

Tecnologias de manejo da fertilidade do solo e avaliação do estado nutricional da soja



**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Soja
Ministério da Agricultura e Pecuária**

DOCUMENTOS 458

Tecnologias de manejo da fertilidade do solo e avaliação do estado nutricional da soja

*Fábio Alvares de Oliveira
Cesar de Castro
Adilson de Oliveira Junior
Dirceu Klepker
Ruan Francisco Firmano*

Autores

Embrapa Soja
Londrina, PR
2023

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Soja
Rodovia Carlos João Strass, s/n
Acesso Orlando Amaral. Caixa Postal 4006
CEP 86085-981 , Distrito de Warta, Londrina, PR
www.embrapa.br/soja
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações
da Embrapa Soja

Presidente
Adeney de Freitas Bueno

Secretária-Executiva
Regina Maria Villas Bôas de Campos Leite

Membros
*Claudine Dinali Santos Seixas, Edson Hirose,
Ivani de Oliveira Negrão Lopes, José de Barros
França Neto, Leandro Eugênio Cardamone
Diniz, Marco Antonio Nogueira, Mônica Juliani
Zavaglia Pereira e Norman Neumaier*

Coordenadora de Editoração
Vanessa Fuzinatto Dall'Agnol

Bibliotecária
Valéria de Fátima Cardoso

Projeto gráfico da coleção
Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Editoração eletrônica
Marisa Yuri Horikawa

Foto da capa:
Luis Guilherme Teixeira Crusiol

1ª edição
PDF digitalizado (2023)

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte,
constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Soja

Tecnologias de manejo da fertilidade do solo e avaliação do estado nutricional da soja /
Fábio Alvares de Oliveira ... [et al.]. – Londrina : Embrapa Soja, 2023.
75 p. (Documentos / Embrapa Soja, ISSN 2176-2937 ; n. 458).

1. Manejo do solo. 2. Soja. I. Oliveira, Fábio Alvares de. II. Castro, César de. III. Oliveira Junior, Adilson de. IV. Klepker, Dirceu. V. Firmano, Ruan Francisco. VI. Série.

CDD 631.8 (21. ed.)

Valéria de Fátima Cardoso (CRB 9/1188)

@ Embrapa, 2023

Autores

Fábio Alvares de Oliveira

Engenheiro-agrônomo, doutor em Solos e Nutrição de Plantas, pesquisador da Embrapa Soja, Londrina, PR

Cesar de Castro

Engenheiro-agrônomo, doutor em Solos e Nutrição de Plantas, pesquisador da Embrapa Soja, Londrina, PR

Adilson de Oliveira Junior

Engenheiro-agrônomo, doutor em Solos e Nutrição de Plantas, pesquisador da Embrapa Soja, Londrina, PR

Dirceu Klepker

Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciências do Solo, pesquisador da Embrapa Cocais, UEP Balsas, Balsas, MA

Ruan Francisco Firmano

Engenheiro-agrônomo, doutor em Solos e Nutrição de Plantas, bolsista de Desenvolvimento Tecnológico e Industrial (DTI-C), CNPq/Embrapa Soja, Londrina, PR

Apresentação

Esta publicação reúne um conjunto de informações técnicas extraídas dos resultados de pesquisa experimental e de investigação em lavouras comerciais com desordens nutricionais, obtidos pela equipe do projeto SEG 20.18.03.067 FertSoja, em ambientes de produção diversos, cultivados com a cultura da soja no verão em sucessão com culturas de grãos, especialmente, trigo, milho e girassol. Também são apresentadas recomendações técnicas regionais e referências bibliográficas sobre o tema, atualizadas por diversas instituições de pesquisa.

Apesar dos avanços do conhecimento das tecnologias de manejo do solo para redução fatores limitantes e aumentos da capacidade produtiva e, mesmo com o elevado custo dos fertilizantes, erros de planejamento e a baixa eficiência da adubação têm resultado, com frequência, no desbalanço dos nutrientes que afeta negativamente a produtividade, caracterizado pela fome oculta e até pelo aparecimento de sintomas visuais.

A eficiência dos fertilizantes e a resposta à adubação da soja são altamente dependentes de fatores do clima, volume e distribuição das chuvas, e das propriedades físico-químicas e biológicas do solo. As informações contidas na publicação objetivam demonstrar que o manejo correto da adubação é regionalizado e envolve um conjunto de critérios e indicadores, associados ao ambiente de produção (solo e clima) e às melhores práticas culturais, que determinam a sua maior eficiência.

Adeney de Freitas Bueno

Chefe Adjunto de Pesquisa e Desenvolvimento

Embrapa Soja

Sumário

Introdução.....	9
Amostragem do solo.....	10
Correção da acidez do solo.....	11
Calagem.....	12
Métodos de recomendação da necessidade de calagem.....	14
Formas e épocas de aplicação do calcário critérios para decisão da calagem.....	18
Qualidade e uso do calcário.....	19
Decisão de compra.....	20
Gessagem.....	20
Exigências minerais e avaliação do estado nutricional.....	22
Exigências minerais.....	22
Diagnose foliar.....	23
Adubação da Soja.....	29
Nitrogênio.....	30
Fósforo e Potássio.....	31
Região de Cerrados.....	32
Estado do Mato Grosso.....	37
Estado de Minas Gerais.....	41
Estado de São Paulo.....	42
Estado do Paraná.....	43
Épocas e modo de aplicação.....	45
Fontes.....	47
Sintomas de deficiência de fósforo e potássio.....	48
Magnésio.....	52
Enxofre.....	53
Micronutrientes.....	58
Boro, cobre, manganês, zinco e ferro.....	58
Cobalto e molibdênio.....	64
Balanço da adubação como critério de recomendação de adubação - AFERE.....	65
Considerações finais.....	68
Agradecimentos.....	69
Referências.....	69

Introdução

Nos últimos anos, o rendimento da soja no Brasil tem crescido, não só em função do maior potencial produtivo das cultivares, mas também da melhoria do ambiente de produção agrícola, com destaque para o manejo da fertilidade química, física e biológica do solo, para aumento da disponibilidade de nutrientes e redução de fatores limitantes ao desenvolvimento radicular em profundidade. Esse aumento dos patamares de produtividade, exige, além de maior quantidade de fertilizantes, adubações mais equilibradas e que considerem não só as quantidades exigidas de nutrientes, mas também as suas relações de equilíbrio. Assim, faz-se necessário melhorar as avaliações técnicas para possibilitar o manejo adequado da adubação, com racionalização do uso de fertilizantes e consequente maior resposta para aumentos de produtividade das culturas.

Contudo, com frequência têm ocorrido perdas de produtividade pela aplicação incorreta de conceitos modernos de manejo da fertilidade do solo, pelas falhas de interpretação ou subutilização das análises de solo e falta de interesse pela adoção da análise de tecido vegetal, resultando em uma menor eficiência dos fertilizantes aplicados e no desbalanço nutricional.

Outra questão importante é que os fertilizantes têm um peso significativo nos custos de produção, com grandes impactos na rentabilidade da cultura. Assim, para o sucesso econômico da atividade agrícola e da sustentabilidade ambiental, além da escolha de materiais genéticos de alto potencial e adaptados a cada região, é essencial ter o conhecimento dos princípios da fertilidade do solo e da aplicação de tecnologias e de boas práticas no uso de fertilizantes como estratégia de aumento de produtividade.

Para tanto, a coleta criteriosa de amostras de solo representativas de cada condição ambiental e de manejo do solo, para a análise e interpretação dos resultados é um dos primeiros passos para possível correção de problemas de fertilidade do solo. A análise foliar apresenta-se como uma possibilidade complementar às interpretações das análises de solo, sendo capaz de identificar com maior precisão os nutrientes limitantes a maior produtividade da soja.

Por fim, a base para o aumento da produtividade e sustentabilidade dos sistemas de produção com soja deve ser o estabelecimento de estratégias integradas que mantenham e até melhorem a fertilidade do solo, com destaque para o desenvolvimento e aprimoramento de técnicas de manejo do solo e uso de plantas de cobertura, que são fundamentais para a melhoria do perfil de solo, do desenvolvimento radicular, além de contribuir para a ciclagem e balanço de nutrientes e a conservação da água no solo.

Amostragem do solo

A amostragem é a primeira e a principal etapa de um programa de avaliação da fertilidade do solo e do manejo da adubação, pois é a interpretação dos resultados da análise química que define as possíveis doses de corretivos e de fertilizantes a serem aplicadas.

A amostragem do solo para fins de recomendação de adubação deve ser realizada na maior janela disponível entre cultivos dos sistemas de produção. Normalmente, isso ocorre durante os meses de agosto e setembro no sistema soja/milho safrinha e nos meses de março e abril no sistema soja/trigo na Região Sul do País. O planejamento da amostragem inicia-se pela divisão da propriedade agrícola em áreas homogêneas quanto às classes e atributos do solo, ao relevo e ao histórico de cultivo e de adubação. Para maior representatividade, a amostragem deve ser composta de 10 a 20 subamostras simples, coletadas em pontos distribuídos aleatoriamente em cada área. O conjunto de subamostras deve ser homogeneizado e acondicionado em saco plástico identificado, resultando em uma amostra composta de aproximadamente 500 g, que deve ser enviada rapidamente para o laboratório, evitando-se longo período de armazenamento sob umidade e temperaturas elevadas.

No caso da amostragem para obtenção dos mapas de variabilidade espacial dos atributos químicos do solo e aplicação da agricultura de precisão, especial atenção deve ser dada ao plano de amostragem, de forma que, além dos critérios agrônômicos, também os geoestatísticos sejam plenamente atendidos.

A camada superficial do solo, normalmente a fração 0-20 cm, deve ser amostrada porque é aquela mais intensamente explorada pelas raízes e quimicamente alterada pelo manejo, por conta das aplicações de corretivos e ferti-

lizantes e da ação direta da ciclagem dos restos culturais. Nas áreas com histórico de adubação a lanço e em superfície, que apresentam maior variabilidade vertical, recomenda-se a amostragem estratificada, de 0-10 cm, e de 10-20 cm. Adicionalmente, a amostragem subsuperficial da camada 20-40 cm, é indicada para a avaliação da acidez em profundidade e monitoramento da disponibilidade de bases trocáveis, presença de alumínio tóxico e acúmulo de enxofre (S).

A frequência anual de amostragem de solo é a ideal para o monitoramento e o manejo da fertilidade do solo. Contudo, em áreas intensamente cultivadas sob sucessão/rotação ou que possuem cultivos intercalares com espécies de cobertura do solo, o histórico de acompanhamento da fertilidade do solo pode ser bastante útil para ajustar o intervalo de tempo de amostragem mais adequado para planejar as ações de manejo do solo.

Correção da acidez do solo

Os nutrientes têm sua disponibilidade determinada por vários fatores, entre eles o índice de acidez do solo, que representa a atividade potencial dos íons hidrogênio na solução do solo (pH). A variação na disponibilidade dos nutrientes e do alumínio tóxico (Al) às plantas em função do pH do solo (Figura 1) é consequência do aumento ou da diminuição da solubilidade das formas disponíveis presentes no solo, da atividade biológica sobre as frações orgânicas e da capacidade de troca de cátions (CTC), em razão da predominância de cargas dependentes de pH nos solos tropicais. De modo geral, a condição de acidez que promove a maior disponibilidade e aproveitamento dos nutrientes do solo e, também, a precipitação do Al tóxico, acontece no intervalo de pH(H₂O) entre 6,0 a 6,8.

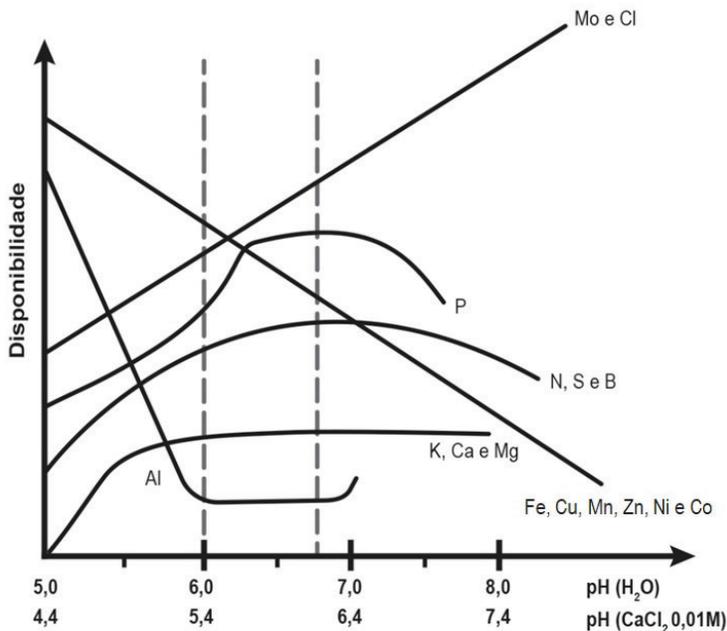


Figura 1. Relação entre o pH e a disponibilidade de nutrientes e de alumínio no solo. Fonte: adaptado de Malavolta (1980).

Calagem

Os prejuízos da acidez para os cultivos agrícolas remontam ao passado remoto, ainda que não completamente entendidos à época, já que existem registros da aplicação de margas (tipo de calcário contendo de 35 a 60% de argila) em solos da Grécia antiga, para melhorar a qualidade do solo e a produtividade das culturas (Fussell, 1959). Mesmo com os conhecimentos da química do solo, o problema persiste nos dias atuais, com estimativas de que 30% da superfície terrestre seja coberta por solos ácidos ($\text{pH} < 4,5$), o que equivale a aproximadamente 4 bilhões de hectares (Sumner; Noble, 2003). Na América do Sul tropical, a proporção é ainda maior, chegando a aproximadamente 85% de solos naturalmente ácidos, devido ao intenso intemperismo (Fageria et al., 2011), associado aos fatores ativos de formação dos solos (Dokuchaev, 1883). Além dos baixos valores de pH, a presença de alumínio (Al) tóxico é outro fator que limita drasticamente a produtividades nas regiões

tropicais. Portanto, o meio mais eficiente para sua neutralização é por meio da aplicação de corretivos de acidez como o calcário, denominada calagem.

A calagem é realizada a partir dos resultados da análise química do solo. A rigor, a recomendação de calcário deve considerar o nível de acidez do solo, o poder tampão (capacidade do solo resistir à mudança de pH) e o tipo de sistema de produção adotado. Além disso, a efetividade da calagem também depende da qualidade do calcário, determinada principalmente pelo Poder Relativo de Neutralização Total (PRNT) e pela composição química do corretivo, além da forma de aplicação, das quantidades aplicadas e do tempo de reação, entre outros. Estes fatores interferem no efeito residual da calagem e, portanto, a análise química de solo deverá ser realizada periodicamente para a tomada de decisão quanto a necessidade de reaplicação do corretivo. Na Figura 2 são apresentados os níveis críticos de cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}) e potássio (K^+) que devem ser alcançados com o manejo da acidez e a adubação para evitar limitação da produtividade por fatores nutricionais.

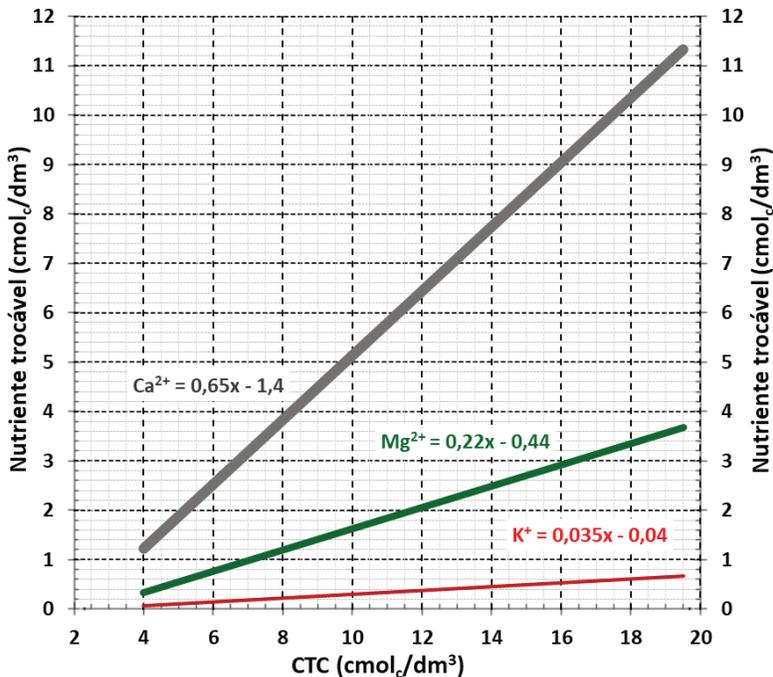


Figura 2. Níveis críticos de cálcio, magnésio e potássio nos solos em função da CTC.

Métodos de recomendação da necessidade de calagem

Existem diversos métodos empregados para estimar a necessidade de calcário para corrigir a acidez do solo. Em sua maioria, as fórmulas consideram a camada superficial de 0-20 cm. Quanto à incorporação, certos métodos partem da premissa que o solo será revolvido, especialmente aqueles que foram elaborados antes da expansão do sistema plantio direto (SPD). No Brasil, três métodos foram validados e têm seus usos recomendados em várias regiões agrícolas.

a) Saturação por bases do solo

Este método consiste na determinação da dose de corretivo necessária para a elevação do pH do solo, tendo como referência a elevação da saturação por bases do solo, que apresenta correlação positiva com o valor de pH (V%) (Quaggio; Raij, 2022a). A fórmula foi proposta inicialmente por Quaggio (1983) e teve como base os trabalhos de Vageler (1932), Catani e Gallo (1955) e Malavolta (1976).

O cálculo da necessidade de calagem (NC) é feito por meio da fórmula:

$$NC (t/ha) = \frac{(V_2 - V_1) \times CTC}{PRNT}$$

onde:

V_2 = valor da saturação por bases esperada (%);

V_1 = valor da saturação por bases do solo antes da correção (%), na camada 0 – 20 cm;

$[V_1 = (SB/CTC) \times 100]$, sendo, $SB = Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^+$ (cmol_c/dm³);

CTC = Capacidade de Troca de Cátions (cmol_c/dm³);

CTC = SB + H+Al (cmol_c/dm³);

PRNT = Poder Relativo de Neutralização Total do corretivo (%).

