

SOJA

Adubação para
Altos Rendimentos



ADUBAÇÃO EM LAVOURAS DE SOJA

NECESSIDADES NUTRICIONAIS DA SOJA

A absorção de nutrientes pela soja é influenciada por diversos fatores, entre eles as condições climáticas, como chuva e temperatura, as diferenças genéticas entre as variedades, o teor de nutrientes no solo e os diversos tratos culturais. Contudo, é possível estimar as quantidades médias de nutrientes que estão presentes nos restos culturais e nos grãos da soja para cada tonelada de produção de grãos, como os dados apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Quantidade de nutrientes absorvida e exportada nos grãos pela cultura da soja, em cada tonelada produzida.

	N	P	K	S	Ca	Mg	B	Cl	Mo	Cu	Fe	Mn	Zn	Al
	----- kg em cada tonelada -----						----- g em cada tonelada -----							
Restos culturais ¹	31	2,5	7,5	10	9,2	4,7	-	23	2	-	-	-	-	172
Grãos	51	5,0	17	5,4	3,0	2,0	2,0	237	5	10	70	30	40	15

¹ Folhas, pecíolos e caules que são restituídos ao solo.

Fonte: EMBRAPA (1993a).

O elemento mais requerido pela soja é o nitrogênio. Portanto, para uma produção de 3.000 kg/ha, há a necessidade de 246 kg de nitrogênio, que são obtidos, em pequena parte, do solo (25% a 35%) e, na maior parte, pela fixação simbiótica do nitrogênio (65% a 85%). Por estes dados pode-se avaliar a importância de se fazer uma inoculação bem feita, com inoculante de boa qualidade, para ter eficiência na fixação simbiótica do nitrogênio do ar a custo zero, através das bactérias nos nódulos das raízes da soja. Por isso, deve-se evitar a adubação com nitrogênio mineral, pois além de causar a inibição da nodulação e reduzir a eficiência da fixação simbiótica do nitrogênio atmosférico não aumenta a produtividade da soja. Quando a adubação for feita com adubo formulado, cuja fórmula possua nitrogênio e esta seja de menor custo que a mesma fórmula sem nitrogênio, pode-se utilizá-la na semeadura desde que não ultrapasse 20 kg de N/ha. Para que a fixação simbiótica seja eficiente, há a necessidade de se corrigir a acidez do solo e fornecer os nutrientes que estejam em quantidades limitantes.

Na sequência, os mais exigidos são o potássio, o enxofre e o fósforo. Em relação aos micronutrientes, é importante observar as pequenas quantidades necessárias para suprir a cultura da soja, porém, não se deve deixar faltar nenhum deles, pois todos são essenciais, e com a falta de apenas um deles não haverá bom desenvolvimento e rendimento de grãos (lei do mínimo).

SINTOMAS DE DEFICIÊNCIA E DE TOXIDEZ DE NUTRIENTES NA SOJA

• NITROGÊNIO

A lavoura de soja com deficiência de nitrogênio vai perdendo a cor verde-escuro, passando a verde-pálido com um leve amarelado e, dias mais tarde, todas as folhas tornam-se amarelas. Este sintoma aparece primeiro nas folhas inferiores mas espalha-se rapidamente pelas folhas superiores (Foto 1). O sintoma aparece, por último, nas folhas novas porque o N é um elemento extremamente móvel na planta, sendo translocado dos tecidos velhos para as folhas novas. O crescimento da planta é lento, com plantas menores e de baixa produção. O sintoma visual de deficiência de nitrogênio só irá ocorrer quando não for feita a inoculação da semente de soja e ela for semeada em solos que nunca foram cultivados com esta leguminosa (mesmo assim ela pode nodular com estirpes nativas de baixa eficiência), ou quando a eficiência da fixação do N do ar é baixa devido à inibição pela acidez do solo ou à falta de algum nutriente essencial na simbiose soja-bactéria. Mesmo em solos já anteriormente cultivados com soja, a falta de inoculação na semeadura faz com que ela seja nodulada por bactérias de baixa eficiência já existentes no solo. Nestas circunstâncias, mesmo não aparecendo sintomas visuais de deficiência de N nas folhas, o suprimento deste fica limitado para as exigências da planta e a produtividade é reduzida. Como já foi mencionado, para produções de 3.000 kg de grãos/ha há a necessidade de 160 a 210 kg de nitrogênio fornecidos pela fixação simbiótica, para armazenamento na folha e para translocamento no período de enchimento de grãos, e a planta já deve ter nas folhas (3ª e 4ª folhas do botão terminal para baixo) mais de 4,5% de N na floração (R1 -R2), para não haver quebra no rendimento de grãos.

• FÓSFORO

Os sintomas de deficiência deste elemento às vezes não são muito bem definidos. Os sintomas de deficiência de fósforo são caracterizados nas folhas maduras por uma cor verde-escuro, mas os sintomas principais são o crescimento lento, com plantas raquíticas, de folhas pequenas e muitas vezes verde-escuro azuladas (Fotos 2, 3 e 4). Por causa da alta mobilidade do P na planta, sob condições de deficiência há o translocamento do elemento das folhas mais velhas para as mais novas, esgotando as reservas de P nas folhas mais velhas, onde o sintoma aparece primeiro. A deficiência de fósforo pode ocorrer em quase todos solos ácidos tropicais, com baixo pH e alta capacidade de fixação de P (Foto 4, em Balsas, MA). Além disso, o limitado fornecimento de fósforo reduz o número e a eficiência dos nódulos e, como consequência, a fixação simbiótica do nitrogênio. Altos teores de fósforo no solo podem induzir à deficiência de zinco desde que esses altos teores estejam associados com reduzidas absorção e translocação de Zn, Fe e Cu.

