

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Embrapa Meio-Norte  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

# **Solos Sustentáveis** para a Agricultura no Nordeste

*Henrique Antunes de Souza  
Luiz Fernando Carvalho Leite  
João Carlos Medeiros*

Editores Técnicos

**Embrapa**  
Brasília, DF  
2021

# Parte II

---

**Solos sustentáveis para a  
agricultura do bioma Cerrado  
do Nordeste**

# Capítulo 2

---

## MANEJO DA FERTILIDADE DO SOLO EM SISTEMAS INTENSIVOS DE PRODUÇÃO DE GRÃOS E FIBRAS NO BIOMA CERRADO DO NORDESTE BRASILEIRO

*Henrique Antunes de Souza*

*Rafael Felipe Ratke*

*Julio Cesar Bogiani*

*Dirceu Klepker*

*Adílson Oliveira Júnior*

*William Natale*

*Ana Luiza Dias Coelho Borin*

*Maria da Conceição Santana Carvalho*

*Gilvan Barbosa Ferreira*

### Introdução

A agricultura brasileira presenciou, nas últimas décadas, aumentos de produtividade advindos do uso de novas tecnologias, práticas e processos agropecuários, e a agricultura de larga escala assumiu papel de destaque no agronegócio nacional. Atualmente, o Brasil é um dos maiores produtores de grãos e carne do mundo, o que gera divisas não apenas para o setor agropecuário, mas também para outros setores da economia nacional, e tem participação importante para a balança comercial brasileira. Segundo o *Acompanhamento da safra brasileira [de] grãos* (2019), entre as principais culturas de grãos, destacam-se a soja (*Glycine max*) e o milho (*Zea mays*) (primeira e segunda safras), que ocupam aproximadamente 35 milhões de hectares e 17 milhões de hectares, respectivamente (safra 2018/2019), de um total de 62 milhões de hectares de áreas agricultáveis de área disponível no Brasil para

produção de grãos. Isso significa que 84% dessa área é ocupada por soja e milho. Com relação às fibrosas, destaca-se o algodão (*Gossypium hirsutum*), cuja área cultivada é de aproximadamente 1,6 milhão de hectares. Nesse contexto, a região do Matopiba (acrônimo formado pelas iniciais dos estados do Maranhão, do Tocantins, do Piauí e da Bahia) vem destacando-se como fronteira agrícola baseada em tecnologias voltadas para alta produtividade (Miranda et al., 2014). A porção do território do Matopiba situada na região Nordeste do País ocupa 62% da superfície agrícola dos estados do Piauí, do Maranhão e da Bahia, ou seja, 44 milhões de hectares (Miranda et al., 2014). Na última década, a região foi impulsionada pela expansão da atividade agrícola, que foi acompanhada da ampliação das infraestruturas viária, logística e energética, o que viabilizou o surgimento de polos de expansão (Lumbreras et al., 2015). Especificamente nos Cerrados da região Meio-Norte (Maranhão e Piauí), a estimativa do potencial de áreas aptas ao cultivo de grãos é de 5 milhões de hectares, dos quais 2 milhões de hectares estão no Maranhão e 3 milhões de hectares estão no Piauí (Klepker, 2014).

Os solos arenosos ocupam cerca de 8% do território brasileiro. Entretanto, na região do Matopiba, esses solos representam 20% da área total. Enquadram-se nas classes texturais areia e areia franca ou franco-arenosa até a profundidade de 0,75 m e são representados principalmente pelos Neossolos Quartzarênicos e, em menor escala, pelos Latossolos e Argissolos (Lumbreras et al., 2015; Donagemma et al., 2016).

Um dos critérios empregados para a delimitação do Matopiba é a presença do Cerrado (Miranda et al., 2014). Particularmente nas áreas ocupadas por esse bioma nos estados do Maranhão, do Piauí e da Bahia, a produção de grãos e fibras é praticada em larga escala. Com relação às áreas cultivadas de milho, de soja e de algodão, esses estados são protagonistas. Quanto ao milho, as áreas plantadas em primeira e segunda safras são de cerca de 410 mil hectares no Maranhão, cerca de 457 mil hectares no Piauí e cerca de 592 mil hectares na Bahia, com produtividades estimadas em torno de 4.300 kg ha<sup>-1</sup>, 4.000 kg ha<sup>-1</sup> e 2.600 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, na safra 2018/2019 (Acompanhamento..., 2019). É importante lembrar que essas baixas produtividades observadas da cultura do milho incluem também a produtividade das lavouras de agricultores de subsistência e/ou com baixa capacidade de investimento. Já a cultura da soja ocupa, nesses mesmos estados, áreas de

992 mil hectares (Maranhão), 758 mil hectares (Piauí) e 1.599 mil hectares (Bahia), com produtividades estimadas próximas de 2.926 kg ha<sup>-1</sup>, 3.063 kg ha<sup>-1</sup> e 3.360 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente (safra 2018/2019) (Acompanhamento..., 2019). Com relação ao algodão, as áreas cultivadas são de aproximadamente 27,7 mil hectares (Maranhão), 16,1 mil hectares (Piauí) e 332 mil hectares (Bahia), com produtividades em torno de 4.135 kg ha<sup>-1</sup>, 3.900 kg ha<sup>-1</sup> e 4.395 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente (safra 2018/2019) (Acompanhamento..., 2019). De maneira análoga à produtividade da cultura do milho, o levantamento das produtividades da soja e do algodão inclui produtores com diferentes níveis tecnológicos presentes na região.

Algumas pesquisas atribuem a baixa produtividade na região à baixa fertilidade dos solos, pois grande parte dos solos da região apresenta textura arenosa, principalmente nas áreas de Cerrado e em áreas de transição desse bioma (Klepker et al., 2002; Francisco; Câmara, 2013; Resende et al., 2014; Matias et al., 2015), que, por isso, necessitam de correção da acidez e de aplicação de fósforo (P), potássio (K), enxofre (S) e micronutrientes para viabilizar economicamente a produção (Klepker, 2014).

Além da baixa fertilidade natural dos solos do Cerrado, existem alguns desafios, como o pouco aproveitamento de nutrientes pelas culturas devido ao manejo inadequado de corretivos e fertilizantes (Francisco; Câmara, 2013; Matias et al., 2015). Um exemplo de manejo praticado na região dos Cerrados pelos grandes produtores de grãos é a aplicação de fertilizantes a lanço. Alguns trabalhos indicam que a aplicação a lanço não compromete as produtividades (Sousa et al., 2004b; Oliveira Júnior et al., 2011), porque leva ao incremento do rendimento operacional da semeadura (devido à extensão das áreas), o que possibilita a antecipação da data de semeadura em função de problemas fitossanitários e, por consequência, permite maior janela de plantio da safrinha. No entanto, com a aplicação a lanço, sabe-se que há geração de gradiente de P no solo. A alternativa seria a aplicação no sulco, que, mesmo em áreas de fertilidade construída, proporciona maiores produtividades.

Outra situação corriqueira praticada por agricultores em áreas de Cerrados do Nordeste é a aplicação de doses de calcário acima de 6.000 kg ha<sup>-1</sup> (Donagemma et al., 2016), que são superiores às preconizadas em boletins de correção e adubação do solo utilizados na região (Sousa et al., 2004b).

Como justificativa para tal prática, tem sido usado o argumento de que a não utilização dessas quantidades pode não proporcionar produtividades compensatórias, principalmente quando o objetivo é corrigir a acidez do solo para o plantio de culturas mais exigentes (Donagemma et al., 2016). Considerando-se a intensa e crescente prática de incorporação do calcário ao processo produtivo, constata-se que há ainda escassez de pesquisas sobre calagem em solos arenosos (Donagemma et al., 2016). Outro insumo cujos efeitos ainda necessitam de maiores investigações na região é o gesso, que permite distribuir cálcio (Ca) e S em várias camadas do solo, porém pode promover a lixiviação de magnésio (Mg) e de K (Raij, 2008).

Entre os desafios para a prática da agricultura em solos arenosos, estão a aplicação de nitrogênio (N), P e K. Quanto ao N e ao K, há necessidade de cuidados, pois esses nutrientes podem contaminar águas subterrâneas graças a sua maior facilidade de lixiviação (Raij, 2011). Em áreas com aplicações (que podem ser realizadas integralmente antes da semeadura) de grandes quantidades de K a lanço, como em cultivos de algodão no oeste da Bahia, houve redução da lixiviação e não houve comprometimento dos rendimentos da lavoura (Donagemma et al., 2016). No caso do P, a aplicação a lanço, que é corriqueira nessas regiões, promove incremento nas concentrações desse nutriente no solo (Donagemma et al., 2016).

