

FLÁVIA CRISTINA DOS SANTOS

**SISTEMA DE RECOMENDAÇÃO DE CORRETIVOS E
FERTILIZANTES PARA A CULTURA DA SOJA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de "*Magister Scientiae*".

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2002

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

S237s
2002

Santos, Flávia Cristina dos, 1976-

Sistema de recomendação de corretivos e fertilizantes
para a cultura da soja / Flávia Cristina dos Santos.

– Viçosa : UFV, 2002.

xi, 64f. : il. ; 29cm.

Orientador: Júlio César Lima Neves.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de
Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 51-64.

1. Soja - Adubos e fertilizantes - Modelos matemáticos.
 2. Soja - Nutrição - Necessidades. 3. Calagem dos solos. 4. Fertilidade do solo. I. Universidade Federal de Viçosa.
- II. Título.

CDD 22.ed. 633.34891

FLÁVIA CRISTINA DOS SANTOS

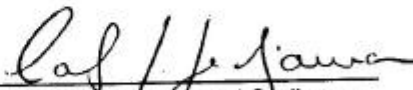
**SISTEMA DE RECOMENDAÇÃO DE CORRETIVOS E
FERTILIZANTES PARA A CULTURA DA SOJA**

Tese apresentada à Universidade Federal
de Viçosa, como parte das exigências do
Programa de Pós-Graduação em Solos e
Nutrição de Plantas, para obtenção do título de
"Magister Scientiae".

APROVADA: 07 de março de 2002.



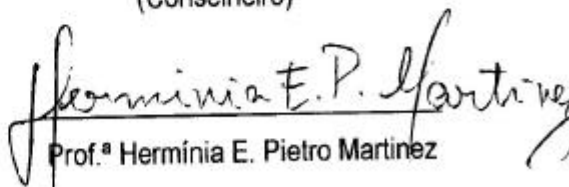
Prof. Roberto Ferreira de Novais
(Conselheiro)



Prof. Carlos Sigueyuki Sedyama
(Conselheiro)



Prof. Victor Hugo Alvarez V.



Prof.ª Herminia E. Pietro Martinez



Prof. Júlio César Lima Neves
(Orientador)

A Deus

A meus pais, irmãos e sobrinhas

Ao meu namorado Manoel Ricardo

Aos meus padrinhos, José e Helena (*in memoriam*)

AGRADECIMENTO

Aos meus pais e irmãos, meus eternos amores e pessoas essenciais em minha vida, pelo apoio e incentivo em todos os momentos.

A minhas sobrinhas, pelas horas de relaxamento e encantamento, com a alegria de vê-las crescendo.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Solos pela oportunidade de formação profissional e contribuição pessoal.

À SNP Consultoria pela disponibilização de dados e informações técnicas.

À FAPEMIG, pela concessão da bolsa.

Ao professor Júlio César Lima Neves, pela orientação de forma tranqüila e amiga, pelas críticas e sugestões essenciais para a boa condução e melhoria desse trabalho.

Aos meus conselheiros Carlos Segueyuki Sedyama e em especial ao Professor Roberto Ferreira de Novais, exemplo de dedicação e competência e por quem guardo a mais profunda admiração.

Aos professores Reinaldo Cantarutti, Jairo Oliveira, Victor Hugo, Nairam Barros e João Ker pela amizade e ensinamentos nesses anos de convívio.

Aos colegas Fábio Henrique, Juliano, Kurihara, Rodrigo e Tomé pelas discussões e contribuições nesse trabalho.

Aos professores, colegas e funcionários do Departamento de Solos, presenças constantes ao longo desses anos e a cada dia mais companheiros.

À minha turma do colégio, pela união e os bons momentos vividos juntos.

Aos meus amigos Cacá, Rogério, Ronaldo, Solenir, Élen, Karine, Mônica, Euzébio, Adailton, Serginho, Cida, Léo, Ricardo, Alexandre, Fernanda, Lucinha, Rosana, Clarisse, Elizângela, Paulo César, Paulinho Goiano, Adriana Almeida, Nathalie, Manoel Amado, Paulinho Ceará, Bianca, Fabiana, Clístenes, Gilmare, Jerusa, Angélica, Marcos Feitosa, Ana, Jucéia, Júnia, Luciana, Nara, Thaís pelos excelentes momentos de descontração e felicidade.

Ao meu namorado Manoel Ricardo, meu grande amor e a pessoa que torna meus dias cada vez mais alegres e divertidos.

BIOGRAFIA

FLÁVIA CRISTINA DOS SANTOS, filha de João Ribeiro dos Santos e Lídia Domingas dos Santos, nasceu em São João del-Rei, Minas Gerais, em 12 de agosto de 1976.

Em janeiro de 2000, graduou-se em Agronomia pela Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais.

Em fevereiro de 2000, iniciou o curso de Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas, na Universidade Federal de Viçosa, defendendo Tese em março de 2002.

Em abril de 2002, iniciou o curso de Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas, na mesma instituição.

ÍNDICE

	Página
RESUMO.....	viii
ABSTRACT.....	x
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS DO SISTEMA.....	4
2.1 Calagem.....	4
2.2 Subsistema planta.....	7
2.2.1 Nutriente requerido pela planta ($Nut_{req.planta}$).....	7
2.2.2 Nutriente requerido para sustentabilidade ($Nut_{sust.}$) visando garantir uma produtividade mínima desejada, em cultivos subseqüentes.....	23
2.3 Subsistema solo.....	24
2.3.1 Nutriente fornecido pelo solo (Nut_{solo}).....	24
2.3.2 Nutriente fornecido pelos resíduos orgânicos de cultivos anteriores ($Nut_{res.org.}$).....	28
3 EXEMPLO DO SISTEMA.....	32
3.1 Simulação do SIRSo.....	32
3.1.1 Cálculos da matéria seca total, matéria seca vegetativa + vagens e matéria seca de grãos.....	33
3.1.2 Cálculos para o P.....	34
3.1.3 Cálculos para o K.....	38
3.1.4 Cálculos para os demais nutrientes.....	41

3.2 Comparação entre recomendações geradas pelo SIRSo e outros métodos.....	43
3.3 Análise de sensibilidade.....	45
4 RESUMO E CONCLUSÕES.....	49
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	51

RESUMO

SANTOS, Flávia Cristina dos, M.S., Universidade Federal de Viçosa, março de 2002. **Sistema de recomendação de corretivos e fertilizantes para a cultura da soja.** Orientador: Júlio César Lima Neves. Conselheiros: Roberto Ferreira de Novais e Carlos Segueyuki Sedyama.

Com o objetivo de recomendar corretivos e fertilizantes para a cultura da soja, desenvolveu-se um sistema (SIRSo) cujo princípio básico é o balanço nutricional, ou seja, a recomendação se faz a partir da diferença entre o requerimento de nutrientes pela planta e o suprimento, representado pelo nutriente do solo, resíduos orgânicos e calagem (Ca e Mg). O sistema considera ainda o fator sustentabilidade, visando uma quantidade de nutriente a ser mantida no solo para garantir uma produtividade mínima desejada, em cultivos subseqüentes. Para recomendar calagem utilizam-se dois métodos: neutralização do Al^{3+} e elevação dos teores de $Ca^{2+} + Mg^{2+}$ e saturação por bases. Para recomendar adubação, uma série de equações foi gerada, utilizando dados da literatura a respeito de solos, adubação e nutrição da soja. O requerimento de nutrientes varia com a produtividade esperada de grãos, características do solo e com a taxa de recuperação pela planta do nutriente aplicado ao solo. O suprimento pelo solo depende da disponibilidade do nutriente e da taxa de recuperação pelo extrator do nutriente aplicado. O suprimento pelos resíduos orgânicos depende da produção de matéria seca da

planta antecessora à soja, teor de nutrientes na matéria seca, taxa de liberação dos nutrientes dos resíduos orgânicos e taxa de recuperação pela planta dos nutrientes provenientes desses resíduos. O suprimento de Ca e Mg pela calagem depende da quantidade de calcário recomendada, teor de óxidos de Ca e Mg do calcário e da taxa de recuperação pela planta desses nutrientes. Foram feitas comparações entre as recomendações geradas pelo SIRSo e as das tabelas em uso no país. Em grande parte, o SIRSo recomenda maiores quantidades de fertilizantes comparadas às tabelas, principalmente para P e K considerando as maiores produtividades, fato esse confirmado pela análise de sensibilidade que mostrou grande variação da dose a ser recomendada desses nutrientes com a produtividade de grãos e o fator sustentabilidade.

ABSTRACT

SANTOS, Flávia Cristina dos, M.S., Universidade Federal de Viçosa, March of 2002. **Liming and fertilizer recommendation system for soybean crops.** Adviser: Júlio César Lima Neves. Committee members: Roberto Ferreira de Novais e Carlos Segueyuki Sedyama.

In order to recommend liming and fertilizers for soybean crops, a system (SIRSo), whose basic principle is the nutritional balance was developed: the recommendation is made from the difference between the plant nutrient requirement and the supply, represented by soil nutrient, organic residues and the liming (Ca e Mg). The system still consider the sustainability factor in order to reach a nutrient quantity to be maintained in the soil to guarantee a minimum wanted productivity, in subsequent cultivation. To recommend the liming, two methods are used: Al^{3+} neutralization and elevation of Ca^{2+} and Mg^{2+} concentration and base saturation. To recommend fertilizing, a series of equation was done, using data from literature about soils, fertilizing and soybean nutrition. The nutrient requirement varies with the expected grain productivity, soil characteristics and with the recovery rate by the plant of the nutrient applied in the soil. The soil supply depends on the nutrient availability and on the recovery rate by the extractor of the nutrient applied. The organic residues' supply depends on the dry matter production of the previous crop to the soybean cultivation, dry matter nutrient concentration and residues' nutrient

release rate, and nutrient recovery by the plant of the nutrients proceed from these residues. The Ca and Mg supply from the liming depends on the recommended limestone quantity, limestone Ca and Mg oxides concentration and recovery rate by the plant of these nutrients. Comparisons between the SIRSo recommendations and the fertilizer recommendation tables which have been used in Brazil were done. Most times, the SIRSo recommends larger quantities of fertilizers compared with the tables, mainly for the P and K concerning the larger productivity, which is confirmed by the sensibility analysis that showed great variation of the dose to recommend from these nutrients with the grain productivity and sustainability factor.

1. INTRODUÇÃO

A soja é a mais importante oleaginosa cultivada no mundo. Seu alto teor de óleo e proteína proporciona múltiplas utilizações e a formação de um complexo industrial destinado ao seu processamento.

A soja é a principal cultura de exportação do Brasil, com uma produção estimada em 36 milhões de toneladas (CONAB, 2000/01), colocando o país na posição de segundo maior produtor e exportador mundial de grãos e derivados. No entanto, a competitividade com países como os Estados Unidos, com alta carga de subsídios, e mesmo com a Argentina, impõe a busca da maximização dos lucros e otimização do uso de insumos, que se traduzem em aumento da produtividade.

Toda e qualquer produção vegetal que vise à produtividade econômica fundamenta-se na integração de três fatores: a planta, o ambiente de produção e o manejo (Câmara, 1998). Todos os cultivares têm um potencial de rendimento geneticamente determinado. Esse potencial genético somente é obtido quando as condições ambientais são satisfatórias. Com relação à planta, assume grande importância o acúmulo de matéria seca e de nutrientes, dos quais a produção de grãos depende primariamente.

Há cultivares de soja com hábito de crescimento determinado e outras de indeterminado, que se traduz em diferenças quanto ao acúmulo de matéria seca. Cultivares de crescimento determinado acumulam, no estágio de pleno florescimento (R2), cerca de 87 a 90 % de sua matéria seca total, enquanto aquelas de crescimento indeterminado acumulam, no mesmo estágio,

somente cerca de 25 % de sua matéria seca total. Apesar disso, em vários trabalhos (Bataglia et al., 1976; Cordeiro et al., 1979; Mascarenhas et al., 1980), observou-se que o acúmulo de matéria seca pela soja, independentemente de cultivares e de condições ecológicas, segue aproximadamente uma mesma tendência: lento até o início do florescimento; desta fase até a formação das vagens a taxa de acúmulo é elevada e, à medida que as sementes se desenvolvem, há decréscimo na matéria seca da parte vegetativa, devido não só à translocação dos nutrientes das partes vegetativas para as sementes, mas também pela queda das folhas.

Quanto aos nutrientes, Hanway & Weber (1971) afirmaram que os acúmulos de N, P, e K seguem o acúmulo de matéria seca. Estudos realizados com a cultivar Santa Rosa revelaram que no primeiro estágio (0-30 dias após semeadura - DAS), a soja apresenta taxa de acúmulo de matéria seca bastante reduzida, acompanhada por pequena absorção de nutrientes. No estágio seguinte (30-60 DAS), o acúmulo de matéria seca e a absorção de nutrientes caracterizam-se por taxa crescente dos dois componentes, intensa atividade simbiótica e alta taxa fotossintética e de absorção de nutrientes e água. No terceiro estágio, ocorre sensível queda na elaboração de compostos fotossintetizados, correspondendo à fase de enchimento de vagens. No último estágio, que completa o ciclo, a taxa de acúmulo de matéria seca e nutrientes diminui sensivelmente.

A cultura da soja tem como principal fronteira agrícola os Cerrados, com solos pobres e ácidos, tendo somente 1,7 % de toda área com solos férteis (Haen, 1994). Assim, o sucesso no uso dessas áreas depende muito da aplicação de bons programas de correção e adubação, visto que, segundo estudos da FAO, esses fatores são os que mais têm contribuído (40 %), para o aumento da produtividade agrícola (Haas, 1997).

As recomendações de corretivos e fertilizantes têm sido feitas utilizando-se tabelas de recomendações para cada estado ou região. No entanto, uma série de inconveniências pode ser citada a respeito da utilização dessas tabelas, como a aplicabilidade regional apenas, a não consideração das exigências nutricionais das plantas variando com a produtividade, faixas de níveis críticos de nutrientes no solo e não valores contínuos variáveis com a produtividade de grãos, recomendação de doses fixas para faixas de

produtividade ou mesmo independentes da produtividade. As correlações não significativas entre as doses recomendadas de N, P₂O₅ e K₂O pelas tabelas de Minas Gerais e São Paulo, para culturas anuais, indicam que as mesmas não se basearam apenas em uma mesma fundamentação teórica, mas também em observações práticas, pessoais e subjetivas (Novais & Alvarez V., 2000). Portanto, as doses recomendadas nas tabelas guardam forte empirismo quanto à sua obtenção. Outra limitação das tabelas é a falta de perspectivas futuras quanto a uma evolução mais bem sustentada cientificamente. Assim, assume relevância a construção de um sistema para a recomendação de corretivos e fertilizantes para a cultura da soja, em substituição às atuais tabelas de recomendação. O sistema proposto possui uma série de vantagens, entre as principais, a consideração das exigências nutricionais das plantas variando de forma contínua com a produtividade desejada de grãos e suas relações com características do solo, e facilidade para identificar falhas no conhecimento atual, possibilitando o direcionamento de futuras pesquisas.

O objetivo desse trabalho é desenvolver um sistema de recomendação de corretivos e fertilizantes para a cultura da soja, baseado no balanço entre o requerimento de nutrientes pela planta e o suprimento de nutrientes pelo solo e pelos resíduos orgânicos, considerando ainda o fator sustentabilidade da produção.

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS DO SISTEMA

2.1. Calagem

Um dos métodos contemplados pelo SIRSo é o da neutralização do Al^{3+} e da elevação dos teores de $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ (Alvarez V. & Ribeiro, 1999). Neste método, são consideradas características do solo e exigências da cultura. O cálculo da necessidade de calagem (NC) resulta da fórmula:

$$\text{NC} = Y[\text{Al}^{3+} - (m_t \cdot t / 100)] + \left[X - \left(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} \right) \right] \text{ em que} \quad (1)$$

Y = valor relacionado à capacidade tampão do solo

Al^{3+} = acidez trocável, em $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$

m_t = máxima saturação por Al^{3+} tolerada pela cultura, em %

t = CTC efetiva, em $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$

X = valor relacionado à exigência da cultura em Ca e Mg, em $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$

$\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ = teores de Ca e de Mg trocáveis, em $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$

Procura-se, por um lado, corrigir a acidez do solo e para isto leva-se em conta a susceptibilidade ou a tolerância da cultura à elevada acidez trocável, considerando a máxima saturação por Al^{3+} tolerada pela cultura (m_t) e a capacidade tampão do solo (Y); e, por outro, se quer elevar a disponibilidade de Ca e de Mg de acordo com as exigências da cultura (X). No caso da soja, o

valor de m_t é 20 % e o de X é $2,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (Alvarez V. & Ribeiro, 1999). O valor Y é variável com a capacidade tampão da acidez do solo, e pode ser estimado em função do fósforo remanescente do solo ($P_{\text{rem-60}}$), conforme Alvarez V. & Ribeiro (1999), que é o teor de P da solução de equilíbrio após agitar durante 1h a terra fina seca ao ar (TFSA) com solução de CaCl_2 10 mmol L^{-1} , contendo 60 mg L^{-1} de P, na relação 1:10:

$$\hat{Y} = 4,002 - 0,125901 P_{\text{rem-60}} + 0,001205 (P_{\text{rem-60}})^2 - 0,00000362 (P_{\text{rem-60}})^3 \quad (2)$$

$$R^2 = 0,999$$

em que $P_{\text{rem-60}}$ é expresso em mg L^{-1} .

Quando em uma análise de solo não se dispuser do valor de $P_{\text{rem-60}}$, esse pode ser estimado em função do teor de argila, a partir da equação de regressão obtida por Freire (2001), com base em dados de diversos trabalhos:

$$\hat{P}_{\text{rem-60}} = 52,44 - 0,9646 * * \text{Arg} + 0,005 * * \text{Arg}^2 \quad R^2 = 0,747 \quad (3)$$

em que $P_{\text{rem-60}}$ é expresso em mg L^{-1} e Arg é o teor de argila em %.

Outro método utilizado pelo SIRSo é o da saturação por bases. Neste método relaciona-se a saturação por bases com o pH. Elevando-se a saturação por bases atual do solo (V_a) a um valor esperado para a cultura (V_e), corrige-se o pH até um valor considerado adequado para a cultura. Raij et al. (1983) comentam sobre a correlação significativa entre pH e saturação por bases, ressaltando a vantagem de se definir a necessidade de calagem em função da saturação por bases, por ser esta uma variável conceitualmente mais informativa em relação ao do pH dos solos.

Para soja, utiliza-se o valor de 50 % para V_e (Alvarez V. & Ribeiro, 1999), considerado adequado para a região do Cerrado (Lantmann et al., 2000). No entanto, trabalho de Gallo et al. (1986), em Latossolo Roxo distrófico do estado de São Paulo, mostrou que, para soja, os valores máximos de produção foram alcançados com a saturação por bases no solo ao redor de 60 %, que concorda com os resultados obtidos por Mascarenhas et al. (1982a)

e Quaggio et al. (1982). Para a região do Paraná, o valor de V_e situa-se ao redor de 70 % (Lantmann et al., 2000).