- **POTÁSSIO**

A baixa disponibilidade de potássio sem o aparecimento visual da deficiência deste causa a “fome oculta”, ou seja, a redução na taxa de crescimento da planta com redução da produção de soja (Foto 5). Quando a deficiência é mais severa, o aparecimento dos sintomas visuais começa com um mosqueado amarelado nas bordas dos folíolos das folhas da parte inferior da planta. Estas áreas cloróticas avançam para o centro dos folíolos, dando-se então o início da necrose das áreas mais amareladas nas bordas dos folíolos, com o aumento progressivo do sintoma. Com o passar dos dias, a necrose avança para o centro dos folíolos e há, finalmente, a quebra das áreas necrosadas, deixando os folíolos com aspecto esfarrapado (Foto 6).

As plantas com deficiência de potássio produzem grãos pequenos, enrugados e deformados e a maturidade da soja é atrasada, podendo causar também haste verde, retenção foliar e vagens chochas.

- **CÁLCIO**

A deficiência de cálcio é caracterizada pela redução de crescimento do tecido meristemático no caule, na folha e na ponta da raiz. A deficiência normalmente aparece primeiro nas folhas novas e nos pontos de crescimento (meristema apical), provavelmente como consequência da imobilidade do cálcio na planta (Foto 8). A emergência das folhas primárias da soja deficiente em cálcio é retardada e quando as folhas emergem elas já crescem deformadas (folhas encarquilhadas). Os botões terminais das folhas primárias tornam-se necróticos, faixas cloróticas estreitas desenvolvem-se em volta das porções das folhas remanescentes e o tecido entre as nervuras tende a enrugar. Os botões terminais deterioram e ocorre o colapso dos pecíolos (Foto 7). As folhas primárias tornam-se moles e flexíveis e caem da planta. A deficiência de cálcio é observada em soja cultivada em solos ácidos que não receberam calcário, e estes sintomas, com certeza, resultam de uma combinação da deficiência de cálcio com toxicidade de alumínio e manganês.

- **MAGNÉSIO**

A deficiência de magnésio causa inicialmente uma cor verde-pálido nas bordas, passando após para uma clorose marginal nas folhas mais velhas, e com o decorrer do tempo a clorose avança para dentro, entre as nervuras (Foto 9).

O amarelecimento começa pelas folhas basais e, com o aumento dos sintomas de deficiência, as folhas jovens também são atingidas (baixa produção de clorofila na planta).

Esta ordem ascendente de aparecimento dos sintomas de deficiência indica que o Mg, do mesmo modo que o N e o P, é móvel na planta. Pintas que lembram ferrugem e manchas necróticas irregulares podem, mais tarde, aparecer entre as nervuras, nos folíolos medianos e no topo da planta. Em estádios mais avançados de crescimento, a deficiência de magnésio causa

uma aparência de maturação antecipada. Ocorre o enrugamento das margens das folhas para baixo e o amarelecimento das folhas partindo das margens para o interior, havendo um bronzeamento de toda a superfície da folha. Do mesmo modo que a deficiência de cálcio, a deficiência de magnésio tende a ocorrer com mais frequência em solos arenosos tropicais ácidos, com baixo teor de matéria orgânica, mas a correta aplicação de calcário dolomítico pode prevenir a deficiência de ambos os elementos.

● ENXOFRE

Os sintomas de deficiência de enxofre são muito similares aos da deficiência de nitrogênio. Ocorre uma clorose geral das folhas, incluindo as nervuras, que de verde-pálido passam a amarelo. Os sintomas iniciam-se nas folhas novas, enquanto na deficiência de N os sintomas iniciam-se nas folhas velhas. Em um estágio mais avançado do sintoma, as folhas velhas tornam-se amarelas e depois necrosadas. As plantas deficientes são pequenas e de caule fino. Os sintomas de deficiência de enxofre não são facilmente reconhecidos quando comparados aos sintomas de deficiência de alguns outros elementos. Eles podem ser facilmente identificados pela resposta da planta à aplicação de sulfato ou enxofre elementar em faixas na lavoura de soja. A análise de folhas das plantas também pode ser uma ferramenta útil na identificação da deficiência. A deficiência de enxofre poder ocorrer, com maior frequência, em solos tropicais ácidos, com baixa quantidade de matéria orgânica.

A toxicidade de enxofre tem sido observada em algumas espécies de plantas localizadas especialmente nas proximidades de áreas com muitas indústrias, nas quais há altos níveis de SO₂ na atmosfera. É muito baixa a probabilidade de que isto ocorra nas áreas cultivadas com soja no Brasil.

