	18,7	4,6	20,8	37,0	35,0	7,7	13,6
P-R (mg dm ⁻³) ⁽¹⁾	0,9	0,6	1,5	6,0	10,0	6,9	6,3	10,3
P-M _i (mg dm ⁻³) ⁽²⁾	1,1	0,9	0,8	4,4	11,0	5,0	8,0	15,0
K-M _i (mg dm ⁻³) ⁽²⁾	14,0	32,0	3,9	40,0	28,0	23,0	12,0	139,0

	Recomendação											
	Solo 1			Solo 2			Solo 3			Solo 4		
	Bol. 100 ⁽³⁾	5ª Aprox. ⁽⁴⁾	SIR	Bol. 100 ⁽³⁾	5ª Aprox. ⁽⁴⁾	SIR	Bol. 100 ⁽³⁾	5ª Aprox. ⁽⁴⁾	SIR	Bol. 100 ⁽³⁾	5ª Aprox. ⁽⁴⁾	SIR
	kg ha ⁻¹											
N	140	140	172	140	140	147	140	140	122	140	140	143
P-R	90	-	126	90	-	136	90	-	155	90	-	119
P-M _i	-	120	126	-	120	135	-	120	152	-	120	114
K-M _i	140	90	218	140	90	161	140	90	250	130	90	135

	Solo 5			Solo 6			Solo 7			Solo 8		
	Bol. 100 ⁽³⁾	5ª Aprox. ⁽⁴⁾	SIR	Bol. 100 ⁽³⁾	5ª Aprox. ⁽⁴⁾	SIR	Bol. 100 ⁽³⁾	5ª Aprox. ⁽⁴⁾	SIR	Bol. 100 ⁽³⁾	5ª Aprox. ⁽⁴⁾	SIR
N	150	160	207	160	207	150	160	70	150	160	107	
P-R	90	-	101	90	-	116	90	-	124	80	-	94
P-M _i	-	100	107	-	100	114	-	100	106	-	90	93
K-M _i	140	90	173	140	90	189	140	90	224	40	40	0

⁽¹⁾ Resina. ⁽²⁾ Mehlich-1. ⁽³⁾ Raij *et al.* (1996). ⁽⁴⁾ Ribeiro (1999). Doses de P em P₂O₅ e de K em K₂O