O cálculo da necessidade de calagem (NC) por esse método é dado pela fórmula:

$$NC = T(V_e - V_a)/100 \text{ em que} \quad (4)$$

$T = \text{CTC a pH 7 em cmol}_c \text{ dm}^{-3}$

$V_e = \text{saturação por bases esperada, em \%}$

$V_a = \text{saturação por bases atual do solo} = 100\text{SB}/T, \text{ em \%}$

Para se estimar a variação do pH ($\Delta\hat{p}H$) em função da quantidade de corretivo aplicada, utiliza-se a equação de Mello (2000) desenvolvida a partir de trabalhos relacionando $\Delta\hat{p}H$ e valores de acidez potencial (H+Al):

$$\Delta\hat{p}H = -0,0234647 + 1,49415 * * \frac{1}{(H + Al)} \quad R^2 = 0,814 \text{ em que} \quad (5)$$

$\Delta\hat{p}H$ é a variação estimada do pH, em unidade de pH por $t \text{ ha}^{-1}$ de calcário (PRNT 100 %) e (H+Al) é a acidez potencial, em $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$

Com a equação 5, o SIRSo pode prever qual o pH que se atingirá, somando-se ao pH inicial do solo a variação estimada do pH ($\Delta\hat{p}H$) com a aplicação do corretivo (Equação 6).

$$pH_{\text{final}} = pH_{\text{inicial}} + \Delta\hat{p}H \quad (6)$$

Como o SIRSo utiliza dois métodos de cálculo para calagem, a escolha por um deles pode ser feita, considerando o método mais adequado para a cultura, por exemplo, aquele que elevar menos o pH do solo após a calagem e ainda assim satisfazer as exigências da planta em Ca e Mg, pois a soja é medianamente tolerante à acidez do solo e a menores valores de pH a disponibilidade dos micronutrientes é aumentada, exceção para o Mo.

2.2. Subsistema planta

2.2.1 Nutriente requerido pela planta ($Nut_{req.planta}$)

O cálculo da variável nutriente requerido pela planta (Figura 1) envolveu uma busca na literatura de trabalhos relacionados com produção de grãos e de matéria seca total da planta, conteúdo de nutrientes nas diferentes partes da mesma, e taxa de recuperação pela planta do nutriente aplicado ao solo via fertilizante.

Para melhor evidenciar a quantidade de matéria seca e de nutrientes exportados pelos grãos de soja, e a que permanece na área, o subsistema planta se divide em duas partes: uma considera o acúmulo de matéria seca e nutrientes pelos grãos de soja (exportada) e a outra considera o acúmulo de matéria seca e nutrientes da matéria seca vegetativa; composta por folhas, pecíolos, caules e raízes; mais vagens (restituída). Essa divisão permite prever a ciclagem dos nutrientes provenientes dos resíduos da soja, assumindo grande relevância, principalmente para elementos como o N, P e K, dos quais 80, 75, e 45 %, respectivamente, do total extraído pela planta são exportados pelos grãos.

Para N, seu suprimento pelo solo (nitrato + amônio), pode ser estimado em função do teor de matéria orgânica, conforme equação de Vahl (1982), citado por Raffaelli (2000):

$$N_{inorg.} = 12,839 + 3,8996(M.O.) \text{ em que} \quad (7)$$

$N_{inorg.}$ é a quantidade de N inorgânico fornecida pelo solo (nitrato + amônio) no período anterior à cultura, em $kg\ ha^{-1}$

M.O. é o teor de matéria orgânica do solo expresso em $dag\ kg^{-1}$

No entanto, no SIRSo não há recomendações para N, por considerar-se que o requerimento pela planta será atendido pela fixação biológica deste nutriente, pela matéria orgânica e resíduos orgânicos do solo. Al-Ithawi et al. (1980) comentam que as respostas da planta ao N mineral têm sido bastante

inconsistentes. Acredita-se que a utilização de pequena dose de N mineral no plantio de soja seja importante como dose de “arranque inicial”, uma vez que são necessários de 15 a 25 dias para que as bactérias fixadoras penetrem no sistema radicular, formem os nódulos e passem a fixar N para a planta (Sfredo et al., 1986). No entanto, a maior parte dos trabalhos mostra que a soja não responde à adubação nitrogenada, pois é uma das leguminosas mais eficientes no processo de fixação do N. Segundo Hungria et al. (1997b), nas condições brasileiras de cultivo da soja, a fixação biológica de N representa, em média, 75% do N total acumulado pela planta, podendo atingir valores da ordem de 97%, devendo o restante ser proveniente do solo. A questão que se coloca é se atualmente, com as altas produtividades alcançadas, o requerimento de N pela planta seria satisfeito pela fixação biológica e nutrientes do solo e resíduos orgânicos. A esse respeito, Alves et al. (2000) afirmam que, embora não seja exceção encontrar um balanço negativo de N para a cultura da soja, esta cultura não necessita ser fertilizada se o sistema simbiótico for eficiente, pois a fertilização, neste caso, acarretaria um balanço ainda mais negativo de N. De qualquer forma, toleram-se doses de N menores que 20 kg ha^{-1} , desde que as fórmulas de adubo que contenham N sejam mais econômicas que as fórmulas sem N (EMBRAPA, 2001).

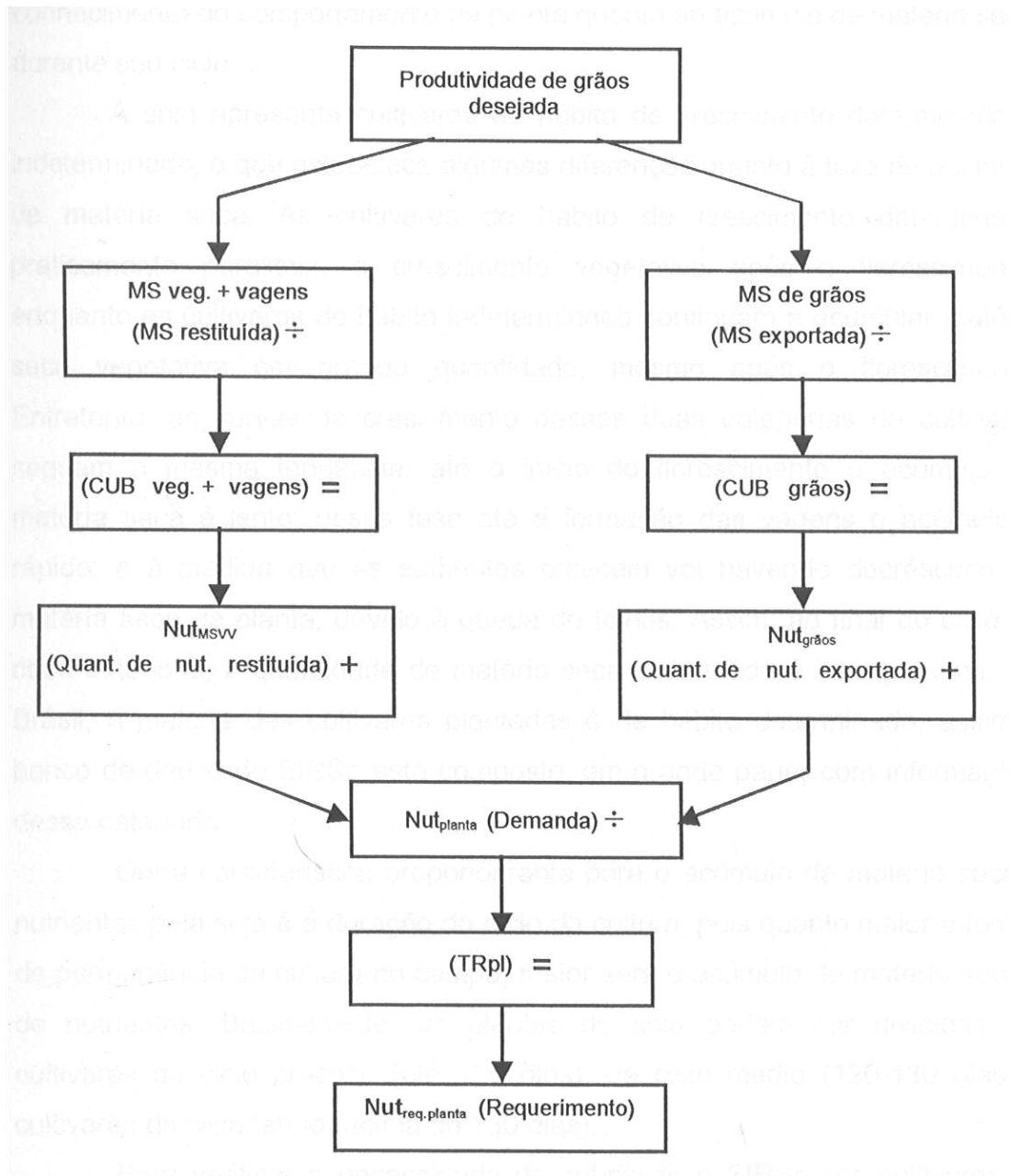


Figura 1. Fluxograma para cálculo da variável quantidade de nutriente requerida pela planta ($Nut_{req.planta}$). Coeficiente de utilização biológica (CUB), expressa a quantidade de matéria seca produzida por unidade de nutriente acumulado; quantidade de nutriente acumulada na matéria seca vegetativa mais vagens (Nut_{MSV}), quantidade de nutriente acumulada nos grãos ($Nut_{grãos}$); quantidade total de nutriente acumulada na planta toda (Nut_{planta}); taxa de recuperação pela planta do nutriente aplicado ao solo via fertilizante (TR_{pl}).

A produtividade de grãos desejada é o ponto inicial para o desenvolvimento do subsistema planta. O acúmulo de nutrientes é dependente, em grande parte, do acúmulo de matéria seca; por isso, a importância de se ter

conhecimento do comportamento da planta quanto ao acúmulo de matéria seca durante seu ciclo.

A soja apresenta cultivares de hábito de crescimento determinado e indeterminado, o que estabelece algumas diferenças quanto à taxa de acúmulo de matéria seca. As cultivares de hábito de crescimento determinado praticamente paralisam o crescimento vegetativo após o florescimento, enquanto as cultivares de hábito indeterminado continuam a acumular matéria seca vegetativa em grande quantidade, mesmo após o florescimento. Entretanto, as curvas de crescimento dessas duas categorias de cultivares seguem a mesma tendência: até o início do florescimento o acúmulo de matéria seca é lento; dessa fase até a formação das vagens o acúmulo é rápido, e à medida que as sementes crescem vai havendo decréscimo na matéria seca da planta, devido à queda de folhas. Assim, ao final do ciclo de cada categoria, a quantidade de matéria seca acumulada é bem próxima. No Brasil, a maioria das cultivares plantadas é de hábito determinado, assim o banco de dados do SIRSo está composto, em grande parte, com informações dessa categoria.

Outra característica preponderante para o acúmulo de matéria seca e nutrientes pela soja é a duração do ciclo da cultura, pois quanto maior o tempo de permanência da cultura no campo, maior será o acúmulo de matéria seca e de nutrientes. Basicamente, as plantas de soja podem ser divididas em cultivares de ciclo precoce (até 120 dias), de ciclo médio (120-130 dias) e cultivares de ciclo tardio (acima de 130 dias).

Para verificar a necessidade de subdividir o SIRSo em cultivares de acordo com o ciclo, quanto ao acúmulo de matéria seca, os respectivos dados de índice de colheita ($IC = \text{matéria seca de grãos dividida pela matéria seca total das plantas}$) foram submetidos a teste de homogeneidade de variância (teste de Cochran e Bartlett) para verificar se as variâncias de cada ciclo eram homogêneas entre si. Como o resultado indicou homogeneidade de variâncias, procedeu-se à análise de variância, tendo-se como fonte de variação o ciclo. Caso o resultado fosse significativo, haveria necessidade de subdividir o SIRSo nas três categorias quanto ao acúmulo de matéria seca da planta. Como não houve significância, um único modelo pode ser usado na obtenção da estimativa. O mesmo raciocínio é sugerido para o acúmulo de nutrientes:

haveria a necessidade de subdividir o SIRSo considerando o ciclo da cultura? Os dados de acúmulo de nutrientes utilizados no SIRSo não permitiram responder a questão, uma vez que a maioria dos trabalhos não fornece a duração do ciclo. No entanto, como um dos principais fatores governando o acúmulo de nutrientes é o acúmulo de matéria seca, talvez realmente não houvesse necessidade dessa subdivisão.

Trabalhos de Bataglia et al. (1976), Terman (1977) e Martins (1998) mostraram que na maturação, a matéria seca da soja é, em média, 89 % de sua matéria seca total máxima, acumulada numa fase anterior, visto que, próximo à maturação, ocorre queda de folhas, o que contribui para a redução do peso da matéria seca total da planta. Dessa forma, o SIRSo aplica uma correção aos dados de acúmulo de matéria seca na maturação, para estimar o acúmulo máximo. Também corrigiu-se a produção total de matéria seca da planta, considerando a massa seca de raízes, quando esta, nos trabalhos considerados, não era computada nos cálculos de produção de matéria seca total. Uma média de 18 % (Webb et al., 1954; Moraes, 1983; Vieira, 1985; Melges et al., 1989) foi a percentagem da matéria seca das raízes em relação à massa total máxima acumulada na parte aérea pelas plantas.

Semelhantemente, procedeu-se a correção para nutrientes acumulados na matéria seca, durante a maturação, em relação ao máximo acumulado e em relação ao acumulado nas raízes. Na maturação, a planta acumula 81, 72, 75, 96, 68 e 83 % de K, Ca, Mg, Cu, Mn, e B, respectivamente, em relação ao máximo acumulado pela planta. Já N, P, S, Fe, Zn não necessitam de correção pelo fato de o acúmulo máximo ser na maturação (Mascarenhas, 1972; Bataglia et al., 1976; Flannery, 1986; Martins, 1998). O N acumulado nas raízes representa 6 % do acumulado na planta toda. O P representa 8 %, o K 7 %, Ca 6 %, Mg 8 %, S 22 %, Cu 18 %, Fe 12 %, Zn 12 %, Mn 6 % e B 8 % do acumulado na planta toda (Malavolta et al., 1980; Moraes, 1983; Faquin, 1988). Todas as correções comentadas já estão embutidas na figura 1.

A produção de matéria seca de grãos foi obtida considerando-se umidade de grãos de 13 % em base úmida, por essa ser a umidade padrão para comparação e comercialização. A produção de matéria seca vegetativa mais vagens é obtida por diferença entre a produção de matéria seca total e a

matéria seca de grãos, havendo, então, necessidade de dados de matéria seca total.

Dados de Garcia (1979), Colasante & Costa (1981), Beaver & Cooper (1982), Cardoso & Rezende (1988), Melges et al. (1989) e Koutroubas et al. (1998), relacionando produtividade de grãos e produção de matéria seca total, foram utilizados visando gerar uma equação de regressão para estimar a produção de matéria seca total a partir da produtividade de grãos (Equação 8), visto que essas duas variáveis são altamente correlacionadas (Colasante & Costa, 1981).

$$\hat{M\acute{S}T} = -43.400,9 + 14.936,7 \log(\text{Pr od}), \forall 1.742 \leq \text{Pr od} \leq 5.534 \quad (8)$$
$$R^2 = 0,618$$

em que MST é a matéria seca total e Prod é a produtividade de grãos, em kg ha^{-1}

O coeficiente de utilização biológica (CUB) representa a produção de matéria seca por unidade de nutriente acumulada, sendo expresso em kg kg^{-1} para macronutrientes e kg g^{-1} para micronutrientes (Barros et al., 1986). Para a determinação do CUB dos grãos e do CUB da parte vegetativa mais vagens, há necessidade de se determinar o acúmulo de nutrientes nessas partes.

O quociente entre matéria seca de grãos e a quantidade de nutriente acumulada nos grãos fornece o CUB grãos. Da mesma forma, o quociente entre a matéria seca vegetativa mais vagens e a quantidade de nutriente acumulada nessas partes, fornece o CUB veg. + vagens. O CUB é uma medida da eficiência da planta em converter nutriente absorvido em matéria seca. Dessa forma, pode-se dizer que plantas com valor de CUB maior para determinado nutriente seriam mais eficientes que plantas com valores menores, considerando-se uma produtividade adequada de grãos.

No entanto, o CUB é influenciado por uma série de fatores, visto que o acúmulo de nutrientes na planta sofre influência da idade, órgão, estado fitossanitário e produtividade da planta, do pH, umidade, capacidade tampão e disponibilidade de nutriente no solo; da localização e fonte do adubo, entre

outros (Hanway & Weber, 1971a; Bataglia et al., 1976; Freire & Sarruge, 1979; Bataglia et al., 1981; Bullen et al., 1983; Muniz, 1983; Mascarenhas et al., 1984; Borkert & Barber, 1985; Ruiz et al., 1990). Dessas variáveis, buscaram-se relações da variação do CUB apenas com o nível de produtividade e com a capacidade tampão do solo.

Não foi encontrada relação entre o CUB de grãos e a produtividade com os dados utilizados neste trabalho. Dessa forma, utilizaram-se valores médios de CUB de grãos para cada nutriente (Quadro 1):

Quadro 1. Valores médios, considerando vários trabalhos, dos coeficientes de utilização biológica (CUB) de macro e micronutrientes dos grãos de soja, não dependentes da capacidade tampão do solo, e seus respectivos coeficientes de variação (C.V.)

Nutriente	CUB	C.V.
	Macronutrientes (kg kg ⁻¹)	%
N	14,8	12,2
K	50,4	12,2
Ca	320,8	28,1
Mg	354,1	13,2
	Micronutrientes (kg g ⁻¹)	
Cu	57,6	66,7
Fe	6,7	41,3
Zn	18,8	35,9
Mn	32,5	29,6
B	44,3	36,2

Obs: Os CUBs de P e S dos grãos não se encontram neste quadro, pois seus valores variam com o fósforo remanescente do solo (P_{rem-60}).

Fonte: Adaptado de Ohlrogge & Kamprath (1968), Bataglia et al. (1976), Bataglia et al. (1977), Brose et al. (1979), Cordeiro (1979), Al-Ithawi et al. (1980), Mascarenhas et al. (1980), Bataglia et al. (1981), Parker et al. (1981), Vargas et al. (1982), Bataglia et al. (1984), Hiroce (1985), Flannery (1989), Tanaka & Mascarenhas (1992), Malavolta et al. (1997), Sfredo et al. (1997), Martins (1998), Yamada (1999), EMBRAPA (2000), Pavinato (2000).

Especialmente para os micronutrientes, os elevados valores de C.V. sugerem que outros fatores, além da produtividade, possam estar influenciando os CUB, indicando a necessidade de mais pesquisas a esse respeito.