Após a incorporação de solos de Cerrado na produção de grãos, tem-se observado aumentos da produtividade até o quinto ano de cultivo e declínio a partir do oitavo ano. As justificativas para tal declínio se devem à perda da qualidade do solo decorrente do monocultivo da soja, aliado à diminuição da matéria orgânica do solo e à falta de rotação de culturas (Klepker, 2014). Tecnologias como integração lavoura-pecuária (ILP) e sistemas de plantio direto (SPD) são opções viáveis para a melhoria da qualidade do solo (Klepker, 2014). Nesse sentido, plantas de cobertura, como a sobressemeadura com milheto (*Pennisetum glaucum*) ou com braquiária (*Urochloa ruziziensis*) na soja e o consórcio de milho com *U. ruziziensis*, destacam-se em relação à produção de fitomassa seca, cobertura do solo e acúmulo de nutrientes na entressafra no Cerrado piauiense (Pacheco et al., 2013).

A seguir, são apresentados resultados de pesquisas em fertilidade do solo, fertilizantes e nutrição de plantas na região dos Cerrados no Nordeste brasileiro com as culturas de soja, de milho e de algodão.

## Manejo da fertilidade do solo para a cultura da soja

### Introdução

Em relação à adubação fosfatada, Oliveira Júnior et al. (2008) estudaram as fontes de P usadas em Balsas, MA, e verificaram que o método de aplicação do superfosfato triplo (a lanço em área total e incorporado ou no sulco de semeadura) não interferiu na produtividade da soja. Porém, com o fosfato natural reativo (de Arad, Israel), a aplicação a lanço deu resultados que superaram os da aplicação no sulco de semeadura. Além disso, os autores concluíram que maiores incrementos na eficiência agronômica relativa residual ocorreram, quando as fontes foram aplicadas a lanço e incorporadas. Em pesquisas com P na mesma região, Oliveira Júnior et al. (2011) mencionam que o uso associado de fontes com alta e baixa solubilidades em água foi também uma alternativa agronomicamente viável.

Borkert et al. (2005) estudaram a adubação potássica na cultura da soja em Balsas, MA, e em Bom Jesus, PI, e observaram aumentos lineares dos rendimentos em ambos os locais quando do incremento das quantidades de K aplicadas. Os autores comentaram que a resposta da soja à adubação potássica está relacionada à capacidade de exploração do K do solo pela planta e às quantidades exportadas pelos grãos. Assim, mesmo em solos muito pobres nesse nutriente, como os da região sul maranhense, o rendimento máximo foi observado após aplicações de K em quantidades equivalentes às das regiões tradicionais de cultivo da soja. Já no sul piauiense, onde a disponibilidade inicial de K trocável é muito baixa, houve necessidade de aplicar maior quantidade desse nutriente via fertilizantes.

Em trabalho sobre K na cultura da soja no sul piauiense, Petter et al. (2012) concluíram que a aplicação de K em cobertura proporciona maior eficiência agronômica e maior recuperação desse nutriente e que maiores índices de colheita de grãos, recuperação de K e produtividade foram verificados após a aplicação de 80 kg ha<sup>-1</sup> a 90 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O.

Borkert et al. (2006) apresentaram valores de pH-SMP para as regiões sul do Maranhão e do Piauí e calcularam os valores de acidez potencial por meio da fórmula:

$$(H+Al) = 109,52 - 30,224 (SMP) + 2,0935 (SMP)^2$$

em que:

“H” = é hidrogênio.

“Al” = é alumínio.

Esses autores elaboraram ainda faixas de interpretação das relações entre Ca/Mg, Ca/K, Mg/K e (Ca+Mg)/K, cujas classes podem ser observadas na Tabela 1. Já Sfredo et al. (2006) estabeleceram níveis de suficiência de saturação de Ca e de Mg na capacidade de troca catiônica (CTC) e de saturação por bases (V) nas condições de solos do Centro-Oeste e do Nordeste brasileiros (Tabela 2).

**Tabela 1.** Relações entre cálcio (Ca), magnésio (Mg) e potássio (K) na análise de solo em diferentes classes de interpretação para o Centro-Oeste e Nordeste brasileiros.

Classificação	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K	(Ca+Mg)/K
Baixo	< 1	< 10	< 5	< 16
Médio	1 a 2	10 a 20	5 a 10	16 a 32
Alto	> 2	> 20	> 10	> 32

Fonte: Borkert et al. (2006).

**Tabela 2.** Porcentagem de suficiência de saturação de cálcio (Ca) e de magnésio (Mg) na capacidade de troca catiônica (CTC) do solo e saturação por bases na análise de solo em diferentes classes de interpretação para o Centro-Oeste e Nordeste brasileiros.

Classificação	Ca (% CTC)	Mg (% CTC)	V (%)
Baixo	< 26	< 13	< 30
Médio	26 a 34	13 a 18	30 a 50
Alto	> 34	> 18	> 50

Fonte: Sfredo et al. (2006).

O manejo da fertilidade do solo na cultura da soja pode ser realizado conforme preconizado pela Embrapa (Tecnologias..., 2013) ou conforme consta nas tabelas de adubação geradas para regiões do bioma Cerrado (Raij et al., 1996; Ribeiro et al., 1999; Sousa; Lobato, 2004b).



## **Interpretação e recomendação de corretivos e fertilizantes para a cultura da soja**

A análise química do solo permite determinar a dose de adubos fosfatado, potássico e com micronutrientes e a quantidade de calcário a serem aplicadas para corrigir a acidez e adicionar nutrientes ao solo, a fim de melhorar a fertilidade para a cultura da soja. Essa análise depende de experimentações de calibração com os elementos essenciais e o calcário. Os resultados apresentados a seguir buscam disponibilizar recomendações de adubação para as condições edafoclimáticas do sul do estado do Piauí, onde há grandes áreas cultivadas com soja. Para a geração das faixas de interpretação no solo, foram empregados resultados de pesquisa (dados não publicados) com doses de P e de K. Para a correção da acidez, gessagem e adubação com micronutrientes, sugerem-se as recomendações de boletins para a região dos Cerrados.

### **Correção da acidez do solo**

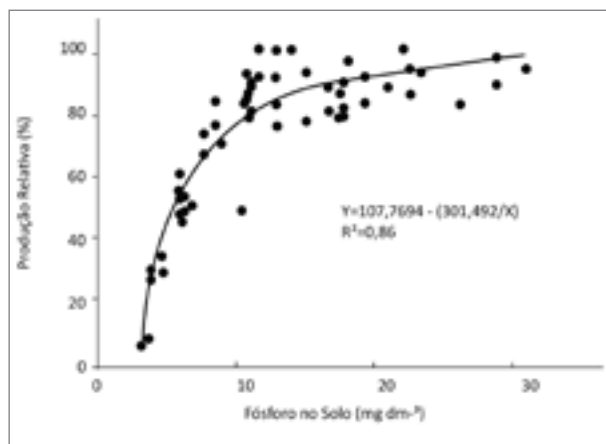
A avaliação da necessidade de calagem é realizada a partir da interpretação dos resultados da análise do solo na camada de 0 m a 0,2 m de profundidade. O efeito residual da calagem é de 3 a 5 anos, dependendo do poder tampão do solo, do sistema de produção adotado e da quantidade de calcário aplicado (Tecnologias..., 2013).

Para a correção da acidez do solo, podem-se empregar diferentes métodos, como o da neutralização do  $Al^{3+}$  e suprimento de  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  ou o da saturação por bases. O primeiro visa eliminar o Al tóxico e aumentar os valores dos cátions básicos Ca e Mg; o segundo 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 (Tecnologias..., 2013).

Para a região Centro-Oeste do Brasil, onde predominam solos formados sob vegetação de Cerrados e ricos em óxidos de ferro (Fe) e de Al, sugere-se aplicar calcário com o objetivo de elevar a saturação por bases para o valor de 50% na cultura da soja (Tecnologias..., 2013).

## Adubação fosfatada

Para determinar as faixas de suficiência do P, empregaram-se resultados de experimentos com a aplicação de P exclusivamente e de trabalho de interação entre doses de P e de calagem (dados não publicados), cujos dados de produção foram transformados em produtividade relativa (PR) (Tisdale et al., 1985). Os dados são apresentados na Figura 1.



**Figura 1.** Produtividade relativa (PR) de grãos de soja (*Glycine max*) em função do fósforo no solo (método Mehlich1), em Bom Jesus, PI.

A equação ajustada na Figura 1 foi usada para determinar os intervalos de concentrações de P disponível (extraível), além de servir para calcular as doses de P em função da produtividade máxima agrônômica. Assim, as faixas de suficiência de P no solo foram estratificadas em cinco classes de fertilidade, conforme Raij (2011):

- Muito baixa: < 50% da PR.
- Baixa: entre 50% e 70% da PR.
- Média: entre 70% e 90% da PR.
- Adequada: entre 90% e 100% da PR
- Alta: > 100% da PR.

Os valores obtidos são semelhantes aos recomendados para a cultura da soja na região Centro-Oeste do Brasil (Tecnologias..., 2013). A Tabela 3 apresenta a interpretação das faixas de suficiência de P extraído pelo método Mehlich1 para solos de textura média e arenosa (até 35% de argila) coletados na camada de 0 m a 0,2 m na região sul do Piauí.