LITERATURA CITADA

- Alvarez V VH (1982) Efecto de los factores cantidad, intensidad y capacidad amortiguadora de fosfato en la evaluación del fósforo disponible, de suelos derivados de cenizas volcánicas de la Meseta Tarasca. Tese de doutorado. Edo, Michoacán. Chapingo, México Colégio de Postgraduados. 300 p.
- Alvarez V VH, Novais RF & Dias LE (2000) Determinação e uso do fósforo remanescente, Boletim informativo, SBCS. v.52, n.1, p.39.
- Alves VMC, Vasconcellos CA, Freire FM, Pitta GVE, França GE, Rodrigues FA, Araújo JM, Viera JR & Loureiro JE (1999) In: Ribeiro, A.C.; Guimarães, P.T.G. & Alvarez, V.H. (Eds) Recomendação para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 5ª Aproximação. CFSEMG. p.359.
- Amado TJC & Mielniczuck J (2000) Estimativa da adubação nitrogenada para o milho em sistemas de manejo e culturas de cobertura do solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo 24:563-570.
- Andrade AG, Haag HP & Oliveira GD (1975) Acumulação diferencial de nutrientes por cinco cultivares de milho (*Zea mays* L.). II – Acumulação de micronutrientes. Anais da ESA. “Luiz de Queiroz” 32. p.151-169.
- Andrade FP (1976) Disponibilidade de potássio em solos da região pré-Amazônica Maranhense e estabelecimento do seu nível crítico. Tese de Mestrado. Viçosa, UFV. 1976. 46 p.
- Bahia Filho AFC, Braga JM, Resende M & Ribeiro AC (1983) Relação entre adsorção de fósforo e componentes mineralógicos da fração argila de Latossolos do Planalto Central. Revista Brasileira de Ciência do Solo 7: p.221-226
- Barber SA & Olson RA (1969) Fertilizer use on corn. In changing patterns in fertilizer use. SSSA, Madison, Wisconsin. p.163-88.
- Barros NF, Novais RF, Carmo DN & Neves JCL (1986) Classificação nutricional de sítios florestais – Descrição de uma metodologia. Revista Árvore, 10: 112-120.
- Campello MR (1993) Avaliação da reversibilidade de fósforo não-lábil para lábil em solos com diferentes características químicas, físicas e mineralógicas. Tese de Mestrado. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa. 63 p.
- Coelho AM (1991) Balanço de nitrogênio (¹⁵N) na cultura do milho (*Zea mays*, L.) em um Latossolo Vermelho Escuro fase cerrado. Lavras. Tese de Mestrado. Universidade Federal de Lavras. 85 p.
- Coelho AM, França GE, Bahia Filho AFC & Guedes GAA, (1992) Doses e método de aplicação de fertilizantes nitrogenados na cultura do milho sob irrigação. Revista Brasileira de Ciência do Solo 16:61-67.
- Da Ros CO & Aita C (1996) Efeito de espécies de inverno na cobertura do solo e fornecimento de nitrogênio ao milho em plantio direto. Revista Brasileira de Ciência do Solo 20:135-140.
- Delazari PC (1979) Disponibilidade de fósforo em solos do estado do Espírito Santo. Tese de Mestrado. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa. 85 p.
- Dias LE (1992) Dinâmica de formas de enxofre e de cátions trocáveis em colunas de solo tratadas com diferentes doses de fósforo e de gesso. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Viçosa. 147 p.
- Fernández Rojas IEJ (1992) Efeito do capeamento da apatita-de-araxá com alumínio sobre a disponibilidade de fósforo e o crescimento do sorgo. Tese de Mestrado. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa. 44 p.
- Ferreira GB (1998) Interferências de matéria orgânica e ferro na dosagem de boro com azometina-h e comparação de extratores para boro disponível no solo. Tese de Mestrado. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa. 97 p.
- Fonseca DM, Alvarez V VH, Neves JCL, Gomide JA, Novais RF & Barros NF (1998) Níveis críticos de fósforo em amostras de solos para o estabelecimento de *Andropogon gayanus*, *Brachiaria decumbens* e *Hyparrhenia rufa*. Revista Brasileira de Ciência do Solo v.12 p. 49-58.
- Freire FM (1996) Disponibilidade de fósforo e de enxofre

- para a cultura do milho em três solos de Minas Gerais. Tese de Doutorado. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa. 114 p.
- Freire FM, Novais RF & Neves JCL (1985) Níveis críticos de fósforo para o crescimento de estilósantes como função do fator capacidade de fósforo no solo. *Revista Ceres* 32:488-499.
- Freire FM, Novais RF, Braga JM, França GE, Santos HL & Santos PRRS. (1979) Adubação fosfatada para a cultura da soja (*Glycine max* (L) Merrill) baseada em diferentes extratores químicos e no "fator-capacidade". *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 3: 105-111.
- Freitas JAD (1998) Determinação da necessidade de calagem para o crescimento inicial do cafeeiro (*Coffea arabica* L.). Tese de Doutorado. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa. 99 p.
- Gonçalves JLM (1988) Cinética de transformação de fósforo lábil em não-lábil em amostras de solos de cerrado. Tese de Mestrado. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa. 62 p.
- Guss A (1988) Exigência de fósforo para estabelecimentos de gramíneas e leguminosas forrageiras tropicais em solos com diferentes características físicas e químicas. Tese de Mestrado. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa. 74 p.
- Kirman JH, Basker A Surapaneni A & MacGregor AN (1994) Potassium in the soils the of New Zealand, a review *New Zealand Journal of agricultural research* 37:207-227.
- Mello JWV (1991) Dinâmica de fósforo, ferro e manganês e disponibilidade de fósforo para arroz em solos inundados. Tese de Doutorado. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa. 198 p.
- Melo VF (1998) Potássio e magnésio em minerais de solos e relação entre propriedades da caulinita com formas não-trocáveis destes nutrientes. Tese de Doutorado. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa. 205 p.
- Morais ERC (1999) Formas de potássio em solos do Estado de Minas Gerais e sua disponibilidade para plantas de milho. Tese de Mestrado. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa. 85 p.
- Moreira JF (1988) Cinética de transformação de P-lábil em não-lábil no solo avaliada por análise química e crescimento de mudas de eucalipto. Tese de Mestrado. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa. 52 p.
- Moura Filho G (1990) Disponibilidade de fósforo em amostras de solos de várzeas. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa. 76 p.
- Muniz RF, Novais RF, Barros NF & Neves JCL (1985) Nível crítico de fósforo na parte aérea da soja como variável do fator capacidade de fósforo no solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 9:237-243.
- Neves JCL, Novais RF, Barros NF & Muniz AS (1987) Níveis críticos de fósforo em diferentes solos e extratores químicos para o crescimento de mudas de eucalipto. *Acta For. Bras* 2:64-80.
- Novais RF, Barros NF, Neves JCL & Couto C (1982) Níveis críticos de fósforo no solo para eucalipto. *R. Árvore* v.6 p.37.
- Novais RF & Smyth TJ (1999) Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa. 399 p.
- Novais RF (1977) Phosphorus supplying of previously heavily fertilized soils. Tese de Doutorado. Raleigh, North Carolina State University. 153 p.
- Novelino JO (1999) Disponibilidade de fósforo ao longo do tempo em solos altamente intemperizados avaliada por extratores químicos e crescimento vegetal. Tese de Doutorado. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa. 70 p.
- Oliveira FHT (1998) Disponibilidade de fósforo pela resina aniônica e difusão de alumínio em Latossolos. Tese de Doutorado. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 45 p.
- Parentoni SN, França GE & Bahia Filho AFC (1988) Avaliação dos conceitos de quantidade e intensidade de mineralização de nitrogênio para trinta solos do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Ciência do*