A eficiência das plantas em transformar P absorvido em biomassa varia entre solos, dependendo de seus valores de capacidade tampão (CT) (Muniz, 1983). Dessa forma, há necessidade de se corrigir o valor do CUB para nutrientes que sofrem influência da capacidade tampão do solo, como P, S e Zn. Para Zn, não foi possível fazer a correção do CUB em função da CT, por carência de dados. Para P e S, a correção foi feita tomando-se os valores de CUB desses nutrientes nos grãos, das plantas cultivadas nos solos com os menores teores de argila, solos arenosos, assumindo-se valor de $P_{rem-60} = 55 \text{ mg L}^{-1}$; os valores de CUB de P (CUBP) e CUB de S (CUBS) das plantas cultivadas em solos de textura média, assumindo valor de $P_{rem-60} = 30 \text{ mg L}^{-1}$ e os valores de CUB das plantas cultivadas em solos com os maiores teores de argila, solos argilosos, e assumindo $P_{rem-60} = 5 \text{ mg L}^{-1}$. Com esses pontos foram geradas as equações do CUBP e CUBS dos grãos em função do P_{rem-60} (Quadro 2). Caso o usuário não informe o P_{rem-60} , ou mesmo o teor de argila, o SIRS_{So} utiliza o valor médio de CUBP ($169,2 \text{ kg kg}^{-1}$) e de CUBS ($314,0 \text{ kg kg}^{-1}$) dos grãos, armazenados no sistema.

Quadro 2. Equações para correção do CUBP e CUBS em kg kg^{-1} , dos grãos, em função do valor de P_{rem-60} em mg L^{-1} , com n observações

Equação	R ²	n
$C\hat{U}BP = 266,88 - 2,616P_{rem-60}, \forall 5 \leq P_{rem-60} \leq 55$	0,937	3
$C\hat{U}BS = 529,23 - 4,08P_{rem-60}, \forall 5 \leq P_{rem-60} \leq 55$	0,842	3

Fonte: Adaptado de Bataglia et al. (1976), Bataglia et al. (1977) e Martins (1998).

Para o CUB da matéria seca vegetativa mais vagens, também buscaram-se relações com a produtividade de grãos e com a capacidade tampão do solo. Para o Ca, Mg, S e micronutrientes não foi verificada relação entre CUB e produtividade, dessa forma foram utilizados os valores médios (Quadro 3).

Quadro 3. Valores médios, considerando vários trabalhos, dos coeficientes de utilização biológica (CUB) de macro e micronutrientes da matéria seca vegetativa mais vagens, não dependentes da capacidade tampão do solo, e seus respectivos coeficientes de variação (C.V.)

Nutriente	CUB	C.V.
	Macronutrientes (kg kg ⁻¹)	%
Ca	107,1	85,4
Mg	193,4	39,6
	Micronutrientes (kg g ⁻¹)	
Cu	192,0	74,7
Fe	7,8	74,0
Zn	182,9	98,9
Mn	15,4	65,2
B	89,3	102,2

Obs: Os valores do CUB de P, K e S não se encontram no quadro por variarem com a produtividade de grãos (P e K) e com o P_{rem-60} do solo (P e S).

Fonte: Adaptado de Ohlrogge (1966), Ohlrogge & Kamprath (1968), Mascarenhas (1972), Bataglia et al. (1976), Bataglia et al. (1981), Meurer et al. (1981), Venturi & Amaducci (1988), Flannery (1986), Martins (1998), Vitti & Luz (1998) e Yamada (1999).

Para a matéria seca vegetativa mais vagens, observam-se maiores variabilidades nos valores de CUB em relação aos de grãos (Quadro 1). Isso faz sentido, visto que, grande parte dos nutrientes acumulados nos grãos é proveniente da translocação das partes vegetativas. Dessa forma, qualquer tipo de estresse nutricional que a planta possa sofrer refletirá com maior intensidade nas partes vegetativas, resultando em maiores variações nos seus valores de CUB.

Para os nutrientes N, P e K foram observadas tendências de diminuição do CUB da matéria seca vegetativa mais vagens com o aumento da produtividade de grãos (Quadros 4 e 5), indicando que, plantas menos produtivas são mais eficientes na utilização dos nutrientes, ou que as plantas menos produtivas podem estar com deficiência de algum ou vários nutrientes, o qual gerou maiores valores de CUB.

Quadro 4. Equação para estimar o CUBN e CUBK, em kg kg^{-1} , da matéria seca vegetativa mais vagens, em função da produtividade de grãos em kg ha^{-1} , com n observações

Equação	R ²	n
$\hat{C}UBN = 42.107,55^{***}Prod^{-0,7837}, \forall 1.340 \leq Prod \leq 6.788$	0,324	37
$\hat{C}UBK = 37.6816,57^{***}Prod^{-1,0422}, \forall 1.340 \leq Prod \leq 6.788$	0,785	29

*** Significativo a 0,1 %

Fonte: Adaptado de Ohlrogge (1966), Ohlrogge & Kamprath (1968), Mascarenhas (1972), Bataglia et al. (1976), Brose et al. (1979), Bataglia et al. (1981), Meurer et al. (1981), Venturi & Amaducci (1988), Flannery (1986), Martins (1998), Vitti & Luz (1998) e Yamada (1999).

Os dados disponíveis para CUB de P e de S da matéria seca vegetativa mais vagens não permitiram relacionar o CUB desses nutrientes com a capacidade tampão dos solos. No entanto, partiu-se do pressuposto que a tendência da variação dos valores de CUB dos nutrientes da matéria seca vegetativa mais vagens, com os valores de P_{rem-60} , seria a mesma dos grãos. Embora não identificada neste trabalho, a variação do CUB da matéria seca vegetativa mais vagens era mais esperada do que a do CUB dos grãos, visto que o fator principal que governa a quantidade de nutrientes no grão é a translocação. Assim, seguindo o mesmo procedimento para os grãos, três pontos foram gerados relacionando CUB e P_{rem-60} . Para o P, como o CUB da matéria seca vegetativa mais vagens variou também com a produtividade, uma equação de regressão múltipla foi ajustada (Quadro 5), relacionando CUBP com a produtividade e com os valores de P_{rem-60} . Para S uma equação de regressão foi ajustada contemplando os valores de CUB e os valores de P_{rem-60} (Quadro 5).

Quadro 5. Equações para estimar o CUBP em kg kg^{-1} , da matéria seca vegetativa mais vagens, em função da produtividade de grãos (Prod) em kg ha^{-1} e $P_{\text{rem-60}}$ em mg L^{-1} , e para estimar o CUBS em kg kg^{-1} , em função do $P_{\text{rem-60}}$, com n observações

Equação	R ²	n
$\hat{\text{CUBP}} = 2.022,352 - 0,4170\text{Prod} + 0,00003434^{***}\text{Prod}^2 - 9,3420^{***}P_{\text{rem-60}}$ $\forall 5 \leq P_{\text{rem-60}} \leq 55 \text{ e } \forall 2.000 \leq \text{Prod} \leq 6.000$	0,950	27
$\hat{\text{CUBS}} = 977,805 - 8,165P_{\text{rem-60}}, \forall 5 \leq P_{\text{rem-60}} \leq 55$	0,938	3

*** Significativo a 0,1 %

Fonte: Adaptado de Bataglia et al. (1976), Bataglia et al. (1977) e Martins (1998).

Se não houver dados de teor de argila ou de $P_{\text{rem-60}}$, o sistema somente considera a variação do CUBP com a produtividade (utilizando a equação $\hat{\text{CUBP}} = 359.286^{***}\text{Prod}^{-0,781}$, $\forall 1.340 \leq \text{Prod} \leq 6.788$, $R^2 = 0,338$, $n = 29$) e para S utiliza o valor médio de CUBS ($580,7 \text{ kg kg}^{-1}$), armazenados no sistema.

O quociente entre a matéria seca de grãos e o CUB do nutriente nos grãos fornece a quantidade de nutriente acumulada nos grãos ($\text{Nut}_{\text{grão}}$). O quociente entre a matéria seca vegetativa mais vagens e o CUB do nutriente da matéria seca vegetativa mais vagens fornece a quantidade de nutriente acumulada na matéria seca vegetativa mais vagens (Nut_{MSVV}). A soma de $\text{Nut}_{\text{grão}}$ e Nut_{MSVV} resulta na quantidade total de nutriente acumulada na planta toda ($\text{Nut}_{\text{planta}}$), que é a demanda de nutriente pela planta.

Para chegar ao requerimento de nutriente pela planta, há necessidade de se considerar a taxa de recuperação pela planta do nutriente aplicado ao solo como fertilizante (TR_{pl}), pois a planta não absorve 100 % do nutriente aplicado, devido a perdas, competição da planta com o solo, etc.

A TR_{pl} indica a eficiência da planta na absorção do nutriente proveniente do adubo. Na literatura, eficiência do nutriente tem sido definida de várias formas por diversos autores. No entanto a TR_{pl} , conhecida como eficiência de recuperação aparente na literatura internacional, é definida como a quantidade de nutriente absorvida por unidade de nutriente aplicado (Craswell & Godwin, 1984, citados por Fageria, 1992), sendo expressa pela seguinte equação (Equação 9):

$$TR_{pl} = \frac{\text{nutriente absorvido pela cultura fertilizada} - \text{nutriente absorvido pela cultura não fertilizada}}{\text{quantidade do nutriente aplicado}} \quad (9)$$

Seguindo essa equação, em experimentos onde se tenham parcelas adubadas e não adubadas, pode-se obter a TR_{pl} de acordo com a quantidade do nutriente aplicado. As parcelas não adubadas fornecerão a quantidade de nutriente que as plantas absorvem do solo. No entanto, esse método oferece como inconveniente o fato de que as plantas das parcelas adubadas, por terem um melhor ambiente para o crescimento do sistema radicular, podem absorver, proporcionalmente, maiores quantidades de nutriente do solo do que as plantas das parcelas não adubadas, de modo que a estimativa da taxa de recuperação seria superestimada.

Uma medida mais direta e quantitativa da TR_{pl} , porém de uso menos prático, é a utilização de fertilizantes com isótopo marcado. Com essa técnica se tem uma medida mais exata da taxa de recuperação pela planta do nutriente aplicado (Ham & Caldwell, 1978).

A taxa de recuperação pela planta do nutriente aplicado via fertilizante, sofre influência de uma série de fatores edáficos (pH, capacidade tampão, fertilidade, matéria orgânica, umidade), climáticos (temperatura, radiação, precipitação), de planta (cultivar, idade, morfologia de raiz, balanço nutricional), biológicos (micorrização, plantas invasoras, pragas e doenças) e fatores de manejo (sistema de cultivo, ano de aplicação do fertilizante, quantidade, fonte e método de aplicação do fertilizante), fatores que têm, cada um, maior ou menor interferência sobre a TR_{pl} , dependendo do nutriente considerado (Welch et al., 1949; Bureau et al., 1953; Randall et al., 1975a,b; Ham & Cadwell, 1978; Baligar & Fageria, 1997).

Quanto aos fatores edáficos, a capacidade tampão (CT) para P, S e Zn apresenta grande importância, visto que em solos com maior CT, a absorção desses elementos é reduzida (Bahia Filho, 1982; Muniz, 1983), e, conseqüentemente, a TR_{pl} será menor, se comparada a solos de menor CT. A influência da fertilidade do solo pode ser comprovada por trabalhos de Bureau et al. (1953) que verificaram relação inversa entre a percentagem de P derivada do fertilizante com o teor de P do solo, ou seja, quando o teor de P

disponível no solo era maior, a TR_{pl} do P aplicado, via fertilizante, era menor, e vice-versa.

Em relação aos fatores de planta, sabe-se que nos estádios iniciais de crescimento da planta, a recuperação do nutriente aplicado é pequena, devido ao pequeno tamanho do sistema radicular e à menor demanda por nutrientes. Com o crescimento e desenvolvimento da planta e, conseqüentemente, do sistema radicular, a taxa de recuperação tende a aumentar (Welch et al., 1949; Bureau et al., 1953). Sabe-se também que a soja não é uma das culturas mais responsivas à adubação. Thorne (1924) conduziu uma série de experimentos de fertilidade do solo nos oito principais tipos de solo de Ohio. Os resultados indicaram que a soja respondeu pouco às fertilizações com fontes minerais, em comparação com o milho e trigo. Entretanto, vários autores (Ohlrogge, 1966; Kalra & Soper, 1968; de Mooy et al., 1973; Mascarenhas et al, 1982; Rosolem et al., 1993) comentam que a soja é uma planta muito eficiente na utilização dos nutrientes do solo. Reforça esta afirmativa a grande capacidade da soja em absorver K do solo, inclusive utilizando-se de formas não-trocáveis deste nutriente, que seriam liberadas durante o ciclo da cultura (Rosolem et al., 1988).

Outro fator pouco comentado, mas de extrema importância para a estimativa da TR_{pl} , é o teor de outros nutrientes na planta, pois a falta de resposta da planta a um nutriente aplicado, pode ser devida à disponibilidade inadequada de outros (Neumaier, 1975), o que comprometeria o crescimento e o desenvolvimento da planta e a absorção de nutrientes.

Quanto aos fatores de manejo, sabe-se que o sistema de plantio direto aumenta a eficiência da adubação, por interferir direta e significativamente nos principais fatores que afetam a absorção dos nutrientes pelas plantas: temperatura, umidade, aeração, permeabilidade e estrutura do solo (Haas, 1997). No entanto, pela falta de trabalhos quantificando a TR_{pl} , não foi possível gerar números para o sistema de plantio direto.

Também a TR_{pl} tende a ser maior no primeiro ano de cultivo para a maioria dos nutrientes. No entanto, para os fosfatos naturais pouco reativos, pode-se observar maiores taxas de recuperação do P pela planta com o passar dos anos (Tanaka et al., 1984), se comparados com as fontes solúveis de P.

A TR_{pl} tende a cair com o aumento da quantidade de nutriente aplicada. Em trabalho de Rosolem & Nakagawa (1985), em solo franco-arenoso, a taxa de recuperação caiu de 79 % para 26 % quando as doses de K_2O passaram de 40 $kg\ ha^{-1}$ para 240 $kg\ ha^{-1}$, por ser essa dose muito elevada. No SIRSo, para K, foi ajustada uma equação relacionando TR_{pl} e dose do nutriente aplicado ao solo via fertilizante. Como a dose do nutriente a ser aplicada ainda não é conhecida, pois essa dose depende da taxa de recuperação pela planta do nutriente aplicado ao solo e das outras variáveis que entram no cálculo da dose a ser recomendada ($Nut_{sust.}$, Nut_{solo} , $Nut_{res.org.}$), utiliza-se o conteúdo de nutrientes na planta (Nut_{planta}) como se esse valor fosse a dose a ser recomendada.

A fonte do nutriente é outra variável que interfere na TR_{pl} , relacionando-se, principalmente, com a solubilidade do adubo, mobilidade e adsorção do nutriente do fertilizante ao solo. Em trabalho de Kumar & Singh (1979) foi observada maior absorção de Zn-EDTA do que $ZnCl_2$, para as mesmas doses dos fertilizantes, sendo atribuída à maior mobilidade e menor adsorção de Zn na forma Zn-EDTA.

Para nutrientes pouco móveis no solo e muito adsorvidos, como o P, observam-se maiores taxas de recuperação com o adubo aplicado de forma localizada, principalmente nos estádios iniciais de crescimento da planta, quando o sistema radicular abrange um pequeno volume de solo (Welch et al., 1949). Na aplicação localizada, a concentração do nutriente próximo a raiz é aumentada, o que favorece a absorção, pois o P é absorvido, em sua grande maioria, pelo processo de difusão, o qual é governado pelo gradiente de concentração. Entretanto, pesquisas são necessárias para definir a fração de solo com a qual o fertilizante deve ser misturado, pois ocorrem variações entre solos, com a morfologia e fisiologia das raízes. A aplicação a lanço de P, considerando sua alta adsorção pela maioria dos solos brasileiros, é mais eficiente quando se pensa em solos de textura arenosa ou mesmo textura média, onde a capacidade tampão é menor e, conseqüentemente, menor é a adsorção. No entanto, para áreas de primeiro ano de cultivo, ou mesmo com teores muito baixos de P disponível, é comum o uso da adubação corretiva de P, independente da textura do solo.

Os valores da TR_{pl} utilizados no SIRSo (Quadro 6) não contemplam todos os fatores que influenciam essa variável, principalmente pela carência de dados capazes de permitir a quantificação dos relacionamentos. Para nutrientes como Mg e micronutrientes há apenas o valor médio de taxa de recuperação, considerando doses e fontes mais comuns dos nutrientes. Já quanto ao Ca e ao S, por não se ter encontrado dados, utilizaram-se taxas considerando dados existentes para outras culturas anuais (Quadro 6). Para P, foi considerada a variação quanto à capacidade tampão do solo, baseada em trabalho de Muniz (1983) com soja cultivada em casa de vegetação, aplicação de fonte solúvel de P incorporada ao solo, e corrigida com bases em vários outros trabalhos de campo considerando a planta adulta (Quadro 7) (Welch et al., 1949; Bureau et al., 1953; Hanway & Weber, 1971; Randall et al., 1975a; Ham & Cadwell, 1978; Al-Ithawi et al., 1980; Porto et al., 1980; Bataglia et al., 1984). O trabalho de Muniz em casa de vegetação foi utilizado, por abranger solos com ampla variação em P_{rem-30} . Com base nos valores de P_{rem-30} de Muniz (1983) foram estimados valores de P_{rem-60} , segundo equações desenvolvidas por Neves¹, gerando valores de P_{rem-60} de 2,58 mg L⁻¹ a 40,18 mg L⁻¹. (Quadro 7).

Quadro 6. Valores médios, considerando vários trabalhos, de taxa de recuperação pela planta do nutriente aplicado ao solo via fertilizante (TR_{pl}), em percentagem, para N, Ca, Mg, S e micronutrientes

Nutriente	TR_{pl}
N	50
Ca	50
Mg	55
S	50
Micronutrientes	5

Fonte: Adaptado de Ohlrogge & Kamprath (1968), Colmenarez (1987) e Varvel & Peterson (1992).

Para Ca e Mg a fonte de nutriente é o calcário e, na grande maioria das vezes, a prática de calagem atende às exigências das plantas quanto a esses

¹ Júlio César Lima Neves. Professor do Departamento de Solos-UFV, comunicação pessoal

nutrientes. Caso se tenha uma situação, em que mesmo com a calagem, as exigências da planta em Ca e, ou, Mg não sejam atendidas, pode-se aplicar as fontes desses nutrientes no sulco de plantio.

Quadro 7. Taxa de recuperação pela planta do fósforo para fonte solúvel ($TR_{pl}P_s$), em percentagem, em função do P_{rem-60} em $mg L^{-1}$, para aplicação a lanço e incorporada na camada de 0 - 20 cm

Equação	R ²	n
$TR_{pl}P_s = (4,508^{***} e^{0,0347P_{rem-60}})$ $\forall 2,58 \leq P_{rem-60} \leq 40,18$	0,837	10

*** Significativo a 0,1 %

Fonte: Adaptado de Muniz (1983).