**Tabela 3.** Estratificação das faixas de suficiência de fósforo (P) extraído pelo método Mehlich1 em solos com até 35% de argila na cultura da soja (*Glycine max*) em condições de sequeiro no sul do Piauí.

Classificação				
Muito baixa	Baixa	Média	Adequada	Alta
----- P (mg dm <sup>-3</sup> ) -----				
< 5,2	5,3 a 8,0	8,1 a 17,0	17,1 a 38,7	≥ 38,8

Fonte: Os autores.

De acordo com Sousa et al. (2004b), a adubação corretiva tem por objetivo elevar a disponibilidade do nutriente para valores próximos ao nível crítico. Na Tabela 4, são apresentadas duas opções para a adubação fosfatada corretiva: a) a correção do solo com uma única aplicação; e b) a correção gradativa. Em ambos os casos, uma vez o solo corrigido, sugere-se a adubação de manutenção. Conforme Sousa et al. (2004b), a adubação corretiva com aplicação única pode ser empregada a lanço, com a incorporação do adubo na camada arável (de 0 m a 0,20 m). Nos casos em que a dose for inferior a 100 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, deve-se aplicar o fertilizante de forma localizada, no sulco de semeadura.

**Tabela 4.** Recomendação de adubação fosfatada corretiva a lanço e adubação fosfatada corretiva gradual no sulco de semeadura, de acordo com a classe de disponibilidade de fósforo (P) e com o teor de argila em solos de Cerrados.

Teor de argila	Adubação fosfatada (kg ha <sup>-1</sup> de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) <sup>(1)</sup>			
	Corretiva total <sup>(2)</sup>		Corretiva gradual <sup>(3)</sup>	
	P muito baixo <sup>(4)</sup>	P baixo <sup>(4)</sup>	P muito baixo <sup>(4)</sup>	P baixo <sup>(4)</sup>
> 60	240	120	100	90
40 a 60	180	90	90	80
20 a 40	120	60	80	70
≤ 20	100	50	70	60

<sup>(1)</sup>P solúvel em citrato de amônio neutro + água para fosfatos acidulados; P solúvel em ácido cítrico a 2% (relação 1:100) para termofosfatos, fosfatos naturais e escórias.

<sup>(2)</sup>Além da dose de correção total, usar adubação de manutenção. <sup>(3)</sup>No sulco de semeadura, em substituição à adubação de manutenção. <sup>(4)</sup>Conforme Tabela 3.

Fonte: Tecnologias... (2013).

Para a adubação corretiva gradual, pode-se empregar a mesma recomendação de Sousa et al. (2004b), ou seja, quando da impossibilidade de fazer o aporte para a correção do solo em uma única vez, pode-se aplicar, no sulco de semeadura, quantidades de P superiores à faixa de interpretação adequada ou de manutenção até atingir, após alguns anos, a disponibilidade de P desejada. Pressupõe-se que o retorno devido à adubação corretiva ocorra num intervalo de 5 anos (Sousa et al., 2004b).

Considerando os resultados da Tabela 3 para as faixas de suficiência muito baixa e baixa (Tecnologias..., 2013), objetiva-se alcançar valores de P no solo na faixa de classificação adequada ou nível crítico (NC = 90% da PR). As sugestões de doses para as adubações fosfatadas corretiva e gradual apresentadas na Tabela 4 foram feitas a partir da reunião de resultados de diferentes classes texturais.

Para adubação fosfatada corretiva em única aplicação, pode-se dividir a dose, de modo que seja, em parte, a lanço (com fontes de menor solubilidade) e, em parte, no sulco de semeadura.

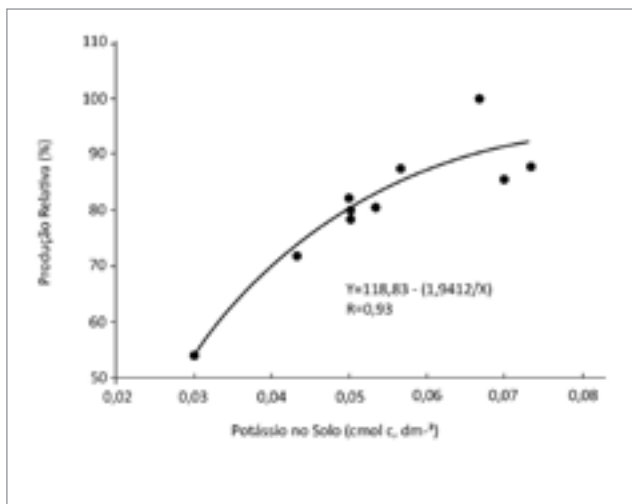
Quando o nível de P no solo estiver classificado como médio, adequado ou alto (Tabela 3), deve-se usar somente a adubação de manutenção, que corresponde a 20 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> para cada 1.000 kg de grãos produzidos (Tecnologias..., 2013).

### **Adubação potássica**

Para a geração das faixas de suficiência de K, utilizaram-se dados de experimentação com doses do nutriente realizada no sul do Piauí com a cultura da soja (dados não publicados), empregando o modelo inverso de primeira ordem (Figura 2). As concentrações de K no solo foram estratificadas em quatro classes de fertilidade:

- Baixa: <70% da PR.
- Média: de 70% a 90% da PR.
- Adequada: de 90% a 100% da PR.
- Alta: > 100% da PR.

A interpretação das classes de concentração de K no solo encontra-se na Tabela 5.



**Figura 2.** Produtividade relativa de grãos de soja (*Glycine max*) em função da concentração de potássio no solo (método Mehlich1), em Bom Jesus, PI.

**Tabela 5.** Classificação de concentração de potássio (K) em solos com até 35% de argila na cultura da soja (*Glycine max*) em condições de sequeiro no sul do Piauí.

Classificação	Faixa de concentração	
	K (mg dm <sup>-3</sup> )	K (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )
Baixa	< 15	< 0,04
Média	15 a 26	0,04 a 0,07
Adequada	27 a 40	0,07 a 0,10
Alta	≥ 41	≥ 0,10

Fonte: Os autores.

A recomendação das doses de adubo potássico está apresentada na Tabela 6, com sugestão de adubação corretiva para concentrações classificadas como baixa e média, similar ao procedimento adotado por Vilela et al. (2004). Para valores acima de 100 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, recomenda-se parcelar a adubação para evitar possíveis perdas por lixiviação ou lavagem superficial (Vilela et al., 2004).

Para as faixas adequada e alta, na semeadura da soja, deve-se aplicar adubação de manutenção de 20 kg de K<sub>2</sub>O para cada 1.000 kg de grãos que se espera produzir (Tecnologias..., 2013).

**Tabela 6.** Recomendações de adubações potássicas corretiva e gradual para a cultura da soja (*Glycine max*) em condições de sequeiro.

Adubação potássica corretiva <sup>1</sup>		Adubação potássica corretiva gradual	
Baixa	Média	Baixa	Média
----- kg ha <sup>-1</sup> de K <sub>2</sub> O -----			
135	110	75	70

<sup>(1)</sup>Há necessidade de adicionar aos valores de adubação corretiva a quantidade recomendada na adubação de manutenção.

### Adubação com micronutrientes e enxofre

Para os micronutrientes, podem-se empregar as faixas de interpretação elaboradas por Galvão (2004), bem como as recomendações de aplicação que foram preconizadas por esse autor para a região do Cerrado (Galvão, 2004). A adubação com S pode ser realizada com o uso do gesso ou empregando-se fontes que contenham esse nutriente, como o superfosfato simples. Caso o gesso seja utilizado para a eliminação do Al tóxico, devem-se considerar os critérios e a recomendação de doses preconizados por Rein e Sousa (2004).

### Considerações sobre a interpretação e a recomendação dos nutrientes fósforo e potássio para a cultura da soja no sul piauiense

É importante salientar que, da adubação corretiva (com P ou K) em única aplicação, não se deve esperar resposta superior a 3.000 kg ha<sup>-1</sup> de grãos, principalmente nas classes de interpretação muito baixa e baixa (Sousa; Lobato, 2004a; Tecnologias..., 2013).

Em relação à interpretação apresentada nas Tabelas 3 e 5, é oportuno relacionar as faixas com os boletins de recomendação de adubação e correção da acidez do solo mais empregados no Piauí, que são o boletim *Cerrado: correção do solo e adubação* (Sousa; Lobato, 2004a) e as *Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação* (Ribeiro et al., 1999). Em relação às classificações propostas para o P, as classes de interpretação estive-

ram próximas das faixas sugeridas pelo boletim da região do Cerrado (Sousa; Lobato, 2004a), porém a principal diferença está na maior amplitude da faixa de suficiência classificada como adequada. Ainda com relação ao P, as faixas apresentadas estiveram próximas daquelas publicadas na 5ª Aproximação de Minas Gerais (Ribeiro et al., 1999). Para o K, o raciocínio inverso pode ser empregado, ou seja, no boletim do Cerrado (Sousa; Lobato, 2004a), as faixas de suficiência apresentaram valores próximos para os solos com CTC (pH 7,0) menor do que  $4,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ . Já na recomendação de Minas Gerais (Ribeiro et al., 1999), as classificações apresentadas estiveram abaixo do preconizado.