● MANGANÊS

A deficiência de Mn em soja também provoca clorose entre as nervuras das folhas. Exceto as nervuras, as folhas de soja tornam-se verde-pálido e passam para amarelo-pálido (Foto 10). Áreas necróticas marrons desenvolvem-se nas folhas à medida que a deficiência torna-se mais severa. A deficiência de manganês difere da de ferro e da de magnésio devido às nervuras permanecerem verdes e aparecerem ressaltadas, de forma saliente. Também na deficiência de Mn os sintomas são visíveis primeiro nas folhas novas, enquanto na de Mg as folhas velhas são as primeiras a serem afetadas. Algumas vezes, as folhas novas em estágio fisiológico, e com deficiência, podem manter os sintomas enquanto aquelas que se desenvolveram depois, em estágio fisiológico mais avançado, podem ter aparência verde, de folha saudável, sem o problema. Isto pode ocorrer por causa da mudança das condições climáticas ou porque as raízes cresceram para um horizonte mais abaixo, com solo ácido, e que tenha maior disponibilidade de manganês na solução do solo. Isto ocorre muitas vezes quando o calcário é incorporado com

grade a pouca profundidade, ocorrendo um excesso de calcário a 5 ou 10 cm, com elevação do pH acima de 7,0.

A deficiência de manganês tem sido observada em solos com altos teores de ferro e/ou alumínio e em latossolos arenosos que receberam calcário muito acima da dose recomendada (ou foram mal incorporados) como pode ser observado em uma lavoura de soja no Brasil Central (Foto 11).

Em muitos solos ácidos dos trópicos, e mesmo nos solos ácidos do Sul do Brasil, é mais comum a ocorrência de toxicidade de manganês do que de deficiência. O excesso de manganês parece afetar mais diretamente a parte aérea do que as raízes. Os sintomas de toxicidade de manganês incluem uma clorose nas bordas dos folíolos seguida de necrose, com enrugamento por contração do folíolo e clorose das folhas novas (semelhante à deficiência de ferro) e desenvolvimento de pontos necróticos (Foto 12). Ocorrem também problemas fisiológicos específicos que são associados à toxicidade de manganês, que é o encarquilhamento dos folíolos (Foto 13).

- **ZINCO**

Os folíolos com deficiência de zinco ficam menores, com áreas cloróticas entre as nervuras (Fotos 14 e 15), sendo estes sintomas mais severos nas folhas basais. Os tecidos cloróticos tendem a ficar de cor marrom ou cinza e morrem prematuramente. Uma lavoura de soja deficiente em zinco será de cor marromamarelada quando vista à distância. A maturação será atrasada e poucas vagens serão produzidas.

A deficiência de zinco pode ocorrer sob as mais variadas condições de solo. A primeira e principal ocorre quando o solo já possui baixa disponibilidade natural de zinco (alguns solos derivados de arenitos). Aplicações muito elevadas de calcário e de fósforo reduzem a disponibilidade de zinco e podem causar deficiência do elemento na soja. A deficiência de zinco também é muito comum em regiões de baixa quantidade de chuvas, onde parte da camada de solo foi removida por erosão ou para nivelamento do terreno ou construção de terraços.

- **COBRE**

A deficiência de cobre geralmente causa necrose nas pontas dos folíolos das folhas novas. Essa necrose prossegue pelos bordos dos folíolos, resultando em folhas com aparência de perda de turgidez e de água, parecendo que secaram (Foto 16). O crescimento da soja é retardado e a cor da planta muda para verdeacinzentado, verde-azulado ou cor de oliva.

Para muitas espécies de plantas, altas quantidades de cobre em solução nutritiva são tóxicas e limitam o crescimento, inclusive para a soja. Isto ocorre porque há indícios de afetar, em parte, a habilidade do cobre em deslocar outros cátions, particularmente o ferro, de importantes

sítios fisiológicos. A clorose das folhas é, portanto, o sintoma mais comum observado na toxicidade de cobre, sendo muito semelhante e lembrando a deficiência de ferro.

● MOLIBDÊNIO

Como o molibdênio tem participação na fixação do N_2 do ar, os sintomas de deficiência deste elemento são muito semelhantes àqueles da deficiência de N. Nos primeiros estádios do desenvolvimento dos sintomas, as folhas parecem verde-pálido e têm áreas necróticas adjacentes às nervuras centrais dos folíolos, entre as nervuras principais e ao longo das margens. Já que a solubilidade e a disponibilidade do Mo no solo aumenta com o aumento do pH, a deficiência pode ser eliminada pela calagem (Foto 17), desde que haja molibdênio neste solo na forma imobilizada pela acidez. Também, se as sementes de soja usadas na semeadura foram produzidas em um solo com alta disponibilidade de Mo, ou se estas sementes são provenientes de lavoura de soja pulverizada com adubo foliar contendo Mo no estágio de enchimento de grãos, isto fará que haja suprimento suficiente de Mo (na semente assim produzida) para a próxima geração. A toxicidade de molibdênio raramente é encontrada em soja.

● FERRO

Como no caso da deficiência de Mg, a deficiência de ferro é caracterizada pela diminuição na produção de clorofila pela planta. Porém, inversamente à deficiência de Mg, a deficiência de ferro sempre começa nas folhas novas.

No estágio inicial do desenvolvimento dos sintomas, as áreas entre as nervuras dos folíolos das folhas de soja passam a apresentar cor amarelada (Foto 18). À medida que ocorre uma evolução na severidade da deficiência, também as nervuras ficam amarelas e, finalmente, toda a folha fica quase branca.

Manchas necróticas de cor marrom podem surgir na margem dos folíolos, próximo às bordas. A deficiência de ferro normalmente ocorre em solos calcários. Latossolos tropicais geralmente têm alta concentração de ferro, todavia, a deficiência pode ocorrer se os solos são calcariados e o pH é elevado, acima de 7,0. Também, altas concentrações de alumínio e manganês na planta podem reduzir a absorção de ferro e induzir à deficiência deste elemento.