A dificuldade para P é estimar a dose a ser aplicada no sulco de plantio, a partir da recomendação a lanço e incorporada de 0-20 cm. Espera-se que a variação na TR_{pl} com o P_{rem-60} seja diferente quanto à localização do fertilizante fosfatado, ou seja, para solos com maiores valores de P_{rem-60} (solos arenosos) o fator de conversão (Fc) é menor, e para solos com menores valores de P_{rem-60} (solos argilosos) o fator de conversão é maior. Inicialmente tinha-se, baseado em dados de vários trabalhos (Bureau et al., 1953; Hanway & Weber, 1971; Randall et al., 1975a; Ham & Cadwell, 1978; Al-Ithawi et al., 1980; Porto et al., 1980; Bataglia et al., 1984), o fator três para solos de textura média ($P_{rem-60} = 30 mg L^{-1}$) (a dose aplicada no sulco é três vezes menor que a aplicada a lanço). A partir daí, para solos argilosos ($P_{rem-60} = 5 mg L^{-1}$) foi estipulado um fator de conversão igual a quatro e para solos arenosos ($P_{rem-60} = 55 mg L^{-1}$) o fator foi dois. Com esses três pontos foi gerada uma equação (Equação 10) para estabelecer o fator de conversão da dose aplicada a lanço para a dose aplicada no sulco em função do P_{rem-60} dos solos. Trabalhos futuros devem investigar tal assunto, na tentativa de melhor modelar tais fatores.

$$Fc = 4,2 - 0,04P_{rem-60} \quad (10)$$

Para K, no SIRSo, foi considerada apenas a influência das doses do fertilizante na TR_{pl} (Quadro 8).

Quadro 8. Taxa de recuperação pela planta do K ($TR_{pl}K$), em percentagem, em função da dose de K em $kg\ ha^{-1}$

Equação	R ²	n
$TR_{pl}K = (87,506^{***} e^{-0,0042Dose\ K})$ $\forall 33 \leq Dose\ K \leq 200$	0,9979	5

*** Significativo a 0,1 %

Fonte: Adaptado de Rosolem & Nagawa (1985), Gill & Kamprath (1990).

Para doses de K maiores que $70\ kg\ ha^{-1}$, independente da textura do solo, a aplicação deve ser parcelada, quando esta for no sulco de plantio, para se evitar a queima das sementes, pois os fertilizantes potássicos apresentam alto índice salino. O SIRSo contempla várias combinações de parcelamento da dose de K a ser recomendada, bem como considera dose única para aplicações a lanço.

2.2.2 Nutriente requerido para sustentabilidade ($Nut_{sust.}$) visando garantir uma produtividade mínima desejada, em cultivos subseqüentes

No SIRSo, o nutriente requerido para sustentabilidade representa a quantidade de nutriente a ser mantida no solo, ou mesmo a ser adicionada, para garantir uma produtividade mínima desejada de grãos, em cultivos subseqüentes, ou seja a sustentabilidade da produção.

Assim, todo o esquema de cálculo da figura 1 pode ser utilizado para o cálculo do $Nut_{sust.}$. Dessa forma, duas decisões devem ser tomadas: se o $Nut_{sust.}$ for maior que Nut_{solo} , deve-se recomendar adubação para elevar a quantidade de nutrientes no solo a fim de garantir a sustentabilidade, e a partir daí mantê-la. Se $Nut_{sust.}$ for igual ou menor que Nut_{solo} não se aplica fertilizante com vistas à sustentabilidade. Para nutrientes como o P, que acumula no solo com as aplicações de fertilizantes, o SIRSo não considera a aplicação adicional para sustentabilidade.

2.3. Subsistema solo

2.3.1. Nutriente fornecido pelo solo (Nut_{solo})

Para obter dados dessa variável, foi feita uma busca na literatura de trabalhos a respeito da profundidade efetiva do sistema radicular (PER) da soja e da taxa de recuperação, por extratores mais comuns, dos nutrientes aplicados ao solo, ou mesmo, dos nutrientes do solo (TR_{ext}).

O cálculo dessa variável pode ser representado esquematicamente (Figura 2).

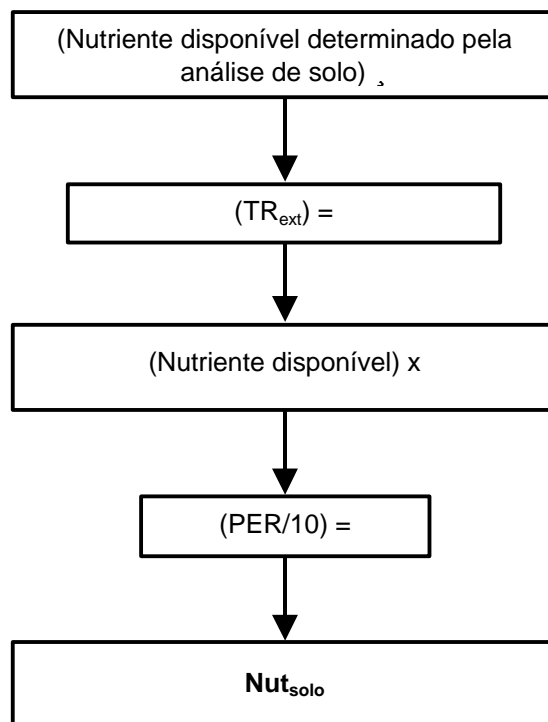


Figura 2: Fluxograma para cálculo da quantidade de nutriente na camada de solo, delimitada pela profundidade efetiva do sistema radicular (Nut_{solo}), em que TR_{ext} é a taxa de recuperação pelo extrator do nutriente aplicado ao solo via fertilizante e PER é a profundidade efetiva do sistema radicular.

A determinação da quantidade de nutriente disponível pela análise de solo sofre variação entre o sistema de plantio convencional (SPC) e o sistema de plantio direto (SPD) quanto à profundidade de amostragem. Estudo de Inforzato & Mascarenhas (1969) a respeito do sistema radicular da soja, em Latossolo Roxo mostrou que 71,5 % e 74,9 % das raízes se concentravam nos

primeiros 20 cm do solo adubado e sem adubo, respectivamente. Logo, para o SPC, a profundidade de amostragem será de 0 a 20 cm.

Segundo Murdock (1985), citado por Anghinoni & Salet (1997), a profundidade de amostragem no SPD, que apresenta um índice similar de disponibilidade da camada arável (0-20 cm) do SPC, é de 0-10 cm para o P e o K. Sá (1995), citado por Yamada (1999), em área com o SPD estabelecido há 13 anos, observou melhores correlações entre teor de P e produtividade com a amostragem na camada de 0-10 cm. A profundidade de 10 cm é a considerada para o SIRSo, nada impedindo que sejam considerados outros valores, pois muitos produtores consideram 15 cm como a profundidade de amostragem no SPD. No entanto, não há necessidade de se mudar a interpretação da análise de solo.

Nutrientes, como K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e B apresentam valores constantes de taxas de recuperação pelo extrator (Quadro 9). Para Fe e Mn, os dados não permitiram gerar equações do nutriente recuperado pelo extrator em função do aplicado. Dessa forma, adotou-se um valor de 0,50 como a TR_{ext} para esses nutrientes (Quadro 9). A recuperação por extratores do P, S e Zn aplicados ao solo varia com a capacidade tampão do solo, dose e localização do fertilizante, e com o próprio extrator utilizado na análise, bem como com a fonte do nutriente. No SIRSo são utilizadas equações que relacionam somente a recuperação do nutriente aplicado ao solo como fertilizante com o extrator (Mehlich-1 e Resina), para P, e P_{rem-60} para P, S e Zn (Quadro 10). Trabalhos futuros poderão investigar os valores de taxa de recuperação pelos extratores do nutriente aplicado ao solo, considerando outros fatores que também influenciam nessa recuperação, tais como: pH, matéria orgânica e teores de outros nutrientes.

Quadro 9. Equações de regressão para estimar os teores de K, Cu, Fe, Mn e B, recuperados pelos extratores, em função das doses, em mg dm^{-3} para estes nutrientes, e em $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ para Ca e Mg, aplicadas ao solo⁽¹⁾

Nutriente	Extrator	Equação	R ²
K	Mehlich-1	$K\hat{r}ec. = 4,00523 + 0,767758^{**}Kapl$	0,957
Ca	KCl 1mol L ⁻¹	$Ca\hat{r}ec. = 0,249499 + 0,766102^{**}Caapl$	0,918
Mg	KCl 1mol L ⁻¹	$Mg\hat{r}ec. = 0,278693 + 0,798972^{**}Mgapl$	0,906
Cu ⁽²⁾	DTPA	$Cu\hat{r}ec. = -0,106646 + 0,775335^{**}Cuapl$	0,977
Fe ⁽²⁾	Mehlich-1	$Fe\hat{r}ec. = 0,50 Feapl$	
Mn ⁽²⁾	Mehlich-1	$Mn\hat{r}ec. = 0,50 Mnapl$	
B	Água quente	$B\hat{r}ec. = -0,0074689 + 0,452205^{**}Bapl$	0,963

⁽¹⁾ K, Cu, Fe, Mn e B são dados em mg dm^{-3} e Ca e Mg em $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$

⁽²⁾ Considerar mesmas equações para análise por DTPA

******, Significativo a 1 %

Obs: Para Fe e Mn os valores são sugeridos.

Fonte: Mello (2000).

Quadro 10. Equações de regressão para estimar a taxa de recuperação pelo extrator do nutriente aplicado, em mg dm^{-3} , via fertilizante (TR_{ext}), em $\text{mg dm}^{-3}/\text{mg dm}^{-3}$, em função do P_{rem-60} , em mg L^{-1}

Nutriente	Extrator	Equação	R ²
P	Resina	$TR_{ext} = 0,419^{***}P_{rem-60}^{0,128099}$	0,694
P	Mehlich-1	$TR_{ext} = 0,0672821 + 0,0121615^{**}P_{rem-60}$	0,681
S	Ca(H ₂ PO ₄) ₂ em HOAc	$TR_{ext} = 0,04 + 0,0057^{**}P_{rem-60}$	0,955
Zn ⁽¹⁾	Mehlich-1	$TR_{ext} = 0,360254 - 0,00233886^{ns}P_{rem-60} + 0,000119843^{**}(P_{rem-60})^2$	0,932

⁽¹⁾ Considerar mesma equação para análise por DTPA

ns, **, *** Não significativo, significativo a 1 % e 0,1 %, respectivamente

Fonte: Adaptado de Campello (1993), Fernández Rojas (1995) e Mello (2000).

Para P extraído pela Resina, acreditava-se não haver influência da capacidade tampão do solo, medida pelo P_{rem-60} . No entanto, trabalhos de

Campello (1993) e Fernández Rojas (1995), onde se têm valores de 1ª extração de P pela Resina de troca aniônica, segundo método de Raij & Quaggio (1983), e valores da soma do teor de P de extrações sucessivas (P lábil), mostram que a relação entre P 1ª extração e P total das extrações sucessivas, varia com o valor de P_{rem-60} dos solos. Essa relação representa a TR_{ext} Resina, que, conseqüentemente, varia com o P_{rem-60} do solo (Quadro 10).

Para P pelo Mehlich-1, tem-se a estimativa da TR_{ext} em função do P_{rem-60} , por ser esse extrator sensível à capacidade tampão do solo. Isso ocorre devido à exaustão do extrator, causando uma redução da concentração ácida do mesmo, pela protonação da superfície de óxidos hidratados de Fe e Al, que podem adsorver os ânions SO_4^{2-} ou mesmo readsorver o fósforo já extraído (Muniz, 1983).

Quanto maior a profundidade do sistema radicular, espera-se que a quantidade de nutrientes absorvidos seja maior. A importância do crescimento radicular foi relatada por Roder et al. (1989), que mostraram haver relação direta entre o rendimento de grãos de soja e o comprimento total e o peso total das raízes. A obtenção de elevada produtividade depende, entre muitos fatores, do bom crescimento do sistema radicular das plantas.

No subsistema solo, considera-se que o volume de solo em um hectare é igual a 100 x 100 m x profundidade efetiva do sistema radicular (PER), em metros. Dessa forma, para se converter os dados da análise de solo em $mg\ dm^{-3}$ para $kg\ ha^{-1}$, divide-se a PER por 10. No SPC, como já comentado anteriormente, a PER, se expressa em cm, é de 20 cm. No SPD a PER é 10 cm. Embora a profundidade efetiva radicular, no plantio direto seja menor, a concentração de nutrientes na camada de 0–10 cm é maior. Como as raízes de soja se estendem horizontalmente a 40–75 cm, considera-se que 100 % do volume de solo é explorado pelas raízes horizontalmente.

Os valores obtidos pela análise de solo divididos pelos valores de taxa de recuperação pelo extrator (Quadros 9 e 10) vezes PER/10 geram a quantidade de nutrientes no solo (Nut_{solo}).

Uma questão que se coloca é quanto à taxa de recuperação pela planta do nutriente do solo. No entanto, no SIRSo, pela carência de dados, não foi possível calcular esta taxa. Pesquisas futuras podem contemplar tal variável.

2.3.2. Nutriente fornecido pelos resíduos orgânicos de cultivos anteriores ($Nut_{res.org.}$)

O fornecimento de nutrientes pelos resíduos orgânicos cumpre importante papel para essa cultura. O cálculo dessa variável envolveu a busca na literatura da produção de matéria seca dos resíduos orgânicos, do teor de nutrientes nesses resíduos, da taxa de liberação e recuperação pela planta dos nutrientes dos resíduos orgânicos (Figura 3).

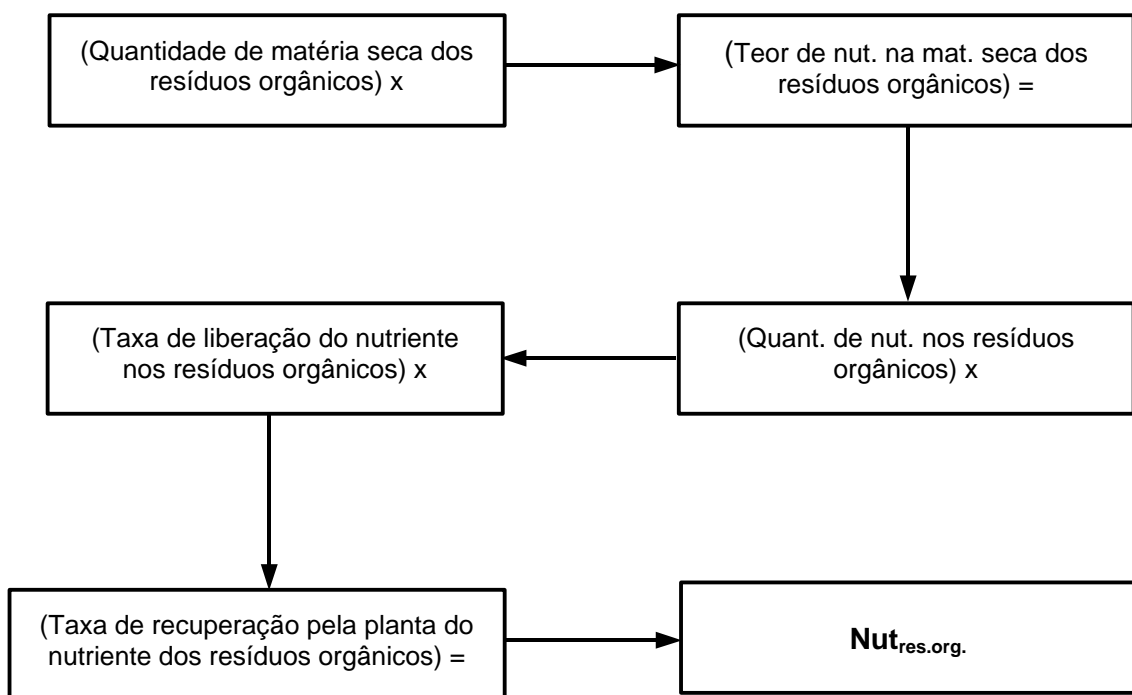


Figura 3: Fluxograma para cálculo da variável quantidade de nutriente fornecida pelos resíduos orgânicos ($Nut_{res.org.}$).

A produção de matéria seca dos resíduos orgânicos bem como o teor de nutriente nesses resíduos variam de acordo com características da espécie, idade da planta, fertilidade e capacidade tampão do solo, principalmente.

A taxa de liberação dos nutrientes pode ser obtida por meio de estudos com sacos de decomposição (“litterbags”), ou outros recipientes, ou pode-se fazer uma coleta dos resíduos depositados em uma determinada área sobre o solo no tempo zero (corte ou dessecação do material), também pode-se realizar experimentos em ambientes controlados, procedendo as medidas de

peso do material seco e análises da composição mineral dos resíduos, repetindo esse procedimento em outra época de amostragem (tempo 1). A relação entre a quantidade de nutrientes no tempo zero e a remanescente no tempo 1 fornece a taxa de liberação dos nutrientes dos resíduos (Anderson & Swift, 1983 citados por Andrade et al., 2000). Sabe-se que a taxa de liberação pode ser influenciada por uma série de fatores climáticos (temperatura, umidade), edáficos (pH, aeração, textura, fertilidade do solo), planta (produção de matéria seca, grau de lignificação do resíduo, composição química, presença de substâncias estimulantes ou alelopáticas) e manejo (incorporação, corte, dessecante químico, queima) (Brady, 1989; Sanchez et al., 1989; Ruiz Alderete, 1996; Camargo et al., 1997; Andrade et al., 2000).

A grande influência desses vários fatores, bem como a escassez de experimentos com dados a respeito da taxa de liberação dos nutrientes dos resíduos em condições tropicais dificultam ainda mais a obtenção de uma medida segura do fornecimento de nutrientes a partir dos resíduos orgânicos. Entretanto, a busca em vários trabalhos sobre decomposição e liberação de nutrientes de resíduos orgânicos (Buchanan & King, 1993; Luna-Orea, 1996; Oliveira, 1999; Andrade et al., 2000) serviu como base para obtenção dos valores das taxas de liberação dos diversos nutrientes (Quadro 11). Embora nem todos os resíduos sejam sempre de gramíneas ou leguminosas, um ou outro valor pode ser usado para quando se espera menor ou maior valor de liberação dos nutrientes dos resíduos. A carência de dados não possibilitou estabelecimento dos valores da taxa de recuperação pela planta dos nutrientes dos resíduos orgânicos. Dessa forma, essa taxa foi considerada como 90 %, tanto para gramíneas quanto para leguminosas (Quadro 11). Espera-se que a taxa de recuperação pela planta dos nutrientes dos resíduos seja maior comparada à taxa de recuperação pela planta do nutriente aplicado ao solo; entre outros, pela liberação mais lenta dos nutrientes dos resíduos, permitindo melhor aproveitamento pelas plantas. No entanto, sugerem-se estudos a esse respeito.