- Solo.12:225-229.
- Raij B van, Cantarella H, Quaggio JA & Furlani AMC (1996) Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo, Boletim técnico 100. 2.ed. Campinas, Instituto Agrônomo e Fundação IAC. 285 p.
- Raij B van, Dechen AR, Alves S, Soidi G, Veiga AA, Campana MP, Pentinelli R & Nery C (1981) Análise de solo para discriminar respostas à adubação para a cultura do milho. *Bragantia* 40:40-75.
- Ribeiro AC, Guimarães PTG Alvarez V VH (1999) Recomendação para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 5ª aproximação. CFSEMG. 359 p.
- Ritchey KD, De Sousa DMG & Lobato E (1979) Potássio em solos de cerrado. I. Resposta à adubação potássica. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 3:29-32.
- Rivas Yupanqui FF (1997) Nutrição fosfatada e fotossíntese no sistema simbiótico *Medicago sativa* - *Rizobium meliloti* em solos com diferentes disponibilidades de fósforo. Tese de Doutorado. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa. 124 p.
- Rodrigues ECO (1993) Efeito da aplicação de sulfato de cálcio e de uma mistura de carbonatos de cálcio e magnésio sobre características químicas do solo e o crescimento de plantas de milho. Tese de Mestrado. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa. 103 p.
- Rolim MV (1998) Fósforo disponível pelos extratores Mehlich-1, Resina em esfera e lâmina, em amostras de solos submetidos a diferentes graus de moagem. Tese de Mestrado. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa. 70 p.
- Silva DJ (1986) Necessidade de calagem e diferentes relações Ca:Mg para a produção de mudas de eucalipto. Tese de Mestrado. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa. 53 p.
- Silva JTA (1990) Relações entre características do solo que refletem a capacidade-tampão de fósforo e o nível crítico para sorgo em dez Latossolos de Minas Gerais, em casa de vegetação. Tese de Mestrado. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa. 85 p.
- Stanford GS & Smith SJ (1972) Nitrogen mineralization potentials of soils. *Soil Service Society American Proc.* 36:465-472.
- Vasconcellos CA, Marriel IE, Santos FG & Magalhães CAO (1999) Influência do manejo de solo e do resíduo de sorgo na mineralização do nitrogênio e na relação $N-NH_4^+$ e $N-NO_3^-$. In: ENCONTRO BRASILEIRO SOBRE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS, 3. Santa Maria, Matéria orgânica e qualidade ambiental - Resumos: IHSS. p.189-199.
- Villani EMA (1995) Fluxo difusivo de fósforo influenciado por fontes e por tempo de contato do fósforo com o solo. Tese de Mestrado. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa. 57 p.

Aceito para publicação em 09/07/2005