A toxicidade de ferro pode ocorrer em solos hidromórficos (solos de várzeas), desde que fiquem alagados por algumas semanas, ou com alta saturação de água. Nessas condições, o teor de ferro solúvel pode aumentar no solo de 0,1 ppm a até 100 ppm, aumentando a absorção pelas plantas.

- **BORO**

A deficiência de boro aparece inicialmente causando um anormal e lento desenvolvimento dos pontos de crescimento apical. Os folíolos das folhas novas são deformados, enrugados, com frequência ficam mais grossos e com cor verde-azulado escuro. Podem ter clorose entre as nervuras do dorso do folíolo. As folhas e os caules tornam-se frágeis, indicando distúrbio na transpiração, e as folhas do topo ficam de cor amarela ou avermelhada. Com o progresso da deficiência, a elongação dos entre-nós fica lenta, ocorre a morte dos pontos de crescimento terminal e a formação de flores é restrita ou inibida. A deficiência de boro normalmente ocorre com maior frequência em solos arenosos e em solos altamente intemperizados das regiões mais chuvosas. Boro disponível é facilmente lavado do solo e perdido por percolação e lixiviação. Muito do boro disponível no solo em uma safra de soja é liberado da matéria orgânica pela ação dos microrganismos.

A soja também é muito sensível à alta concentração de boro nos solos. Os sintomas de toxicidade de boro resultam em amarelecimento das pontas dos folíolos seguido de progressiva necrose, que começa nas pontas e nas margens e, finalmente, espalha-se entre as nervuras laterais e encaminha-se para a nervura central. As folhas ficam com a aparência de queimadas e caem prematuramente.

- **CLORO**

A deficiência de cloro é caracterizada por plantas cloróticas com folíolos que ficam flácidos nas bordas. Entretanto, a toxicidade de cloro é mais comum do que a deficiência. Soja cultivada em solos que frequentemente recebem altas doses de adubo pode apresentar acúmulo de sais de cloreto e sintomas de toxicidade de cloro, que são: queima das pontas dos folíolos ou da margem, conferindo-lhes cor de bronze, e amarelecimento e queda prematura das folhas. Quando esses sintomas ocorrem, a alta concentração de cloro nos tecidos das folhas é associada com altos teores de manganês, especialmente quando uma seca ocorre antes da floração.

- **COBALTO**

Não há relatos de sintomas de deficiência de cobalto em plantas cultivadas a campo. Em soja cultivada em solução nutritiva, os sintomas de deficiência de cobalto são descritos como clorose e encarquilhamento das folhas. O cobalto aplicado via foliar é absorvido, porém, não é translocado para outras partes da planta; portanto, a adubação foliar de cobalto não resolve o problema de deficiência.

A toxicidade de cobalto já foi observada em plântula de soja no início da germinação, quando uma dose muito grande de Co e Mo é aplicada junto às sementes. Os sintomas de toxicidade são manchas necróticas nos cotilédones e folhas com folíolos cloróticos. Este efeito do

excesso de cobalto pode induzir à deficiência de ferro. O sintoma desaparece depois de alguns dias, principalmente com boas condições de umidade, com condições de rápido desenvolvimento das plantas.

● **ALUMÍNIO**

Embora não seja um elemento essencial ao desenvolvimento das plantas, o alumínio é importante na maioria dos solos ácidos devido ao seu efeito tóxico sobre as plantas. Os sintomas de toxicidade de alumínio nas folhas de soja lembram aqueles de deficiência de fósforo: as plantas ficam pequenas, não há desenvolvimento normal, folhas menores com cor verde-escuro, amarelecimento e necrose nas pontas dos folíolos e atraso na maturação.

A toxicidade de alumínio em soja parece que também provoca deficiência induzida de cálcio ou reduzido transporte de cálcio dentro na planta, causando o curvamento e o enrolamento das folhas novas e o colapso dos pontos de crescimento e do pecíolo.

Raízes de soja desenvolvidas em solo com alto alumínio trocável são caracteristicamente curtas e frágeis. Ocorre o engrossamento das pontas das raízes e das raízes laterais, que podem adquirir cor marrom. Todo o sistema radicular fica na forma de um coral, com muitas raízes laterais curtas e grossas, mas com pequenas e finas ramificações.

INTERPRETAÇÃO DE ANÁLISE DO SOLO E FOLIAR

• ANÁLISE DO SOLO

A amostragem do solo, para fins de indicação de fertilizantes poderá ser feita logo após a colheita da cultura anterior àquela que será instalada. Caso haja necessidade de calagem, a retirada da amostra tem que ser feita de modo a possibilitar que o calcário esteja incorporado, pelo menos, três meses antes da semeadura da cultura de verão.

As amostras devem ser coletadas em áreas homogêneas quanto às características de solo, relevo e histórico de utilização. Para maior representatividade, devem ser coletadas de 10 a 20 amostras simples, em pontos distribuídos aleatoriamente em cada área. O conjunto de amostras simples deve ser homogeneizado e a seguir, retirada uma fração que irá constituir uma amostra composta de aproximadamente 500 g.

Na retirada das amostras do solo, com vistas à caracterização da fertilidade, o interesse é pela camada superficial do solo que, normalmente, é a mais intensamente alterada pelo manejo do solo, aplicação de corretivos, fertilizantes e restos culturais. A amostragem deverá, portanto, contemplar essa camada, ou seja, os primeiros 20 cm de profundidade.