Quadro 11. Taxa de liberação dos nutrientes dos resíduos orgânicos (k), por ciclo, e taxa de recuperação, em percentagem, pela planta dos nutrientes dos resíduos orgânicos ($TR_{\text{pres.org.}}$) para gramíneas e leguminosas

Nutriente	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Zn	Mn	B
	Gramíneas										
k	0,7	0,7	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
	Leguminosas										
k	0,8	0,8	0,9	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
$TR_{\text{pres.org.}}$	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90

O K apresenta liberação mais rápida pelo fato de não participar da formação de compostos estruturais nas plantas. Em trabalho de Oliveira et al. (1999), sobre decomposição e liberação de nutrientes da palhada de cana, houve liberação de 85 % do K da palhada no período de um ano. Estudo de Yadav et al. (1987), também com cana, apontou uma liberação de 35 % do K da palhada nos primeiros 15 dias de incubação e 70 % aos 120 dias, época em que a liberação de Ca e Mg atingiu 44 % e 39 %, respectivamente.

Estudos futuros devem envolver os principais fatores que comandam a dinâmica de nutrientes nos resíduos orgânicos, na região de produção da cultura, na tentativa de obter valores mais adequados, pois extrapolações de um local para outro devem ser evitadas. Entretanto, nada impede que se utilize um valor considerado mais acurado, em lugar dos valores sugeridos neste trabalho, tanto para produção de matéria seca quanto para os valores de concentração dos nutrientes.

Os valores do quadro 11 das taxas de liberação e da taxa de recuperação pela planta dos resíduos orgânicos devem ser utilizados juntamente com os valores de produção de matéria seca e teores de nutrientes (Quadros 12 e 13) na previsão da variável $Nut_{\text{res.org.}}$. Cabe ressaltar que maior número de trabalhos, a respeito do teor de nutrientes nas várias plantas de cobertura, devem ser explorados.

Quadro 12. Produção de matéria seca total (MS) e teores de macronutrientes de diversas culturas de cobertura ou de rotação

Cultura	MS	N	P	K	Ca	Mg	S
	kg ha ⁻¹	-----dag kg ⁻¹ -----					
Milho, milheto e sorgo	15.255	1,36	0,25	1,68	0,30	0,27	0,17
<i>Brachiaria brizantha</i>	6.000	1,03	0,20	1,83	0,22	0,20	0,17
Aveia, trigo e triticale	3.536	1,09	0,16	2,00	0,38	0,17	0,17
Guandu, mucuna, tremoço e crotalária	5.549	2,53	0,20	1,76	0,78	0,28	0,17
Média	6.828	1,36	0,19	1,75	0,44	0,23	0,17

Fonte: Adaptado de Motta (1994), Dalla Rosa, (1981), citado por Scalea (1995), Ceretta et al. (1994), Hernani et al. (1995), Séguy & Bouzinac (1995), Magalhães (1997), Borkert et al. (1999), Zago (1999) e Coelho & França (1995).

Quadro 13. Produção de matéria seca total (MS) e teores de micronutrientes de diversas culturas de cobertura ou de rotação

Cultura	MS	Cu	Fe	Zn	Mn	B
	kg ha ⁻¹	-----mg kg ⁻¹ -----				
Milho e sorgo	14.225	15,88	485,34	32,65	37,33	19,53
<i>B. brizantha</i>	6.000	3,33	503,50	29,67	153,83	19,53
Aveia preta	10.334	9,00	491,39	21,00	286,05	19,53
Guandu e mucuna preta	5.631	22,64	491,39	27,84	119,89	19,53
Tremoço	10.094	21,20	491,39	41,51	125,72	19,53
Média	9.257	14,41	492,60	30,53	144,56	19,53

Fonte: Adaptado de Motta (1994), Dalla Rosa, (1981), citado por Scalea (1995), Ceretta et al. (1994), Hernani et al. (1995), Séguy & Bouzinac (1995), Magalhães (1997), Borkert et al. (1999), Zago (1999) e Coelho & França (1995).

Um ponto importante a se considerar é que a ciclagem de nutrientes é um processo dinâmico, e sua eficiência depende da sincronia entre a disponibilização de nutrientes oriundos da decomposição dos resíduos orgânicos e a demanda nutricional da planta (Myers et al., 1994).

3. EXEMPLO DO SISTEMA

3.1. Simulação do SIRSo

Para verificar o SIRSo, consideraram-se 3.000 kg ha⁻¹ de grãos de soja como produtividade desejada, 1.100 kg ha⁻¹ de grãos como produtividade mínima desejada para garantir a sustentabilidade e sistema de plantio convencional, tendo o milho como a cultura antecedendo à soja, com uma produção de matéria seca de 8.000 kg ha⁻¹.

Pelos dados da análise de solo (Quadro 14), recomenda-se 729 kg ha⁻¹ de calcário (PRNT = 87 %, 38 % de CaO e 12 % de MgO) a ser aplicado em área total, pelo método da saturação por bases, considerando uma profundidade de incorporação de 20 cm. Com essa quantidade de calcário atinge-se um pH final de 5,40 (Equações 5 e 6).

Quadro 14. Resultados de uma análise química de solo do Banco de Dados do Laboratório de Análises de Solos do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa

Característica	Valor	Extrator
Ph	4,90	Água (1:2,5)
P (mg dm ⁻³)	1,50	Mehlich-1
K (mg dm ⁻³)	16,00	Mehlich-1
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,60	KCl 1 mol L ⁻¹
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,20	KCl 1 mol L ⁻¹
Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,20	KCl 1 mol L ⁻¹
H + Al (cmol _c dm ⁻³)	2,11	Acetato de Ca 0,5 mol L ⁻¹ - pH 7,0
S (mg dm ⁻³)	2,50	Ca(H ₂ PO ₄) ₂ em HOAc (1:2,5)
Cu (mg dm ⁻³)	0,20	Mehlich-1
Fe (mg dm ⁻³)	30,00	Mehlich-1
Zn (mg dm ⁻³)	1,50	Mehlich-1
Mn (mg dm ⁻³)	2,40	Mehlich-1
B (mg dm ⁻³)	0,40	Água quente
P _{rem-60} (mg L ⁻¹)	40,70	CaCl ₂ 10 mmol L ⁻¹
M.O. (dag kg ⁻¹)	1,81	Método Walkley-Black

3.1.1. Cálculos da matéria seca total, matéria seca vegetativa + vagens e matéria seca de grãos

A produtividade de matéria seca total (MST) é obtida por meio de uma equação que relaciona produtividade de grãos em kg ha⁻¹ e produção de matéria seca total em kg ha⁻¹ (Equação 8):

$$\text{MST} = -43.400,9 + 14.936,7^{***}\log(\text{Prod}) \quad R^2 = 0,618$$

$$\text{MST} = -43.400,9 + 14.936,7\log(3.000)$$

$$\text{MST} = 8.536 \text{ kg ha}^{-1}$$

A matéria seca de grãos (MSG) é obtida considerando-se 13 % de umidade nos grãos, e descontando-se esse valor sobre a produtividade de grãos desejada.

$$\text{MSG} = 0,87 \times \text{Produtividade}$$

$$\text{MSG} = 0,87 \times 3.000$$

$$\text{MSG} = 2.610 \text{ kg ha}^{-1}$$

Para calcular a matéria seca vegetativa (raiz, caule, folhas e pecíolos) mais vagens (MSVV), subtrai-se a MSG da MST:

$$\text{MSVV} = \text{MST} - \text{MSG}$$

$$\text{MSVV} = 8.536 - 2.610$$

$$\text{MSVV} = 5.926 \text{ kg ha}^{-1}$$

3.1.2. Cálculos para o P

O CUBP dos grãos varia com a capacidade tampão do solo (Quadro 2), estimada a partir do valor do $P_{\text{rem-60}}$, que é igual a $40,7 \text{ mg L}^{-1}$ (Quadro 14):

$$\text{CUBP dos grãos} = 266,88 - 2,616P_{\text{rem-60}} \quad R^2 = 0,937$$

$$\text{CUBP dos grãos} = 266,88 - 2,616 (40,7)$$

$$\text{CUBP dos grãos} = 160,41 \text{ kg kg}^{-1}$$

Dividindo-se a quantidade de matéria seca de grãos (MSG) pelo CUBP dos grãos, encontra-se a quantidade de P na matéria seca de grãos de soja (Nut_{MSG}):

$$\text{Nut}_{\text{MSG}} = \text{MSG}/\text{CUBP grão}$$

$$\text{Nut}_{\text{MSG}} = 2.610/160,41$$

$$\text{Nut}_{\text{MSG}} = 16,27 \text{ kg ha}^{-1} \text{ de P}$$

Para a MSVV, o CUBP varia tanto com a produtividade de grãos, quanto com o valor de P_{rem-60} do solo. Uma regressão linear múltipla foi gerada para estimar o valor do CUBP da MSVV em função da produtividade de grãos e do P_{rem-60} (Quadro 5):

$$\text{CUBP da MSVV} = 2022,352 - 0,417\text{Prod} + 0,00003434^{***}\text{Prod}^2 - 9,342^{***}P_{rem-60}$$

$$R^2 = 0,950$$

$$\text{CUBP da MSVV} = 2.022,352 - 0,417(3.000) + 0,00003434(3.000)^2 - 9,342(40,7)$$

$$\text{CUBP da MSVV} = 700,20 \text{ kg kg}^{-1}$$

Dividindo-se a quantidade de matéria seca vegetativa mais vagens pelo CUBP da MSVV, encontra-se a quantidade de P na MSVV (Nut_{MSVV}):

$$Nut_{MSVV} = \text{MSVV}/\text{CUBP da MSVV}$$

$$Nut_{MSVV} = 5.926/700,20$$

$$Nut_{MSVV} = 8,46 \text{ kg ha}^{-1} \text{ de P}$$

A quantidade total de P nas plantas de soja, em um hectare (Nut_{planta}), é obtida pela soma da quantidade de P acumulada na matéria seca de grãos (Nut_{MSG}) e a quantidade de P acumulada na matéria seca vegetativa mais vagens (Nut_{MSVV}):

$$Nut_{planta} = Nut_{MSG} + Nut_{MSVV}$$

$$Nut_{planta} = 16,27 + 8,46$$

$$Nut_{planta} = 24,73 \text{ kg ha}^{-1} \text{ de P}$$

A quantidade de $24,73 \text{ kg ha}^{-1}$ de P na planta é a quantidade de P nas plantas de soja em um hectare, representando a demanda de P pelas plantas de soja. No entanto, a aplicação de $24,73 \text{ kg ha}^{-1}$ de P via fertilizante, não atenderá a demanda da planta, havendo necessidade de se conhecer a taxa de recuperação pela planta do nutriente aplicado ao solo via fertilizante (TR_{pl}).

Os dados disponíveis, que possibilitaram a modelagem da taxa de recuperação pela planta do P aplicado, são para fonte solúvel e aplicação a lanço e incorporada (Quadro 7). Ao final dos cálculos essa dose será

transformada em dose a ser aplicada no sulco, utilizando um fator de conversão (Fc) variável com o P_{rem-60} do solo.

$$TR_{pl}Ps = [(4,508^{***}e^{0,0347P_{rem-60}})]/100 \quad R^2 = 0,837$$

$$TR_{pl}Ps = [(4,508e^{0,0347(40,7)})]/100$$

$$TR_{pl}Ps = 0,185$$

A relação entre o Nut_{planta} e a $TR_{pl}Ps$ fornece o nutriente requerido pela planta ($Nut_{req,planta}$), que representa a quantidade de P necessária, em um hectare, para se atender a demanda da planta (requerimento):

$$Nut_{req,planta} = Nut_{planta}/TR_{pl}Ps$$

$$Nut_{req,planta} = 24,73/0,185$$

$$Nut_{req,planta} = 133,68 \text{ kg ha}^{-1} \text{ de P}$$

Considerando a PER, em cm, igual a 20 cm, por ser tratar de SPC e mudando a unidade para mg dm^{-3} , tem-se:

$$133,68 \text{ kg ha}^{-1} = 66,84 \text{ mg dm}^{-3}$$

Para determinar o nível crítico de P no solo (NiCriP) suficiente para sustentar a produtividade de 3.000 kg ha^{-1} , usa-se a equação da TR_{ext} para P Mehlich-1 (M-1) (Quadro 10):

$$TR_{ext}P \text{ (M-1)} = 0,0672821 + 0,0121615^{**}P_{rem-60} \quad R^2 = 0,681$$

$$TR_{ext}P \text{ (M-1)} = 0,0672821 + 0,0121615(40,7)$$

$$TR_{ext}P \text{ (M-1)} = 0,562 \text{ mg dm}^{-3} / \text{mg dm}^{-3}$$

$$NiCriP \text{ (M-1)} = 66,84(0,562)$$

$$NiCriP \text{ (M-1)} = 37,56 \text{ mg dm}^{-3}$$

Para Resina aniônica (RA) a $TR_{ext}P$ também é dada por uma equação tendo-se como variável independente o P_{rem-60} (Quadro 10):

$$TR_{\text{ext}}P \text{ (RA)} = 0,419^{***}P_{\text{rem-60}}^{0,128099} \quad R^2 = 0,694$$

$$TR_{\text{ext}}P \text{ (RA)} = 0,419(40,7)^{0,128099}$$

$$TR_{\text{ext}}P \text{ (RA)} = 0,674 \text{ mg dm}^{-3} / \text{mg dm}^{-3}$$

$$133,68 \text{ kg ha}^{-1} = 66,84 \text{ mg dm}^{-3} \text{ (considerando PER} = 20 \text{ cm)}$$

$$\text{NiCriP (RA)} = 66,84(0,674)$$

$$\text{NiCriP (RA)} = 45,05 \text{ mg dm}^{-3}$$

Para P, não há razão para se considerar uma quantidade de nutriente a ser mantida no solo para garantir a sustentabilidade, pois solos tropicais, em geral, por apresentarem elevada adsorção, acumulam P com aplicações sucessivas deste nutriente.

O valor da análise de solo para P disponível em mg dm^{-3} pelo extrator Mehlich-1 dividido pela $TR_{\text{ext}}P$ ($0,562 \text{ mg dm}^{-3} / \text{mg dm}^{-3}$) e multiplicado pela profundidade efetiva radicular (PER)/10 fornece a quantidade de nutriente em um hectare de solo (Nut_{solo}). Para o SPC a PER é 20 cm:

$$Nut_{\text{solo}} = (P_{\text{disponível}}/TR_{\text{ext}}P)(\text{PER}/10)$$

$$Nut_{\text{solo}} = (1,50/0,562)(20/10)$$

$$Nut_{\text{solo}} = 2,67(2)$$

$$Nut_{\text{solo}} = 5,34 \text{ kg ha}^{-1} \text{ de P}$$

Caso a análise de P fosse feita por resina, a única diferença seria quanto ao cálculo da TR_{ext} , que para resina também varia com o $P_{\text{rem-60}}$ (Quadro 10).

A quantidade de P fornecida pelos resíduos orgânicos ($Nut_{\text{res.org.}}$) envolve a produção de matéria seca total (MST) da cultura antecessora à soja que, no caso, é o milho com uma produção de 8.000 kg ha^{-1} de matéria seca total; envolve o teor do nutriente na matéria seca (Quadro 12), a taxa de liberação do nutriente (k) e a taxa de recuperação pela planta dos nutrientes dos resíduos orgânicos ($TR_{\text{plres.org.}}$) (Quadro 11).

$$\text{Nut}_{\text{res.org.}} = (\text{MST})(\text{teor de P na MST})(k)(\text{TR}_{\text{plres.org.}})$$

$$\text{Nut}_{\text{res.org.}} = (8.000)(0,25)(0,7)(0,9)$$

$$\text{Nut}_{\text{res.org.}} = 1.260 \text{ dag ha}^{-1}$$

$$\text{Nut}_{\text{res.org.}} = 12,60 \text{ kg ha}^{-1} \text{ de P}$$

Com todos os componentes, chega-se à dose de nutriente a ser recomendada pela equação:

$$\text{Nut}_{\text{fert.}} = (\text{Nut}_{\text{req.planta}} + \text{Nut}_{\text{sust.}}) - (\text{Nut}_{\text{solo}} + \text{Nut}_{\text{res.org.}})$$

$$\text{Nut}_{\text{fert.}} = (133,68 + 0,00) - (5,34 + 12,60)$$

$$\text{Nut}_{\text{fert.}} = (133,68) - (17,94)$$

$\text{Nut}_{\text{fert.}} = 115,74 \text{ kg ha}^{-1}$ de P aplicados a lanço e incorporado (0 – 20 cm)

Para chegar à dose a ser aplicada no sulco, divide-se a dose a ser aplicada a lanço por um fator de conversão que varia com o $P_{\text{rem-60}}$ do solo (Equação 10)

$$F_c = 4,2 - 0,04^{***}P_{\text{rem-60}}$$

$$F_c = 4,2 - 0,04(40,7)$$

$$F_c = 2,57$$

$$\text{Nut}_{\text{fert.}} = 115,74/2,57$$

$\text{Nut}_{\text{fert.}} = 45 \text{ kg ha}^{-1}$ de P aplicados no sulco de plantio, utilizando uma fonte solúvel

3.1.3. Cálculos para o K

Para o potássio utiliza-se o valor médio para CUB de K (CUBK) dos grãos (Quadro 1):

$$\text{CUBK dos grãos} = 50,4 \text{ kg kg}^{-1}$$

Dividindo-se a quantidade de matéria seca de grãos (MSG) pelo CUBK dos grãos, encontra-se a quantidade de K na matéria seca de grãos de soja (Nut_{MSG}):

$$Nut_{MSG} = MSG/CUBK \text{ grão}$$

$$Nut_{MSG} = 2.610/50,4$$

$$Nut_{MSG} = 51,78 \text{ kg ha}^{-1} \text{ de K}$$

Para a MSVV o CUBK varia com a produtividade de grãos. Uma regressão linear foi gerada para estimar o valor do CUBK da MSVV em função da produtividade de grãos (Quadro 4):

$$CUBK \text{ da MSVV} = 37.6816,57^{***}Prod^{-1,0422} \quad R^2 = 0,785$$

$$CUBK \text{ da MSVV} = 37.6816,57(3.000)^{-1,0422}$$

$$CUBK \text{ da MSVV} = 89,59 \text{ kg kg}^{-1}$$

Dividindo-se a quantidade de matéria seca vegetativa mais vagens pelo CUBK da MSVV, encontra-se a quantidade de K na MSVV (Nut_{MSVV}):

$$Nut_{MSVV} = MSVV/CUBK \text{ da MSVV}$$

$$Nut_{MSVV} = 5.926/89,59$$

$$Nut_{MSVV} = 66,14 \text{ kg ha}^{-1} \text{ de K}$$

A quantidade total de K nas plantas de soja, em um hectare (Nut_{planta}), é obtida somando-se o Nut_{MSG} e o Nut_{MSVV}

$$Nut_{planta} = Nut_{MSG} + Nut_{MSVV}$$

$$Nut_{planta} = 51,78 + 66,14$$

$$Nut_{planta} = 117,92 \text{ kg ha}^{-1} \text{ de K}$$

Para se ter o $Nut_{req.planta}$ há necessidade de determinação da $TR_{pl}K$, que varia com a dose do fertilizante a ser aplicado (Quadro 8). No entanto, ainda não se conhece a dose a ser recomendada visto que esta depende da TR_{pl} pela planta do K aplicado como fertilizante. Para resolver tal situação,

utiliza-se o valor de Nut_{planta} como se essa quantidade fosse a dose de K a ser aplicada. Como o Nut_{planta} é maior que 70 kg ha^{-1} ($117,92 \text{ kg ha}^{-1}$), a aplicação será parcelada em duas vezes, metade no plantio e a outra metade 15 dias após a emergência. Assim para cálculo da TR_{pl} divide-se o Nut_{planta} por dois:

$$TR_{pl}K = (87,506^{***}e^{-0,0042Dose K})/100 \quad R^2 = 0,998$$

$$TR_{pl} = (87,506.e^{-0,0042.(117,92/2)})/100$$

$$TR_{pl} = (68,4)/100$$

$$TR_{pl} = 0,684$$

A relação entre o Nut_{planta} e a $TR_{pl}K$, fornece o nutriente requerido pela planta ($Nut_{req,planta}$), que representa a quantidade de K necessária, em um hectare, para se atender a demanda da planta:

$$Nut_{req,planta} = Nut_{planta}/TR_{pl}K$$

$$Nut_{req,planta} = 117,92/0,684$$

$$Nut_{req,planta} = 172,40 \text{ kg ha}^{-1} \text{ de K}$$

$$172,40 \text{ kg ha}^{-1} = 86,2 \text{ mg dm}^{-3} \text{ (Para PER = 20 cm)}$$