Em função das características químicas (mineralogia) e físicas (% argila) dos solos predominantes no Brasil, tem-se uma variação no valor adequado de saturação por bases (V2) que equivale à faixa de pH ideal (ligeiramente ácido) e que determinará o maior rendimento agrônômico. De modo geral, para o cultivo de grãos, o objetivo é elevar a saturação por bases a 50% nos solos de baixa CTC e atingir até 70% nos solos de CTC mais elevada. Nas pas-

tagens, que apresentam maior tolerância à acidez, os valores de referência podem ser menores, na casa de 60%.

Em geral, nas regiões que utilizam a determinação da acidez potencial (H+Al) pelo método do acetato de cálcio 0,5 M ou a sua estimativa pelo índice SMP, o poder tampão dos solos é subestimado (Kaminski et al., 2002), principalmente nos solos arenosos e de baixa CTC, resultando em menores valores calculados para a NC e, portanto, menor correção da acidez indicada pelos valores de pH alcançados.

b) Equilíbrio das saturações por Ca e Mg do solo

Popularizado pelo trabalho de Albrecht (1975), o método se baseia numa relação ideal de equilíbrio das bases trocáveis do solo (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+). Os primeiros estudos que pavimentaram o conceito das relações entre cátions foram feitos em Nova Jersey, EUA (Bear et al., 1945; Prince et al., 1947; Bear; Toth, 1948; Hunter, 1949). De modo geral, o método sugere que aproximadamente 50-60% do complexo de troca seja ocupado por Ca, aproximadamente 10-15% por Mg e 2-5% por K. A seguir são apresentadas duas equações, a primeira baseada nos teores de Ca e a segunda nos teores de Mg, para a elevação da saturação de um ou outro cátion no complexo de troca a valores pré-determinados de 60% de Ca^{2+} ou 15% de Mg^{2+} .

$$\text{Necessidade de CaO (t/ha)} = [(CTC \times 0,6) - Ca] \times 0,561$$

$$\text{Necessidade de MgO (t/ha)} = [(CTC \times 0,15) - Mg] \times 0,404$$

onde:

CTC = Capacidade de troca de cátions em cmol/dm^3 ;

Ca ou Mg = Teores trocáveis de cálcio ou magnésio em cmol/dm^3 ;

É importante salientar que as proporções de cátions supracitadas foram determinadas para solos de naturezas distintas aos comumente encontrados em regiões tropicais como as do Brasil. Além disso, os trabalhos tinham como objetivo identificar a condição ideal para a cultura da alfafa forrageira, que apresenta exigências nutricionais superiores aos das culturas de grãos, soja ou o milho. Quando os níveis críticos de suficiência no solo são atendidos, o desenvolvimento das plantas de soja não é limitado pela relação $(\text{Ca} + \text{Mg})/\text{K}$ em uma ampla faixa de variação. Contudo, deve-se corrigir os grandes desequilíbrios, quando ocorrem valores superiores a 31

(Mascarenhas et al., 1987) ou 40 (Rosolem et al., 1992), pois verificam-se perdas de produtividade da soja, associadas à deficiência de potássio induzida por desequilíbrios na relação com os cátions divalentes. Estudos recentes têm demonstrado baixo ou nenhum efeito das relações entre cátions na produtividade das principais culturas agrícolas, contrariando o fundamento deste método (Chaganti; Culman, 2017). Assim, o equilíbrio entre bases deve ser utilizado como critério qualitativo para definição do tipo de corretivo a ser utilizado.

c) Neutralização do Al^{3+} e fornecimento de Ca^{2+} e Mg^{2+}

Este método é, particularmente, adequado para solos sob vegetação de Cerrados e, em especial, aqueles de baixa CTC nos quais ambos os efeitos são importantes (Alvarez; Ribeiro, 1999). O cálculo da necessidade de calagem (NC) inclui, além das características relacionadas ao poder tampão do solo (Y), as exigências da cultura, como a saturação por Al^{3+} tolerada (m_t) e a necessidade mínima de $Ca^{2+} + Mg^{2+}$.

$$NC (t/ha) = Y \times \left[Al^{3+} - \left(m_t \times \frac{CTCe}{100} \right) \right] + [2 - (Ca^{2+} + Mg^{2+})]$$

onde:

Y = capacidade tampão de acidez do solo, estimada a partir do teor de argila ou do valor de fósforo remanescente (P-rem):

$$Y = 0,0302 + 0,06532 \times Arg - 0,000257 \times Arg^2$$

$$Y = 4,002 - 0,125901 \times P\text{-rem} + 0,001205 \times P\text{-rem}^2 - 0,00000362 \times P\text{-rem}^3$$

Al^{3+} = alumínio trocável ($cmol_c/dm^3$);

m_t = saturação por alumínio tolerada pela cultura e/ou sistema de produção;

CTC_e = capacidade de troca de cátions efetiva do solo, em $cmol_c \text{ dm}^{-3}$

Ca^{2+} = cálcio trocável ($cmol_c/dm^3$)

Mg^{2+} = magnésio trocável ($cmol_c/dm^3$)

d) Método do índice SMP

Baseado nos estudos de Shoemaker, McLean e Pratt (1961), o método se baseia nos valores de pH obtidos após o equilíbrio do solo com uma solução tampão. Após a obtenção dos índices SMP, deve-se consultar a tabela de referência (Tabela 1) que contém as quantidades necessárias de calcário para elevação do $\text{pH}_{\text{água}}$ a determinado valor almejado. Durante a reação, solos com maior acidez potencial necessitarão de mais calcário devido ao maior poder tampão. Seu uso é mais difundido nos estados do RS e SC, uma vez que para solos de menor CTC e poder tampão, que exigem menores doses de calcário, o método não apresenta boa performance (Raij et al., 1979).

A quantidade de corretivo indicada para a elevação do pH em água do solo a 5,5 ou 6,0 é determinada com base no valor do índice SMP do solo (Tabela 1). Essas doses foram estabelecidas para a camada de 0–20 cm e para calcários com valor de PRNT de 100%. Elas devem ser ajustadas de acordo com a camada de solo a ser corrigida e com o valor do PRNT do corretivo.

Tabela 1. Quantidade de calcário necessária para elevar o $\text{pH}_{\text{água}}$ do solo a 5,5 ou 6,0.

Índice SMP	$\text{pH}_{\text{água}}$ desejado		Índice SMP	$\text{pH}_{\text{água}}$ desejado	
	5,5	6,0		5,5	6,0
	t/ha ⁽¹⁾			t/ha ⁽¹⁾	
≤4,4	15,0	21,0	5,8	2,3	4,2
4,5	12,5	17,3	5,9	2,0	3,7
4,6	10,9	15,1	6,0	1,6	3,2
4,7	9,6	13,3	6,1	1,3	2,7
4,8	8,5	11,9	6,2	1,0	2,2
4,9	7,7	10,7	6,3	0,8	1,8
5,0	6,6	9,9	6,4	0,6	1,4
5,1	6,0	9,1	6,5	0,4	1,1
5,2	5,3	8,3	6,6	0,2	0,8
5,3	4,8	7,5	6,7	0,0	0,5
5,4	4,2	6,8	6,8	0,0	0,3
5,5	3,7	6,1	6,9	0,0	0,2
5,6	3,2	5,4	7,0	0,0	0,0
5,7	2,8	4,8	-	-	-

Quantidade de corretivo de acidez com PRNT 100%, para a camada de 0 cm–20 cm.

Fonte: Manual... (2016).

Em alguns solos, principalmente os de textura arenosa e baixo poder tampão, o índice SMP pode indicar quantidades muito pequenas de corretivo ou mesmo não indicar a correção da acidez, embora o valor do pH em água possa ser menor que o mínimo preconizado para a cultura. Nesses solos, a necessidade de calagem é calculada com base nos teores de matéria orgânica (MO) e de alumínio trocável (Al^{3+}) do solo, empregando-se as seguintes equações para o solo atingir o pH em água desejado:

$$\text{para pH } 5,5: NC = - 0,653 + 0,480 MO + 1,937 Al^{3+};$$

$$\text{para pH } 6,0: NC = - 0,516 + 0,805 MO + 2,435 Al^{3+};$$

em que, NC: é expressa em t/ha; MO em % e Al^{3+} em $cmol_c dm^{-3}$.

Formas e épocas de aplicação do calcário critérios para decisão da calagem

Antes da implantação do SPD, em solos ácidos e manejados sob preparo convencional ou sob campo natural, preconiza-se corrigir ao menos a acidez da camada arável (0-20 cm), conforme descrito, mediante a incorporação de calcário, com base nos critérios supracitados.

Em solo sob sistema plantio direto consolidado, preconiza-se a calagem superficial quando o valor do $pH_{\text{água}}$ da camada de 0-20 cm for menor que 5,5, o valor de saturação por bases for, no mínimo, 10% mais baixo que o valor referência (50-70%), ou a saturação por Al for maior que 20%. Esses critérios consideram que houve a correção da acidez das camadas abaixo de 10 cm, quando da implantação do sistema plantio direto, e que a reacidificação de solos manejados sem revolvimento ocorre a partir da superfície. Nestas condições, a correção da acidez pode ser gradual, com a aplicação parcelada de calcário na superfície e resultados equivalentes à correção total (Oliveira et al., 2023), conforme a Figura 3.

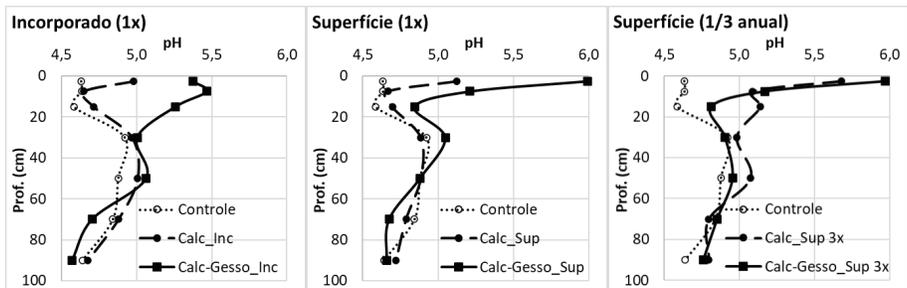


Figura 3. Acidez do perfil do solo (pH) em resposta às formas de aplicação de calcário. Fonte: Oliveira et al (2023).

Em solos com acidez e com saturação por Al $\geq 25\%$ na camada de 0 - 20 cm, pode ser necessário reiniciar o sistema plantio direto. Isso é mais importante em áreas em que a produtividade das culturas é menor que a média local, especialmente em anos de estiagem, com compactação do solo, restringindo o crescimento radicular e com baixa disponibilidade de P. Nessa condição, sugere-se a amostragem de solo estratificada (0-10 cm, 10-20 cm). Se a decisão for por reiniciar o sistema plantio direto, deve-se considerar os valores médios das amostras nas duas profundidades para o cálculo e aplicação das maiores doses de calcário recomendadas pelo critério regional, de forma incorporada com grade pesada. Deve-se ter cautela para reiniciar o sistema plantio direto e realizar as operações mecanizadas sob as condições ideais de clima e de umidade do solo, entre outros motivos, para evitar as perdas de solo por erosão.

Em solo sob sistema plantio direto consolidado, com calagem recente, quando a análise de solo indicar que um dos critérios de decisão de calagem não foi atingido, a aplicação de corretivo não necessariamente aumentará o rendimento da soja. Isso decorre do fato do método SMP não detectar o corretivo que ainda não reagiu no solo. Em geral, são necessários três anos para que ocorra dissolução completa do corretivo.

Qualidade e uso do calcário

Para que a calagem atinja os objetivos de neutralização do alumínio trocável e/ou de elevação dos teores de cálcio e magnésio, algumas condições básicas devem ser observadas:

- o calcário deverá passar 100% em peneira com malha de 2 mm;
- o calcário deverá apresentar teores de CaO + MgO > 38%;

- a escolha do calcário deve levar em consideração os teores trocáveis de cálcio e magnésio e também a relação Ca/Mg do solo. Em solos que contenham teores baixos ou médios de Mg^{2+} , ou ainda, quando a relação Ca/Mg for elevada, deve-se dar preferência ao calcário com teor maior teor de MgO, acima de 12%.
- a distribuição desuniforme aumenta a variabilidade espacial dos atributos relacionados à acidez do solo e promove desequilíbrios nutricionais.

Decisão de compra

Nas regiões com maior diversidade de oferta de corretivos de acidez, a escolha deve se basear na fonte com melhor custo/benefício. Há uma fórmula simples que pode ser empregada para determinar qual calcário representa a melhor decisão financeira para o empreendimento agropecuário, sendo que, quanto menor for o Fator de Compra (FC), melhor será o custo/benefício do corretivo.

$$\text{Fator de Compra (FC)} = \frac{PC + PF}{PRNT}$$

onde:

PC = Preço do corretivo;

PF = Preço do frete (R\$/km x distância em km);

PRNT = Poder Relativo de Neutralização Total do corretivo (%);

Gessagem

Os solos agrícolas podem apresentar limitação por acidez subsuperficial, uma vez que o efeito da calagem é mais efetivo na camada superficial do solo. Assim, camadas mais profundas do solo (abaixo de 20 cm) podem apresentar toxidez por alumínio trocável (Al^{3+}), mesmo em solos adequadamente corrigidos até 20 cm. Esse problema pode limitar a produtividade, principalmente nas regiões onde é mais frequente a ocorrência de veranicos ou em cultivos de 2ª safra.

Nessa situação, recomenda-se o uso de gesso agrícola ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) para o controle da toxidez de alumínio em subsuperfície. O gesso é considerado um condicionador de solo porque não altera os valores de acidez do solo (pH).

No entanto, o gesso agrícola apresenta solubilidade ao redor de 150 vezes superior à do calcário, e o ânion sulfato (SO_4^{2+}) é altamente móvel no perfil do solo e promove a complexação do Al^{3+} tóxico. Adicionalmente, ocorre o aumento dos teores de Ca^{2+} e de enxofre (S) em subsuperfície, resultando em um ambiente menos limitante ao desenvolvimento das raízes. Assim, como estratégia de decisão, o gesso deve ser recomendado em áreas onde a análise de solo, na camada de 20-40 cm, indicar uma saturação de Al^{3+} maior que 20% ou quando o teor de Ca^{2+} for inferior a $0,5 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$.

A necessidade de gesso (NG) pode ser calculada em função do teor de argila no solo, conforme a equação abaixo (Sousa; Lobato, 2004):

$$NG \text{ (kg/ha)} = 50 \times \text{teor de argila (\%)}$$

Ainda, há o método baseado na saturação por bases (V) e na CTC em subsuperfície (Demattê, 1986; Vitti et al., 2008), expresso pela seguinte equação:

$$NG \text{ (t/ha)} = \frac{(V_2 - V_1) \times T}{500}$$

onde:

V_2 = valor da saturação por bases esperada (%);

V_1 = valor da saturação por bases do solo antes da correção (%), na camada 20 – 40 cm;

T = Capacidade de Troca de Cátions ($\text{cmol}_c/\text{dm}^3$), na camada 20 – 40 cm.

Mais especificamente para a região Sul, a gessagem pode ser calculada em função da saturação por Ca na CTC efetiva (CTCe), quando o valor for inferior a 50%. Assim, o método se baseia em elevar a saturação por cálcio (%Ca/CTCe) da camada subsuperficial de 20 - 40 cm para 60% (Caires; Guimarães, 2018).

$$NG \text{ (t/ha)} = (0,6 \times \text{CTCe} - \text{Ca}) \times 6,4$$

onde:

CTCe = CTC efetiva (SB + Al)

Ca^{2+} = Ca^{2+} trocável em $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$

0,6 = ocupação de 60% de Ca na CTCe

6,4 = Constante gerada pelo ajuste estatístico

Não obstante a efetividade da aplicação de gesso, é importante atentar-se para as quantidades aplicadas, em função do manejo integral da fertilidade

e balanço de nutrientes. Doses elevadas de gesso, principalmente em solos de baixa CTC, podem ocasionar desequilíbrios devido ao grande aumento do teor de Ca, dificultando a absorção pelas plantas de outros cátions como K e, especialmente, Mg.

Exigências minerais e avaliação do estado nutricional

Exigências minerais

A absorção de nutrientes é determinada por fatores genéticos, edáficos e ambientais relacionados à produção de matéria seca total da parte aérea (MSPA) e à concentração de nutrientes na planta. Na Tabela 2 são apresentadas as quantidades médias de nutrientes acumuladas pela parte aérea e exportadas pelos grãos da soja (Oliveira Junior et al., 2020).

Contudo, por causa da variação genética entre os cultivares no Índice de Colheita Aparente (ICA = matéria seca de grãos/matéria seca total) e do efeito de diluição/concentração dos nutrientes, maiores quantidades absorvidas não resultam, necessariamente, em aumentos na produtividade de grãos.

A reposição dos nutrientes exportados também é um critério essencial para a recomendação de adubação da soja e a manutenção da disponibilidade dos nutrientes do solo em níveis adequados.

Tabela 2. Quantidades médias de nutrientes acumuladas e exportadas pela cultura da soja.

Partes da Planta	Nutrientes										
	N	P ¹³	K ¹³	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	kg/ha						g/ha				
Grãos ¹¹	187	16,6	61	10	9	9,5	106	39	223	135	142
Restos Culturais	83	6,8	104	66	28	4,9	177	29	1062	545	116
Total ¹²	270	23,4	165	76	37	14,4	283	68	1285	680	258
% Exportada	69	71	37	13	24	66	38	58	17	20	55
	kg/t de grãos						g/t de grãos				
Grãos	54	4,8	18	2,8	2,5	2,8	31	11,5	65	39	41
Restos Culturais	24	2,0	30	19,3	8,2	1,4	51	8,3	310	159	34
Total	78	6,8	48	22,1	10,7	4,2	82	19,8	375	198	75

¹¹Quantidade de nutrientes contida nos grãos das plantas no estágio final de desenvolvimento (R8, maturação plena) – **Umidade base 13%**.

¹²Quantidade de nutrientes contida no tecido vegetal das plantas no estágio de Máximo Acúmulo de Matéria Seca (R6).

¹³Fatores de conversão: P → P₂O₅ = 2,29; K → K₂O = 1,21.

Diagnose foliar

A avaliação do estado nutricional das plantas é um método de interpretação baseado na correlação existente entre a concentração dos nutrientes nas plantas e o potencial de produção da soja. As folhas recém maduras são utilizadas para representar o estado nutricional da soja e, por essa razão, a técnica é conhecida por diagnose foliar. A amostragem de folhas para diagnose foliar deve ser realizada nos estádios iniciais de florescimento (Fehr; Caviness; 1977), coletando-se o terceiro ou o quarto trifólio, com ou sem pecíolo, identificados a partir do ápice das plantas. Para garantir a representatividade do talhão, a amostra deve ser composta de folhas de pelo menos 25 plantas, livres de poeira ou contaminações por produtos de pulverização. Após a coleta, as folhas deverão ser acondicionadas em sacos de papel para secagem e encaminhamento ao laboratório de análises.