No sistema de semeadura direta indica-se que, sempre que possível, a amostragem seja realizada em duas profundidades (0 a 10 e 10 a 20 cm), com o objetivo principal de se avaliar a disponibilidade de cálcio, magnésio e a variação da acidez entre as duas profundidades.

As indicações de adubação devem ser orientadas pelos teores dos nutrientes determinados na análise de solo. Na Tabela 4.1 são apresentados os parâmetros para a interpretação da análise de solo.

Tabela 4.1. Níveis de alguns componentes do solo para efeito da interpretação de resultados de análise química do solo, para a cultura da soja.¹

Níveis	cmol _c dm ⁻³			g kg ⁻¹		Saturação na CTC (%)			Relações		
	Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	C	M.O.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K
Solos com CTC <8 cmol _c dm ⁻³⁽²⁾											
Baixo	<0,02 ³	<1	<0,4	<8	<15	<26	<13	<3	<1	<10	<5
Médio	0,02-1,5	1-2	0,4-0,8	8-14	15-25	26-34	13-18	3-5	1-2	10-20	5-10
Alto	>1,5	>2	>0,8	>14	>25	>34	>18	>5	>2	>20	>10
Solos com CTC ≥8 cmol _c dm ⁻³⁽³⁾											
Baixo	<0,02 ³	<2	<0,4	<8	<15	<35	<13	<3	<1,5	<8	<3
Médio	0,02-1,5	2-4	0,4-0,8	8-14	15-25	35-50	13-20	3-5	1,5-3,5	8-16	3-6
Alto	>1,5	>4	>0,8	>14	>25	>50	>20	>5	>3,5	>16	>6

¹ Para fósforo (P), potássio (K), enxofre (S) e micronutrientes, verificar nas Tabelas do item 4.8.

Fonte: ² Borkert et al. (2006b); Sfredo et al. (2006b); ³ Sfredo et al. (1999b).

• ANÁLISE FOLIAR

A análise de planta, para a produção agrícola, é convencionalmente definida pela concentração dos nutrientes inorgânicos no tecido da planta. Na recomendação de adubação, a análise foliar também deve ser usada como uma das ferramentas do “doutor da soja”, visando alcançar a máxima produtividade e a melhor qualidade de grãos.

Para ser válida a comparação com os dados das tabelas de nível de suficiência, as amostras de folhas de soja devem ser colhidas no período entre o início da floração e o pleno florescimento, coletando-se 30-40 folhas recém-maduras com pecíolo, que correspondem às 3ª e 4ª folhas trifolioladas a partir do ápice da haste principal (para um talhão, ou gleba, entre 50 a 100 ha).

O conceito de limites de suficiência classifica a concentração de elementos nas categorias: deficiente (ou muito baixo), baixo, suficiente (ou médio), alto e excessivo ou muito alto (às vezes tóxico). Esta classificação de concentração dos elementos na Tabela 2 é usada na interpretação de análises de tecido de folhas de soja.

Tabela 1. Quantidade de nutrientes absorvida e exportada nos grãos pela cultura da soja, em cada tonelada produzida.

	N	P	K	S	Ca	Mg	B	Cl	Mo	Cu	Fe	Mn	Zn	Al	
	----- kg em cada tonelada -----						----- g em cada tonelada -----								
Restos culturais ¹	31	2,5	7,5	10	9,2	4,7	-	23	2	-	-	-	-	172	
Grãos	51	5,0	17	5,4	3,0	2,0	2,0	237	5	10	70	30	40	15	

¹ Folhas, pecíolos e caules que são restituídos ao solo.
Fonte: EMBRAPA (1993a).

Tabela 2. Concentração de elementos usada para a interpretação de análises de tecido de folhas¹ de soja.

Elemento	Deficiente ou muito baixo	Baixo	Suficiente ou médio	Alto	Excessivo ou muito alto
	----- (%) -----				
N	< 3,25	3,25-4,00	4,01-5,50	5,51-7,00	> 7,00
P	< 0,16	0,16-0,25	0,26-0,50	0,51-0,80	> 0,80
K	< 1,25	1,25-1,70	1,71-2,50	2,51-2,75	> 2,75
Ca	< 0,20	0,20-0,35	0,36-2,00	2,01-3,00	> 3,00
Mg	< 0,10	0,10-0,25	0,26-1,00	1,01-1,50	> 1,50
S	< 0,15	0,15-0,20	0,21-0,40	0,40	-
	----- (ppm) -----				
Mn	< 15	15-20	21-100	101-250	> 250
Fe	< 30	30-50	51-350	351-500	> 500
B	< 10	10-20	21-55	56-80	> 80
Cu	< 5	5-9	10-30	31-50	> 50
Zn	< 11	11-20	21-50	51-75	> 75
Mo	< 0,5	0,5-0,9	1,0-5,0	5,1-10	> 10

¹ Terceira a quarta folha trifoliolada abaixo da gema apical, no início da floração à floração plena.
Fonte: SFREDO et al. (1986).

Quando se deseja fazer a análise de micronutrientes na amostra é aconselhável a imersão rápida das folhas em água desmineralizada para retirar a poeira das folhas (devido à contaminação por ferro, manganês e zinco, principalmente), colocando-as para secar ao sol ou em estufa (cuidar para que a temperatura da estufa não ultrapasse os 60o C, para evitar a decomposição e a perda de alguns elementos, o que irá alterar o resultado da análise).