Para calcular o NiCri de K (M-1) para sustentar a produtividade de 3.000 kg ha^{-1} usa-se (Quadro 9):

$$Krecup = 4,00523 + 0,767758^{**}KapI \quad R^2 = 0,957$$

$$TR_{ext}K = 0,767758 \text{ mg dm}^{-3}/ \text{ mg dm}^{-3}$$

$$NiCriK = 86,2(0,767758)$$

$$NiCriK = 66,18 \text{ mg dm}^{-3}$$

O cálculo da quantidade de nutriente a ser mantida no solo para sustentabilidade indica um total de $29,19 \text{ kg ha}^{-1}$ de K.

$$Nut_{sust.} = 29,19 \text{ kg ha}^{-1} \text{ de K}$$

O valor da análise de solo para K trocável em mg dm^{-3} para o extrator Mehlich-1, dividido pela TR_{extK} ($0,767758 \text{ mg dm}^{-3} / \text{mg dm}^{-3}$) e multiplicado pela profundidade efetiva radicular (PER)/10, fornece a quantidade de nutriente em um hectare de solo (Nut_{solo}).

$$\text{Nut}_{\text{solo}} = (\text{Ktrocável} / \text{TR}_{\text{extK}}) (\text{PER} / 10)$$

$$\text{Nut}_{\text{solo}} = (16 / 0,767758) (20 / 10)$$

$$\text{Nut}_{\text{solo}} = 20,84(2)$$

$$\text{Nut}_{\text{solo}} = 41,68 \text{ kg ha}^{-1} \text{ de K}$$

Para o cálculo da quantidade de K fornecida pelos resíduos orgânicos ($\text{Nut}_{\text{res.org.}}$) utiliza-se a MST, o teor de K na MS do milho, que é a $1,68 \text{ dag kg}^{-1}$ (Quadro 12), a taxa de liberação (k) e a taxa de recuperação pela planta do K dos resíduos orgânicos ($\text{TR}_{\text{plres.org.}}$) (Quadro 11).

$$\text{Nut}_{\text{res.org.}} = (\text{MST}) (\text{teor de K na MST}) (k) (\text{TR}_{\text{plres.org.}})$$

$$\text{Nut}_{\text{res.org.}} = (8.000) (1,68) (0,8) (0,9)$$

$$\text{Nut}_{\text{res.org.}} = 9.676,80 \text{ dag ha}^{-1}$$

$$\text{Nut}_{\text{res.org.}} = 96,76 \text{ kg ha}^{-1} \text{ de K}$$

Com todos os componentes chega-se à dose de nutriente a ser recomendada pela equação:

$$\text{Nut}_{\text{fert.}} = (\text{Nut}_{\text{req.planta}} + \text{Nut}_{\text{sust.}}) - (\text{Nut}_{\text{solo}} + \text{Nut}_{\text{res.org.}})$$

$$\text{Nut}_{\text{fert.}} = (172,40 + 29,19) - (41,68 + 96,76)$$

$$\text{Nut}_{\text{fert.}} = (201,59) - (138,44)$$

$$\text{Nut}_{\text{fert.}} = 63,15 \text{ kg ha}^{-1} \text{ de K}$$

3.1.4. Cálculos para os demais nutrientes

Para os demais nutrientes, o mesmo raciocínio de cálculos deve ser seguido, somente para o Ca e Mg é que se considera a contribuição vinda da

calagem, pois essa é uma fonte usual de entrada de nutrientes no sistema (Quadro 15).

Quadro 15. Valores de nutriente requerido pela planta ($Nut_{req.planta}$), nível crítico no solo (NiCri), nutriente requerido para sustentabilidade ($Nut_{sust.}$), no solo (Nut_{solo}), proveniente dos resíduos orgânicos ($Nut_{res.org.}$), proveniente da calagem ($Nut_{calagem}$), e quantidade de nutriente a ser aplicada via fertilizante ($Nut_{fert.}$) no sulco de plantio, considerando PER igual a 20 cm e análise de solo do quadro 14

Nutriente	$Nut_{req.planta}$	NiCri	$Nut_{sust.}$	Nut_{solo}	$Nut_{res.org.}$	$Nut_{calagem}$	$Nut_{fert.}$
	kg ha ⁻¹	(1)	-----kg ha ⁻¹ -----				
N	502,09	(2)	141,57	19,90 ⁽³⁾	68,29		556 ⁽⁴⁾
P (M-1)	133,68	37,56	0,00	5,34	12,60		45
K	172,40	66,18	29,19	41,68	96,76		63
Ca	126,01	0,24	25,79	313,27	15,21	98,98	0
Mg	68,17	0,22	14,81	60,83	13,58	19,25	0
S	32,73	4,35	8,59	18,38	8,57		15
Cu	2,97	1,15	0,70	0,52	0,08		3
Fe	26,82	6,71	6,29	120,00	2,45		0
Zn	9,12	2,11	2,16	6,47	0,17		5
Mn	4,90	1,23	1,18	9,60	0,19		0
B	3,78	0,85	0,90	1,77	0,10		3

(1) NiCri considerando o $Nut_{req.planta}$ em mg dm⁻³ para P, K, S e micronutrientes e cmol_c dm⁻³ para Ca²⁺ e Mg²⁺

(2) Para N não há dado para nutriente recuperado pelo extrator, por isso não é possível estimar o NiCri

(3) O cálculo de Nut_{solo} foi estimado a partir da equação $N_{inorg.} = 12,839 + 3,8996(M.O.)$ (Vahl, 1982, citado por Raffaelli, 2000)

(4) Não será recomendada a adubação nitrogenada, pois a demanda de N será suprida pela fixação biológica, os valores referentes a esse nutriente no balanço objetivam dar uma idéia da elevada exigência da cultura

Analisando os valores dos níveis críticos no solo para cada nutriente (NiCri) (Quadro 15), observam-se valores maiores do SIRSo para P, Zn e B em relação à 5ª Aproximação, os demais nutrientes apresentam valores menores de NiCri no solo pelo SIRSo.

3.2. Comparação entre recomendações geradas pelo SIRSo e outros métodos

Para testar as recomendações de nutrientes geradas pelo SIRSo, fez-se uma comparação com as recomendações de tabelas ou boletins de algumas das principais instituições do país para a soja: 5ª Aproximação (MG), ROLAS (RS e SC), CNPSo (Embrapa Soja) e CPAC (Embrapa Cerrados) e Boletim 100 (Quadro 16), com P disponível pelo Mehlich-1 = 1,5 mg dm⁻³ e pela Resina = 6 mg dm⁻³, K disponível = 25 mg dm⁻³, P_{rem-60} = 3, 28 e 52 mg L⁻¹. Admitiu-se valor zero para sustentabilidade e resíduos orgânicos.

A comparação entre as doses recomendadas de P (Quadro 16) mostra que SIRSo, considerando a produtividade de 2.500 kg ha⁻¹, recomenda maiores quantidades de P para os menores valores de P_{rem-60} (3 mg L⁻¹). Para P_{rem-60} = 28 mg L⁻¹ as doses recomendadas pelo SIRSo e pelas tabelas são relativamente próximas. Quando P_{rem-60} = 52 mg L⁻¹ as doses recomendadas pelo SIRSo são menores em relação ao Boletim 100, 5ª Aproximação e ROLAS, sendo bem próximas das recomendações do CNPSo e maiores que as do CPAC. Acima da produtividade de 2.500 kg ha⁻¹, as recomendações de P pelo SIRSo são maiores. Para K, a dose recomendada para 2.500 kg ha⁻¹ pelo SIRSo só é maior em relação ao Boletim 100. No entanto, para as demais produtividades as doses recomendadas de K pelo SIRSo são maiores. Verifica-se uma variação contínua das recomendações feitas pelo SIRSo, o que não ocorre para os demais, ou porque as recomendações se repetem ou mesmo porque não há nenhum indicativo da produtividade a ser considerada. Cabem ressalvas as doses de P recomendadas pelo ROLAS, que aumentam com o aumento do P_{rem-60}, contrariando o esperado, embora as diferenças sejam pequenas. Comparando-se as recomendações de P analisado por Mehlich-1 e Resina, no SIRSo, observam-se valores bem próximos, tanto com a variação da produtividade quanto com o P_{rem-60}.

Quadro 16. Doses de P e K recomendadas em relação à produtividade de grãos, pelo SIRSo e por algumas publicações de importância no país, considerando o SPC

Nutriente	P _{rem-60}	Produt. SIRSo ⁽¹⁾	SIRSo ⁽²⁾	Bol. 100	5ª Aprox.	ROLAS	CNPSo	CPAC	
	mg L ⁻¹	kg ha ⁻¹							
P	3	2.500	56	57	35	52	46	41	74 ou 39 ⁽⁵⁾
	28	2.500	44	40	35	52	52	41	74 ou 35 ⁽⁵⁾
	52	2.500	39	33	35	52	57	41	66 ou 31 ⁽⁵⁾
K ⁽³⁾		2.500	61	61	58	100	75	116+75 ⁽⁴⁾	83
	3	3.000	70	71	39	52			
	28	3.000	54	51	39	52			
K	52	3.000	50	44	39	52			
		3.000	107	107	66	100			
	3	3.500	84	85	(6)				
P	28	3.500	65	61	(6)				
	52	3.500	61	55	(6)				
		3.500	161	161	66				
K	3	4.000	98	99	(3)				
	28	4.000	76	72	(3)				
	52	4.000	72	66	(3)				
K		4.000	220	220	66				
	3	4.500	111	112					
	28	4.500	87	83					
P	52	4.500	85	79					
		4.500	286	286					

⁽¹⁾ Considerando análise pelo Mehlich-1

⁽²⁾ Considerando análise pela Resina (apenas para P)

⁽³⁾ Considerando parcelamento em duas vezes, metade da dose no sulco de plantio e outra metade em cobertura 15 dias após emergência

⁽⁴⁾ 116 kg ha⁻¹ aplicados a lanço e incorporado mais 75 kg ha⁻¹ aplicados no sulco

⁽⁵⁾ 74 kg ha⁻¹ aplicados a lanço e incorporado ou 39 kg ha⁻¹ aplicados no sulco, idem para os demais só modificando-se os valores

⁽⁶⁾ O Boletim 100 considera não ser possível obter essa produtividade com aplicação localizada de P em solos com teores muito baixos desse elemento

3.3. Análise de sensibilidade

A análise de sensibilidade objetiva avaliar o efeito de cada variável sobre as recomendações geradas pelo SIRSo. Assim, para cada nutriente procurou-se relacionar as variáveis que mais influenciam as doses recomendadas, submetendo cada uma delas à variação e mantendo-se as demais constantes.

Analisando os gráficos (Figuras 4 a 13) observa-se, de forma geral, que produtividade e sustentabilidade são as variáveis que mais influenciam as doses recomendadas (maiores declividades), tanto para macro quanto para micronutrientes. Exceção para o S, onde o P_{rem-60} é a variável principal na variação das doses recomendadas. O teor disponível do nutriente pouco interfere para P e K, no entanto, para os demais nutrientes essa é uma variável que influencia muito na dose recomendada, principalmente para o Ca e micronutrientes. Os resíduos orgânicos pouco interferem nas doses a serem recomendadas.

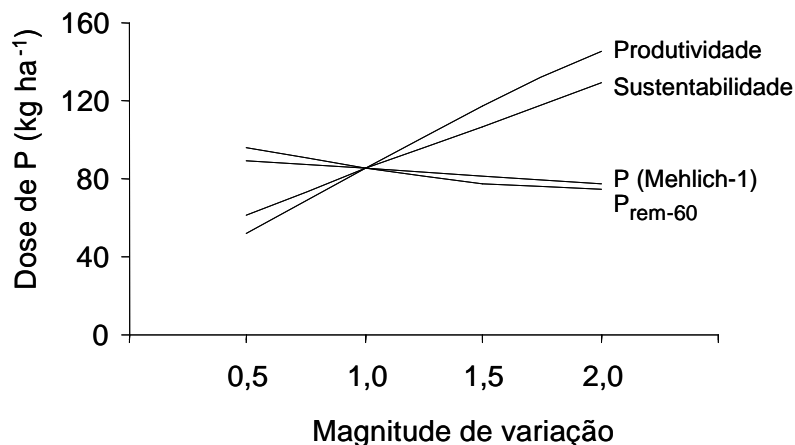


Figura 4. Análise de sensibilidade para a variação dos valores das variáveis utilizadas na estimativa da dose de P (Mehlich-1) a ser aplicada.

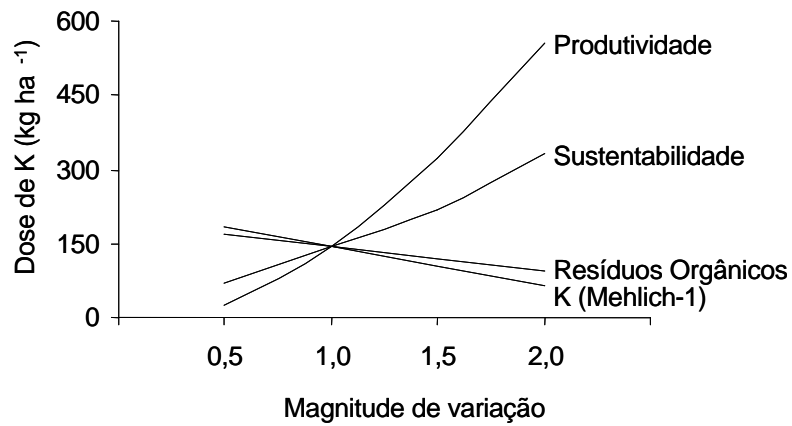


Figura 5. Análise de sensibilidade para a variação dos valores das variáveis utilizadas na estimativa da dose de K a ser aplicada.

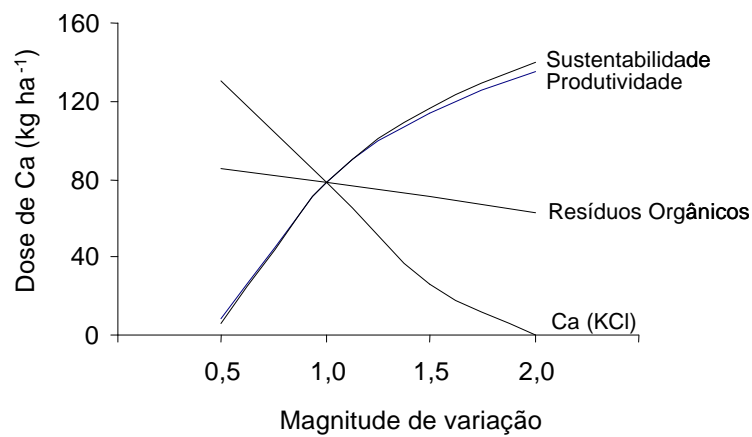


Figura 6. Análise de sensibilidade para a variação dos valores das variáveis utilizadas na estimativa da dose de Ca a ser aplicada.

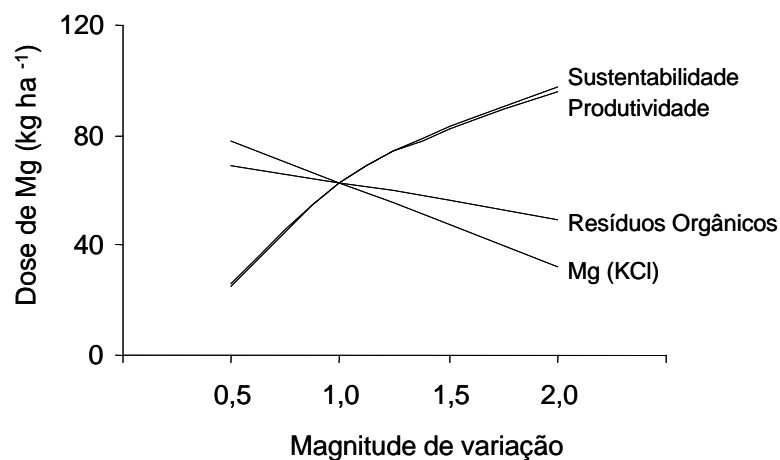


Figura 7. Análise de sensibilidade para a variação dos valores das variáveis utilizadas na estimativa da dose de Mg a ser aplicada.

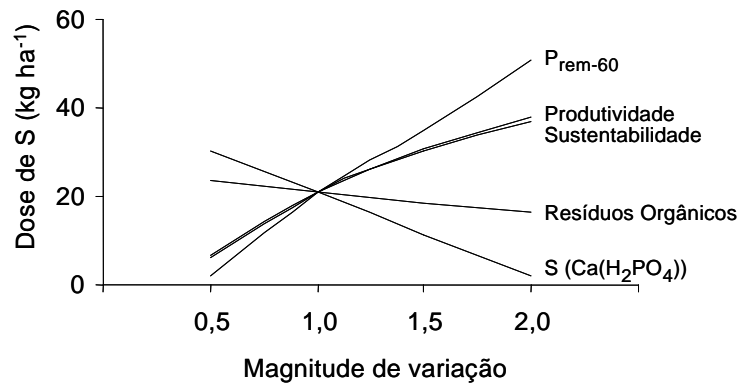


Figura 8. Análise de sensibilidade para a variação dos valores das variáveis utilizadas na estimativa da dose de S a ser aplicada.