A época ideal de amostragem de folhas, difere em função do tipo de crescimento. Deve ser considerado o estágio de desenvolvimento de aproximadamente 50% das plantas do talhão. Para as cultivares do tipo de crescimento

determinado, a amostragem deve ser realizada no início do florescimento até o florescimento pleno (Estádios R1 a R2). Por outro lado, o estágio fenológico para amostragem de folhas das cultivares do tipo de crescimento indeterminado é o R2, podendo-se estender até o início do estágio R3, desde que as plantas estejam no estágio vegetativo V8/V10 (Figura 4).

No Anexo 1 são apresentados os estádios de desenvolvimento da soja com tipo de crescimento determinado e indeterminado (Oliveira Junior et al., 2016).

Diagnose foliar de soja de Tipo de Crescimento Indeterminado

- A coleta deve ser feita **a partir de V8**, desde que pelo menos 50% das plantas estejam em **R2/R3** (flores no 1º e/ou 2º nó superior com folhas expandidas)
- Coletar a **terceira ou quarta folha** de cima para baixo na **haste principal** (25 a 30 plantas por talhão).

Definições - Fehr; Caviness (1977)

- **V8**: plantas com 7 trifólios completamente desenvolvidos ou 8 nós.
- **R2**: plantas com uma flor aberta em um dos nós superiores da haste principal.
- **R3**: Plantas com vagem (0,5 a 2,0 cm) em um dos quatro nós superiores da haste principal.

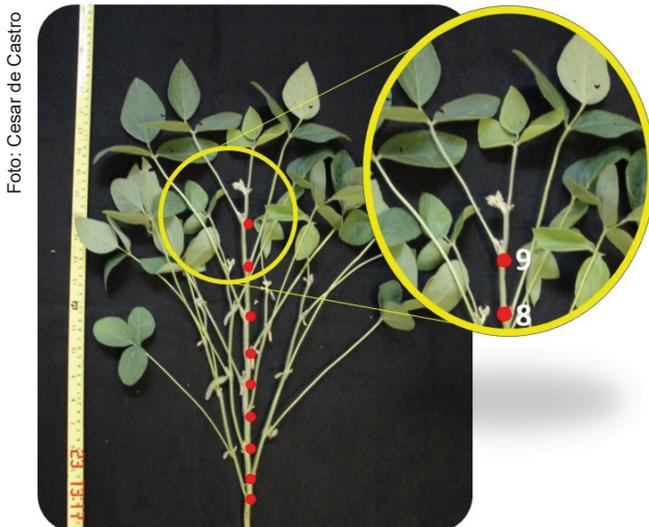


Figura 4. Soja com dez nós na haste principal (V 9) e estágio reprodutivo R3.

Os teores foliares são classificados em relação ao nível de suficiência ou utilizados para o cálculo dos índices de equilíbrio nutricional (Castro et al., 2003). Na Tabela 3, são apresentados os teores de nutrientes utilizados para a interpretação das análises de folhas de soja sem pecíolo.

Tabela 3. Classes e teores de nutrientes utilizados na interpretação dos resultados das análises de folhas de soja sem pecíolo.

Elemento	Baixo	Suficiente ou médio	Alto
	----- g/kg -----		
N	< 45,0	45,0 a 65,0	> 65,0
P	< 2,8	2,8 a 4,5	> 4,5
K	< 18,0	18,0 a 25,0	> 25,0
Ca	< 6,0	6,0 a 10,0	> 10,0
Mg	< 2,8	2,8 a 5,0	> 5,0
S	< 2,4	2,4 a 4,0	> 4,0
	----- mg/kg -----		
B	< 40	40 a 60	> 60
Cu	< 6	6 a 12	> 12
Fe	< 90	90 a 180	> 180
Mn	< 70	70 a 150	> 150
Zn	< 30	30 a 45	> 45

Na Tabela 4 são apresentadas as faixas de suficiência de nutrientes definidas para a soja de tipo de crescimento indeterminado, cultivada no estado do Paraná.

Tabela 4. Teores de nutrientes utilizados na interpretação dos resultados das análises de folhas de soja, sem pecíolo, de soja de tipo de crescimento indeterminado, para o Paraná.

Elemento	Baixo	Adequado	Alto
	----- g/kg -----		
N	< 46	46 a 60	> 60
P	< 3,0	3,0 a 4,1	> 4,1
K	< 17,5	17,5 a 23	> 23
Ca	< 6,0	6,0 a 9,5	> 9,5
Mg	< 3,0	3,0 a 4,5	> 4,5
S	< 2,2	2,2 a 3,2	> 3,2
	----- mg/kg -----		
B	< 45	45 a 75	> 75
Cu	< 5,5	5,5 a 11	> 11
Fe	< 80	80 a 175	> 175
Mn	< 100	100 a 170	> 170
Zn	< 35	35 a 55	> 55

Fonte: Oliveira Junior et al. (2020).

Para o Estado de São Paulo, a amostragem de folhas deve ser realizada no florescimento pleno (R2) coletando-se a 3ª folha com pecíolo de 30 plantas. A diagnose foliar deve ser interpretada a partir dos valores de referência apresentados na Tabela 5.

Tabela 5. Teores de nutrientes adequados para a cultura da soja no Estado de São Paulo, para folhas com pecíolo coletadas no florescimento pleno (R2).

Elemento	Baixo	Adequado	Alto
	----- g/kg -----		
N	< 40	40 a 54	> 54
P	< 2,5	2,5 a 5,0	> 5,0
K	< 17	17 a 25	> 25
Ca	< 4	4 a 20	> 20
Mg	< 3	3 a 10	> 10
S	< 2,1	2,1 a 4,0	> 4,0
	----- mg/kg -----		
B	< 21	21 a 55	> 55
Cu	< 10	10 a 30	> 30
Fe	< 50	50 a 350	> 350
Mn	< 20	20 a 100	> 100
Mo	< 1,0	1,0 a 5,0	> 5,0
Zn	< 20	20 a 50	> 50

Fonte: Quaggio; Rajj (2022b).

Para os estados de Mato Grosso do Sul e de Mato Grosso, a interpretação dos resultados de análise foliar é feita em amostras coletadas no estádio (R2), do terceiro ou quarto trifólios, com ou sem pecíolo (Tabela 6).

Tabela 6. Teores de nutrientes utilizados na interpretação dos resultados das análises de folhas de soja para o MS e MT (Estádio R2).

Elemento	Trifólio <u>com</u> pecíolo			Trifólio <u>sem</u> pecíolo		
	Baixo	Suficiente	Alto	Baixo	Suficiente	Alto
	----- g/kg -----					
N	< 36,8	36,8 a 46,9	> 46,9	< 50,6	50,6 a 62,4	> 62,4
P	< 2,3	2,3 a 3,4	> 3,4	< 2,8	2,8 a 3,9	> 3,9
K	< 17,3	17,3 a 25,7	> 25,7	< 14,4	14,4 a 20,3	> 20,3
Ca	< 6,8	6,8 a 11,8	> 11,8	< 6,2	6,2 a 11,6	> 11,6
Mg	< 2,9	2,9 a 4,7	> 4,7	< 3,0	3,0 a 4,9	> 4,9
S	< 2,1	2,0 a 3,0	> 3,0	< 2,4	2,4 a 3,3	> 3,3
	----- mg/kg -----					
B	< 33	33 a 50	> 50	< 37	37 a 56	> 56
Cu	< 6	6 a 11	> 11	< 7	7 a 12	> 12
Fe	< 59	59 a 120	> 120	< 77	77 a 155	> 155
Mn	< 28	28 a 75	> 75	< 38	38 a 97	> 97
Zn	< 31	31 a 58	> 58	< 41	41 a 78	> 78

Fonte: Kurihara et al. (2008).

Outra utilidade pouco empregada por agricultores, ou mesmo consultores, é a análise foliar para confirmação da diagnose visual de sintomas de distúrbios nutricionais, ou outro fator de origem biótica ou abiótica. Na Figura 5A observa-se folhas de soja cultivada em solo arenoso, e em condições de estresse hídrico, com queima nos bordos causada por toxicidade de B (235 mg/kg de B), em função do manejo da adubação contendo boro no sulco de semeadura. Na Figura 5B, observamos folhas de soja com enrugamento ou encarquilhamento causado por toxidez de manganês (2765 mg/kg de Mn), sintoma que pode ser confundido com enrugamento de folhas de soja, fenômeno não completamente entendido, mas comum em algumas áreas, principalmente em solos de basalto.

Na Figura 5C, a folha de soja apresenta manchas que, inicialmente, podem ser atribuídas à algum agente causal biótico ou confundidas com distúrbios

nutricionais (Castro et al., 2022). Por fim, na Figura 5D observa-se folhas de milho com deficiência de potássio (6,45 g/kg de K) coletadas em áreas de solo argiloso com teores baixos deste nutriente ($0,09 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$), sob suspeita de ocorrência de população elevada de nematoides (Duarte et al., 2022).

Fotos: Cesar de Castro

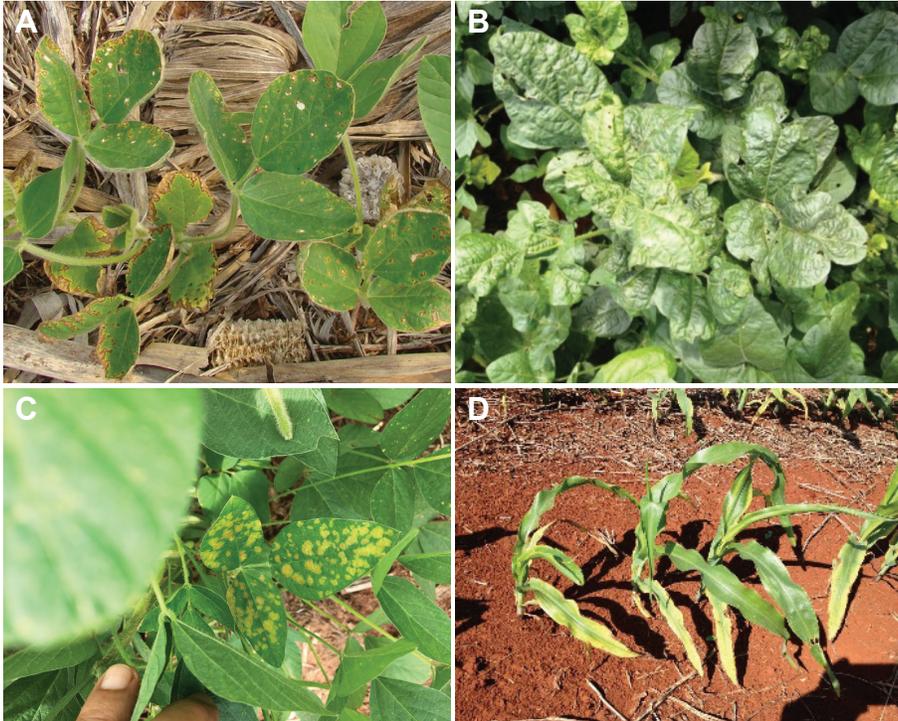


Figura 5. Plantas com sintomas visuais de desordens nutricionais. (A) soja com toxidez de boro; (B) soja com toxidez de manganês; (C) de soja com sintoma de yellow leaf disorder; (D) milho com deficiência de potássio.

Adubação da soja

No manejo da fertilidade do solo, o critério técnico para a recomendação de adubação baseia-se nas exigências nutricionais das plantas e no potencial de resposta da cultura, priorizando-se a aplicação de macronutrientes primários por meio das formulações NPK, ou pela aplicação de fontes simples e de inoculantes para a promoção da fixação biológica do nitrogênio.

A adubação da soja deve ser realizada a partir de critérios técnicos que permitam avaliar a fertilidade do solo para propiciar o uso eficiente dos fertilizantes, o atendimento das necessidades nutricionais das plantas e a máxima eficiência econômica para o produtor. Para tal, a análise química de solo e a diagnose foliar são ferramentas altamente eficientes.

Uma forma eficiente de avaliação da adubação é através do índice de atendimento das exportações de nutrientes (IAExp), que é calculado a partir do balanço da adubação e indica se o manejo está em equilíbrio, conduzindo à redução ou incremento do teor de nutrientes no solo, com prováveis reflexos na produtividade e/ou nos custos (Resende et al., 2019).

Nitrogênio

A soja obtém a maior parte do nitrogênio (N) para as funções metabólicas por processos naturais de fixação biológica realizada nos nódulos radiculares, que são associações simbióticas com bactérias do gênero *Bradyrhizobium* conhecidas por “Fixação biológica de nitrogênio” (FBN). Assim, a recomendação técnica para o manejo do N na cultura da soja baseia-se nas boas práticas de aplicação correta de inoculantes de qualidade contendo estas bactérias (Hungria; Nogueira, 2020).

Existe muita discussão sobre os possíveis benefícios do uso de N mineral na soja, porém a maioria dos resultados obtidos em condições de campo demonstram que a aplicação de N, na semeadura (Oliveira Junior et al., 2015) ou em cobertura via solo e/ou foliar, não traz resultados significativos de produtividade. Entretanto, nos casos de utilização de formulações NPK contendo o MAP (9%–10% N e 50%–55% P_2O_5) como fonte de P, deve-se evitar a aplicação de doses de N superiores a 20 kg/ha, visando o adequado estabelecimento da FBN.

Apesar do sintoma da deficiência de N, caracterizado como clorose das folhas do terço inferior (velhas), ser pouco observado em soja cultivada em condições de campo, nas áreas de solos com baixos teores de matéria orgânica, histórico de não inoculação da soja (FBN) e falta de aplicação de cobalto (Co) e de molibdênio (Mo), a ocorrência de plantas com coloração ligeiramente pálida (verde claro) e com pouca nodulação pode ser um indicativo da deficiência de N nas plantas (Figura 6).

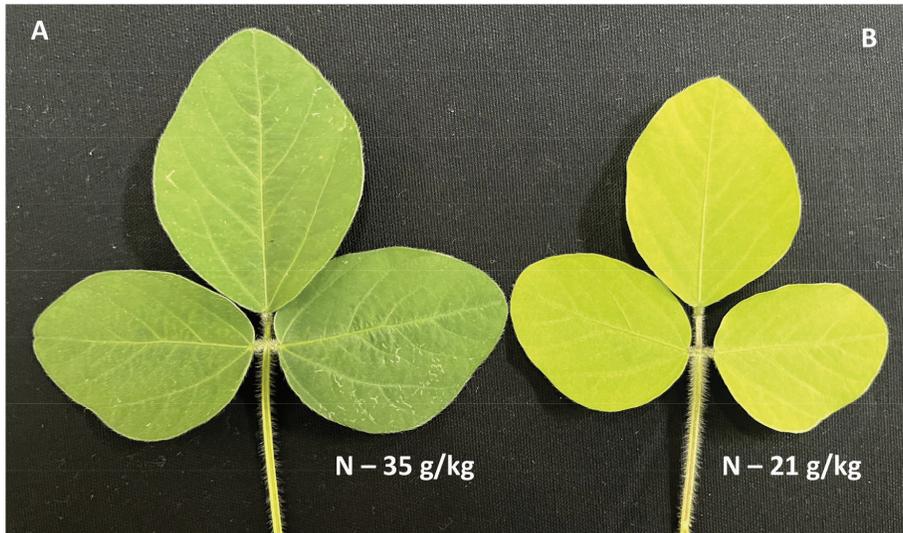


Figura 6. Folhas de soja coletadas em lavouras comerciais no estágio V5/V6(R1), em área com inoculação de aplicação de CoMo Folha sem (A) e com sintoma da deficiência de nitrogênio (B).

Fósforo e Potássio

O fósforo e o potássio são os nutrientes que devem receber maior atenção na adubação porque, além da carência nos solos agrícolas tropicais são, depois do nitrogênio, os nutrientes exportados em maiores quantidades por meio dos grãos (Tabela 2).

Para elevar ou manter a fertilidade do solo e atingir o potencial produtivo da soja com eficiência técnica e econômica, além da disponibilidade desses nutrientes no solo, os critérios para a recomendação de adubação devem considerar a fonte, a dose, a forma e a época de aplicação do fertilizante.

Historicamente, as áreas de produção de soja têm sido adubadas com quantidades de fósforo muito superiores às exportações, resultando na melhoria da disponibilidade média deste nutriente nos solos, com possibilidade de aumento da eficiência de utilização das fontes fertilizantes com a adoção de boas práticas agrícolas (Pavinato et al., 2020). Por outro lado, o balanço da adubação potássica é neutro ou deficiente em lavouras comerciais da maioria das regiões do país (Oliveira Junior et al., 2013; Filippi et al. 2021).

A eficiência dos fertilizantes e a resposta à adubação são altamente dependentes de fatores do clima e principalmente das propriedades físico-químicas e biológicas do solo. Portanto, a recomendação de adubação é regionalizada, com base em resultados da experimentação científica para determinação das curvas de calibração de resposta à adubação.

Região de Cerrados (Sousa et al., 2016)

Adubação fosfatada

A indicação da quantidade de nutrientes é feita com base nos resultados da análise do solo, amostrado na camada de 0 - 20 cm. Na Tabela 7 são apresentadas as classes de disponibilidade de P para os extratores Mehlich-1 e resina trocadora de ânions. Para a soja recomenda-se elevar o teor de P ao limite inferior da classe adequada, acima dos teores mínimos para obtenção de 80% a 90% do rendimento potencial, na ausência de aplicação de P no ano agrícola.

Tabela 7. Classes de disponibilidade de P, pelos métodos da resina e Mehlich-1, para indicação de adubação fosfatada, em sistema de sequeiro com culturas anuais nos Cerrados.

Classe de disponibilidade de P	Potencial de produtividade	P Resina	P - Mehlich-1 (em função do teor de argila, %)			
			≤ 15	16 a 35	36 a 60	> 60
	%	----- mg/dm ³ -----				
Muito baixo	0–40	0–5	0–6,0	0–5,0	0–3,0	0–2,0
Baixo	41–60	6–8	6,1–12,0	5,1–10,0	3,1–5,0	2,1–3,0
Médio ¹⁾	61–80	9–14	12,1–18,0	10,1–15,0	5,1–8,0	3,1–4,0
Adequado	81–90	15–20	18,1–25,0	15,1–20,0	8,1–12,0	4,1–6,0
Alto	91–100	21–35	25,1–40,0	20,1–35,0	12,1–18,0	6,1–9,0
Muito alto	100	> 35	> 40,0	> 35,0	> 18,0	> 9,0

¹⁾ O limite superior dessa classe indica o nível crítico.