CORREÇÃO DO SOLO

- **CALAGEM**

A avaliação da necessidade de calagem é realizada a partir da interpretação dos resultados da análise do solo da camada de 0 a 20 cm de profundidade. O efeito residual da calagem é de 3 a 5 anos, dependendo do poder tampão do solo, do sistema de produção adotado e da quantidade de calcário aplicada.

- **CALAGEM NO SISTEMA CONVENCIONAL**

O cálculo da quantidade de calcário é referente à correção de 20 cm de profundidade de solo, por meio de incorporação com aração e gradagem e, pode ser feito segundo as metodologias abaixo:

a) Neutralização do Al^{3+} e suprimento de Ca^{2+} e Mg^{2+}

Este método é, particularmente, adequado para solos sob vegetação de Cerrados, nos quais ambos os efeitos são importantes.

O cálculo da necessidade de calagem (NC) é feito através da seguinte fórmula:

$$NC \text{ (t ha}^{-1}\text{)} = Al^{3+} \times 2 + [2 - (Ca^{2+} + Mg^{2+})] \text{ (PRNT=100\%).}$$

b) Saturação por bases do solo

Este método consiste na elevação da saturação por bases trocáveis e se fundamenta na correlação positiva existente entre o valor de pH e a saturação por bases.

O cálculo da necessidade de calcário (NC) é feito através da seguinte fórmula:

$$NC \text{ (t ha}^{-1}\text{)} = [(V2 - V1) \times T \times f] / 100$$

Onde:

V1 = valor da saturação por bases trocáveis do solo, em porcentagem, antes da correção.

$$(V1 = 100 \text{ S/T})$$

Sendo:

S = $Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^{+}$ (cmolc dm⁻³); V2 = valor da saturação por bases trocáveis que se deseja (70%, 60% ou 50%);

T = capacidade de troca de cátions, T (cmolc dm⁻³) = S + (H+Al³⁺);

f = fator de correção do PRNT do calcário $f = 100/\text{PRNT}$.

A faixa de valores adequados de saturação por bases, que determina os maiores rendimentos econômicos, é variável para cada região, de acordo com as propriedades químicas e granulométricas dos solos predominantes. Considerando o efeito residual da calagem, no cálculo da recomendação deve ser utilizado o limite superior da faixa adequada de saturação por bases, não sendo recomendada a aplicação de calcário quando a saturação por bases encontrar-se até 10% abaixo destes valores. Nas áreas tradicionais de cultivo de soja no Estado do Paraná, utiliza-se V2 igual a 70%; para os Estados de São Paulo (Mascarenhas & Tanaka, 1997) e do Mato Grosso do Sul, o V2 é de 60%. Na região do arenito Caiuá no noroeste do PR e nos demais Estados da Região Central, com predominância de solos formados sob vegetação de Cerrados e ricos em óxidos de Fe e de Al (Sousa & Lobato, 1996), o valor recomendado de V2 é de 50%.

c) Calagem em solos arenosos

Os solos arenosos (teor de argila menor que 15%) têm uso agrícola limitado, devido ao fato de apresentarem baixa capacidade de troca de cátions e de retenção de água, além de grande suscetibilidade à erosão.

A melhor época de aplicação do calcário é no final do período das chuvas, após a colheita da cultura de verão. A aplicação deve ser realizada em duas etapas, metade incorporada a 20 cm de profundidade com arado de aiveca ou de disco, e o restante incorporado com grade pesada e após grade niveladora. Semear a cultura de cobertura melhor adaptada à região, de preferência com crescimento rápido para promover uma boa proteção do solo, principalmente na época das chuvas. Na safra de verão, iniciar a semeadura direta.

A quantidade de calcário a ser utilizada (NC) pode ser dada pelo maior valor encontrado de uma destas duas fórmulas:

$$NC \text{ (t ha}^{-1}\text{)} = (2 \times Al) \times f$$

$$NC \text{ (t ha}^{-1}\text{)} = [2 - (Ca + Mg)] \times f$$

$$f = \text{fator de correção do PRNT do calcário } f = 100/\text{PRNT}$$

• CALAGEM NO SISTEMA DE PLANTIO DIRETO

Preferencialmente, antes de iniciar o sistema de semeadura direta em áreas sob cultivo convencional, indica-se corrigir integralmente a acidez do solo, sendo esta etapa fundamental para a adequação do solo a esse sistema. O corretivo, numa quantidade para atingir a saturação por bases desejada, deve ser incorporado uniformemente na camada arável do solo, ou seja, até 20 cm de profundidade.

Após a implementação correta do sistema de semeadura direta, os processos de acidificação do solo irão ocorrer e será necessária, depois de algum tempo, a correção da acidez. Para a identificação da necessidade de calagem, o solo sob semeadura direta deve ser

amostrado na profundidade de 0 a 20 cm, podendo-se aplicar até 1/3 da quantidade necessária para atingir a saturação por bases desejada, a lançar na superfície do solo, pelo menos seis meses antes do plantio. Para solos que já receberam calcário na superfície, a amostragem do solo deve ser realizada de 0 a 10 e de 10 a 20 cm de profundidade. Nessas áreas, sugere-se que para o cálculo da recalagem sejam utilizados os valores médios das duas profundidades, aplicando-se até 1/3 da quantidade indicada.