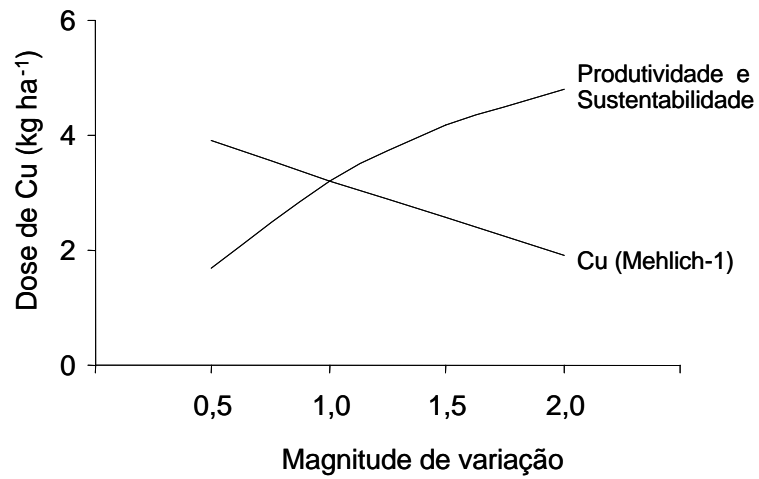


Figura 9. Análise de sensibilidade para a variação dos valores das variáveis utilizadas na estimativa da dose de Cu a ser aplicada.

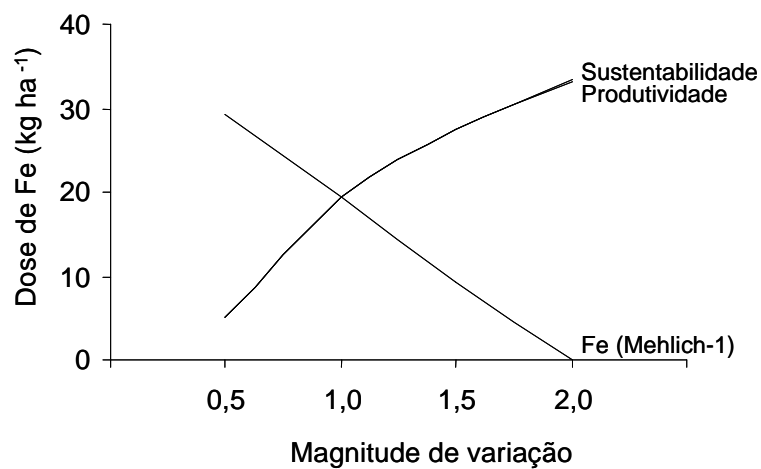


Figura 10. Análise de sensibilidade para a variação dos valores das variáveis utilizadas na estimativa da dose de Fe a ser aplicada.

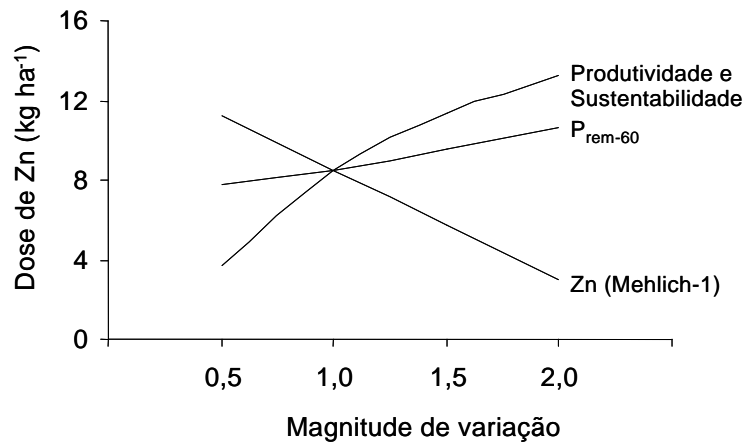


Figura 11. Análise de sensibilidade para a variação dos valores das variáveis utilizadas na estimativa da dose de Zn a ser aplicada.

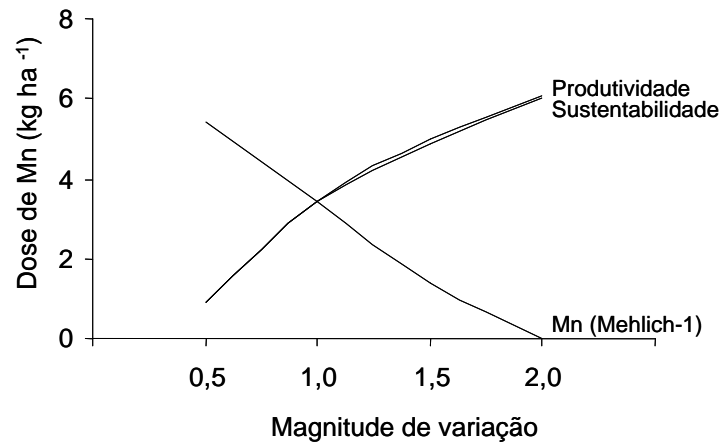


Figura 12. Análise de sensibilidade para a variação dos valores das variáveis utilizadas na estimativa da dose de Mn a ser aplicada.

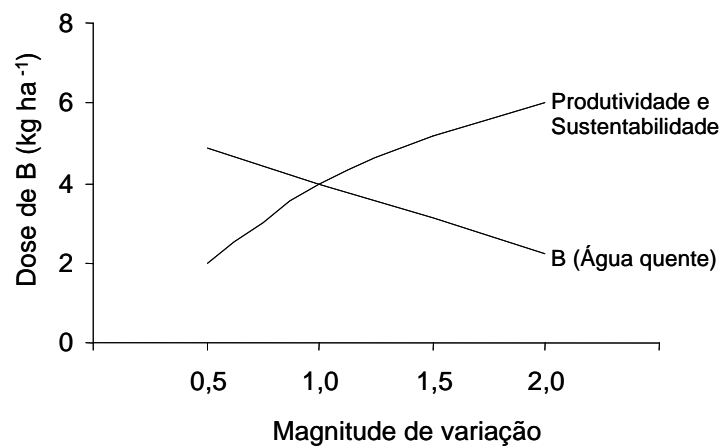


Figura 13. Análise de sensibilidade para a variação dos valores das variáveis utilizadas na estimativa da dose de B a ser aplicada.

4. RESUMO E CONCLUSÕES

As recomendações de adubação e correção do solo para a cultura da soja, em uso no país, baseiam-se em tabelas, normalmente utilizadas em cada estado, ou mesmo em experiência prática de técnicos e extensionistas. Dessa forma, apresentam caráter essencialmente empírico, sem perspectivas de avanços em bases científicas. Além disso, a maioria das tabelas não considera as exigências da planta que variam com a produtividade e, muito menos, as características de solo e planta que governam o acúmulo de nutrientes.

O sistema para recomendação de corretivos e fertilizantes para a cultura da soja (SIRSo), desenvolvido a partir de uma busca na literatura sobre solos, nutrição e adubação da soja, é baseado no balanço entre o requerimento de nutrientes pela planta e o suprimento pelo solo e resíduos orgânicos, podendo-se considerar ainda a sustentabilidade, que se refere a uma quantidade mínima de nutriente a ser mantida no solo, ou mesmo adicionada, para garantir uma produtividade mínima desejada de grãos, em cultivos subseqüentes. Apresenta, dessa forma, variação contínua na recomendação de corretivos e fertilizantes, para os macronutrientes e Cu, Fe, Zn, Mn e B, de acordo com a produtividade da cultura e características do solo, relacionada à sua capacidade tampão.

Foram feitas comparações entre as recomendações de adubação pelo SIRSo e por tabelas para P e K. Verificou-se que, para produtividades mais baixas (2.500 kg ha^{-1}), o SIRSo recomenda mais P a menores valores de $P_{\text{rem-60}}$ (3 mg L^{-1}); para valores médios de $P_{\text{rem-60}}$ as recomendações do SIRSo e

tabelas são bem próximas, sendo que a valores elevados de P_{rem-60} (52 mg L^{-1}) o SIRSo recomenda mais P em relação ao CPAC, menos em relação à 5ª Aproximação, Boletim 100 e ROLAS e as recomendações são bem próximas em relação ao CNPSo. A produtividades mais elevadas o SIRSo recomenda mais P que as tabelas. Para K, considerando a produtividade de 2.500 kg ha^{-1} de grãos, o SIRSo só recomenda mais em relação ao Boletim 100. No entanto, quando a produtividade aumenta, o SIRSo recomenda maiores doses e K em relação aos demais. A comparação das doses de P recomendadas pelo SIRSo considerando a análise por Mehlich-1 e por Resina, mostra valores bem próximos. Foi feita também análise de sensibilidade para cada nutriente considerando as variáveis de maior influência na dose a ser recomendada. Verificou-se grande variação na dose de todos os nutrientes com a produtividade e sustentabilidade. Houve grande efeito do teor do nutriente no solo para Ca e micronutrientes. Os resíduos orgânicos pouco influenciaram nas doses a serem recomendadas.

Conclui-se que a utilização de sistemas baseados no balanço nutricional é eficiente para recomendação da adubação para soja, com a vantagem de variação contínua das recomendações com a produtividade de grãos e características do solo. No entanto, o SIRSo pode ser melhorado com dados de pesquisas futuras, principalmente relacionados à taxa de recuperação pela planta do nutriente aplicado ao solo, variação de CUB de P, S e Zn com o P_{rem-60} , relação entre dose de P aplicada a lanço e no sulco e quanto aos micronutrientes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AL-ITHAWI, B.; DEIBERT, E.J. & OLSON, R.A. Applied N and moisture level effects on yield, depth of root activity, and nutrient by soybeans. *Agron. J.*, 72:827-832. 1980.
- ALVAREZ V., V.H. & RIBEIRO, A.C. Calagem. In: CFSEMG. Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 5ª aproximação. Antônio Carlos Ribeiro, Paulo Tácito Gontijo Guimarães, Victor Hugo Alvarez V. (eds). Viçosa, MG. 1999. 359p.: il.
- ALVES, B.R.; ZOTARELLI, L.; BODDEY, R.M. & URQUIAGA, S. Transformações do nitrogênio em rotações de culturas sob sistema plantio direto. In: Workshop Nitrogênio na sustentabilidade de sistemas intensivos de produção agropecuária. Fábio Martins Mercante (ed.). Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste; Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2000. 163p. il. (Embrapa Agropecuária Oeste. Documentos, 26; Embrapa Agrobiologia. Documentos, 128).
- ANDRADE, A.G.; COSTA, G.S. & FARIA, S.M. Deposição e decomposição da serapilheira em povoamentos de *Mimosa caesalpinifolia*, *Acacia mangium* e *Acacia holosericea* com quatro anos de idade em Planossolo. *R. Bras. Ci. Solo*, 24:777-785. 2000.
- ANGHINONI, I. & SALET, R.L. Amostragem do solo e as recomendações de adubação e calagem no sistema de plantio direto. In: NUERNBERG, N.J. (ed.). Plantio direto: conceitos, fundamentos e práticas culturais. Lages, SC: Soc. Bras. de Ciência do Solo- Núcleo Regional Sul, 1997. 158p.

- BAHIA FILHO, A.F.C. Índices de disponibilidade de fósforo em solos Latossolos de planalto central com diferentes características texturais e mineralogias. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1982. 179p. (Tese de Doutorado)
- BALIGAR, V.C. & FAGERIA, N.K. Nutrient use efficiency in acid soils: nutrient management and plant use efficiency. In: Plant-soil interactions at low pH. Moniz, A.C. et al. (ed.). Brazilian Soil Science Society. p.75-95. 1997.
- BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F.; CARMO, D.N. & NEVES, J.C.L. Classificação nutricional de sítios florestais – Descrição de uma metodologia. Rev. Árvore, 10:106-112. 1986.
- BATAGLIA, O.C. & MASCARENHAS, H.A.A. Nutrição mineral da soja. In: A soja no Brasil Central. Fundação Cargil, 2ª ed. 1982.
- BATAGLIA, O.C.; MASCARENHAS, H.A.A. & MIYASAKA, S. Extração e níveis de nutrientes. In: A soja no Brasil. Shiro Miyasaka e Júlio César Medina (eds). Inst. Agron. do Estado de São Paulo. Campinas, 1981. 1062p.
- BATAGLIA, O.C.; MASCARENHAS, H.A.A. & NAGAI, V. Adubos fosfatados na absorção de fósforo pela soja em presença e ausência de calagem. Bragantia, 43:467-478. 1984.
- BATAGLIA, O.C.; MASCARENHAS, H.A.A.; TEIXEIRA, J.P.F. & TISSELI FILHO, O. Acúmulo de matéria seca e nutrientes, em soja cultivar Santa Rosa. Bragantia, 35:237-247. 1976.
- BATAGLIA, O.C.; MASCARENHAS, H.A.A. & TISSELLI FILHO, O. Composição mineral das sementes de nove cultivares de soja. Bragantia, 36:47-50. 1977.
- BEAVER, J.S. & COOPER, R.L. Dry matter accumulation patterns and seed yield components of two indeterminate soybean cultivars. Agron. J., 74: 380-383. 1982.
- BORKERT, C.M. & BARBER, S.A. Soybean shoot and root growth and phosphorus concentration as affected by phosphorus placement. Soil Sci. Soc. Am. J., 49:152-155. 1985.

- BORKERT, C.M. ; GAUDÊNCIO, C.A.; PEREIRA, J.E. & OLIVEIRA JUNIOR, A. Nutrientes minerais da biomassa da parte aérea de culturas de cobertura de solo para semeadura direta com rotação de culturas. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 27. Brasília, 1999. Anais...(CDROM). SBSCS/EMBRAPA-CPAC. 1999.
- BRADY, N.C. Natureza e propriedades dos solos. 7. ed. Rio de Janeiro: Freitas Basto. 1989. 878p.
- BROSE, E.; FREIRE, J.R.J. & MÜLLER, L. Relações entre genótipos de soja (*Glycine max.* (L.) Merrill), fixação simbiótica do nitrogênio e rendimento de grãos. *Agronomia sulriograndense*, 15:179-198. 1979.
- BUCHANAN, M. & KING, L.D. Carbon and phosphorus losses from decomposing crop residues in no-till and conventional till agroecosystems. *Agron. J.*, 85:631-638. 1993.
- BULLEN, C.W.; SOPER, R.C. & BAILEY, L.D. Phosphorus nutrition of soybeans as affected by placement of fertilizer phosphorus. *Can. J. Soil Sci.*, 63:199-210. 1983.
- BUREAU, M.F.; MEDERSKI, J. & EVANS, C.E. The effects of phosphatic fertilizer materials and soil phosphorus level on the yield and phosphorus uptake of soybeans. *Agron. J.*, 45:150-154.1953.
- CÂMARA, G.M.S. Fenologia da soja. In: Soja: tecnologia da produção por Gil Miguel de Sousa Câmara (ed.). Piracicaba: G.M.S. Câmara. 1998. 293p.
- CAMARGO, F.A.O.; GIANELLO, C. & VIDOR, C. Potencial de mineralização do nitrogênio em solos do Rio Grande do Sul. *R. Bras. Ci. Solo*, 21:575-579. Viçosa. 1997.
- CAMPELLO, M.R. Avaliação da reversibilidade de fósforo não-lábil para lábil em solos com diferentes características químicas, físicas e mineralógicas. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa. 1993. 63p. (Tese de Mestrado)
- CARDOSO, D.A.B. & REZENDE, P.M. Maximização da exploração da soja. IV. Efeito do espaçamento, densidade e altura de corte na produção de feno de grãos da rebrota. *Pesq. Agrop. Bras.*, 23:759-767. 1988.

CENTRO DE PESQUISA DE AGRICULTURA DO CERRADO (EMBRAPA-CPAC). Tecnologias de produção de soja. Região Central do Brasil. 2001/2002. www.cpac.embrapa.br, Documentos 167.

CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE SOJA (EMBRAPA-CNPSO). Tecnologias de produção de soja. Paraná. 2001/2002. www.cnpso.embrapa.br, Documentos 166.

CERETTA, C.A., AITA, C., BRAIDA, J.A., PAVINATO, A. & SALET, R.L. Fornecimento de nitrogênio por leguminosa na primavera para o milho em sucessão nos sistemas de cultivo mínimo e convencional. R. bras. Ci. Solo, 18:215-220. 1994.

COELHO, A.M. & FRANÇA, G.E. de. Seja o doutor do seu milho. Arquivo do Agrônomo, 2. POTAFÓS. 1995. 24p.

COLASANTE, L.O. & COSTA, J.A. índice de colheita e rendimento biológico, na comparação da eficiência de variedades de soja. Pesq. Agrop. Bras., 16: 225-230. 1981.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC. Recomendação de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 3. ed. Passo Fundo, SBCS – Núcleo Regional Sul, 1994. 224p.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ª Aproximação/ Antonio Carlos Ribeiro, Paulo Tácito Gontijo Guimarães, Victor Hugo Alvarez V., editores. – Viçosa, MG. 1999. 359p.: il.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). Previsão e acompanhamento de safras (2000/01). www.conab.gov.br.

CORDEIRO, D.S.; SARRUGE, J.R.; HAAG, H.P.; OLIVEIRA, G.D. & SILVEIRA, R.I. Extração de macronutrientes pela soja (*Glycine max* (L.) Merrill) em função dos níveis de NPK. Anais da E.S.A. Luiz de Queiroz, 36: 551-604. 1979.

CRASWELL, E.T. & GODWIN, D.C. The efficiency of nitrogen fertilizers applied to cereals in different climates, p. 1-55. In: P.B. Tinker & A. Lauchli (eds). Advances in plant nutrition. vol. 1. Praeger Scientific, New York. 1984.

- DALLA ROSA, A. Uma tese sobre solo; práticas mecânicas e culturais na recuperação de características físicas dos solos degradados pelo cultivo. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1981. 115p. (Tese de Mestrado)
- de MOOY, C.J.; YUNG, J.L. & KAAP, J.D. Comparative response of soybeans and corn to phosphorus and potassium. *Agron. J.*, 65:851-855. 1973.
- FAGERIA, N.K. Maximizing crop yields. New York, Marcel Dekker, 1992. 274p.
- FAQUIN, V. Cinética de absorção de fosfato, nutrição mineral, crescimento e produção da soja sob influência de micorriza vesículo-arbuscular (MVA). Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1988. 136p. (Tese de Doutorado)
- FERNÁNDEZ ROJAS, I. E. J. Reversibilidade de fósforo não-lábil em diferentes solos, em condições naturais e quando submetidos à redução microbiológica ou química. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1995. 94p. (Tese de Doutorado)
- FLANNERY, R.L. Plant food uptake in a maximum yield soybean study. In: Better crops and plant food. Fall 1986. Norcross: PPI/PPIC, 1986. p. 6-7.
- FLANNERY, R.L. The use of maximum yield research technology in soybean production. In: Munson, R.D. (ed.). The physiology, biochemistry, nutrition and bioengineering of soybeans: implications for future management. Norcross: PPI/PPIC, 1989. p. 160-174.
- FREIRE, F.J. Sistema para cálculo do balanço nutricional e recomendação de corretivos e fertilizantes para cana-de-açúcar. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa. 144p. 2001. (Tese de Doutorado)
- FREIRE, F.M. & SARRUGE, J.R. Produção de matéria seca, nodulação e absorção de nutrientes pela soja (*Glycine max* (L.) Merrill) em função de níveis de fósforo e zinco, em solos de Minas Gerais. *Anais da E.S.A. Luiz de Queiroz*, 36: 509-537. 1979.
- GALLO, P.B.; MASCARENHAS, H.A.A.; QUAGGIO, J.A. & BATAGLIA, O.C. Resposta diferencial das culturas de soja e sorgo à calagem. *Rev. Bras. Ci. Solo*, 10:253-258. 1986.