## **Manejo da fertilidade do solo para a cultura do milho**

---

### **Introdução**

A cultura do milho encontra-se amplamente difundida no Brasil devido à sua multiplicidade de usos na propriedade rural e devido à tradição de cultivo desse cereal pelos agricultores brasileiros (Magalhães et al., 2002). O milho é a segunda maior cultura de grãos produzida no Brasil. Na safra 2018/2019, foram plantados aproximadamente 17 milhões de hectares, sendo 4 milhões de hectares na primeira safra e 12 milhões de hectares na segunda safra (Acompanhamento..., 2017). A produção total de milho no País foi de aproximadamente 98,5 milhões de toneladas na safra 2018/2019. Desse total, 62 milhões de toneladas foram produzidos na segunda safra (Acompanhamento..., 2019). Dessa forma, verifica-se que a produção de milho em segunda safra hoje supera a do milho plantado em primeira safra (ou seja, no verão).

Os plantios dessa cultura no Brasil são realizados durante o período chuvoso, que varia entre as diferentes regiões do Brasil: na região Sul, inicia-se no final de agosto; no Sudeste e no Centro-Oeste, nos meses de outubro/novembro; no Nordeste, o plantio do milho ocorre de novembro a janeiro. Assim a safrinha refere-se ao milho de sequeiro (plantado extemporaneamente em fevereiro ou março, quase sempre depois da soja precoce), que é plantado predominantemente na região Centro-Oeste e nos estados do Paraná e de São Paulo.

A produção nordestina de safrinha é muito menor do que a do restante da principal área produtora dos Cerrados. Enquanto no Nordeste a safrinha responde por 0% a 40% da produção de milho, em todo o Brasil, a safrinha é responsável, em média, por 65% do milho produzido (Acompanhamento..., 2017).

O milho tem potencial produtivo acima de 10.000 kg ha<sup>-1</sup> de grãos e pode alcançar até 22.000 kg ha<sup>-1</sup> (Ferreira, 2009). Porém nem sempre os valores chegam a tanto; por exemplo, a média de produtividade de grãos de milho na safra 2015/2016 foi de aproximadamente 4.000 kg ha<sup>-1</sup> (Acompanhamento..., 2017). O milho é cultivado com diferentes níveis de tecnologia no Brasil, seja por agricultores familiares (que produzem para sua alimentação e de suas criações), seja por aqueles que exploram de forma comercial. Os agricultores que investem em tecnologia na produção de milho esperam elevados retornos produtivo e financeiro, pois essa cultura tem grande potencial de produção proporcionado pelo melhoramento genético. Entretanto, além do clima, a fertilidade do solo pode limitar a produção de milho, principalmente em sistemas intensivos de cultivo.

O manejo da fertilidade do solo em sistemas integrados de produção envolvendo milho deve priorizar a qualidade do solo e a melhoria dos seus atributos químicos, físicos e biológicos, e não somente a reposição dos elementos minerais para a nutrição de plantas. Dependendo do manejo empregado, quando o milho é cultivado em consórcio, sucessão ou rotação, ele pode exaurir o solo caso não haja a reposição adequada de nutrientes (Nicolodi; Gianello, 2015). Entretanto há de se considerar que sistemas integrados podem aumentar a capacidade de troca de cátions e os ciclos biológicos do solo, o que favorece o acúmulo e a reposição de nutrientes, que podem resultar em diminuição do emprego de fertilizantes ao longo dos anos de adoção.

## Exigências nutricionais do milho

A cultura do milho é exigente em relação à fertilidade do solo e, em sistemas consorciados, não se pode menosprezar as exigências nutricionais da planta (Alvarenga et al., 2006). O plantio dessa gramínea é geralmente realizado em solos de elevada fertilidade ou de fertilidade construída. Solos recém-desbravados do Cerrado não são recomendados para o cultivo do milho devido à sua baixa



fertilidade natural, o que é característico desse bioma nas regiões tropicais. Ademais, o milho é sensível à acidez do solo e à presença de Al, características também corriqueiras em solos naturais do Cerrado.

A adição de nutrientes nos sistemas produtivos integrados com milho deve ser baseada em análise de solo, diagnóstico nutricional e suas interpretações. A destinação do cultivo – produção de grãos ou de forragem (silagem e fenação) – também deve ser considerada no planejamento da adubação, pois a extração e a exportação de nutrientes diferem, dependendo do objetivo do cultivo (Ueno et al., 2013). A extração e a exportação de nutrientes no milho estão relacionadas também com seu potencial produtivo (Ferreira, 2009). As quantidades de macronutrientes extraídas pela planta e exportadas pelos grãos estão de acordo com as seguintes ordens decrescentes: N>K>P>Mg>Ca>S e N>K>P>Mg>Ca, respectivamente. Já as quantidades de micronutrientes estão de acordo com estas ordens<sup>3</sup>: Fe>Mn>Zn>Cu>B e Zn>Fe>Mn>Cu>B, respectivamente (Ferreira, 2009).

Os sistemas Barreirão (Magalhães et al., 2001) e Santa Fé (Kluthcouski et al., 2000) são utilizados para recuperar pastagens degradadas e, para amenizar o custo da implantação, utilizam-se do milho (Alvarenga et al., 2006). Entretanto, como as áreas degradadas apresentam baixa fertilidade do solo, é necessário ter melhoria inicial dos atributos químicos, o que exige maiores investimentos. Esses investimentos iniciais incluem a adequada correção da acidez do solo e, se necessário, o uso da gessagem, fosfatagem e potassagem antes da introdução do milho no sistema integrado de produção.

As interpretações das análises e as recomendações de adubação para a cultura do milho devem ser feitas por meio de manuais de fertilidade para a região dos Cerrados (Sousa; Lobato, 2004a; Flores; Cunha, 2016), que apresentam informações sobre a correta nutrição do milho em sistemas integrados de produção. No manejo de solos com fertilidade já construída, que são ideais para a agricultura intensiva e para o uso de sistemas integrados de produção, recomenda-se manter os níveis críticos de elementos do solo descritos por Resende et al. (2016), conforme Tabela 7.

<sup>(4)</sup>Mn: manganês; Zn: zinco; Cu: cobre; B: boro.

**Tabela 7.** Valores de referência para atributos da fertilidade do solo, na camada de 0 m a 0,20 m de profundidade, para o estabelecimento de ambientes de produção intensiva no Cerrado. Níveis críticos correspondem ao maior valor para cada atributo, considerando-se subdivisões relacionadas à textura/capacidade de troca catiônica.

Teor de argila	Matéria orgânica	Atributos associados à fertilidade do solo <sup>(1)</sup>										
		P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Mn	Zn	V	
%	g kg <sup>-1</sup>	-- mg dm <sup>-3</sup> --		-- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> --		----- mg dm <sup>-3</sup> -----				-% -		
< 15	8-10	18-25	30-40									
16-35	16-20	15-20	70-80	1,5-2,4	0,5-1,0	5,0-9,0	0,3-0,5	0,5-0,8	2,0-5,0	1,1-1,6	40-50	
36-60	24-30	8-12	70-80									
> 60	28-35	4-6	70-80									

<sup>(1)</sup>Ca: cálcio. Mg: magnésio. Teores de fósforo (P) e de potássio (K) determinados com o extrator Mehlich1. Teor de enxofre (S) determinado por extração com Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> e interpretação considerando a média dos valores obtidos em amostras coletadas nas profundidades de 0 m a 0,2 m e de 0,2 m a 0,4 m. Teor de boro (B) determinado por extração com água quente. Teores de cobre (Cu), de manganês (Mn) e de zinco (Zn) determinados com o extrator Mehlich1, com interpretação considerando o pH (água) do solo próximo de 6,0. Para o K, os teores críticos de 40 mg dm<sup>-3</sup> e 80 mg dm<sup>-3</sup> referem-se a solo com CTC<sub>pH 7,0</sub> < 4,0 e > 4,0 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, respectivamente. Saturação por bases (V) do solo desejada para o cultivo de milho.

Fonte: Resende et al. (2016).

## Correção da acidez do solo

A correção da acidez do solo em sistemas integrados deve considerar as exigências em relação ao pH e saturação por bases, bem como a tolerância da cultura principal à saturação por Al (nesse caso, o milho ou a cultura de maior exigência nutricional envolvida no sistema). Segundo Alvarenga et al. (2006), para elevada produtividade de milho, os atributos químicos do solo devem apresentar os seguintes valores: pH = 6,0; Ca = 2,2 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Mg = 0,8 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; saturação por bases = 55%; e saturação por Al = 0%.