• QUALIDADE E USO DO CÁLCARIO

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:

- a) o calcário deverá passar 100% em peneira com malha de 2 mm;
- b) o calcário deverá apresentar teores de $\text{CaO} + \text{MgO} > 38\%$;
- c) a escolha do calcário deve levar em consideração os teores trocáveis de cálcio e magnésio e também a relação Ca/Mg do solo (ver Tabela 4.1), devendo-se dar preferência ao uso de calcário agrícola com pelo menos 12,0% de MgO , em solos que contenham menos de 0,8 cmolc dm^{-3} de Mg^{2+} ou relação Ca/Mg elevada. Em condições de baixa relação Ca/Mg e, desde que o Mg^{2+} esteja acima de 0,8 cmolc dm^{-3} , pode-se escolher o calcário com maior porcentagem de CaO ;
- d) a distribuição desuniforme e/ou a incorporação muito rasa do calcário, pode causar ou agravar a deficiência de manganês, resultando em queda de produtividade.

• CORREÇÃO DE ACIDEZ SUBSUPERFICIAL

Os solos do Brasil apresentam problemas de acidez subsuperficial, uma vez que a incorporação profunda do calcário nem sempre é possível. Assim, camadas mais profundas do solo (abaixo de 20 cm) podem apresentar excesso de alumínio tóxico, mesmo quando tenha sido efetuada uma calagem considerada adequada. Esse problema pode limitar a produtividade, principalmente nas regiões onde é mais freqüente a ocorrência de veranicos.

A aplicação de gesso diminui a saturação por alumínio nas camadas mais profundas. Desse modo, criam-se condições para o sistema radicular das plantas se aprofundar no solo e, conseqüentemente, minimizar o efeito de veranicos. Deve ficar claro, porém, que o gesso não neutraliza a acidez do solo.

O gesso deve ser utilizado em áreas onde a análise de solo, na profundidade de 20 a 40 cm, indicar a saturação por alumínio maior que 20% e/ou quando o nível de cálcio for inferior a 0,5 cmolc dm^{-3} .

A dose máxima de gesso agrícola (15% de S) é de 700, 1200, 2200 e 3200 kg ha⁻¹ para solos de textura arenosa (60% de argila), respectivamente (Sousa et al., 1996). O efeito residual destas dosagens é de cinco anos, no mínimo.

ADUBAÇÃO FOSFATADA DE CORREÇÃO E MANUTENÇÃO

A recomendação da quantidade de nutrientes, principalmente em se tratando de adubação corretiva, é feita com base nos resultados da análise do solo.

Na região do Cerrado, o método utilizado pelos laboratórios para a extração de fósforo do solo é o Mehlich 1. Na Tabela 3 são apresentados os teores de P extraível, obtidos pelo método Mehlich 1, e a correspondente interpretação, que varia em função dos teores de argila. Os níveis críticos de P correspondem a 3, 8, 14 e 18 ppm para os solos com teores de argila de 61% a 80%, 41% a 60%, 21% a 40% e menos de 20%, respectivamente. Em solos com menos de 15% de argila não se recomenda praticar agricultura intensiva, devido serem solos facilmente sujeitos à erosão, quando ocorrem chuvas pesadas.

Tabela 3. Interpretação da análise de solo para recomendação de adubação fosfatada (fósforo extraído pelo método Mehlich 1).

Teor de argila (%)	Teor de P (ppm)			
	Muito baixo	Baixo	Médio	Bom
61 a 80	0 a 1,1	1,1 a 2,0	2,1 a 3,0	> 3,0
41 a 60	0 a 3,0	3,1 a 6,0	6,1 a 8,0	> 8,0
21 a 40	0 a 5,0	5,1 a 10,0	10,1 a 14,0	> 14,0
< 20	0 a 6,0	6,1 a 12,0	12,1 a 18,0	> 18,0

Fonte: EMBRAPA-CPAC (SOUZA et al., 1987).

Duas proposições são apresentadas para a recomendação de adubação fosfatada corretiva: a correção do solo de uma só vez, com posterior manutenção do nível de fertilidade atingido, e a correção gradativa, através de aplicações anuais no sulco de semeadura (Tabela 4). No primeiro caso, recomenda-se aplicar a adubação corretiva total a lance e incorporar o adubo à camada arável, para corrigir um maior volume de solo, a fim de que as raízes das plantas absorvam água e nutrientes. Doses inferiores a 100 kg de P₂O₅ /ha, no entanto, devem ser aplicadas no sulco de semeadura, à semelhança da adubação corretiva gradual.

Tabela 4. Recomendação fosfatada corretiva, a lanço, e adubação fosfatada corretiva gradual, no sulco de semeadura, de acordo com a classe de disponibilidade de P e o teor de argila.

Teor de argila (%)	Adubação fosfatada (kg de P_2O_5 /ha) ¹			
	Corretiva total		Corretiva gradual	
	P muito baixo	P baixo ²	P muito baixo	P baixo ²
61 a 80	240	120	100	90
41 a 60	180	90	90	80
21 a 40	120	60	80	70
< 20	100	50	70	60

¹ Fósforo solúvel em citrato de amônio neutro mais água, para os fosfatos acidulados; solúvel em ácido cítrico 2% (relação 1:100), para termofosfatos e escórias.

² Classe de disponibilidade de P, ver Tabela 2.

Fonte: EMBRAPA-CPAC (SOUZA et al., 1987).