- GARCIA, A. Estudo de índice de colheita e de outras características agronômicas de dez cultivares de soja, *Glycine Max* (L.) Merrill, e de suas correlações com a produção de grãos, em duas épocas de semeadura. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa. 1979. 76p. (Tese de Mestrado)
- GILL, D.W. & KAMPRATH, E.J. Potassium uptake and recovery by an upland rice-soybean rotation on an Oxisol. *Agron. J.*, 82:329-333. 1990.
- HAAS, F.D. Plantio direto, fatores que interferem na eficiência da adubação. In: Curso sobre aspectos básicos de Fertilidade e Microbiologia do solo no sistema de plantio direto, Passo Fundo, RS, 1997. Resumo de Palestras. 64p.
- HAEN, H. Preface. In: Tropical soybean, improvement and production. FAO, 1994.
- HAM, G.E. & CALDWELL, A.C. Fertilizer placement effects on soybeans seed yield, N₂ fixation, and ³³P uptake. *Agron. J.*, 70:779-783.1978.
- HANWAY, J.J. & WEBER, C.R. Dry matter accumulation in soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) plants as influenced by N, P, and K fertilization. *Agron. J.*, 63: 263-266. 1971a.
- HANWAY, J.J. & WEBER, C.R. Accumulation of N, P and K by soybean (*Glycine max* (L.) Merril) plants. *Agron. J.*, 63, p.406-408. 1971.
- HERNANI, L.C.; ENDRES, V.C.; PITOL, C. & SALTON, J.C. Adubos verdes de outono/inverno no Mato Grosso do Sul. Dourados: EMBRAPA-CPAO. 1995. 93p. (EMBRAPA-CPAO. Documentos, 4).
- HIROCE, R. Estimativa de extração e de exportação de macronutrientes pelas dez principais culturas do estado de São Paulo. *O Agrônomo*, 37:161-165. Informações Técnicas. 1985.
- HUNGRIA, M.; VARGAS, M.A.T. & CAMPO, R.J. A inoculação da soja. Londrina: EMBRAPA-CNPSO, 1997b. 28p. (EMBRAPA-CNPSO. Circular Técnica, 17; EMBRAPA-CPAC. Circular Técnica, 34).

- INFORZATO, R. & MASCARENHAS, H.A.A. Estudo do sistema radicular da soja (*Glycine max* (L) Merrill) em solo Latossolo Roxo adubado ou sem adubo. *Bragantia*, 28:175-180. 1969.
- KALRA, Y.P. & SOPER, R.J. Efficiency of rape, oats, soybeans, and flax in absorbing soil and fertilizer phosphorus at seven stages of growth. *Agron. J.*, 60: 209-212. Madison. 1968.
- KOUTROUBAS, S.D.; PAPAKOSTA, D.K. & GAGIANAS, A.A. The importance of early dry matter and nitrogen accumulation in soybean yield. *European J. of Agronomy*. 9: 1-10. 1998.
- KUMAR, V. & SINGH, M. Sulfur and zinc relationship on uptake and utilization of zinc in soybean. *Soil Science*. 128: 343-347. 1979.
- LANTMANN, A.F.; CASTRO, C. de; SFREDO, G.J. & PEREIRA, L.R. Acidez e calagem na cultura da soja. In: *Soja: Tecnologia da produção II*. Editado por Gil Miguel de Sousa Câmara. Piracicaba: ESALQ/LPV. 2000. 450p.il.
- LUNA-OREA, P., WAGGER, M.G., GUMPERTZ, M.L. Decomposition and nutrient release dynamics of two tropical legume cover crops. *Agron. J.*, 88:758-764. 1996.
- MAGALHÃES, R.T. Evolução das propriedades físicas e químicas de solos submetidos ao manejo pelo Sistema Barreirão. Goiânia, Universidade Federal de Goiás. 1997. 86p. (Tese de Mestrado)
- MALAVOLTA, E.; FERNANDES, F.M.; CABRINI, H.M.; ZANINI, J.R.; de SÁ, M.E.; BARRETO, M.; do NASCIMENTO, V.M.; KAMINSKI, J.; URQUIAGA CABALLERO, S.; GRACIOLLI, L.A.; PEREZ, A.L.; CAVICHIOILLI, C.; JACOVO, A. & MELETTI, M.C. Exigências minerais comparadas de dois cultivares de soja (*Glycine Max* (L.) Merrill) Santa Rosa e UFV-1. *Anais da ESALQ*, 37: 463-471. 1980.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C. & OLIVEIRA, S.A. de. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS. 319p. il. 1997.
- MARTINS, O.C. SNP Consultoria – Solos e Nutrição de Plantas Consultoria. 1998. Dados não publicados.

- MASCARENHAS, H.A.A. Acúmulo de matéria seca, absorção e distribuição de elementos na soja, durante o seu ciclo vegetativo. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 1972. 101p. (Tese de Doutorado)
- MASCARENHAS, H.A.A.; BATAGLIA, O.C.; NAGAI, V. & FALIVENE, S.M.P. Diferentes proporções de calcário calcítico e dolomítico no crescimento da soja em solos de cerrado. In: Seminário Nacional de Pesquisa de Soja, 3. Anais.... Campinas, 1984. (EMBRAPA – CNPSo, Documentos, 71). p.852-863.
- MASCARENHAS, H.A.A.; BRAGA, N.R.; BULISAN, E.A.; FEITOSA, C.T.; HIROCE, R. & BATAGLIA, O.C. Efeito do corretivo sobre soja cultivada em solo de cerrado contendo Al e Mn. In: Seminário Nacional de Pesquisa de Soja, 2. Anais.... Brasília, EMBRAPA. p.567-573. 1982a.
- MASCARENHAS, H.A.A.; BRAGA, N.R.; MIRANDA, M.A.C.; TISSELI, F.O. & MIYASAKA, S. Calagem e adubação. In: A soja no Brasil Central. Fundação Cargil, 2ª ed., p. 137-211. 1982.
- MASCARENHAS, H.A.A.; NEPTUNE, A.M.L.; MURAOKA, T.; BULISANI, E.A. & HIROCE, R. Absorção de nutrientes por cultivares de soja (*Glycine max* (L.) Merrill). R. Bras. Ci. Solo, 4: 92-96, 1980.
- MELGES, E.; LOPES, N.F. & OLIVA, M.A. Crescimento, produção de matéria seca e produtividade da soja submetida a quatro níveis de radiação solar. Pesq. Agrop. Bras., 24: 1073-1080. 1989.
- MELLO, M.S. de. Sistema de interpretação de análise de solo e de recomendação de calagem e fertilizante para a cultura de tomate. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa. 2000. 91p. (Tese de Mestrado)
- MEURER, E.J.; MA WANG, G. & WANG, S.R. Função dos nutrientes e sintomas de deficiências. In: A soja no Brasil. Shiro Miyasaka & Julio César Medina (eds). 1981. 1062p.
- MORAES, E.A. Concentração, acúmulo de P, K, Ca e Mg e crescimento da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) em diferentes estágios de desenvolvimento. Lavras, Escola Superior de Agricultura de Lavras. 1983. 139p. (Tese de Mestrado)

- MOTTA, A.C. Dinâmica de micronutrientes no sistema Plantio Direto. In: IV Encontro Nacional de Plantio Direto na Palha. Cruz Alta, RS. 1994. 309p.
- MUNIZ, A.S. Disponibilidade de fósforo avaliada por extratores químicos e pelo crescimento de soja (*Glycine max* (L.) Merrill) em amostras de solos com diferentes valores do fator capacidade. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1983. 79p. (Tese de Mestrado)
- MURDOCK, L. Soil sampling for no-till: how different is it? Better Crops with Plant Food, 69:21-23. 1985.
- MYERS, R.J.K.; PALM, C.A.; CUEVAS, E.; GUNATILEKE, I.U.N. & BROSSARD, M. The synchronization of nutrient mineralization and plant nutrient demand. In: Woomer, P.L.; Swift, P.L., eds. The biological management of tropical soil fertility. New York, John Wiley. p.81-116. 1994.
- NEUMAIER, N. Efeito da fertilidade do solo, época de plantio e população sobre o comportamento de 2 cultivares de soja. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1975. 127p. (Tese de Mestrado)
- NOVAIS, R.F. & ALVAREZ V., V.H. Sistemas de interpretação de análise de solo e recomendação de fertilizantes: muito simples ou muito complexo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 24, REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 8, SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 6, REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 3, 2000, Santa Maria, Anais... Santa Maria, SBCS/UFSM, 2000. (CD ROM).
- NOVAIS, R.F. & SMYTH, T.J. Fósforo em solo e planta em condições tropicais / Roberto Ferreira de Novais, T. Jot Smyth.- Viçosa, MG: UFV, DPS, 1999. 399p.: il.
- OHLROGGE, A.J. & KAMPRATH, E. Fertilizer use on soybeans. In: Changing patterns in fertilizer use. Richard C. Dinauer (Managing Editor). Soil Sci.Soc. Am. p. 273-295. Madison, Wisconsin, USA. 1968.
- OHLROGGE, A.J. Mineral nutrition of soybeans. Plant Food Rev., 12:6-7.1966.
- OLIVEIRA, M.W. de; TRIVELIN, P.C.O.; PENATTI, C.P. & PICCOLO, M.C. Decomposição e liberação de nutrientes da palhada de cana-de-açúcar em campo. Pesq. Agropec. Bras., 34: 2359-2362. 1999.

- PARKER, M.B.; BOSWELL, F.C.; OHKI, K.; SHUMAN, L.M. & WILSON, D.O. Manganese effects on yield and nutrient concentration in leaves and seed of soybean cultivars. *Agron. J.*, 73:643-646. 1981.
- PAVINATO, A. A experiência da aplicação da atual metodologia de recomendação de corretivos e fertilizantes. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 24, REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 8, SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 6, REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 3, 2000, Santa Maria, Anais... Santa Maria, SBCS/UFSM, 2000. (CD ROM).
- PORTO, M.C.M.; SANTOS FILHO, J.M. dos; BARNI, N.A.; MINOR, H.C. & BERGAMASCHI, H. Resposta da soja (*Glycine max* (L) Merrill) à irrigação e níveis de fertilidade do solo. II: Absorção de nutrientes. *Agronomia Sulriograndense*, 16:45-56. 1980.
- QUAGGIO, J.A.; MASCARENHAS, H.A.A. & BATAGLIA, O.C. Resposta da soja à aplicação de doses crescentes de calcário em Latossolo Roxo distrófico de Cerrado II- efeito residual. *Rev. Bras. Ci. Solo.*, 6:113-118. 1982.
- RAFFAELI, V. Sistema de interpretação de análise de solo e de recomendação de nutrientes para arroz irrigado. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa. 2000. 76p. (Tese de Mestrado)
- RAIJ, B. van & QUAGGIO, J.A. Métodos de análise de solos para fins de fertilidade. Campinas, Instituto Agronômico, 1983. 31p. (Boletim, 81).
- RAIJ, B. van. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. Campinas, Instituto Agronômico de Campinas, 1985. 107p. (Boletim técnico, 100).
- RAIJ, B. van; CAMARGO, A.P. de; CANTARELIA, H. & SILVA, N.M. da. Alumínio trocável e saturação em bases como critérios para recomendação de calagem. *Bragantia*, 42:149-156. 1983.
- RANDALL, G.W.; SCHULTE, E.E. & COREY, R.B. Effect of soil and foliar-applied manganese on the micronutrient content and yield of soybeans. *Agron. J.*, 67:502-507. 1975b.

- RANDALL, G.W.; SCHULTE, E.E. & COREY, R.B. Soil Mn availability to soybeans as affected by mono and diammonium phosphate. *Agron. J.*, 67:705-709. 1975a.
- RITCHIE, S.W.; HANWAY, J.J.; THOMPSON, H.E. & BENSON, G.O. How a soybean plant develops. Special Report, n.53. Iowa State University of Science and Thecnology Cooperative Extension Service. Ames, Iowa. 21p. 1997.
- RODER, W.; MASON, S.C.; CLEGG, M.D. & KNIEP, K.R. Crop root distribution as influenced by grain sorghum-soybean rotation and fertilization. *Soil Sci. Soc. Of Am. J.*, 53:1464-1470. 1989.
- ROSOLEM, C.A. & NAKAGAWA, J. Potassium uptake by soybean as affected by exchangeable potassium in soil. *Commun. in Soil Sci. Plant Anal.*, 16: 707-726. 1985.
- ROSOLEM, C.A.; BESSA, A.M. & PEREIRA, H.F.M. Dinâmica do potássio no solo e nutrição potássica da soja. *Pesq. Agropec. Bras.*, 28:1045-1054. 1993.
- ROSOLEM, C.A.; MACHADO, J.R. & RIBEIRO, D.B.O. Formas de potássio no solo, nutrição potássica da soja. *Rev. Bras. Ci. Solo*, 12:121-125. 1988.
- RUIZ ALDERETE, D. Compactação e características químicas de um Latossolo Roxo influenciadas pela adição de resíduos de soja e de milho. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa. 1996. 108p. (Tese de Mestrado)
- RUIZ, H.A.; FERNANDES, B., NOVAIS, R.F. & ALVAREZ V., V.H. Teor, acúmulo e distribuição de fósforo em plantas de soja em relação ao conteúdo de água do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 14:181-185. 1990.
- SÁ, J.C.M. Manejo de fósforo no sistema de plantio direto. In: Seminário Internacional do sistema de plantio direto, 1., Passo Fundo, 1995. Resumos. Passo Fundo, 1995. p.83-93.
- SANCHEZ, P.A.; PALM, C.A. & SZOTT, L.T. et al. Organic input management in tropical agroecosystems. In: Coleman, D.C.; Oades, J.M.; Uehara, G. (eds). *Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems*. Honolulu: Niftal Project, University of Hawaii, 1989. p. 125-52.

- SCALEA, M.I. A cultura do milho e seu uso no plantio direto no cerrado. In: Associação de Plantio Direto no Cerrado. Goiânia, Go. Por Landers, J.N. 1995. 261p.
- SÉGUY, L. & BOUZINAC, S. O plantio direto no cerrado úmido. Informações Agronômicas, 69. POTAFÓS. 1995. p.1-4.
- SFREDO, G.J.; LANTMANN, A.F.; CAMPO, R.J. & BORKERT, C.M. Soja: nutrição mineral, adubação e calagem. Londrina, EMRAPA-CNPSO, 1986. 51p. (EMBRAPA-CNPSO. Documentos, 17)
- SFREDO, J.G.; BORKERT, C.M.; NEPOMUCENO, A.L. & OLIVEIRA, M.C.N. de. Eficácia de produtos contendo micronutrientes, aplicados via semente, sobre produtividade e teores de proteína da soja. R. bras. Ci. Solo, 21:41-45. 1997.
- SLEIGHT, D.M.; SANDER, D.H. & PETERSON, G.A. Effect of fertilizer phosphorus placement on the availability of phosphorus. Soil Sci. Soc. Am. J., 48:336-340. 1984.
- TANAKA, R.T. & MASCARENHAS, H.A.A. Soja. Nutrição, correção do solo e adubação. Fundação Cargil. Série Técnica, 7. 60p. il. Campinas, SP. 1992.
- TANAKA, R.T.; RESENDE, A.M. de; SANTOS, P.R.R.S. & BRAGA, J.M. Fosfatos naturais de Minas Gerais associados a fosfato solúvel na produtividade de soja. Sem. Nac. de Pesq. de soja, 3. Campinas, 1984. Anais (EMBRAPA-CNPSO, Documentos, 71).
- TERMAN, G.L. Yields and nutrient accumulation by determinate soybeans, as affected by applied nutrients. Agron. J., 69:234-238. 1977.
- THORNE, C.E. The maintenance of soil fertility: Ohio Agr. Exp. Sta. Bul. 381. 1924.
- VAHL, L.C. Disponibilidade de nutrientes para arroz irrigado por alagamento em solos do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1982. 140p. (Tese de Mestrado)

- VARGAS, M.A.T.; PERES, J.R.R. & SUHET, A.R. Adubação nitrogenada, inoculação e épocas de calagem para soja em um solo sob cerrado. *Pesq. Agropec. Bras.* 17:1127-1132. 1982.
- VARVEL, G.E. & PETERSON, T.A. Nitrogen fertilizer recovery by soybean in monoculture and rotation systems. *Agron. J.*, 84:215-218. 1992.
- VEGAS COLMENAREZ; F.O. Eficiência agrícola de um fosfato natural parcialmente solubilizado e de um fosfato de fusão para arroz, soja e capim colômbio. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. 1987. 129p. (Tese de Mestrado)
- VENTURI, G. & AMADUCCI, M.T. Técnicas de cultivo. In: *La soja. Versión española de L. Lopez Bellido.* 254p. 1988.
- VIEIRA, R.D. Avaliação do efeito de níveis de alguns nutrientes na composição química e na qualidade de sementes de soja. Viçosa, MG. Universidade Federal de Viçosa. 1985. 156p. (Tese de Doutorado)
- VITTI, G.C. & LUZ, P.H.C. Manejo químico do solo para alta produtividade da soja. In: *Soja: tecnologia de produção/ Gil Miguel de Souza Câmara (ed.).* Piracicaba: G.M.S. Câmara, 293p. il. 1998.
- WEBB, J.R.; OHLROGGE, J. & BARBER, S.A. The effect of magnesium upon the growth and the phosphorus content of soybean plants. *Soil Sci. Soc. Proc.*, p.458-462. 1954.
- WELCH, C.D.; HALL, N.S. & NELSON, W.L. Utilization of fertilizer and soil phosphorus by soybeans. *Soil Sc. Soc. Proc.*, 14:231-235. 1949.
- YADAY, D.V.; TODI, S. & SRIVASTAVA, A.K. Recycling of nutrients in trash with N higher cane yield. *Biological Wastes*, 20:133-141. 1987.
- YAMADA, T. Adubação da soja para alta produtividade: implantação de programa de monitoramento nutricional. *Informações Agronômicas.* 86:1-7. Piracicaba: POTAFOS. 1999.

ZAGO, C.P. Forragens conservadas para o período da seca (silagem com pré-secagem). In: Encontro Regional de Plantio Direto no Cerrado (4: 1999: Uberlândia, MG). Plantio direto na integração lavoura-pecuária/ Editores: Waldo Alejandro Rubén Lara Cabezas, Pedro Luiz de Freitas. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 282p.: il. 2000.