Fonte: Sousa et al. (2016)

a) Recomendação de adubação:

Adubação fosfatada corretiva (fosfatagem): essa adubação visa elevar a disponibilidade de P do solo para a classe “adequada” (Tabela 7). A dose de fertilizante fosfatado necessária para esta classe pode ser estimada pelo

método baseado na capacidade tampão de P no solo (CTP). A CTP corresponde à dose de P_2O_5 necessária para se elevar em 1 mg/dm^3 o teor de P na camada amostrada de 0 - 20 cm do solo e varia com a textura e o extrator de P (Tabela 8). Conhecendo-se o teor atual de P no solo, a dose de P_2O_5 na adubação corretiva é calculada a partir da seguinte equação:

$$\text{Dose de P (kg/ha de } P_2O_5) = (\text{Teor desejado de P} - \text{Teor atual de P}) \times \text{CTP}$$

Tabela 8. Níveis críticos de fósforo para 80% da produtividade potencial e valores da capacidade tampão de fósforo (CTP), para determinar a dose do fertilizante fosfatado na adubação corretiva de culturas anuais na região dos Cerrados, em função do teor de argila no solo, para os métodos Mehlich-1 e Resina.

Teor de argila (%)	Nível crítico de fósforo para 80% do rendimento potencial ⁽¹⁾		Capacidade tampão de fósforo (CTP) ⁽²⁾	
	Mehlich-1	Resina	Mehlich-1	Resina
	-----mg/dm ³ -----		---(kg/ha de P_2O_5) / (mg/dm ³)---	
10–15	20	15	5	6
16–20	18	15	6	7
21–25	17	15	7	8
26–30	15	15	9	9
31–35	14	15	11	10
36–40	13	15	15	12
41–45	11	15	18	13
46–50	10	15	23	14
51–55	8	15	29	15
56–60	7	15	37	16
61–65	5	15	54	17
66–70	4	15	70	19

⁽¹⁾ Para obtenção do nível crítico de fósforo para 90% do rendimento potencial, para culturas de maior valor agregado ou menor risco climático, como sistemas irrigados, multiplicar esses valores por 1,4.

⁽²⁾ Dose de P_2O_5 solúvel para elevar o teor de fósforo no solo em 1 mg/dm^3 , com base em amostras da camada de 0 - 20 cm.

Nas Tabelas 9 (Mehlich-1) e 10 (Resina) são apresentadas as doses de P (kg/ha de P_2O_5) para adubação corretiva, calculadas a partir dos teores de argila e CTP (Tabela 8), recomendadas para a elevação da disponibilidade de P ao nível crítico de obtenção de 80% da produtividade potencial da cultura, em função do teor de argila e da capacidade tampão de P do solo.

Tabela 9. Doses recomendadas (kg/ha de P_2O_5) para correção do teor de P no solo (Mehlich-1) até o valor correspondente a 80% da produtividade potencial.

Teor de argila (%)	Teor de P (Mehlich-1) mg/dm ³																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	----- kg/ha de P_2O_5 -----																			
10–15	95	90	85	80	75	70	65	60	55	50	45	40	35	30	25	20	15	10	5	M
16–20	102	96	90	84	78	72	66	60	54	48	42	36	30	24	18	12	6	M		
21–25	112	105	98	91	84	77	70	63	56	49	42	35	28	21	14	7	M			
26–30	126	117	108	99	90	81	72	63	54	45	36	27	18	9	M					
31–35	143	132	121	110	99	88	77	66	55	44	33	22	11	M						
36–40	180	165	150	135	120	105	90	75	60	45	30	15	M							
41–45	180	162	144	126	108	90	72	54	36	18	M									
46–50	207	184	161	138	115	92	69	46	23	M										
51–55	203	174	145	116	87	58	29	M												
56–60	222	185	148	111	74	37	M													
61–65	216	162	108	54	M															
66–70	210	140	70	M																

M: Doses de manutenção correspondentes a 15 kg P_2O_5 e 10 kg de P_2O_5 , para cada tonelada de grãos esperada, respectivamente para solos com teores adequado ou alto de P no solo; Dados calculados a partir da Tabela 8.

Tabela 10. Doses recomendadas (kg/ha de P_2O_5) para correção do teor de P no solo (**Resina**) até o valor correspondente a 80% da produtividade potencial.

Teor de argila (%)	Teor de P (Resina) mg/dm ³														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	----- kg/ha de P_2O_5 -----														
10–15	84	78	72	66	60	54	48	42	36	30	24	18	12	6	M
16–20	98	91	84	77	70	63	56	49	42	35	28	21	14	7	M
21–25	112	104	96	88	80	72	64	56	48	40	32	24	16	8	M
26–30	126	117	108	99	90	81	72	63	54	45	36	27	18	9	M
31–35	140	130	120	110	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	M
36–40	168	156	144	132	120	108	96	84	72	60	48	36	24	12	M
41–45	182	169	156	143	130	117	104	91	78	65	52	39	26	13	M
46–50	196	182	168	154	140	126	112	98	84	70	56	42	28	14	M
51–55	210	195	180	165	150	135	120	105	90	75	60	45	30	15	M
56–60	224	208	192	176	160	144	128	112	96	80	64	48	32	16	M
61–65	238	221	204	187	170	153	136	119	102	85	68	51	34	17	M
66–70	266	247	228	209	190	171	152	133	114	95	76	57	38	19	M

M: Doses de manutenção correspondentes a 15 kg P_2O_5 e 10 kg de P_2O_5 , para cada tonelada de grãos esperada, respectivamente, para solos com teores Adequado ou Alto de P no solo; Dados calculados a partir da Tabela 8.

Adubação corretiva gradual: pode ser utilizada alternativamente à correção total, em geral para solos argilosos e muito argilosos, cujas doses requeridas são elevadas. Essa prática consiste em acrescentar à adubação de manutenção no sulco de semeadura, uma fração da quantidade de P definida para a adubação corretiva, pelo prazo de 3 a 5 safras, com o objetivo de atingir a disponibilidade de P adequada (Tabela 10). Tomando-se como exemplo, para atingir a maior dose corretiva requerida para elevar o fósforo acima do nível crítico num solo com teor de argila superior a 70%, seria necessário acrescentar, por 5 anos, 42 kg/ha de P_2O_5 a adubação de semeadura.

Adubação de manutenção: a adubação de manutenção é recomendada quando a disponibilidade de P é adequada ou alta e as doses devem ser suficientes para a manutenção do potencial produtivo das áreas. Nesses casos, a recomendação de adubação, em sistema plantio direto bem manejado e sem limitações químicas, físicas e biológicas, é aplicar doses correspondentes a 15 kg P_2O_5 e 10 kg de P_2O_5 , para cada tonelada de grãos esperada, respectivamente, para solos com teores de fósforo nas classes de disponibilidade adequado ou alto de P (Tabela 10). Para solos na classe de teor muito alto de P, pode-se deixar de realizar a adubação fosfatada por um ano ou mais, até o retorno para à classe alto.

b) Adubação potássica (Vilela et al., 2004)

Para solos da região dos Cerrados, adotam-se dois sistemas de correção da deficiência de potássio. A adubação corretiva total em que se aplica doses de potássio para corrigir a deficiência, seguida de aplicações anuais para repor a exportação de potássio pelas culturas, ou a adubação corretiva gradual que consiste em aplicar anualmente doses de potássio superiores à necessidade das culturas, de forma a elevar gradativamente a disponibilidade do nutriente no solo, até atingir o nível crítico.

A recomendação de adubação é subdividida em duas classes de CTC: solos com CTC a pH 7,0 menor do que 4,0 $cmol_c/dm^3$ e solos com CTC a pH 7,0 maior ou igual a 4 $cmol_c/dm^3$ (Tabela 11). Nos solos com CTC menor do que 4,0 $cmol_c/dm^3$, o potencial de perdas de K por lixiviação é grande. Nesse caso, recomenda-se o parcelamento para doses maiores de 40 kg/ha de K_2O ou sua aplicação a lanço. Doses de K acima de 100 kg/ha de K_2O , independente da CTC do solo, devem ser, preferencialmente, parceladas ou aplicadas a lanço.

Tabela 11. Interpretação da análise do solo e recomendação de adubação corretiva de K para culturas anuais conforme a disponibilidade do nutriente em solos dos Cerrados.

Teor de K		Interpretação	Corretiva Total ¹¹	Corretiva gradual
mg/kg	cmol _c /dm ³		----- kg de K ₂ O/ha -----	
CTC a pH 7,0 < 4,0 cmol_c/dm³				
< 16	< 0,04	Baixo	50	70
16 a 30	0,04 a 0,08	Médio	25	60
31 a 40	0,08 a 0,10	Adequado ¹²	0	0
> 40	> 0,10	Alto ¹³	0	0
CTC a pH 7,0 ≥ 4,0 cmol_c/dm³				
< 25	< 0,06	Baixo	100	80
25 a 50	0,06 a 0,13	Médio	50	60
51 a 80	0,13 a 0,20	Adequado ¹²	0	0
> 80	> 0,20	Alto ¹³	0	0

¹¹ A adubação corretiva total deve ser complementada com a adubação de manutenção no sulco de semeadura.

¹² Para solos com teores de potássio dentro dessa classe, recomenda-se adubação de manutenção de acordo com a expectativa de produção.

¹³ Para solos com teores de potássio dentro dessa classe, recomenda-se 50% da adubação de manutenção ou da extração de potássio esperada ou estimada com base na última safra.

Se o teor de K for adequado, para evitar o decréscimo de potássio no solo, recomenda-se aplicar anualmente adubação de manutenção, que corresponde à 20 kg de K₂O para cada tonelada de grãos que se espera produzir (exportação). Para solos com altos teores de potássio, até atingir teores adequados, eventualmente podem ser adotadas adubações de manutenção equivalentes a 50% da exportação de K.

Estado de Mato Grosso

As indicações técnicas para o Estado de Mato Grosso foram compiladas do Boletim de Pesquisa - 2022/2023 (Zancanaro et al., 2022). As Tabelas 12 a 15 servem como referência para a interpretação das análises de solo e como sugestão de adubação, considerando os resultados de pesquisa do Programa de Monitoramento da Adubação (PMA), da Fundação MT.

Adubação fosfatada

O fósforo é o nutriente que mais limita a produtividade em solos da região dos Cerrados, quando incorporados à agricultura. Porém, há muitas áreas que vêm sendo cultivadas há vários anos e/ou receberam investimento elevado com adubação e que, atualmente, apresentam teores adequados ou altos de fósforo.

O fósforo, de modo geral, também é o nutriente com maior custo dentro da adubação da cultura da soja no Estado de Mato Grosso, além de interferir significativamente na parte operacional. As diferenças quanto ao histórico de cultivo (histórico de investimentos e teor de fósforo no solo) são determinantes da estratégia de adubação a ser adotada. As Tabelas 12 a 13 podem servir como referência para a interpretação dos resultados da análise do solo e também como sugestão de adubação.

Tabela 12. Interpretação de análises de solo de amostras coletadas na profundidade de 0 - 20 cm, para recomendação de adubação fosfatada (Mehlich-1).

Teor de argila	Teor de P			
	Muito baixo	Baixo	Médio	Adequado
----- % -----	----- mg/dm ³ -----			
61 a 80	< 2,0	2,0 a 3,9	4,0 a 6,0	> 6,0
41 a 60	< 5,0	5,0 a 7,9	8,0 a 12,0	> 12,0
21 a 40	< 6,0	6,0 a 11,9	12,0 a 18,0	> 18,0
≤ 20	<8,0	8,0 a 14,9	15,0 a 20,0	> 20,0

Nota: Ao interpretar os resultados de análises de solo em amostras coletadas em campo com histórico de adubação com fosfatos naturais, ou fertilizantes fosfatados com menor grau de solubilização, é importante considerar que o método de Mehlich-1 tende a superestimar os teores disponíveis de fósforo no solo. Nesse caso, o método de análise recomendado é o método da resina.

Tabela 13. Recomendação de adubação fosfatada corretiva a lanço¹¹, de acordo com o teor de argila do solo.

Teor de Argila	Teor de P (mg/dm ³)- Mehlich-1	
	Muito baixo	Baixo
----- % -----	----- kg/ha de P ₂ O ₅ ¹² -----	
61 a 80	300	200
41 a 60	250	175
21 a 40	200	135
≤ 20	150	100

¹¹ A adubação corretiva de fósforo deve ser avaliada pela quantidade de fósforo, em função do teor de argila, do valor comercial da soja e pelo retorno esperado com as maiores produtividades que possam ser alcançadas nos primeiros quatro anos.

¹² As quantidades de fósforo sugeridas se referem ao fósforo solúvel (CNA+Água).

Na Tabela 14, as quantidades sugeridas de fósforo se referem a uma expectativa de produtividade de 60 sc/ha (3.600 kg/ha) para áreas com vários anos de cultivo e de 55 sc/ha (3.300 kg/ha) para áreas novas. A obtenção de produtividades maiores também é dependente da uniformidade da lavoura já que, de modo geral, as áreas novas apresentam maior desuniformidade.

Tabela 14. Recomendação de adubação fosfatada de manutenção aplicada no sulco de semeadura¹¹ e de acordo com a disponibilidade de fósforo em solos com vegetação de Cerrados, para Mato Grosso.

Teor de Argila	Teor de P (mg/dm ³) – Mehlich-1			
	Muito baixo	Baixo	Médio	Adequado
----- % -----	----- kg/ha de P ₂ O ₅ ¹¹ -----			
61 a 80	≥ 120 ¹²	110	90	60 ¹³
41 a 60	≥ 120	100	80	60
21 a 40	120	100	80	60
≤ 20	120	90	80	60

¹¹ As quantidades de fósforo sugeridas se referem ao fósforo solúvel (CNA+Água) e podem variar em função do nível de produtividade desejada, nível de investimento e preço esperado para a soja.

¹² O PMA tem encontrado repostas positivas e lineares ao fósforo aplicado na linha de semeadura até a maior quantidade de fósforo aplicada (132 kg/ha de P₂O₅), quando a soja é semeada em condições em que o teor de fósforo no solo é muito baixo. Portanto, se o fósforo no solo estiver classificado como baixo ou muito baixo e se houver possibilidade de realizar maior investimento em fósforo e/ou os preços da soja forem promissores, poderão ser utilizadas quantidades maiores do que as sugeridas na Tabela.

¹³ As quantidades recomendadas quando o nível de fósforo for interpretado como adequado equivale m à estratégia de manutenção para as produtividades citadas acima. Para produtividades maiores que as citadas acima, a quantidade recomendada de fósforo para a estratégia de adubação e de reposição é proporcional à produtividade obtida ou desejada.

A decisão de adubação no sulco de semeadura ou a lanço depende do diagnóstico da área, dos objetivos da empresa e do manejo operacional. Contudo, uma estratégia é fazer uma alternância durante os anos ou safras, quanto a modalidade de aplicação do fertilizante fosfatado.

b) Adubação potássica

Na Tabela 15 encontra-se a interpretação dos resultados das análises de solo e a sugestão de recomendação de adubação potássica para a cultura da soja, considerando os resultados de pesquisa do PMA, da Fundação MT.

Tabela 15. Interpretação dos níveis de potássio no solo e recomendação de adubação (kg/ha de K_2O) para a produtividade esperada de 3600 kg/ha (60 sc/ha).

Níveis	Teor de K^+ no solo		Dose de K --- kg/ha de K_2O ---
	----- mg/dm^3 -----	---- $cmol_c/dm^3$ ----	
Bom	> 60	> 0,15	72 a 80 ¹⁾
Médio	40 a 60	0,10 a 0,15	80 a 100
Baixo	20 a 40	0,05 a 0,10	100 a 120
Muito Baixo	< 20	< 0,05	120 a 140

¹⁾ As quantidades recomendadas equivalem à reposição da extração esperada (20 kg/ha a 23 kg/ha de K_2O para cada 1.000 kg de grãos).

Os resultados da Fundação MT têm demonstrado que, em solos de textura muito arenosa, não há resposta às adubações maiores do que 100 kg/ha a 120 kg/ha de K_2O , tanto na produtividade, quanto nos teores de potássio no solo. Ou seja, em solos arenosos, dificilmente, o produtor deverá trabalhar com quantidades de potássio baixas (menores do que as quantidades exportadas) e tampouco com adubações muito elevadas (120 kg/ha a 140 kg/ha). Nesse caso, mais do que investir em quantidades maiores de potássio, é importante investir no parcelamento de sua aplicação e, acima de tudo, em culturas com elevada capacidade de reciclagem do nutriente, como o milho ou a braquiária, por exemplo.

Deve-se evitar a aplicação de quantidades acima de 40 kg/ha de K_2O no sulco de semeadura. Em solos com menos de 40% de argila, a adubação de potássio deve ser feita com um terço da dose no sulco de semeadura e com dois terços em cobertura, a qual deverá ser feita 30 a 40 dias após a emergência das plantas, para cultivares de ciclo precoce ou tardio. Na aplicação a

lanço deve-se ter cuidado especial na uniformidade de aplicação, em função do equipamento e, principalmente, no alcance da aplicação.

Estado de Minas Gerais

Na Tabela 16 são apresentadas as classes de interpretação da disponibilidade para fósforo, de acordo com o teor de argila do solo ou com o valor de P-remanescente e, ainda, para potássio. De acordo com as classes de interpretação da disponibilidade desses nutrientes no solo, tem-se as doses recomendadas de fósforo e de potássio (Tabela 17).

Tabela 16. Classes de interpretação da disponibilidade para fósforo, de acordo com o teor de argila do solo ou do valor de fósforo remanescente (P-rem) e para potássio.