Os materiais corretivos são classificados pelas suas reatividades e concentrações de CaO e de MgO e suas eficiências são avaliadas pelo poder relativo de neutralização total (PRNT). O valor de PRNT do calcário indica quanto desse insumo reagirá no solo no período de 90 dias. Os cálculos de calagem revelam a quantidade de calcário (em t ha<sup>-1</sup>) a ser incorporada na profundidade de 0,20 m. Os métodos de cálculo da calagem para a região dos Cerrados são: o método da neutralização do Al<sup>3+</sup> e elevação do Ca<sup>2+</sup> e do Mg<sup>2+</sup> e o método da saturação por bases. Os cálculos baseiam-se na concentração de argila, CTC, saturação por bases da análise e quantidades de Al, de Ca e de Mg do solo que será cultivado, além da saturação de 60%, indicada para a cultura do milho (Sousa; Lobato, 2004a). Considerando que os sistemas intensivos normalmente empregam o SPD, um dos desafios é efetuar as correções químicas sem o revolvimento do solo (que é uma premissa para a adoção de sistemas conservacionistas). Por isso, em áreas de abertura (primeiro ano de cultivo) ou com pastagens degradadas, a aplicação do calcário e sua incorporação devem ser realizadas antes da adoção dos sistemas integrados. Em solos com fertilidade construída, devem-se observar as análises químicas do solo; se não houver problemas de acidez, podem-se adotar os sistemas integrados de produção sem a aplicação de calcário.

As regiões tropicais são caracterizadas por elevadas temperatura e precipitação. Diante desse cenário, a condição inicial do solo na implantação do sistema é extremamente importante para a obtenção de elevadas produtividades. O maior desafio para a implantação dos sistemas integrados nas condições tropicais é a acidez elevada associada ao baixo poder tampão dos solos, os quais, após os primeiros anos de cultivo, necessitam de calagem em intervalos menores.

A alternativa para evitar a reaplicação de corretivo em períodos curtos é a utilização de calcários com maiores granulometrias no momento da implantação do sistema integrado de produção com milho. Ratke et al. (2014) relataram que a maior produtividade de milho ( $9.000 \text{ kg ha}^{-1}$ ) no primeiro ano de cultivo foi proporcionada com o uso de  $6,5 \text{ t ha}^{-1}$  de calcário com granulometria de 0,8 mm a 2,0 mm, incorporado ao solo até a profundidade de 0,20 m. Ainda segundo esses autores, a incorporação e a granulometria do calcário promoveram maior desenvolvimento radicular e melhor distribuição de raízes no solo.

### **Adubação nitrogenada**

As adubações com N são frequentes na cultura do milho, principalmente na região dos Cerrados, os quais normalmente apresentam baixo conteúdo de matéria orgânica (Andrade et al., 2004). As adubações com N fertilizante no milho ocorrem na semeadura e em cobertura. Na semeadura, recomenda-se utilizar de  $30 \text{ kg ha}^{-1}$  a  $50 \text{ kg ha}^{-1}$  de N (Fancelli, 2010) e, em cobertura, o N deve ser fornecido até o estágio V6, que é a fase de maior demanda do nutriente pela cultura (Pinho et al., 2009). As doses de N em cobertura são definidas pelo potencial produtivo da cultivar ou híbrido de milho. Segundo Fancelli (2010), em sistemas integrados de produção ou em solos com intensivo cultivo, o N em cobertura deve ser parcelado em três aplicações: a primeira nas fases V3 e V4; a segunda nas fases de V6 a V8; e a terceira nas fases de V10 a V12.

Os sistemas integrados de produção preconizam a redução das adubações nitrogenadas em função da ciclagem de nutrientes e da fixação biológica do N, principalmente por leguminosas (fabáceas). A utilização de gramíneas (poáceas) dos gêneros *Pennisetum* (milheto), *Urochloa* (braquiária), *Megathyrus* (tanzânia) em consórcio, em sucessão ou em rotação com o milho promove a ciclagem de N, o que faz diminuir suas perdas no sistema produtivo (Borghi et al., 2006; Pacheco et al., 2011; Mendonça et al., 2014).

Os cultivos de milho em sistemas integrados devem ser precedidos do cultivo de fabáceas, as quais têm baixa relação C:N e estabelecem a simbiose com bactérias que fixam o N. As fabáceas mais utilizadas nesses sistemas

são a soja, a crotalária (*Crotalaria juncea*) e o feijão-guandu (*Cajanus cajan*). Na região Nordeste, é comum o consórcio entre milho e feijão-caupi (*Vigna unguiculata*) (Blanco et al., 2011). O milho pode ser semeado com poáceas e fabáceas em consórcios triplos, que favorecem a manutenção e o aumento de N na biomassa (Silva, 2016). O N contido na biomassa, em condições edafoclimáticas do Cerrado nordestino, passa a ser disponibilizado rapidamente depois da senescência de plantas de cobertura e adubos verdes (Leite et al., 2010; Pacheco et al., 2017), o que leva à diminuição da dependência dos fertilizantes nitrogenados (Pacheco et al., 2013). Fancelli (2010) recomenda também a aplicação de inoculantes que contenham os gêneros *Azospirillum* e *Pseudomonas* para promover a fixação biológica de N, que pode contribuir com 30 kg ha<sup>-1</sup> a 50 kg ha<sup>-1</sup> de N, e assim reduzir o uso de fertilizante mineral. Porém deve-se ressaltar que a inoculação não é suficiente para atender às necessidades de N pela cultura do milho, necessitando de adubações nitrogenadas.

Para a definição da dose de N fertilizante para a cultura do milho em sistemas integrados de produção, devem-se considerar os aportes prévios promovidos pela ciclagem da biomassa e pela fixação biológica de N (Damin; Silva, 2016), além dos aportes de N promovidos pelos cultivos anteriores (Fancelli, 2010). Assim a quantidade de N recomendada será menor do que aquelas recomendadas para o cultivo do milho em manuais de fertilidade do solo.

### Adubação fosfatada

Na cultura do milho, são frequentes as adubações com P em quantidades acima de 100 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> em solos de Cerrado devido ao baixo aproveitamento do nutriente (de 20% a 30%) (Blanco et al., 2011), que é consequência de sua forte adsorção pelos componentes minerais das argilas em solos caulíníticos e oxídicos.

O SPD e o consórcio com *Urochloa* favorecem a disponibilidade de P no solo e possibilitam maior absorção desse elemento pela planta de milho (Cruz et al., 2008). Essas práticas de manejo são amplamente disseminadas nas áreas de agricultura intensiva do Nordeste brasileiro. Além disso, o aumento da matéria orgânica do solo, promovido pela adoção de sistemas integrados de produção, proporciona menor fixação do P às partículas coloidais

do solo e maior ciclagem do elemento por microrganismos (Pacheco et al., 2013, 2017). As adubações sucessivas com P aumentam também a concentração do nutriente no solo, o que faz diminuir sua fixação devido à saturação dos sítios de adsorção. Outra alternativa para a disponibilização de P na implantação de sistemas produtivos de milho é empregar fontes naturais de P com menor solubilidade, tais como, fosfatos naturais, os quais reduzem a fixação de P e promovem efeito residual do elemento por longos períodos.

### Adubação potássica

Recomenda-se que as adubações potássicas no milho sejam parceladas devido à grande quantidade de K recomendado para a cultura e à facilidade de sua perda por lixiviação. O parcelamento deve ser feito em função das características edáficas da região, bem como da época de maior absorção de K pela cultura. Petter et al. (2016) relataram que a dose de 53 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O promoveu maior produtividade de milho (6.607 kg ha<sup>-1</sup>) no Cerrado piauiense, quando sua aplicação foi dividida em 50% no plantio e 50% em cobertura (fase V6).

O uso de plantas como o *P. glaucum* e as do gênero *Urochloa* é uma forma de manter o K no solo em sistemas produtivos integrados (Pacheco et al., 2013). O consórcio entre milho e *U. ruziziensis* promove aportes superiores a 100 kg ha<sup>-1</sup> de K ao solo. Já os sistemas com *P. glaucum* e *U. ruziziensis* em cultivo sucessivo à soja aumentam os aportes de K, quando comparados ao monocultivo de soja. Essas plantas têm grande desenvolvimento radicular, o que permite recuperar o K lixiviado das camadas superficiais do solo onde os fertilizantes são aplicados e promover aporte de K ao sistema produtivo.

### Adubação com micronutrientes e enxofre

Os micronutrientes B, cloro (Cl), Cu, Fe, Mn, molibdênio (Mo) e Zn são fundamentais à cultura do milho (Coelho, 2006). Entre esses, o milho extrai maiores quantidades de Fe, de Mn e de Zn e exporta grande quantidade de Zn (Ferreira, 2009). Porém os solos do Cerrado têm baixas concentrações de micronutrientes, com exceção do Fe e do Mn (Moraes et al., 2016).