A adubação corretiva gradual pode ser utilizada quando não há a possibilidade de fazer a correção do solo de uma só vez. Essa prática consiste em aplicar, no sulco de semeadura, uma quantidade de P superior à indicada para a adubação de manutenção, acumulando, com o passar do tempo, o excedente e atingindo, após alguns anos, a disponibilidade de P desejada. Ao utilizar as doses de adubo fosfatado sugeridas na Tabela 4 é esperado que, num período máximo de seis anos, o solo apresente teores de P em torno do nível crítico.

A adubação de manutenção é indicada quando o nível de P no solo está classificado como médio ou bom (Tabela 3), a qual, para a cultura da soja, é de 60 kg de P_2O_5 /ha, para uma expectativa de produção de 3.000 kg/ha. Na maioria dos casos, para produtividade maiores, a adubação de manutenção deve ser proporcionalmente aumentada, ou seja, 20 kg de P_2O_5 /ha para cada tonelada de grãos/ha de expectativa de colheita.

As fontes de fósforo mais utilizadas são o superfosfato simples, o superfosfato triplo, os fosfatos naturais da Carolina do Norte e de Gafsa, e o termofosfato. De preferência, utilizar o superfosfato simples ou fórmulas menos concentradas, que contenham enxofre. Este, além de ser um nutriente essencial para a cultura da soja (para produzir três toneladas de grãos de soja são necessários 23 kg de enxofre), promove o carreamento de cálcio, magnésio e potássio para o subsolo, reduzindo a saturação de alumínio. Isto propicia condições para maior aprofundamento do sistema radicular, aumentando, conseqüentemente, o suprimento de água e nutrientes para as plantas.

A utilização de rochas fosfatadas brasileiras na adubação corretiva só é possível em áreas próximas às jazidas, combinando-a com a adubação de manutenção, usando-se fonte de P solúvel. Isto porque as rochas fosfatadas brasileiras têm solubilidade muito baixa e só apresentam efeitos semelhantes às solúveis quando aplicadas em quantidade duas vezes maior (P2 O5 total) e após três anos da sua incorporação.

Outra fonte já disponível no mercado é o fosfato parcialmente acidulado. Possui eficiência ao redor de 60%, quando comparado com o superfosfato triplo. Portanto, a sua utilização é recomendada se o custo por unidade de P2 O5 for, aproximadamente, 40% inferior ao das fontes solúveis (superfosfato triplo e superfosfato simples).

ADUBAÇÃO POTÁSSICA DE CORREÇÃO E MANUTENÇÃO

A recomendação para adubação corretiva com potássio, de acordo com a análise do solo, é apresentada na Tabela 5. Esta adubação deve ser feita a lanço, em solos com teor de argila acima de 20%. Em solos de textura arenosa (< 20% de argila), não se deve fazer adubação corretiva de potássio, devido às acentuadas perdas por lixiviação.

Tabela 5. Adubação corretiva de potássio para solos sob Cerrado com teor de argila de 20%, de acordo com dados de análise de solo.

Teores de K extraível (ppm)	Adubação corretiva recomendada (kg K₂O/ha)
0-25	100
26-50	50
> 50	0 ¹

¹ Estando o nível de K extraível acima do valor crítico (50 ppm), recomenda-se a adubação de manutenção de 25 kg de K₂O para cada tonelada de grão a ser produzida, quando o solo for de textura arenosa ou média. Em solos de textura argilosa a adubação de manutenção recomendada é de 20 kg de K₂O/tonelada de grão de expectativa.

Como a cultura da soja retira grande quantidade de K nos grãos (aproximadamente 20 kg de K₂O/t de grãos), fazer adubação de manutenção com 60 kg/ha de K₂O, se a expectativa de produção for de três toneladas de grãos/ha, independentemente da textura do solo.

A aplicação de adubo potássico (KCl) nos solos sob Cerrado deve ser feita preferencialmente a lanço, pois estes solos possuem baixa capacidade de retenção de cátions. A

alta concentração, provocada por grandes quantidades de adubo (em torno de 100 kg/ ha de K₂O), distribuídas em pequeno volume de solo, favorece as perdas por lixiviação.

ADUBAÇÃO COM MICRONUTRIENTES

Para a prevenção da deficiência em micronutrientes em solos sob Cerrado, recomenda-se sua aplicação nas seguintes dosagens: Zn: 4 a 6 kg/ha; B: 0,5 a 1,0 kg/ha; Cu: 0,5 a 2,5 kg/ha; Mn: 2,0 a 6,0 kg/ha; Mo: 50 a 250 g/ha; Co: 50 a 250 g/ha.

Tabela 4.21. Indicação da aplicação de doses de micronutrientes no solo, para a cultura da soja¹.

Teor	B	Cu	Mn	Zn
	kg.ha ⁻¹			
Baixo	1,5	2,5	6,0	6,0
Médio	1,0	1,5	4,0	5,0
Alto	0,5	0,5	2,0	4,0
Muito Alto ¹	0,0	0,0	0,0	0,0

Fonte: Sfredo et al. (1999); ¹ Sfredo (2007).

As fontes podem ser solúveis ou insolúveis em água, desde que o produto satisfaça a dose indicada. Para reaplicação de qualquer um desses micronutrientes, utilizar a análise foliar como instrumento indicador. A análise foliar pode ser feita a cada dois anos. O efeito residual das dosagens indicadas atinge pelo menos um período de cinco anos.

Porém, as correções só se viabilizam na próxima safra, considerando-se que, para as análises, a amostragem de folhas é indicada no período da floração, a partir do qual não é mais eficiente realizar qualquer correção de ordem nutricional.