Classe	Classificação				
	Muito baixo	Baixo	Médio ¹³	Bom	Muito bom
Argila (%)	----- Fósforo disponível ¹¹ (mg/dm ³) -----				
>60	≤ 2,7	2,8 a 5,4	5,5 a 8,0	8,1 a 12,0	>12,0
35 a 60	≤ 4,0	4,1 a 8,0	8,1 a 12,0	12,1 a 18,0	>18,0
15 a 35	≤ 6,6	6,7 a 12,0	12,1 a 20,0	20,1 a 30,0	>30,0
<15	≤10,0	10,1 a 20,0	20,1 a 30,0	30,1 a 45,0	>45,0
P-rem¹² (mg/L)					
0 – 4	≤ 3,0	3,1–4,3	4,4–6,0	6,1–9,0	>9,0
4 - 10	≤ 4,0	4,1–6,0	6,1–8,3	8,4–12,5	>12,5
10 - 19	≤ 6,0	6,1–8,3	8,4–11,4	11,5–17,5	>17,5
19 - 30	≤ 8,0	8,1–11,4	11,5–15,8	15,9–24,0	>24,0
30 - 44	≤11,0	11,1–15,8	15,9–21,8	21,9–33,0	>33,0
44 - 60	≤15,0	15,1–21,8	21,9–30,0	30,1–45,0	>45,0
	----- Potássio disponível (K) ¹¹ -----				
cmol _c /dm ³	<0,04	0,04 a 0,10	0,11 a 0,18	0,18 a 0,31	> 0,31
mg/dm ³	≤ 15	16 a 40	41 a 70	71 a 120	> 120

¹¹Método Mehlich-1.

¹² P-rem = fósforo remanescente, concentração de fósforo da solução de equilíbrio após agitar durante 1 h a TFSA com solução de CaCl₂ 10 mmol/L, contendo 60 mg/L de P, na relação 1:10.

¹³ O limite superior dessa classe indica o nível crítico. Fonte: Alvarez et al. (1999).

Tabela 17. Adubação com P e K para produtividade de 3.000 kg de grãos.

Disponibilidade de P			Disponibilidade de K		
Baixo	Médio	Bom	Baixo	Médio	Bom
----- kg/ha de P ₂ O ₅ -----			----- kg/ha de K ₂ O ¹ -----		
120	80	40	120	80	40

¹ Não aplicar no sulco, em uma única vez, quantidade superior a 50 kg/ha. Fonte: Alvarez et al. (1999).

Estado de São Paulo (Quaggio; Raij, 2022b)

Em solos com até 6,0 mg/dm³ de P-Resina é recomendável fazer fosfatagem com 100 kg/ha¹ de P₂O₅, incorporado ao solo, em adição às doses recomendadas para a adubação de semeadura (Tabela 18).

Deve-se evitar dose de K₂O acima de 50 kg/ha para prevenir a redução de estande devido ao estresse salino. Doses maiores devem ser parceladas, com aplicação em cobertura até os 20 a 25 dias após a germinação. Nos solos argilosos com teores baixos de K, quando as doses recomendadas forem iguais ou superiores a 80 kg/ha de K₂O, é deve-se antecipar a adubação de cobertura para a fase de pré-semeadura, aplicada a lanço.

Tabela 18. Adubação mineral de semeadura para o estado de São Paulo

Produtividade esperada	P resina, mg/dm ³			K ⁺ trocável, mmol _c /dm ³		
	0–15	16–40	>40	0–1,5	1,6–3,0	>3,0
---- t/ha ----	----- P ₂ O ₅ (kg/ha)-----			-----K ₂ O (kg/ha)-----		
< 3,0	120	80	30	100	60	40
3,0 - 4,0	140	100	40	120	80	60
4,0 - 5,0	160	120	60	140	100	80
> 5,0	*	140	80	160	120	100

* Difícilmente são obtidas essas produtividades com aplicação localizada de fósforo em solos com teores baixos de P.

Em solos com teores acima de 80 mg/dm³ de P (resina), aplicar somente 20 kg/ha de P₂O₅ no sulco de semeadura como adubação de arranque. Nos solos com teores muito altos de K, acima de 6,0 mmol_c/dm³, não se recomenda a adubação.

Estado do Paraná

As doses de fósforo e de potássio variam em função das classes de teores dos nutrientes nos solos (Tabelas 19 e 20) e devem ser realizadas, preferencialmente, de forma localizada no sulco de semeadura.

Especificamente para adubação potássica, em solos com teor de argila maior que 35% e adequada disponibilidade de K, a aplicação pode ser feita a lanço, até 30 dias antes da semeadura. Na adubação localizada no sulco de semeadura, a quantidade de fertilizante deve ser limitada a doses inferiores a 60 kg/ha de K_2O , em razão dos possíveis danos por efeito salino sobre a germinação das sementes e o desenvolvimento inicial das plântulas (Figura 7), principalmente em solos de textura mais arenosa. Esse sintoma, pode ser confundido com outros fatores, inclusive com deficiência de K. Para aumentar a eficiência da adubação e atender à necessidade total de K, a aplicação complementar de potássio poderá ser realizada a lanço, em área total, até que as plantas estejam no estágio vegetativo V4/V5.

Foto: Cesar de Castro



Figura 7. Plântula de soja com sintoma de salinidade em estágio V2, cultivada em solo com condutividade elétrica (CE) de 0,72 dS/m, $pH(CaCl_2)$ de 6,95 e 1,20 $cmol_c/dm^3$ de K.

Tabela 19. Indicação de adubação com fósforo para a soja no estado do Paraná

Classes de Interpretação da Análise de Solo ¹	Teor de P (Mehlich-1)	Dose Recomendada	Teor de P (Mehlich-1)	Dose Recomendada
	CTC ≤ 5 cmol _c /dm ³		CTC > 5 cmol _c /dm ³	
	mg/dm ³	kg/ha de P ₂ O ₅	mg/dm ³	kg/ha de P ₂ O ₅
Muito Baixo	< 6,0	120	< 3,0	160
Baixo	6,0–14,0	90	3,0–6,0	120
Médio ¹	14,1– 20,0	60	6,1– 9,0	80
Alto ^{2,4}	20,1–35,0	M	9,1–15,0	M
Muito Alto ^{3,4}	> 35,0	R	> 15,0	R

¹ O limite superior dessa classe indica o nível crítico.

² A dose de manutenção (M), baseada no balanço da adubação, equivale a 75% de eficiência de reposição (R) da quantidade de nutriente exportada (11 kg P₂O₅/t de grãos).

³ A dose de reposição (R), baseada no balanço da adubação, equivale a 100% de eficiência de reposição (R) da quantidade de nutriente exportada (11 kg P₂O₅/t de grãos). Nessa classe, a dose pode ser reduzida em qualquer proporção, ou até mesmo suprimida, devendo-se realizar o monitoramento pela análise de solo periódica.

⁴ As práticas relacionadas à adubação de sistemas de produção podem ser aplicadas em áreas com teores de P interpretados nas classes alto e muito alto. Fonte: Oliveira Junior et al. (2020)

Tabela 20. Indicação de adubação com potássio para a soja no estado do Paraná

Classes de Interpretação da Análise de Solo ¹	Teor de K (Mehlich-1)	Dose Recomendada	Teor de K (Mehlich-1)	Dose Recomendada
	CTC ≤ 5 cmol _c /dm ³		CTC > 5 cmol _c /dm ³	
	cmol _c /dm ³	kg/ha de K ₂ O	cmol _c /dm ³	kg/ha de K ₂ O
Muito Baixo	< 0,04	100	< 0,05	200
Baixo	0,04–0,08	90	0,05–0,10	150
Médio ¹	0,09– 0,12	80	0,11– 0,20	100
Alto ^{2,4}	0,13–0,20	M	0,21–0,30	M
Muito Alto	> 0,20	R	> 0,30	R

¹ O limite superior dessa classe indica o nível crítico.

² A dose de manutenção (M), baseada no balanço da adubação, equivale a 90% de eficiência de reposição (R) da quantidade de nutriente exportada ((22 kg K₂O/t de grãos).

³ A dose de reposição (R), baseada no balanço da adubação, equivale a 100% de eficiência de reposição (R) da quantidade de nutriente exportada (22 kg K₂O/t de grãos). Nessa classe, a dose pode ser reduzida em qualquer proporção, ou até mesmo suprimida, devendo-se realizar o monitoramento pela análise de solo periódica.

⁴ As práticas relacionadas à adubação de sistemas de produção podem ser aplicadas em áreas com teores de P interpretados nas classes alto e muito alto. Fonte: Oliveira Junior et al. (2020)

Épocas e modo de aplicação

A tomada de decisão quanto à forma de aplicação de adubação com fósforo e/ou potássio, no sulco de semeadura ou a lanço em superfície, é dependente de diversas variáveis. Não obstante as questões agrônômicas serem as principais, frequentemente a logística, associada à necessidade de maior agilidade nas operações de manejo, determinam o modo de aplicação, principalmente em grandes áreas.

No entanto, é sabido que o fósforo é um nutriente com baixa mobilidade e concentra-se nas camadas superficiais do solo, com decréscimo abrupto da disponibilidade ao longo do perfil (Bataglia et al., 2009; Zancanaro et al., 2022; Oliveira Junior et al., 2019). A Figura 8 representa adequadamente a distribuição característica do P em Latossolo Vermelho distroférico do Paraná. E, de forma análoga, a distribuição de P em profundidade, nos solos de origem sedimentar do Estado de Mato Grosso segue a mesma tendência (Figura 9).

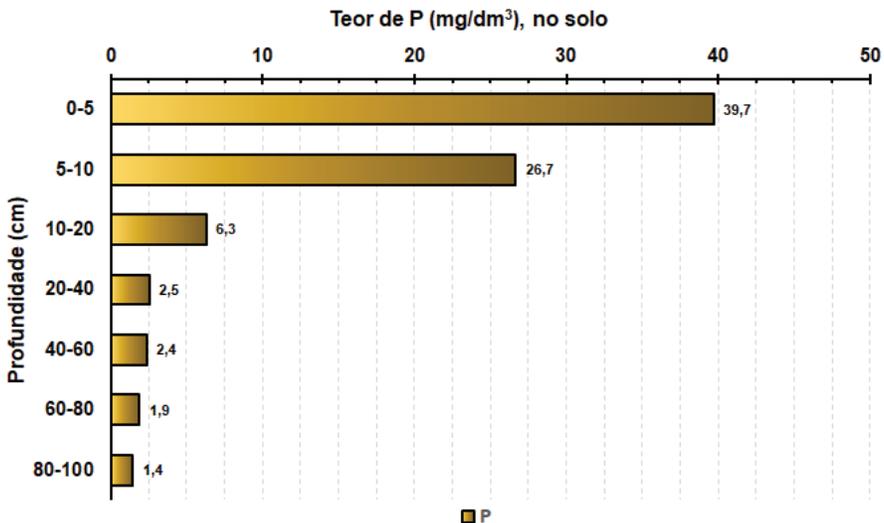


Figura 8. Distribuição de fósforo no perfil de solo até 100 cm de profundidade.

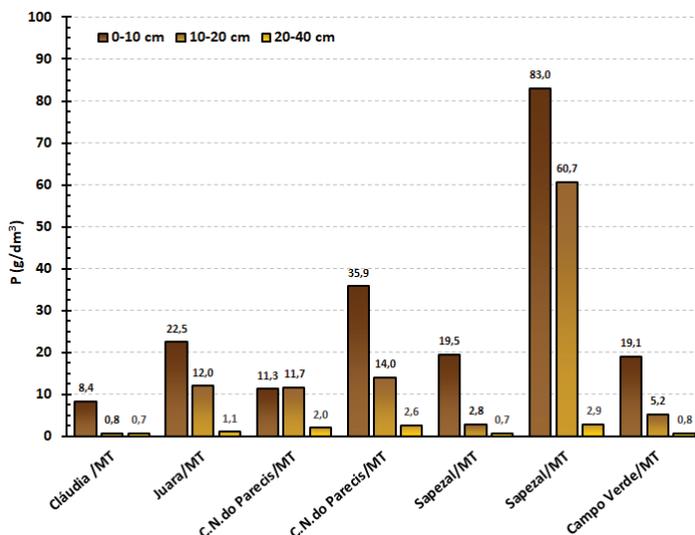


Figura 9. Distribuição de fósforo no perfil de solo até 40 cm de profundidade, em lavouras de soja do Estado de Mato Grosso.

A melhor forma de aplicação do fertilizante fosfatado é localizada no sulco de semeadura, ou seja, próximo às raízes, uma vez que o principal processo de contato do nutriente do solo com as raízes é a difusão. No entanto, principalmente em áreas com alta disponibilidade de fósforo e baixo risco de déficit hídrico, é possível fazer a aplicação a lanço, na superfície do solo e esta forma apresentar eficiência agrônômica compatível com a aplicação no sulco (Oliveira Junior et al., 2019). A continuidade desta prática, contudo, depende do monitoramento do teor de fósforo (fertilidade do solo) nas camadas de 0 - 10 cm e 10 - 20 cm de profundidade.

O potássio disponível que está presente na fração trocável do solo e apresenta maior mobilidade que o fósforo. Os processos de fluxo de massa e difusão determinam o contato do íon com as raízes, possibilitando maior flexibilidade quanto à época e o modo de aplicação, facilitando a logística e o manejo da adubação. Como regra geral, o potássio pode ser aplicado de forma localizada no sulco de semeadura, respeitando os limites máximos indicados em cada região. Alternativamente, nos solos com fertilidade construída, é possível fazer a aplicação de potássio antecipadamente à semeadura ou em cobertura até o estágio V4/V5 de desenvolvimento da soja (Figura 10).

Fotos: Cesar de Castro

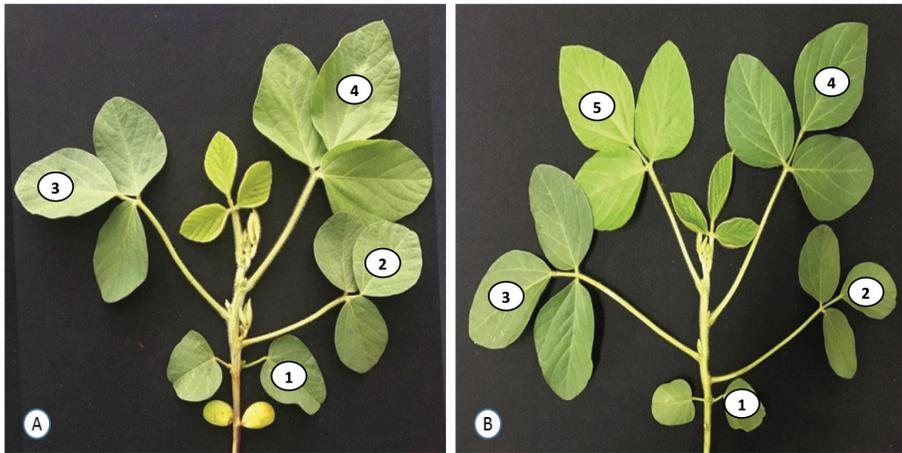


Figura 10. Plantas de soja nos estádios V4 (A) e V5 (B).

Nas Tabelas 19 e 20 encontram-se os níveis críticos de fósforo e potássio no solo e as faixas de suficiência para alcançar altas produtividades de soja no Estado do Paraná. Este conjunto de informações é fundamental para a definição da recomendação da quantidade de fertilizantes, possibilitando, com segurança, até mesmo a redução de doses ou a supressão da adubação em determinada condição. Outra possibilidade de manejo, é a antecipação da adubação da soja, na cultura de inverno (Foloni et al., 2018). No entanto, para adoção destas alternativas é fundamental o monitoramento criterioso da fertilidade do solo, para evitar que os teores de nutrientes fiquem abaixo do nível crítico. Além da análise de solo, avaliar o balanço de entrada e saída de nutrientes, as produtividades das culturas que compõem o sistema de produção e a análise de folhas.

Fontes

Para o fósforo e o potássio, além das quantidades, a concentração de nutrientes nas fontes é uma questão importante, pois a logística e o manejo para a aplicação de fertilizantes, podem ser significativamente afetados em função das fontes escolhidas.

Para o fósforo, alguns fabricantes têm indicado redução de doses de fontes alternativas ou especiais, alegando maior eficiência em comparação com as fontes minerais solúveis. Esse posicionamento tem sido comum para os fer-

tilizantes organominerais. Contudo, tanto as fontes minerais solúveis quanto os fosfatos reativos e as fontes organominerais apresentam, de modo geral, eficiência agrônômica mínima de 75%, quando aplicadas em condições de disponibilidade alta e muita alta. Assim, a dose recomendada de qualquer fonte de fósforo deve ser baseada nos teores solúveis de P_2O_5 , em CNA+Água ou ácido cítrico.

Para o potássio, a principal fonte é o cloreto de potássio, que apresenta a maior viabilidade econômica e custo de transporte. Entretanto, fontes multi-nutrientes têm sido disponibilizadas aos produtores e, nesses casos, a recomendação da quantidade a ser aplicada deve ser realizada com base no teor de K solúvel em CNA + água e/ou em ácido cítrico.

Como regra econômica básica, a decisão de compra das fontes fertilizantes deve considerar o custo total de entrega do produto por unidade de nutriente solúvel (Fator de Compra – FC) que resulte no menor custo/benefício.

$$\text{Fator de Compra (FC)} = \frac{(PF_{\text{Fert}} + PF)}{\% \text{Nutr}}$$

onde:

PFert = Preço do fertilizante potássico;

PF = Preço do frete (R\$/km x distância (km));

%Nutr = Concentração do nutriente solúvel em CNA+H₂O ou ácido cítrico (%).

Sintomas de deficiência de fósforo e potássio

Diferentemente de muitos nutrientes e culturas, a deficiência de fósforo em soja não é externada por mudança significativa na coloração, formato ou textura das folhas, o que dificulta sua identificação ou mesmo suspeita. No entanto, em condições de lavoura, as plantas têm menor velocidade de crescimento, tornando-se menores do que as plantas cultivadas em solos com teores de P adequado. O menor tamanho das plantas, quando sua ocorrência é generalizada no talhão pode não ser constatada ou quando ocorre em reboleiras, ser confundido com problemas como compactação do solo, nematoides e outras causas bióticas e/ou abióticas.

Experimentos conduzidos desde a década de 80, com 12 combinações de teores de fósforo e de potássio disponíveis num Latossolo Vermelho distro-

férrico, em Londrina, evidenciam essa redução de porte (Figura 11) e, consequentemente com menor número de vagens e de grãos formados. Com a redução dos níveis de P no solo, de 11 mg/dm³ para 7 e 3 mg/dm³, a absorção e o acúmulo de fósforo nas folhas foram reduzidos de 3,9 para 2,6 e 2,1 g/kg, com efeito limitante sobre o número de vagens/planta que diminuiu de 56 para 33 e 10, respectivamente.

Em uma lavoura comercial de soja cultivada em área 1º ano de conversão de pastagem degradada (Torixoréu, MT, safra 2021/2022), a principal característica da deficiência de P foi identificada em duas linhas de semeadura que não receberam a adubação fosfatada, por um problema de entupimento do sistema de distribuição (Figura 11D). As plantas apresentaram menor desenvolvimento inicial e atingiram um menor porte final. Esta lavoura de soja foi implantada em um Latossolo Vermelho Amarelo com 480 g/kg de argila e teor baixo de P-resina de 5,7 mg/dm³ e capacidade elevada de adsorção indicada pelo P-rem de 10,7 mg/dm³.