A matéria orgânica é fonte de micronutrientes, que são liberados durante a mineralização, o que pode suprir as necessidades das culturas. Como a dinâmica dos micronutrientes no solo depende de vários fatores edáficos e climáticos, é preciso verificar como ela opera em cada sistema integrado de produção, para que o manejo das adubações seja realizado conforme a necessidade. Por exemplo, Teixeira et al. (2008) relataram que as poáceas acumulam maiores quantidades de Cu e de Zn, as fabáceas acumulam mais B e o consórcio entre milho e feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*) foi o que proporcionou maior acúmulo de micronutrientes em suas palhadas. No Brasil, essas informações são escassas. Por isso devem-se promover pesquisas regionais para quantificar os teores de micronutrientes (nos sistemas de sucessão, de rotação e de consórcio de plantas), identificar deficiências e suprir o micronutriente que está ausente ou abaixo do nível crítico no sistema produtivo de milho, de modo a culminar na efetiva recomendação de adubação com micronutrientes. Para os sistemas integrados de produção, necessita-se ainda conhecer o aspecto nutricional e as interações entre as diferentes plantas cultivadas.

O cultivo consorciado de plantas gera competição por nutrientes no solo. Cury et al. (2012) descreveram que a presença de *Urochloa brizantha* reduziu severamente a extração de micronutrientes pela cultura do milho. Nesses casos, as adubações com micronutrientes em sistemas consorciados poderão ser maiores. A estratégia para recomendar aplicação de micronutrientes na cultura do milho deve ser estabelecida com base na interpretação das análises conjuntas de solo e de tecido vegetal.

O enxofre (S), que tem no gesso uma de suas fontes para as plantas, é um elemento essencial à produção vegetal. As principais vias de aporte desse nutriente são o superfosfato simples e o sulfato de amônio. Segundo Pinho et al. (2009), a absorção de S pelo milho é contínua desde sua emergência e seu acúmulo na planta é linear; assim observa-se que, no final do ciclo de desenvolvimento da planta, ocorre maior acúmulo desse elemento. Esses autores relataram também que é necessário 1,9 kg de S para produzir 1.000 kg de grãos de milho e 0,8 kg de S para produzir 1 t de massa seca de milho (sem grão). O consumo de S é maior em sistemas integrados de produção devido ao consórcio entre plantas, sucessões e rotações de culturas.

Como o fornecimento de S somente por meio da gessagem pode não ser suficiente para atender às exigências das culturas, deve-se analisar a demanda das culturas de forma integrada.

Segundo Alvarenga et al. (2006), a mistura de calcário e gesso na proporção de 60:40 ou 40:60 promoveu os melhores rendimentos de grãos de milho e massa seca de *Urochloa brizantha*. À medida que aumenta a dose de gesso, melhora a distribuição de Ca no solo, o que promove maior desenvolvimento radicular das plantas e, conseqüentemente, faz aumentar o volume de solo explorado, evitar possíveis deficits hídricos causados por veranicos na condição de cultivo de sequeiro e favorecer a nutrição e a produtividade do milho (Ratke et al., 2014).

## **Manejo da fertilidade do solo para a cultura do algodão**

### **Introdução**

Os solos da região Nordeste apresentam grande variabilidade quanto à sua fertilidade. De modo geral, solos de áreas com predominância de clima mais seco normalmente têm maiores teores de Ca, de Mg e de K; apresentam, no entanto, fortes restrições quanto aos teores de P e de N. Nas áreas dos Cerrados nordestinos, onde estão instaladas as maiores lavouras de algodão da região, os solos são, em sua maioria, naturalmente de baixa fertilidade e a reserva de nutrientes não é suficiente para suprir a quantidade extraída e exportada pelas culturas ao longo de várias colheitas. Assim a correção e a adubação desses solos são essenciais.

As produtividades nessa região de Cerrado podem alcançar 6.000 kg ha<sup>-1</sup> de algodão em caroço ou valores ainda maiores em função das condições dadas para o desenvolvimento da cultura e do elevado nível tecnológico adotado. Especialmente nas condições de maior produtividade, a adubação deve atender à demanda do sistema de produção usado e à expectativa de produtividade local, levando-se em consideração a necessidade de uso racional dos fertilizantes com sustentabilidade e responsabilidade ambiental.



## Extração e exportação de nutrientes pelo algodoeiro

O algodoeiro é uma planta que extrai grandes quantidades de nutrientes do solo durante o seu ciclo e pode exportar cerca de 50% do total absorvido por meio das fibras e do caroço. A adubação deve considerar as quantidades exigidas pela cultura e a capacidade de fornecimento pelo solo e deve suplementar os nutrientes por meio de adubação mineral e, se possível, orgânica. Caso contrário, a planta poderá manifestar sintomas de deficiências nutricionais. Quando isso ocorre, o crescimento e a produção podem estar comprometidos, pois a planta sofre de “fome oculta” antes de manifestar a carência.

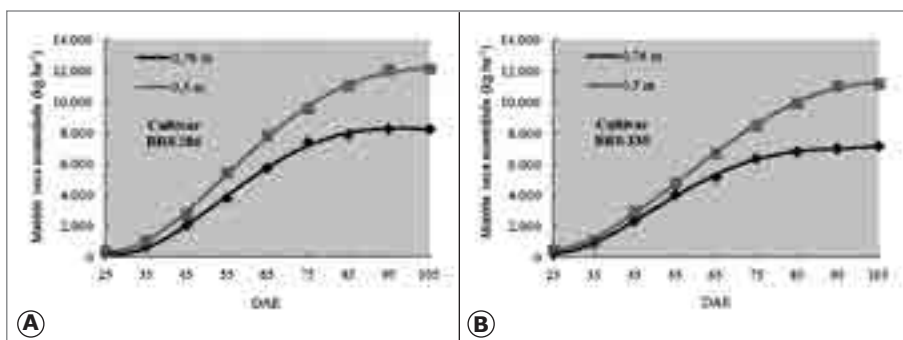
Nas regiões dos Cerrados brasileiros, Carvalho et al. (2011) têm mostrado que, para cada tonelada de algodão em caroço produzida, as extrações totais médias são de 66 kg de N, 20 kg de  $P_2O_5$ , 59 kg de  $K_2O$ , 29 kg de CaO, 9 kg de MgO e 6 kg de S, enquanto as exportações médias são de 29 kg de N, 8 kg de  $P_2O_5$ , 19 kg de  $K_2O$ , 4 kg de CaO, 4 kg de MgO e 4 kg de S. No caso dos micronutrientes, são extraídos cerca de 120g de B, 43 g de Cu, de 60 g a 1.200 g de Fe, de 52 g a 92 g de Mn, 1 g de Mo e de 43 g a 62 g de Zn para cada tonelada de algodão em caroço produzida e são exportados de 16 g a 27 g de B, de 6 g a 9 g de Cu, de 7 g a 200 g de Fe, de 10 g a 15 g de Mn e de 11 g a 44 g de Zn.

## Marcha de absorção de nutrientes

O crescimento e o acúmulo de matéria seca do algodoeiro são lentos na fase inicial do seu ciclo, mas aumentam a partir de 25 a 30 dias após a emergência (DAE), tendem a reduzir aos 60 a 90 DAE e a se estabilizar a partir dos 90 DAE (Figura 3). A absorção dos nutrientes pela planta segue esse mesmo padrão: aumenta a partir dos 30 DAE (fase de emissão dos primeiros botões florais) e alcança a máxima absorção diária entre 60 e 90 DAE. Nesse período, as taxas de absorção de N e de K são altas. Na fase de enchimento dos frutos, a taxa de absorção de N pode variar de cerca de 2,5 quilogramas por hectare por dia a 3,6 quilogramas por hectare por dia; próximo ao pico do florescimento, a absorção de K pode variar entre 3,6 quilogramas por hec-

tare por dia e 4,8 quilogramas por hectare por dia. Cerca de 60% do acúmulo total de K ocorre entre o aparecimento da primeira flor e a maturidade do capulho. Na proximidade do máximo florescimento, um terço do total acumulado é absorvido em um período de 12 a 14 dias, época em que a deficiência de K pode comprometer a produtividade (Silva, 1999).

Quanto mais precoce é a cultivar ou mais adensado é o plantio, mais cedo ocorrem os picos de absorção e maior atenção deve ser dada à adubação. As aplicações em cobertura devem ser programadas conforme a realidade de cada lavoura em função do tipo de solo, da intensidade de chuvas e da disponibilidade de máquinas e implementos. Em solos mais arenosos, os riscos de perda do nutriente por lixiviação são maiores, principalmente os de maior mobilidade, como o K.



**Figura 3.** Matéria seca acumulada pelo algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.) cultivado até os 105 dias após a emergência (DAE) em entrelinhas, nos espaçamentos de 0,5 m e 0,76 m com as cultivares BRS 286 (A) e BRS 335 (B).

### Correção da acidez do solo

O algodoeiro apresenta grande sensibilidade ao Al em níveis tóxicos, o que acontece quando o solo apresenta saturação por bases menor do que 45% (Rosolem, 2010). Em solos ácidos, com presença de Al tóxico e/ou baixos teores de Ca e de Mg, pode haver menor desenvolvimento radicular, o que acaba afetando todo o processo de absorção de nutrientes e água, resultando em menor crescimento da planta e redução de produtividade. O pH em água ideal para o cultivo do algodoeiro é próximo a 6,0; em pH de valores menores do que 5,5, pode haver redução de produtividade (Borin et al., 2015).

Em áreas de Cerrado do Nordeste, é comum empregar o método da saturação por bases para determinar a quantidade de calcário. Porém, em solos arenosos (teor de argila menor do que 15%), são mais apropriados os critérios de neutralização do Al e/ou de aumento dos teores de Ca e de Mg trocáveis, considerando o maior valor encontrado em uma das seguintes equações (Sousa; Lobato, 2004a):

$$NC = (2 \times Al) \times f$$

ou

$$NC = 2 - (Ca + Mg) \times f$$

em que:

NC = necessidade de calcário (dada em  $t \text{ ha}^{-1}$ ).

Al = concentração de Al no solo (dada em  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ).

f = fator de correção para qualidade do calcário.

Ca = concentração de Ca no solo (dada em  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ).

Mg = concentração de Mg no solo (dada em  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ).

O fator f é calculado pela expressão:

$$f = 100/\text{PRNT}$$

em que PRNT = valor do calcário utilizado poder relativo de neutralização total.

O algodoeiro produz bem em solos cuja saturação por bases varia de 45% a 80%. Em geral, saturações de 50% a 60% e pH em água máximo de 6,5 (Ferreira et al., 2009) são suficientes para obter boas produtividades, embora existam cultivares que respondem a saturações de 70% a 80%. A sensibilidade do algodoeiro ao Mn pode explicar essa exigência diferenciada de algumas cultivares. A calagem deve ser feita para atender à cultura mais sensível usada no sistema de rotação (que é o algodoeiro) e deve-se reaplicar o corretivo sempre que o limite inferior da faixa de saturação adequada for atingido.

### **Adubação nitrogenada**

Com relação às adubações nitrogenadas, sugerem-se, na Tabela 8, quantidades a serem aplicadas no sulco de semeadura e em cobertura em função da expectativa de produtividade de algodão em caroço, especialmen-

te para o cultivo em solos com textura de média a argilosa. Para solos com textura arenosa (teor de argila menor do que 15%), admite-se aumento de 10% a 20% da dose indicada para a adubação de cobertura, especialmente se a cultura anterior tiver sido gramínea.

**Tabela 8.** Sugestões da quantidade de nitrogênio (N) a se aplicar na cultura do algodão (*Gossypium hirsutum* L.) em função da produtividade esperada de algodão em caroço.

Expectativa de produtividade <sup>(1)</sup> kg ha <sup>-1</sup>	Dose de N <sup>(2)</sup>	
	Plantio	Cobertura
	----- kg ha <sup>-1</sup> -----	
Até 3.000	15 a 20	60 a 80
4.000	15 a 20	80 a 100
5.000 <sup>(3)</sup>	15 a 20	100 a 120
6.000 <sup>(3)</sup>	15 a 20	120 a 140

<sup>(1)</sup>Expectativa de produtividade com base na maior produtividade alcançada na região ou nos melhores talhões da propriedade para condições similares de solo, cultivar e manejo. <sup>(2)</sup>Os maiores valores correspondem às áreas com elevado potencial de resposta a N: solos com baixo teor de matéria orgânica (MO); primeiros anos de plantio direto, cuja cultura antecessora ao algodão é uma gramínea. Os menores valores correspondem às áreas com baixo potencial de resposta a N: rotação de culturas com leguminosa (soja ou cultura de cobertura); solos com vários anos de sistema de plantio direto e alto teor de MO; cultivos sucessivos com algodão.

<sup>(3)</sup>É pouco provável alcançar esse nível de produtividade em solos em processo de correção de sua fertilidade ou em locais com pluviosidade inferior a 1.200 mm, bem-distribuídos nos primeiros 160 dias do ciclo da cultura.

Fonte: Carvalho et al. (2011).

Em regiões com menor frequência de veranico, elevada precipitação pluviométrica e potencial produtivo superior a 4.500 kg ha<sup>-1</sup> de algodão em pluma, assim como em áreas irrigadas, pode haver resposta a doses de N superiores a 180 kg ha<sup>-1</sup>. A aplicação de 35 kg ha<sup>-1</sup> a 40 kg ha<sup>-1</sup> de N para cada tonelada de algodão em caroço que se espera produzir na área também é um critério que pode ser considerado.

Em solos com maior teor de matéria orgânica, o algodoeiro responde menos à adubação nitrogenada. Porém, em sistemas integrados com em-

prego de plantas de cobertura, o algodoeiro tende a ser mais responsivo, quando se aumenta a palhada sobre o solo. Parte da adubação nitrogenada pode ser aplicada a lanço na cultura de cobertura que antecede o cultivo do algodoeiro ou na palhada seca das plantas de cobertura até o limite de um terço da dose prevista. O restante deve ser aplicado preferencialmente de forma incorporada na entrelinha, dividido em uma ou duas coberturas aos 25 DAE e aos 45 DAE. Em solos arenosos, recomenda-se fazer duas aplicações. Em cultivos com espaçamento adensado, pode-se fazer uma única aplicação aos 30 DAE. Em locais com chuvas frequentes, pode-se aplicar o adubo a lanço tanto na forma de ureia como de sulfato de amônio, especialmente quando se usam produtos com tecnologia de redução de volatilização e de queima das plantas.

### Adubação fosfatada

O P é um dos nutrientes aplicados em maiores quantidades nas adubações devido à sua adsorção no solo. Sua recuperação pelas culturas anuais é inferior a 35%, o que é considerado um índice baixo (Borin et al., 2015). A interpretação dos resultados da análise de solo para P na região do Cerrado do Nordeste é apresentada na Tabela 9.

**Tabela 9.** Rendimento potencial e interpretação da análise de solo para o fósforo (P) extraído pelo método de Mehlich1, de acordo com o teor de argila, para recomendação de adubação fosfatada em sistema de sequeiro com culturas anuais no Cerrado.

Teor de argila %	Rendimento potencial da cultura (%)				
	0-40	41-60	61-80	81-90	> 90
	P no solo				
	Muito baixo	Baixo	Médio	Adequado	Alto
	----- mg dm <sup>-3</sup> -----				
≤ 16	0,0 a 6,0	6,1 a 12,0	12,1 a 18,0	18,1 a 25,0	> 25,0
16-35	0,0 a 5,0	5,1 a 10,0	10,1 a 15,0	15,1 a 20,0	> 20,0
36-60	0,0 a 3,0	3,1 a 5,0	5,1 a 8,0	8,1 a 12,0	> 12,0
> 60	0,0 a 2,0	2,1 a 3,0	3,1 a 4,0	4,1 a 6,0	> 6,0

Fonte: Adaptado de Sousa et al. (2004b).

Para que o algodoeiro alcance produtividades satisfatórias, a adubação com P é imprescindível. Por isso, em áreas novas ou com teores de P considerados muito baixos ou médios, o ideal é realizar a adubação de correção para a elevação das concentrações de P aos níveis de adequado a alto.

Na maioria das áreas cultivadas com algodoeiro, os solos já se encontram com a fertilidade corrigida quanto ao P, apresentando valores classificados como médio, adequado, bom ou alto, de acordo com as tabelas de interpretação de análise de solos. Nessas condições, deve-se fazer apenas adubação de manutenção baseada na quantidade de nutrientes extraídos e exportados pela cultura (Tabela 10).

**Tabela 10.** Sugestões de adubação fosfatada de manutenção do algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.) cultivado no Cerrado em função da expectativa de produtividade e da classificação da análise de solo (ver Tabela 9).

Expectativa de produtividade <sup>(1)</sup> kg ha <sup>-1</sup>	P no solo	
	Adequado	Alto <sup>(2)</sup>
	----- kg ha <sup>-1</sup> de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> <sup>(3)</sup> -----	
Até 3.000	60	30
4.000	90	45
5.000 <sup>(4)</sup>	110	55
6.000 <sup>(4)</sup>	135	70

<sup>(1)</sup>Expectativa de produtividade com base na maior produtividade alcançada na região ou nos melhores talhões da propriedade para condições similares de solo, cultivar e manejo. <sup>(2)</sup>Nível alto de P no solo, no qual a adubação pode ser reduzida ou até suprimida por uma safra em anos de elevada relação de preços de insumo/produto. <sup>(3)</sup>Doses estimadas considerando que o algodoeiro extrai cerca de 20 kg ha<sup>-1</sup> a 25 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> para cada 1.000 kg de algodão em caroço produzidos. <sup>(4)</sup>É pouco provável alcançar esse nível de produtividade em solos em processo de correção de sua fertilidade ou em condições de sequeiro nos locais com pluviosidade inferior a 1.200 mm, razoavelmente bem-distribuídos durante o ciclo da cultura.

Fonte: Carvalho et al. (2011).