Para o potássio, os sintomas são muito mais evidentes ocorrendo sintomas de clorose dos bordos foliares que evoluem para necrose, desde os primeiros trifólios, mas principalmente nas folhas e vagens, durante a fase reprodutiva e até o final do ciclo, quando ocorre a translocação do nutriente. Em condições de campo, a distribuição dos sintomas está associada à prática do manejo da adubação, com ocorrência generalizada em áreas homogêneas com déficit da quantidade de potássio aplicada e, no entanto, sendo mais comum a ocorrência dos sintomas em reboleiras, nas áreas com má distribuição do fertilizante à lanço em superfície. Nestas últimas, a “fome oculta” é frequentemente diagnosticada pela análise foliar com níveis de deficiência de K nas áreas assintomáticas e perda de produtividade da lavoura.

Fotos: Cesar de Castro



Foto: Ruan F. Firmano

Figura 11. Plantas de soja colhidas em parcelas experimentais com teores baixo (A), médio (B) e adequado (C) de P, Londrina-PR e lavoura de soja com falha na adubação com P no sulco de semeadura, em Torixoréu-MT (D).

Um exemplo de manejo inadequado da adubação foi registrado no Paraná, em lavoura com sintomas visuais de deficiência severa de potássio, confirmada pelo teor muito baixo de K no solo, de apenas $0,06 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (Figura 12A). Também é possível observar vagens com manchas necróticas (Figura 12B), comumente associados à deficiência de K. No entanto, este sintoma severo de deficiência de K é verificado, com maior frequência, em solos com teores muito baixos de K disponível. Em área experimental de Latossolo vermelho distroférico muito argiloso, o aparecimento de sintomas de necrose nas vagens foi identificado somente quando os teores de K no solo ($0,08 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$) e nas folhas (11 g/kg) estavam muito baixos. Em condições iniciais de redução da disponibilidade de potássio, no entanto, os sintomas foliares ocorrem a partir do período reprodutivo, e com predominância nas folhas do terço superior, conforme observado nas Figuras 12C e 12D.

Fotos: Cesar de Castro



Figura 12. Lavoura de soja no Paraná com grave deficiência de K (A); sintoma de necrose da vagem (B); parcela experimental com sintomas de deficiência de potássio nas folhas do terço superior (B e C).

Magnésio

Para os macronutrientes primários P e K, o critério para o manejo da adubação considera as exigências nutricionais das plantas e potencial de resposta, resultando em aplicações em todas as culturas que compõem os sistemas de produção e em todas as safras. Para o Mg, no entanto, o principal critério para o manejo da adubação não é a exigência nutricional das plantas, mas indiretamente, a necessidade de calagem. Justifica-se porque a principal fonte desse nutriente é o calcário dolomítico, cujo uso principal é como corretivo de acidez, com consequente efeito secundário de elevação da saturação por base (V%) pelo fornecimento de Ca^{2+} e Mg^{2+} .

A deficiência de Mg ocorre, frequentemente, em solos ácidos e de textura arenosa, cujo material de origem é pobre em Mg (Arnold, 1967; Havlin et al., 2005) e, na maioria das vezes, com disponibilidade média a alta de K.

No Brasil, os principais processos que têm conduzido à deficiência de Mg no solo são o manejo inadequado da calagem, da gessagem (Caires, 2011) e da adubação (Castro et al., 2022). Por exemplo, aplicações recorrentes e elevadas de calcário calcítico, gesso agrícola e também de fertilizante potássico, podem induzir o desequilíbrio em relação ao Mg no solo, e promover à deficiência deste nutriente.

O magnésio é um nutriente móvel nas plantas e, por isso, os sintomas de deficiência se expressam, normalmente, nas folhas inferiores. Em lavouras sob condições severas de deficiência, no entanto, os sintomas podem ocorrer de forma generalizada na planta toda, com gradiente das folhas mais novas para as mais velhas (Figura 13). Os sintomas visuais de deficiência nutricional desta lavoura foram decorrentes do forte desequilíbrio entre os nutrientes K (18 g/kg), Ca (11 g/kg) e Mg (0,7 g/kg), respectivamente.

Fotos: Cesar de Castro



Figura 13. Lavoura de soja em Wenceslau Braz-PR com generalizada deficiência de Mg (A) e folha em destaque com deficiência de Mg (B).

Enxofre

O enxofre é um nutriente importante no metabolismo das plantas, como constituinte de aminoácidos essenciais (cistina, cisteína, metionina), mas seu manejo da adubação tem sido negligenciado, ou realizado de forma equivocada, podendo ocasionar deficiência nutricional. O enxofre tem baixa mobilidade no floema, por isso os sintomas de deficiência ocorrem nas folhas novas, e se caracteriza por clorose uniforme nas folhas do terço superior das plantas.

No campo, os sintomas ocorrem de forma generalizada e, isto dificulta a identificação. Desequilíbrios nutricionais leves, que caracterizam a fome oculta também são mais comuns que os sintomas visuais. Por essa razão, a análise foliar é muito útil para o diagnóstico nutricional da deficiência de enxofre. Na Figura 14 observa-se fotos de folhas de soja com e sem deficiência de enxofre em função do baixo teor de S no solo e do manejo da calagem, obtida em área experimental com doses de calcário e de gesso em Londrina, PR. A folha com coloração verde escuro (A) apresenta 3,6 g/kg de S, enquanto a folha com clorose e levemente afilada (B), apresentou 2,0 g/kg de S.

Fotos: Cesar de Castro

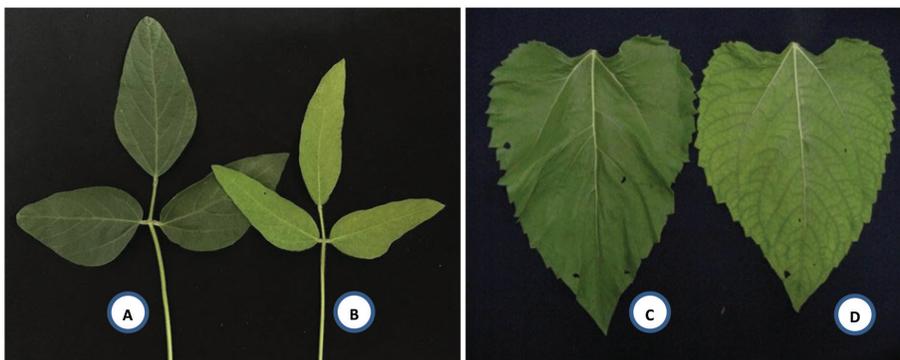


Figura 14. Folhas de soja e girassol com sintomas visuais (clorose) de deficiência de S.

Nas áreas com baixa disponibilidade de enxofre, as culturas em sucessão à soja também devem apresentar sintomas de carência do nutriente. Cultivos submetidos a doses elevadas de nitrogênio podem expressar mais fortemente os sintomas de deficiência de enxofre. Na Figura 14, observa-se este do sobre a absorção de enxofre pelo girassol cultivado no município de Chapadão do Céu-GO. As folhas com coloração mais escura (C) apresentavam teor de 5,3 g/kg de S, enquanto nas folhas com tonalidade verde claro (D), o teor era de 2,8 g/kg de S, valor considerado baixo para a cultura (Castro; Oliveira, 2005).

O gesso é umas das principais fontes de enxofre utilizada. Não obstante a efetividade deste insumo para o manejo condicionador do perfil do solo, é importante atentar para as quantidades aplicadas. Doses elevadas de gesso, principalmente em solos com elevada relação cálcio/magnésio e potássio/magnésio, podem induzir ou intensificar a deficiência de magnésio (Mg), conforme observa-se na Figura 15, lavoura de soja no município de Chapadão do Sul-MS, cultivada em área com baixo teor de Mg, relação Ca/Mg superior a 4 e manejada com 3 t/ha de gesso.



Figura 15. Folha de soja com sintoma de deficiência de magnésio (1,0 g/kg de Mg) nas folhas inferiores em função da aplicação de dose elevada de gesso.

Ao contrário do P, que é imóvel no solo e se concentra nos primeiros centímetros da camada adubada, a forma predominante de enxofre mineral no solo é o ânion sulfato (SO_4^{2-}), que permanece na solução do solo e movimenta-se mais facilmente no perfil, acumulando-se nas camadas subsuperficiais (Figura 16). Assim, para a avaliação da disponibilidade deste nutriente no solo e a necessidade de adubação, deve-se fazer a interpretação da análise de solo coletada em duas profundidades, 0-20 cm e 20-40 cm (Tabela 21).

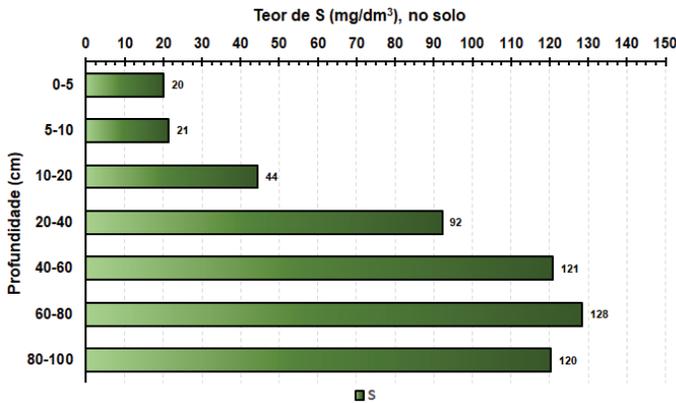


Figura 16. Distribuição característica de enxofre no perfil até 100 cm de profundidade.

Além da adubação corretiva, a adubação de manutenção de enxofre considera a reposição total da exportação do nutriente, de 3,0 kg de S por tonelada de grãos (Tabela 21).

Tabela 21. Indicação de adubação de correção e de manutenção com enxofre (S) para a cultura da soja no Brasil, em função das classes de disponibilidade de S no solo, em duas profundidades.

Classe de disponibilidade		Teor de S no solo ¹				Quantidade de enxofre (S) a aplicar
		CTC ≤ 5 cmol _c /dm ³		CTC > 5 cmol _c /dm ³		
-----Profundidade (cm)-----						
0 a 20	20 a 40	0 a 20	20 a 40	0 a 20	20 a 40	
----- mg/dm ³ -----						--- kg/ha ---
	Baixo	<2	<6	<5	<20	30+M ²
Baixo	Médio	<2	6 a 9	<5	20 a 35	20+M
	Alto	<2	>9	<5	>35	10+M
	Baixo	2 a 3	<6	5 a 10	<20	20+M
Médio	Médio	2 a 3	6 a 9	5 a 10	20 a 35	10+M
	Alto	2 a 3	>9	5 a 10	>35	M
	Baixo	>3	<6	>10	<20	10+M
Alto	Médio	>3	6 a 9	>10	20 a 35	M
	Alto	>3	>9	>10	>35	M

¹ Métodos: Extração-Ca(H₂PO₄)₂ 0,01 M L⁻¹; Determinação-Turbidimetria.

² M=Manutenção: 3 kg/ha de S-SO₄²⁻ para cada 1.000 kg/ha de produtividade de grãos esperada.
Fonte: Modificado de Sfredo et al. (2003).

As principais fontes de enxofre do mercado são gesso agrícola (15% de S), enxofre elementar (98% de S), superfosfato simples (12% de S), polissulfatos, além de formulações NPK contendo S-SO₄⁻², S-elementar ou a combinação destas fontes. O S-elementar, no entanto, deve passar por um processo de oxidação a sulfato, para tornar-se disponível às plantas. Por essa razão, é considerado uma fonte de liberação lenta com efeito residual, mas deve ser aplicado com antecedência mínima de 90 dias.

a) Adubação com enxofre no Cerrado

Para Rein e Sousa (2004), caso não tenha sido feita a gessagem na área e o solo seja deficiente em enxofre (Tabela 22), a cada cultivo devem ser aplicados 20 kg/ha de S para produtividade de até 3 t/ha e 30 kg/ha de S para produtividades ente 3 t/ha a 5 t/ha. Quando a disponibilidade de S for média, recomenda-se 15 kg/ha de S e, em áreas com disponibilidade alta de enxofre, não é necessário aplicação do nutriente, exceto, quando o teor de S na camada de 0 - 20 cm de profundidade, for ≤ 4 mg/dm³. Nesse caso, recomenda-se aplicar 5 kg/ha de S, na forma de sulfato, na linha de semeadura.

Os resultados de pesquisa nas áreas de cerrados do Estado de Mato Grosso também demonstram que não há resposta ao enxofre aplicado em quantidades superiores a 30 kg/ha por safra, independente das fontes (gesso, superfosfato simples e/ou S-elementar em pó), mesmo em áreas com teores baixos do nutriente no solo (Zancanaro et al., 2022).

Tabela 22. Interpretação da análise de enxofre (S) em solos da região dos Cerrados, considerando-se teor médio na camada de 0 cm a 40 cm de profundidade.

S no solo (Teor médio na camada de 0 cm a 40 cm) ¹	Disponibilidade de S
mg/dm ³	
≤ 4	Baixa
5 a 9	Média
≥ 10	Alta

¹[(teor de enxofre na camada de 0 a 20 cm + teor de enxofre na camada de 20 a 40 cm)²]; S extraído com Ca(H₂PO₄)₂ 0,01 mol/L em água (relação solo: solução extratora de 1:2,5).
Fonte: Rein e Sousa (2004).

Micronutrientes

Boro, cobre, manganês, zinco e ferro

As classes de disponibilidade de micronutrientes no solo, em função dos extratores Mehlich-1, DTPA-TEA e água quente, para a cultura da soja, são apresentadas para os solos do Paraná (Tabela 23), São Paulo (Tabela 24) e dos Cerrados (Tabela 25).

A diagnose foliar (Tabelas 3 a 6) deve ser utilizada como ferramenta complementar para avaliação da disponibilidade de micronutrientes no solo, conferindo maior precisão ao diagnóstico, independente da presença de sintomas.

Tabela 23. Limites de interpretação dos teores de micronutrientes nos solos do Paraná.

Faixas	Métodos			
	Água quente	Mehlich-1		
	B ¹	Cu ²	Mn ³	Zn
	----- mg/dm ³ -----			
Baixo	< 0,30	< 0,80	< 15	< 1,1
Médio	0,30 - 0,60	0,80 - 1,70	15 - 30	1,1 - 1,6
Alto	> 0,60	>1,70	> 30	> 1,6

Fonte: ¹Modificado de Galvão (2004);

²Modificado de Borkert et al. (2006);

³Modificado de Sfredo et al. (2006).

Tabela 24. Limites de interpretação dos teores de micronutrientes nos solos de São Paulo.

Faixas	Métodos				
	Água quente	DTPA-TEA			
	B	Cu ²	Fe	Mn ³	Zn ¹
	----- mg/dm ³ -----				
Baixo	< 0,20	< 0,30	< 5,0	< 1,5	< 0,6
Médio	0,20 - 0,60	0,30 - 0,80	5,0 – 12,0	1,5 – 5,0	0,6 - 1,2
Alto	> 0,60	> 0,80	> 12,0	> 5,0	> 1,2

Fonte: Boaretto et al. (2022).

Tabela 25. Limites para a interpretação dos teores de micronutrientes no solo, para culturas anuais do Cerrado.

Faixas	Métodos			
	Água quente	Mehlich-1		
	B	Cu	Mn	Zn
	----- mg/dm ³ -----			
Baixo	< 0,30	< 0,5	< 2,0	< 1,1
Médio	0,30 - 0,50	0,5 - 0,8	2,0 – 5,0	1,1 - 1,6
Alto	> 0,50	> 0,8	> 5,0	> 1,6

Fonte: Adaptado de Galvão (2004).

Na Tabela 26 são apresentadas as indicações de doses de micronutrientes e formas de aplicação no solo, para correção da deficiência nutricional.

Tabela 26. Indicação da aplicação de doses de micronutrientes no solo, para a cultura da soja.

Teor	B	Cu	Mn	Zn
	----- kg/ha -----			
Baixo ¹	2,0	2,0	6,0	6,0
Médio ²	0,5	0,5	1,5	1,5
Alto	0,0	0,0	0,0	0,0

¹Aplicação a lanço em dose única ou dividida em três partes iguais, no sulco de semeadura, em três cultivos sucessivos.

²Aplicação a lanço. Fonte: Galvão (2004).

Com exceção do manganês, cuja deficiência é induzida em solos com pH elevado, ou com aplicação recente de calcário, os sintomas de deficiência de micronutrientes são pouco observados em condições de lavouras. Em solos bem drenados uma explicação para o grande efeito na redução dos teores de Mn disponível às plantas em função do aumento do pH do solo, se deve ao fato de que, teoricamente a concentração do íon Mn²⁺ decrescer 100 vezes para cada aumento de uma unidade de pH (Barber, 1995). A deficiência de manganês se caracteriza por uma clorose internerval (reticulado grosso) de folhas do terço superior e, com frequência se manifesta em nos estádios iniciais de desenvolvimento da soja cultivada em áreas que receberam calagem superficial (Figura 17). Análises foliares possibilitaram a comprovação do diagnóstico em uma lavoura de Japira-PR que apresentava 11,2 mg/kg de Mn e no Alto Taquari-MT, com apenas 8,1 mg/kg de Mn.

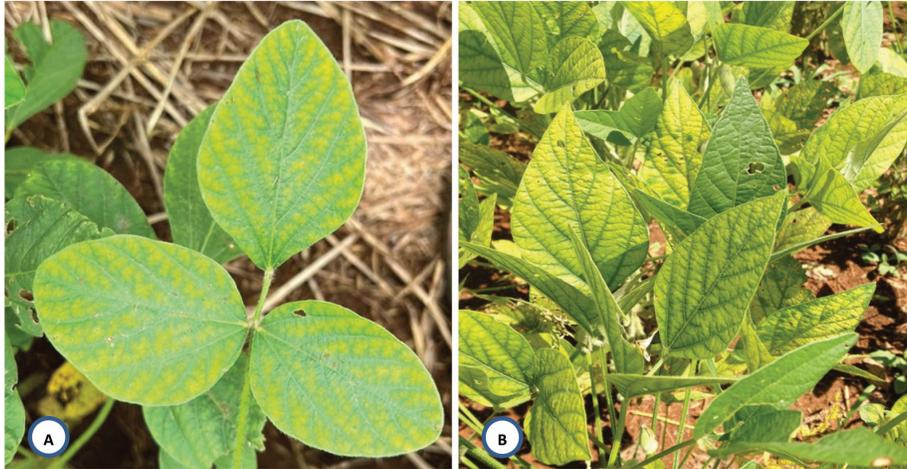


Figura 17. Folhas de soja com deficiência visual de manganês, comprovada pela análise foliar, em lavoura de soja em Japira-PR (A) e Alto Taquari-MT(B).

De todos os micronutrientes, o boro requer a maior demanda por monitoramento e avaliação de estratégias de manejo e recomendação de adubação. Contudo, não é comum o aparecimento de sintomas de deficiência do nutriente em soja, mesmo em solos com teores baixos de boro disponível. A deficiência de B é mais frequente em solos arenosos com baixos teores de matéria orgânica. Além disso, as condições de déficit hídrico, mais características do período de outono/inverno, podem acentuar a deficiência deste nutriente, mesmo em solos com teores adequados de B, uma vez que a movimentação do boro até as raízes ocorre por fluxo de massa e, portanto, a quantidade de absorvida pelas plantas depende do volume de solo explorado pelas raízes e da quantidade de água absorvida.

Castro et al. (2014) observou que a distribuição de água durante o ciclo das culturas é importante para a absorção de B pelas raízes. Sob condições de déficit hídrico, plantas adultas de girassol, cultivadas em sucessão a soja, apresentaram sintomas característicos de deficiência de boro, como o bronzeamento das folhas superiores e, em casos mais graves, a quebra do caule próximo ao capítulo (Figura 18).



Figura 18. Planta de girassol cultivado em segunda safra, com grave sintoma de deficiência de B nas folhas.

A partir do diagnóstico da deficiência de boro, pela análise do solo (Tabelas 23 a 25) ou de tecidos vegetais (Tabelas 3 a 6), deve-se realizar uma adubação corretiva, podendo-se utilizar fontes exclusivas do nutriente ou formulações de fertilizantes contendo boro. Contudo, na maioria dos casos, as formulações disponíveis no mercado não apresentam a concentração de B suficiente para a correção da deficiência em uma única aplicação.

Além das recomendações de correção da deficiência de boro contidas na Tabela 26, outra possibilidade é a aplicação simultânea do boro dissolvido na calda de herbicidas dessecantes (Brighenti et al. 2006; Castro; Brighenti, 2007; Brighenti; Castro, 2008). Nesta tecnologia que combina dois objetivos em uma única operação de pulverização, a aplicação de boro em área total é realizada de forma uniforme, sem interferir na eficiência do controle de plantas daninhas pelo glifosato, seja na dessecação em pré-semeadura e/ou em pós-emergência em cultivares de soja resistentes ao herbicida.

Produtos como o glifosato e o glifosato potássico podem ser aplicados associados com ácido bórico (H_3BO_3) que contém 17% de B ou com o octaborato dissódico ($Na_2B_8O_{13} \cdot 4H_2O$), com 20,5% de B. Na mistura, as fontes fertilizantes possuem apenas a função de fornecer boro às plantas e, em alguns casos, corrigir a deficiência do nutriente no solo ao longo do tempo. Tendo em

vista a pequena necessidade de B das lavouras de soja, ao redor de 300 g/ha (Tabela 6), esta tecnologia possibilita a aplicação das quantidades de boro que atendem as necessidades das plantas.

Um dos cuidados no uso de misturas, além da tecnologia de aplicação, ou fontes de boro, é observar a solubilidade das fontes de B, propriedade que determina as doses máximas a serem aplicadas em função do volume da calda. A solubilidade do ácido bórico em água é 63,5 g/L (Weast; Astle, 1982; Schubert, 2011) e a do octaborato é de 220 g/L (Lopes, 1999), ambas tomadas a 30° C. A solubilidade do ácido bórico determinada a 25° C é 55,2 g/L (Castro; Brighenti, 2007), e Scherer et al. (2011) cita que a solubilidade do octaborato em água é de 95,0 g/L. Devido à grande variação na solubilidade das fontes em função da temperatura e outras moléculas presentes na calda de pulverização, deve-se limitar a quantidade de B adicionada, mesmo de fontes com maior solubilidade, para evitar problemas de precipitação e entupimento de bicos de pulverização ou de incompatibilidade por misturas de calda e até toxidez.

Como regra prática, são apresentadas as quantidades máximas e as relações de diluição seguras para aplicação de ácido bórico e de octaborato de sódio em solução (Tabela 27). Dessa maneira, pode-se determinar com maior precisão o volume mínimo de calda a ser aplicada, em função da dose de boro (B), ou da fonte fertilizante (ácido bórico ou octaborato de sódio) disponível.

Tabela 27. Cálculo do volume de calda mínimo para diluição e aplicação de ácido bórico ou de octaborato dissódico.

	ÁCIDO BÓRICO	OCTABORATO
Volume de calda (L)	Dose de B (g) x 0,15	Dose de B (g) x 0,05
	Dose de ácido bórico (kg) x 25	Dose de octaborato (kg) x 11

Apesar de ser aconselhada a correção da deficiência de B no solo, estudos conduzidos com a aplicação do nutriente via solo e via foliar em soja (Castro et al., 2004) e via solo, em vários anos e locais (Oliveira Junior et al., 2018), não resultaram em respostas significativas à adubação em diferentes culturas de grãos. Trabalhos conduzidos em Londrina, PR, com fontes (ácido bórico, Inkabor e Ulexita) e doses de B (0, 2, 4, 8 e 16 kg/ha), aplicadas a lanço em solo argiloso (~780 g/kg de argila) com teor inicial de 0,28 mg/kg de B solo, com objetivo de avaliar a resposta da soja e do trigo cultivados em sucessão, à aplicação do nutriente via solo durante 6 safras e 10 cultivos, não foi

observado aumento de produtividade, sintomas de deficiência ou sintoma de toxicidade, mesmo nas maiores doses de B nas culturas (Castro et al., 2023).

Por outro lado, a toxidez de boro pode ocorrer em lavouras de soja cultivada em solos arenosos sob restrição hídrica temporária, principalmente quando adubados com doses elevadas de B na linha de semeadura, conforme observado na Figura 19. Estas plantas foram adubadas com 1,2 kg/ha de B (A) e 0,85 kg/ha de B (B), e a análise foliar indicou o acúmulo 175 e 214 mg/kg de B, respectivamente.

Fotos: Fábio A. de Oliveira



Figura 19. Sintomas de toxidez de boro em lavouras de soja cultivadas em solo arenoso, e adubadas com 1,2 kg/ha e 0,85 kg/ha de B na linha de semeadura.

Os sintomas de toxidez de boro se caracterizam por apresentar um gradiente nas plantas, com sintomas mais severos nas folhas mais velhas e atenuados nas folhas mais jovens (Figura 20). O boro acumula-se nos tecidos mais velhos devido à sua baixa mobilidade e translocação nas plantas. A depender das quantidades aplicadas de B no solo e, principalmente, da textura do solo e dos volumes de precipitação pluviométrica, a concentração de B na solução do solo pode ser reduzida e as plantas retomarem o desenvolvimento normal, sem graves consequências.



Figura 20. Sintomas de toxicidade de boro em folhas de soja (214,2 mg/kg) cultivada em solos arenoso, com adubação de 0,85 kg de B na linha de semeadura.

Cobalto e molibdênio

O cobalto e o molibdênio são nutrientes essenciais para o processo de fixação biológica do nitrogênio (FBN). Em função do efeito do pH do solo na disponibilidade dos nutrientes no solo (Figura 1), as maiores possibilidades de resposta ao molibdênio ocorrem em solos ácidos, ao passo que a disponibilidade de cobalto diminui em solos excessivamente corrigidos.

A disponibilidade destes nutrientes no solo não é, rotineiramente, determinada nas análises químicas de solo e de plantas e não há estudos sólidos de respostas e faixas de interpretação. Assim, por segurança, a cada ciclo de cultivo, recomenda-se a aplicação mínima das quantidades potencialmente exportadas pela cultura da soja.

Os sintomas de deficiência de molibdênio são muito raros, mesmo em solos muito ácidos. Contudo, nestas condições, estes sintomas são mais facilmente observados em plantas de girassol. A disponibilidade de cobalto determina a eficiência da FBN, contudo, as plantas não expressam sintomas de deficiência, uma vez que este elemento não é essencial ao metabolismo vegetal.

Por outro lado, aplicação de cobalto no tratamento de sementes pode induzir a deficiência momentânea de ferro em plântulas de soja (Figura 21), principalmente nos cultivares mais sensíveis. No entanto, o amarelecimento característico ocorre nas folhas unifolioladas (V1) e tende a desaparecer a partir da primeira folha trifoliolada (V2).

Fotos: Cesar de Castro



Figura 21. Plântulas de soja com sintomas da deficiência de ferro ocasionada pelo cobalto.

As indicações técnicas desses nutrientes são para aplicação de 2 g/ha a 3 g/ha de Co e 12 g/ha a 25 g/ha de Mo. Estas doses podem ser aplicadas, com a mesma eficiência, tanto via tratamento de semente ou em pulverização foliar, nos estádios de desenvolvimento V3 - V5.

Balanço da adubação como critério de recomendação de adubação - AFERE

O Balanço da Adubação consiste no cálculo da diferença entre as quantidades aplicadas e exportadas de nutrientes por uma cultura (Figura 22), e possibilita aferir o resultado de um talhão ou de uma propriedade, quanto às entradas e saídas de nutrientes.

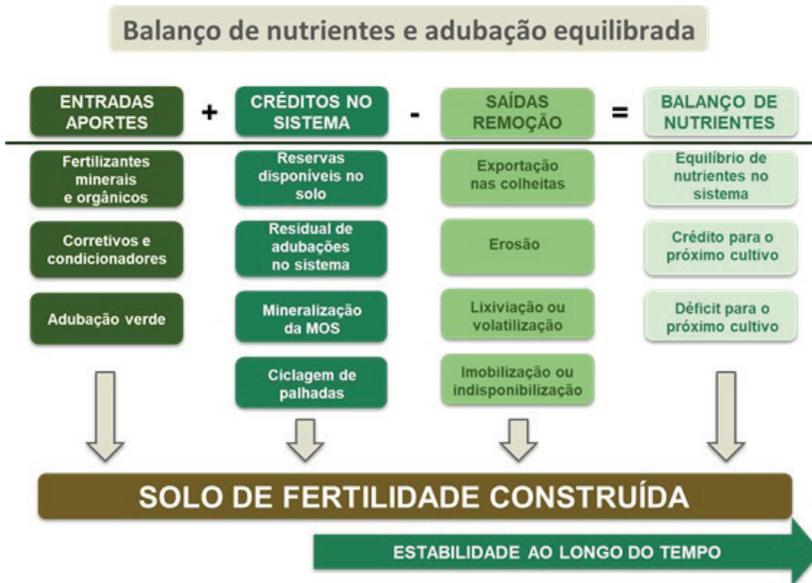


Figura 22. Representação esquemática do balanço da adubação.

Fonte: Resende et al. (2019).

Balanços negativos indicam que as quantidades aplicadas foram inferiores às exportadas (entradas < saídas), e os balanços positivos, indicam que as entradas foram superiores às saídas (entradas > saídas). Vale ressaltar que balanços constantemente negativos levam a diminuição do teor dos nutrientes no solo e a magnitude dessa redução é diretamente proporcional à concentração nos grãos e a produtividade obtida. Nesse sentido, culturas com altos teores de proteína, com destaque para a soja, apresentam maiores concentrações de nutrientes nos grãos do que culturas que possuem alta concentração de carboidratos (ex. milho e trigo) e, portanto, devem ser priorizadas no balanço dos sistemas de produção.

Em áreas com teores dos nutrientes interpretados como Bom/Alto ou Muito bom/Muito Alto, o balanço pode ser utilizado, principalmente, como um indicador de ajuste na recomendação de nutrientes visando sua reposição (Figura 23). Nesse sentido, é importante ressaltar que os materiais genéticos (cultivares/híbridos) que estão sendo disponibilizados aos produtores possuem alto potencial produtivo, o que traz a necessidade de repor as quantidades de nutrientes compatíveis com as produtividades obtidas.



Figura 23. Níveis de fertilidade do solo em função do rendimento relativo e estratégias de adubação eficiente.

Fonte: Adaptado de Gianello e Wiethölter (2004).

Para tanto, foi desenvolvida a plataforma AFERE - Avaliação da Fertilidade do Solo e Recomendação da Adubação, com ferramentas de interpretação das análises de solo e diagnose foliar e também de cálculo do balanço da adubação, relativa às produtividades obtidas e os valores médios de nutrientes acumulados pelos grãos, trazendo como resultado a indicação da necessidade de adubação visando, no mínimo, a reposição dos nutrientes removidos do solo e exportados pelos grãos.

Como a soja está inserida em diferentes sistemas de produção, em rotação ou sucessão com milho e trigo, principalmente, o AFERE reúne informação sobre diferentes culturas e calcula o balanço da adubação de cada cultivo e

também do sistema de produção. Assim, o AFERE integra as informações e fornece recomendações técnicas ajustadas aos diversos sistemas de produção, possibilitando evitar manejos de adubação negativos, que resultam em redução da disponibilidade de nutrientes no solo e limitação da produtividade das culturas por deficiência/desequilíbrio nutricional, bem como, a aplicação excessiva de nutrientes, com reflexos nos custos de produção e na rentabilidade agrícola.

Como sustentação técnica, a plataforma AFERE reúne uma base de dados atualizada que foi parametrizada a partir de informações geradas em projetos de pesquisa da Embrapa, Institutos Estaduais e Fundações de Pesquisa, além de Universidades e grupos de pesquisas/consultorias, o que possibilita a interpretação dos resultados tendo como referência padrões nutricionais associados aos atuais patamares elevados de produtividade das culturas. O acesso à plataforma está disponível no seguinte endereço: www.embrapa.br/soja/afere.

Considerações finais

A adubação deve ser realizada a partir de critérios técnicos que permitam avaliar corretamente a fertilidade do solo e propiciem o uso eficiente dos fertilizantes, o atendimento das necessidades nutricionais das plantas e a máxima eficiência econômica para o produtor. A avaliação da fertilidade do solo baseia-se na identificação de fatores nutricionais que limitam a obtenção de altas produtividades, por meio da análise química de solo, podendo ser complementada pela diagnose foliar.

A análise química de solo, o histórico de manejo da fertilidade do solo e dos cultivos e as metas de produtividade deveriam ser os principais critérios técnicos para a tomada de decisão da adubação. É interessante observar que no Brasil existem redes oficiais de laboratórios credenciados de análises de solo e de tecidos vegetais que atendem as principais regiões agrícolas do País. No entanto, apesar do maior uso da análise de solo, é comum o seu emprego basicamente para efeitos de correção de solo e de adubação com fósforo e potássio, esquecendo-se dos demais nutrientes. Por exemplo, mesmo quando são realizadas análises de macro e micronutrientes no solo, não são criteriosamente observados e interpretados os teores dos demais nutrientes no

solo, gerando inadequada solução dos problemas; como se a “lei do mínimo”, de 1840, formulada por Justus von Liebig, não estivesse mais em vigor.

Apesar de poucos agricultores utilizarem a análise foliar, essa é uma prática eficaz para avaliar o estado nutricional das plantas e para ajustar e aferir a eficiência do manejo das adubações. Os padrões de interpretação podem ser customizados de forma regional e para o ambiente de produção. Além disso, os métodos integrados (DRIS, CND) possibilitam a avaliação do equilíbrio nutricional, a partir das relações entre os nutrientes.

A análise de grãos traz informações precisas sobre a exportação de nutrientes e torna-se fundamental para o aprimoramento das estratégias de adubação eficiente.

Por fim, as plataformas digitais auxiliam enormemente na organização dos dados e no processamento da informação, mas o conhecimento técnico é fundamental para a integração dos fatores da produção e definição de estratégias eficientes de manejo da fertilidade do solo.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro de FNDCT/CT- AGRO/FINEP (Convênio 01.22.0080.00, Ref. 1219/21).

Referências

ALBRECHT, W. A. **The Albrecht papers**. v. 1: Foundation concepts. Kansas City: Acres, 1975. 515 p.

ALVAREZ V., V. H.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; CANTARUTTI, R. B.; LOPES, A. S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (ed.). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**: 5a. aproximação. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 25-32.

ALVAREZ V., V. H.; RIBEIRO, A. C. Calagem. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (ed.). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**: 5a. aproximação. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 43-64.

BARBER, S. A. **Soil nutrient bioavailability**: a mechanistic approach. 2nd ed. New York: John Wiley, 1995. 414 p.

BATAGLIA, O. C.; FERRAREZI, R. S.; FURLANI, P. R.; MEDINA, C. L. **Projeto fósforo no sistema de plantio direto**: relatório final - fósforo. Piracicaba: Fundação Agrisus, 2009. 30 p. (Projeto Agrisus PA-541-09).

BEAR, F. E.; PRINCE, A. L.; MALCOLM, J. L. **Potassium needs of New Jersey soils**. New Brunswick: New Jersey Agricultural Experiment Station, 1945. (Bulletin, 721).

BEAR, F. E.; TOTH, S. J. Influence of calcium on availability of other soil cations. **Soil Science**, v. 65, n. 1, p. 69-74, 1948.

BOARETTO, R. M.; QUAGGIO, J. A.; MELLIS, E. V.; CANTARELLA, H. Micronutrientes. In: CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; MATTOS JUNIOR, D.; BOARETTO, R. M.; RAIJ, B. van (org.). **Boletim 100**: recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. 3. ed. Campinas: IAC, 2022. p. 121-129. (IAC. Boletim técnico, 100).

BORKERT, C. M.; KLEPKER, D.; OLIVEIRA, F. A. de; SFREDO, G. J.; CASTRO, C. de. Estimativa do nível crítico de cobre para a soja, em solos do Paraná. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 28., 2006, Uberaba. **Resumos...** Londrina: Embrapa Soja: Fundação Meridional: Fundação Triângulo, 2006. p. 426-427.

BRIGHENTI, A. M.; CASTRO, C. de. Boron foliar application on sunflower (*Helianthus annuus* L.) associated with herbicides. **Helia**, v. 31, n. 48, p. 127-136, 2008.

BRIGHENTI, A. M.; CASTRO, C. de; OLIVEIRA, F. A. de. **Aplicação simultânea de herbicidas dessecantes e boro**. Londrina: Embrapa Soja, 2006. 1 folder.

CAIRES, E. F. Controle da acidez e melhoria do ambiente radicular no sistema plantio direto. In: FONSECA, A. F. da; CAIRES, E. F.; BARTH, G. (ed.). **Fertilidade do solo e nutrição de plantas no sistema plantio direto**. Ponta Grossa: AEACG: UEPG, 2011. p. 23-68.

CAIRES, E. F.; GUIMARÃES, A. M. A Novel phosphogypsum application recommendation method under continuous no-till management in Brazil. **Agronomy Journal**, v. 110, n. 3, p. 1987-1995, 2018.

CASTRO, C. de.; BRIGHENTI, A. M. Compatibility of herbicides with boron fertilizers for weed desiccation and mineral nutrition of sunflower. **Helia**, v. 30, n. 47, p. 1-14, 2007.

CASTRO, C. de; BORKERT, C. M.; OLIVEIRA, F. A. de; SIBALDELLI, R. N. R.; MORAES, J. Z. Resposta da soja à aplicação de boro em latossolo vermelho distrófico. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA NA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 26., 2004, Ribeirão Preto. **Resumos...** Londrina: Embrapa Soja: Fundação Meridional, 2004. p. 94-95.

CASTRO, C. de; LANTMANN, A. F.; PEREIRA, L. R. **DRIS soja Paraná**: sistema integrado de diagnose e recomendação nutricional para soja. Londrina: Embrapa Soja, 2003. 1 folder.

CASTRO, C. de; OLIVEIRA, F. A. de ; OLIVEIRA JÚNIOR, A ; RAMOS, N. P. . Nutrition and fertilization of sunflowers in Brazilian Cerrado. In: ARRIBAS, J. I. (ed.). **Sunflowers**: growth and development, environmental influences and pests/diseases. New York: Nova Science Publishers, 2014. p. 257-280.

CASTRO, C. de; OLIVEIRA, F. A. de. Nutrição e adubação do girassol. In: LEITE, R. M. V. B. de C.; BRIGHENTI, A. M.; CASTRO, C. de (ed.). **Girassol no Brasil**. Londrina: Embrapa Soja, 2005. cap. 13. p. 317-373.

CASTRO, C. de; OLIVEIRA, F. A. de; OLIVEIRA JUNIOR, A. de; FIRMANO, R. F. Aplicação superficial de calcário e gesso agrícola para a melhoria do perfil químico do solo. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 23., CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 38., 2023, Florianópolis. **Anais ...** Florianópolis: Epagri, 2023. 662 p.

CASTRO, C. de; OLIVEIRA, F. A. de; OLIVEIRA JUNIOR, A. de; FIRMANO, R. F. **Soybean yellow leaf disorder**: disease or a particular nutritional imbalance? Londrina: Embrapa Soja, 2022. 14 p. (Embrapa Soja. Comunicado Técnico, 104).

CATANI, R. A.; GALLO, J. R. Avaliação da exigência de calcário dos solos do Estado de São Paulo, mediante correlação entre o pH e a porcentagem de saturação em bases. **Revista de Agricultura**, v. 30, p. 49-60, 1955.

CHAGANTI, V.; CULMAN, S. Historical perspective of soil balancing theory and identifying knowledge gaps: a review. **Crop, Forage & Turfgrass**, v. 3, n. 1, p. 1-7, 2017.

DEMATTÊ, J. L. I. Solos arenosos de baixa fertilidade: estratégia de manejo. In: SEMANA AGROINDUSTRIAL, 5., SEMANA "LUIZ DE QUEIROZ", 29., 1986, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: USP/ESALQ, 1986. (Mimeografado).

DOKUCHAEV, V. V. **Russian Chernozem**. 1883. Israel Program for Scientific Translations Ltd. (for USDA-NSF), S. Monson, Jerusalem, 1967. (Translated from Russian into English by N. Kaner)

DUARTE, A. P.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. Milho (*Zea mays*). In: CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; MATTOS JUNIOR, D.; BOARETTO, R. M.; RAIJ, B. van (org.). **Boletim 100**: recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. 3. ed. Campinas: IAC, 2022. p. 199-200. (IAC. Boletim técnico, 100).

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C.; JONES, C. A. **Growth and mineral nutrition of field crops**. Boca Raton: CRC Press, 2011. 560 p.

FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. **Stages of soybean development**. Ames: Iowa State University of Science and Technology, 1977. 11 p. (Special report, 80).

FILIPPI, D.; DENARDIN, L. G. de O.; AMBROSINI, V. G.; ALVES, L. A.; FLORES, J. P. M.; MARTINS, A. P.; PIAS, O. H. de C.; TIECHER, T. Concentration and removal of macronutrients by soybean seeds over 45 years in Brazil: a meta-analysis. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 45, e0200186, 2021. DOI: 10.36783/18069657rbcS20200186.

FOLONI, J. S. S.; OLIVEIRA JUNIOR, A. de; CASTRO, C. de; OLIVEIRA, F. A. de. Cultivares de soja submetidas à calagem superficial e adubação de sistema com fósforo e potássio na sucessão trigo/soja. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 8., 2018, Goiânia. **Inovação, tecnologias digitais e sustentabilidade da soja**: anais. Brasília, DF: Embrapa, 2018. p. 845-847.

FUSSELL, G. Marl: an ancient manure. **Nature**, v. 183, p. 214-217, 1959.

GALRÃO, E. Z. Micronutrientes. In: SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E. (ed.). **Cerrado**: correção do solo e adubação. 2. ed. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2004. p. 185-226.

GIANELLO, C.; WIETHÖLTER, S. Novo sistema de adubação para as culturas de grãos nos Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. In: REUNIÃO SUL-BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 5., 2004, Florianópolis. **A ciência do solo e o desafio do desenvolvimento sistêmico**: anais. Florianópolis: SBCS-Núcleo Regional Sul, 2004. 1 CD-ROM.

HAVLIN, J. L.; BEATON, J. D.; TISDALE, S. L.; NELSON, W. L. **Soil fertility and fertilizers**: an introduction to nutrient management. 7th ed. Upper Saddle River: Pearson; New Jersey: Prentice Hall, 2005. 515 p.

HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A. Fixação biológica de nitrogênio. In: SEIXAS, C. D. S.; NEUMAIER, N.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; KRZYZANOWSKI, F. C.; LEITE, R. M. V. B. de C. (ed.). **Tecnologias de produção de soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2020. p. 185-196. (Embrapa Soja. Sistemas de Produção, 17).

HUNTER, A. S. Yield and composition of alfalfa as influenced by variations in the calcium-magnesium ratio. **Soil Science**, v. 67, p. 53-62, 1949.

KAMINSKI, J.; GATIBONI, L. C.; RHEINHEIMER, D. S.; MARTINS, J. R.; SANTOS, E. J. S.; TISSOT, C. A. Estimativa da acidez potencial em solos e sua implicação no cálculo da necessidade de calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n. 4, p. 1107-1113, 2002.

KURIHARA, C. H.; STAUT, L. A.; MAEDA, S. Faixas de suficiência de nutrientes em folhas de soja, em Mato Grosso do Sul e Mato Grosso, definidas pelo uso do método DRIS de diagnose do estado nutricional. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 30., 2008, Londrina. **Resumos...** Londrina: Embrapa Soja, 2008. (Embrapa Soja. Documentos, 304).

LOPES, A. S. **Micronutrientes**: filosofias de aplicação e eficiência agrônômica. São Paulo: ANDA, 1999. 70 p. (ANDA. Boletim técnico, 8).

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral das plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 251 p.

MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola**: nutrição de plantas e fertilidade do solo. São Paulo: Agronômica Ceres, 1976. 528 p.

MANUAL de calagem e adubação para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. 11. ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Núcleo Regional Sul, Comissão de Química e Fertilidade do Solo - RS/SC, 2016. 376 p.

MASCARENHAS, H. A. A.; MIRANDA, M. A. C.; LELIS, L. G. L.; BULISANI, E. A.; BRAGA, N. R.; PEREIRA, J. C. V. N. A. **Haste verde e retenção foliar em soja causada por deficiência de potássio**. Campinas: IAC, 1987. 15 p. (Boletim Técnico, 119).

OLIVEIRA JUNIOR, A. de; CASTRO, C. de; OLIVEIRA, F. A. de. Produtividade da soja em resposta à aplicação de N e K na cultura da soja. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 7.; MERCOSOJA, 2015, Florianópolis. **Tecnologia e mercado global**: perspectivas para soja: anais. Londrina: Embrapa Soja, 2015. 4 p. 1 CD-ROM.

OLIVEIRA JUNIOR, A. de; CASTRO, C. de; OLIVEIRA, F. A. de; FURTINI NETO, A. E. Formulações e formas de aplicação de fósforo: resultados sumarizados dos experimentos conduzidos pela Embrapa. **Anuário de Pesquisas COMIGO**: agricultura - resultados 2019, v. 2, p. 80-91, 2019.

OLIVEIRA JUNIOR, A. de; CASTRO, C. de; OLIVEIRA, F. A. de; JORDÃO, L. T. Adubação potássica da soja: cuidados no balanço de nutrientes. **Informações Agrônômicas**, n. 143, p. 1, 3-10, set. 2013.

OLIVEIRA JUNIOR, A. de; CASTRO, C. de; OLIVEIRA, F. A. de; KLEPKER, D. Fertilidade do solo e avaliação do estado nutricional da soja. In: SEIXAS, C. D. S.; NEUMAIER, N.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; KRZYZANOWSKI, F. C.; LEITE, R. M. V. B. de C. (ed.). **Tecnologias de produção de soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2020. cap. 7, p. 133-184. (Embrapa Soja. Sistemas de Produção, 17).

OLIVEIRA JUNIOR, A. de; CASTRO, C. de; OLIVEIRA, F. A. de; KLEPKER, D. Produtividade da soja, do trigo e do girassol em resposta à aplicação de boro: resultados sumarizados. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 8., 2018, Goiânia. **Inovação, tecnologias digitais e sustentabilidade da soja**: anais. Brasília, DF: Embrapa, 2018. p. 729-731.

OLIVEIRA JUNIOR, A. de; CASTRO, C. de; PEREIRA, L. R.; DOMINGOS, C. da S. **Estádios fenológicos e marcha de absorção de nutrientes da soja**. Paiçandu: Fortgreen; Londrina: Embrapa Soja, 2016. 1 cartaz, color., 70 cm x 100 cm.

OLIVEIRA, F. A. de; OLIVEIRA JUNIOR, A. de; CASTRO, C. de; FIRMANO, R. F. Aplicação superficial de calcário e gesso agrícola para a melhoria do perfil químico do solo. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 23., CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 38., 2023, Florianópolis, SC. **Anais...** Florianópolis: Epagri, 2023. 591 p.

PAVINATO, P. S.; CHERUBIN, M. R.; SOLTANGHEISI, A.; ROCHA, G. C.; CHADWICK, D. R.; ONES, D. L. Revealing soil legacy phosphorus to promote sustainable agriculture in Brazil. **Scientific Reports**, v. 10, 15615, 2020.

PRINCE, A. L.; ZIMMERMAN, M.; BEAR, F. E. The magnesium supplying power of 20 New Jersey soils. **Soil Science**, v. 63, p. 69-78, 1947.

QUAGGIO, J. A. **Critérios para calagem em solos do estado de São Paulo**. 1983. 76 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.

QUAGGIO, J. A.; RAIJ, B. van. Manejo da acidez do solo. In: CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; MATTOS JUNIOR, D.; BOARETTO, R. M.; RAIJ, B. van (org.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 3. ed. Campinas: IAC, 2022b. p. 61-85. (IAC. Boletim técnico, 100).

QUAGGIO, J. A.; RAIJ, B. van. Soja (*Glycine max*). In: CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; MATTOS JUNIOR, D.; BOARETTO, R. M.; RAIJ, B. van (org.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 3. ed. Campinas: IAC, 2022a. p. 209-212. (IAC. Boletim técnico, 100).

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; ZULLO, M. A. T. O método tampão SMP para determinação da necessidade de calagem em solos do Estado de São Paulo. **Bragantia**, v. 38, n. 7, p. 57-69, 1979.

REIN, T. A.; SOUSA, D. M. G. de. Adubação com enxofre. In: SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E. (ed.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2 ed. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2004. p. 227-244.

RESENDE, A. V. de; BORGHI, E.; GONTIJO NETO, M. M.; FONTOURA, S. M. V.; BORIN, A. L. D. C.; OLIVEIRA JUNIOR, A. de; CARVALHO, M. da C. S.; KAPPES, C. Balanço de nutrientes e manejo da adubação em solos de fertilidade construída. In: SEVERIANO, E. da C.; MORAIS, M. F. de; PAULA, A. M. de (ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2019. v. 10. p. 342-398.

ROSOLEM, C. A.; MACHADO, J. R.; MAIA, L. C.; NAKAGAWA, J. Respostas de soja ao magnésio do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 16, p. 47-54, 1992.

SCHERER, H. W.; MENGEL, K.; DITTMAR, H.; DRACH, M.; VOSSKAMP, R.; TRENKEL, M. E.; GUTSER, R.; STEFFENS, G.; CZIKKELY, V.; NIEDERMAIER, T.; HÄHNDEL, R.; PRÜN, H.; ULLRICH, K.-U.; MÜHLFELD, H.; WERNER, W.; KLUGE, G.; KUHLMANN, F.; STEINHAUSER, H.; BRÄNDLEIN, W.; KUMMER, K.-F. Fertilizers. In: ULLMANN'S Encyclopedia of Industrial Chemistry. 7th ed. [S. l.]: Wiley InterScience, 2011.

SCHUBERT, D. Boron oxides, boric acid, and borates. In: Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology. [S. l.]: John Wiley & Sons, 2011. p. 1-68. DOI: 10.1002/0471238961.0215181519130920.a01.pub3.

SFREDO, G. J.; BORKERT, C. M.; OLIVEIRA JUNIOR, A. de; OLIVEIRA, F. A. de; CASTRO, C. de F. Estimativa do nível crítico de manganês trocável, em solos do Paraná. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 28. 2006, Uberaba. **Resumos...** Londrina: Embrapa Soja: Fundação Meridional: Fundação Triângulo, 2006. p. 432-433. (Embrapa Soja. Documentos, 272).

SFREDO, G. J.; KLEPKER, D.; ORTIZ, F. R.; OLIVEIRA NETO, W. de. Enxofre: níveis críticos para a soja, nos solos do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., 2003, Ribeirão Preto. **Solo**: alicerce dos sistemas de produção. Botucatu: UNESP; SBCS, 2003.

SHOEMAKER, H. E.; MCLEAN, E. O.; PRATT, P. F. Buffer methods for determining lime requirement of soils with appreciable amounts of extractable aluminum. **Soil Science Society of America Journal**, v. 25, n. 4, p. 274-277, 1961.

SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, A. Correção e acidez do solo. In: SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E. (ed.). **Cerrado**: correção do solo e adubação. 2. ed. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2004. p. 81-96.

SOUSA, D. M. G. de; REIN, T. A.; SANTOS JUNIOR, J. de D. G. dos. **Manejo da adubação fosfatada para culturas anuais no cerrado**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2016. 10 p. (Embrapa Cerrados. Circular Técnica, 33).

SUMNER, M. E.; NOBLE, A. D. Soil acidification: the world story. In: RENGEL, Z. (ed.). **Handbook of Soil Acidity**. Boca Raton: CRC Press, 2003. p. 1-28.

VAGELER, P. **Em Der Kationen-und Wasserhaushalt des Mineralbodens**. Berlin: Verlag von Julius Springer, 1932. 336 p.

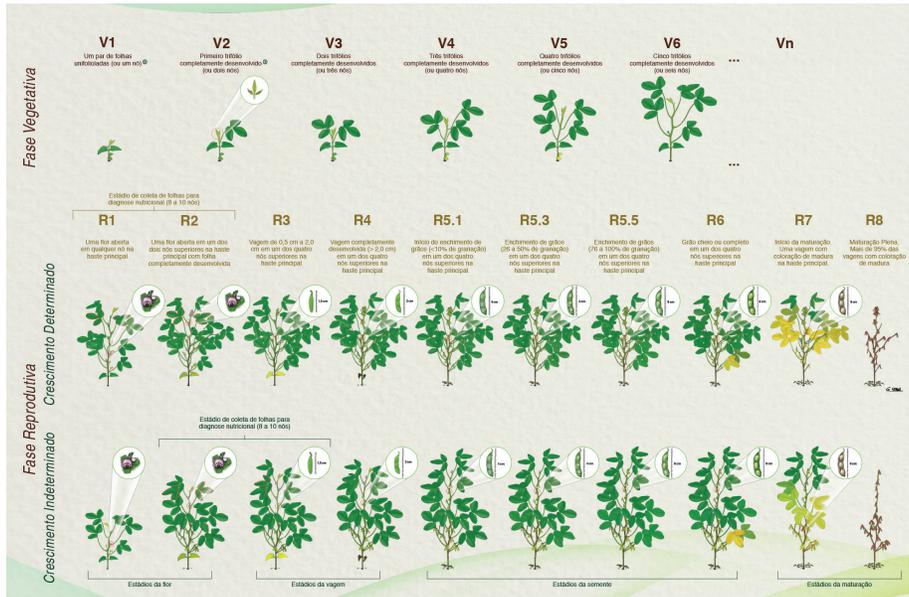
VILELA, L.; SOUSA, D. M. G. de; SILVA, J. E. da. Adubação potássica. In: SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E. (ed.). **Cerrado**: correção do solo e adubação. 2. ed. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2004. p. 169-183.

VITTI, G. C.; LUZ, P. H. de C.; MALAVOLTA, E.; DIAS, A. S.; SERRANO, C. G. de E. **Uso do gesso em sistemas de produção agrícola**. Piracicaba: GAPE, 2008. 104 p.

WEAST, R. C.; ASTLE, M. J. **CRC Handbook of Chemistry and Physical**: a ready-reference book on chemical and physical data. Boca Raton: CRC Press, 1982. 62 p.

ZANCANARO, L.; ONO, F. B.; KAPPES, C.; SEMLER, T. D.; VALENDORFF, J. D. P.; CORADINI, D.; VIDOTTI, M. V.; BERGAMIN, A.C.; BERTOL, F.D.; LESSA, J.H.L. Manejo do solo, adubação e nutrição na cultura da soja. In: KAPPES, C. (Ed.). Boletim de pesquisa 2022/2023. Rondonópolis: Fundação MT, 2022. p. 48-75. (Fundação MT. Boletim de pesquisa, 20)

Anexo 1. Estádios fenológicos e marcha de absorção de nutrientes da soja.



Fonte: Oliveira Junior et al. (2016).

Embrapa

Soja