Quanto ao modo de aplicação dos fertilizantes fosfatados em solos com concentrações baixas de P (Tabela 9), a aplicação no sulco de semeadura é mais eficiente do que a lanço. Porém é conveniente evitar doses acima de 120 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> no sulco. Em solos com concentrações de adequadas a

altas, a aplicação do fertilizante pode ser feita a lanço ou no sulco, sem que haja diferença de produtividade. Havendo interesse, sobretudo no SPD, parte da adubação fosfatada pode ser aplicada na cultura de cobertura que antecederá o cultivo do algodão.

Na incorporação de áreas nativas ou conversão de outros usos para o cultivo do algodoeiro, deve-se promover a adubação corretiva total da área. Nesse caso, aplicam-se  $5 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  para cada unidade percentual (ou 1%) de argila da camada arável do solo (Sousa et al., 2004b). Em geral, o algodão entra na área após três safras com outras culturas, especialmente soja, feijão-caupi, arroz (*Oryza sativa*) e milho.

### Adubação potássica

O K é o segundo nutriente mais absorvido e exportado pelo algodoeiro e é imprescindível para o desenvolvimento a produtividade e qualidade da fibra. Em geral, são preconizadas adubações foliar, corretiva e de manutenção para se obterem altas produtividades.

Em solos de textura média e argilosa e com concentração de K muito baixa, é possível fazer adubação corretiva com K para elevar para 3% a 4% a sua saturação na CTC sob pH 7,0%. Porém, em solos arenosos com menos de 20% de argila e CTC menor do que  $4,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , a adubação corretiva não é recomendada em razão do elevado potencial de lixiviação de K. Em geral, a classificação de K é a que se mostra na Tabela 11. De todo modo, as áreas cultivadas com algodoeiro nas regiões de Cerrado do Nordeste já estão corrigidas quanto às concentrações de K; por isso é necessário fazer apenas adubações de manutenção. Na Tabela 12, é apresentada a sugestão de adubação com K em função de seus valores no solo e da expectativa de produtividade.

O algodoeiro responde à adubação com K quando o solo tem baixos valores de K e/ou quando a relação  $(\text{Ca}+\text{Mg})/\text{K}$  é maior do que 20. Em solos arenosos da Bahia (já corrigidos e cultivados anualmente com algodoeiro), muitas vezes não se obtém resposta à adubação potássica em áreas com concentrações de K trocável entre  $30 \text{ mg dm}^{-3}$  e  $45 \text{ mg dm}^{-3}$  de K possivelmente em função do efeito residual desse elemento proporcionado pelos cultivos anteriores (Carvalho et al., 2011).

**Tabela 11.** Classificação da análise de solo para potássio (K) no Cerrado (usando o extrator Mehlich1) de acordo com a capacidade de troca catiônica (CTC) do solo, visando à recomendação de adubação de culturas anuais.

CTC a pH 7,0	Classificação				
	Muito baixo	Baixo	Médio	Adequado/ Bom	Alto/ Muito bom
cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	K no solo (mg dm <sup>-3</sup> )				
< 4,0	-	< 16	16 a 30	31 a 40	> 40
> 4,0	-	< 26	26 a 50	51 a 80	> 80

Fonte: Adaptado de Sousa et al. (2004b).

**Tabela 12.** Sugestão de adubação potássica na camada de 0 m a 0,20 m para o algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.) na região do Cerrado em função das concentrações disponíveis de potássio (K) no solo e da produtividade esperada de algodão em caroço.

Produtividade esperada <sup>(1)</sup>	K no solo (mg dm <sup>-3</sup> )				
	< 25 <sup>(2)</sup>	26-50 <sup>(2)</sup>	51-80	81-120	>120 <sup>(3)</sup>
kg ha <sup>-1</sup>	kg ha <sup>-1</sup> de K <sub>2</sub> O				
Até 3.000	130	100	80	60	30
4.000	150 a 170	120 a 140	100 a 120	80	40
5.000 <sup>(4)</sup>	170 a 190	140 a 160	120 a 140	100	50
6.000 <sup>(4)</sup>	190 a 210	160 a 180	140 a 160	120	60

<sup>(1)</sup>Expectativa de produtividade com base na maior produtividade alcançada nos melhores talhões da propriedade para condições similares de solo, cultivar e manejo.

<sup>(2)</sup> Nesses níveis de K no solo, as doses sugeridas incluem adubação corretiva + adubação de manutenção (considerando-se o teor adequado de K para o algodão na faixa de 80 mg/dm<sup>-3</sup> a 120 mg/dm<sup>-3</sup>).

<sup>(3)</sup>Nível alto de K no solo acima do qual a adubação pode ser reduzida ou até suprimida em anos de elevada relação de preços insumo/produto.

<sup>(4)</sup>É pouco provável alcançar esse nível de produtividade em solos em processo de correção de sua fertilidade ou em locais com pluviosidade inferior a 1.200 mm, razoavelmente bem-distribuídos durante o ciclo da cultura.

Fonte: Carvalho et al. (2011).



O K pode ser aplicado em pré-plantio, plantio ou em cobertura a lanço. Recomenda-se, porém, que, caso seja feita a adubação no plantio, apliquem-se até  $60 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$  na linha da cultura a fim de reduzir o efeito salino do KCl. Em solos arenosos, também se recomenda parcelar a adubação em duas aplicações para diminuir perdas por lixiviação. Em cultivos com espaçamento adensado, pode-se fazer uma única aplicação a lanço aos 30 DAE.

Como nem sempre há resposta à adubação foliar com K, esta deve ser feita apenas em algumas situações: a) em campos com problemas frequentes de deficiências de K; b) em lavouras com cultivares de porte baixo e ciclo curto, com potencial para a obtenção de produtividades superiores a  $4.500 \text{ kg ha}^{-1}$  e cuja adubação via solo tenha sido insuficiente; c) quando a absorção pelas raízes estiver comprometida (mesmo havendo disponibilidade do nutriente no solo) devido, por exemplo, ao estresse hídrico pela ocorrência de períodos longos de “veranico” na fase de máximo florescimento e enchimento de maçãs (Carvalho et al., 2011).

### **Adubação com micronutrientes e enxofre**

As pesquisas realizadas com micronutrientes na cultura do algodoeiro nas diversas regiões produtoras do Brasil demonstram que: a) as respostas ao B são frequentes; b) as respostas ao Zn são raras e ocorrem em áreas de Cerrado recém-incorporadas ao sistema produtivo ou em solos pobres nesse nutriente e cultivados sucessivamente sem adubação com Zn; c) a resposta ao Mn ocorre eventualmente e via pulverização foliar em solos com pH (em água) acima de 6,3; d) a adubação corretiva com Zn, Cu e B é uma estratégia eficiente para suprir as necessidades desses nutrientes à cultura e apresenta efeito residual de pelo menos 4 anos (Carvalho et al., 2011).

A aplicação anual de  $1 \text{ kg ha}^{-1}$  a  $3 \text{ kg ha}^{-1}$  de B é suficiente para nutrir a cultura e fazê-la expressar todo o seu potencial produtivo e pode ser realizada em pré-plantio ou em cobertura, juntamente com o N. Se a aplicação for a lanço, é suficiente aplicar de  $3 \text{ kg ha}^{-1}$  a  $4 \text{ kg ha}^{-1}$  de B. Quanto a adubações foliares, apesar do uso comum entre os produtores, a aplicação de  $1 \text{ kg ha}^{-1}$  de B (200 g por aplicação em cinco aplicações semanais, a partir do primeiro botão floral) em várias pulverizações só se justifica, se os valores de B no solo forem baixos e não for feita adubação via solo com bórax ou com ácido bórico.

Concentrações abaixo de  $0,6 \text{ mg dm}^{-3}$  de Zn em solos de Cerrado podem estar associadas a sintomas de deficiência. Assim, a aplicação de Zn em solos argilosos até o nível de  $1,7 \text{ mg dm}^{-3}$  pode resultar em respostas das plantas a esse nutriente. Elevadas doses de calcário e de P contribuem para o aparecimento da deficiência de Zn (Silva, 1999). Nesses casos, recomenda-se a aplicação de  $3 \text{ kg ha}^{-1}$  a  $6 \text{ kg ha}^{-1}$  de Zn (Galvão, 2004).

Exceto em solos com pH acima de 6,3 que receberam elevadas doses de calcário, as respostas a Mn em solos no Cerrado são pouco prováveis (Reis Júnior, 2001). Como o comportamento do Mn na planta é variável em função da cultivar e das condições do meio, a diagnose visual desse nutriente é mais importante do que a diagnose foliar (Rosolem, 2005). Considerando que pode haver deficiência ou toxidez na área, Rosolem (2005) sugeriu esperar a manifestação dos sintomas iniciais de deficiência nas folhas para fazer a correção com a aplicação foliar.

Com relação ao Cu, os solos de Cerrado que apresentam valores acima de  $0,8 \text{ mg dm}^{-3}$  (medidos com o extrator Mehlich1), não respondem à fertilização com esse micronutriente. No entanto, quando necessárias, as fertilizações corretivas com  $2 \text{ kg ha}^{-1}$  de Cu ou seu fracionamento anual em três partes iguais suprem a necessidade da maioria das culturas por 4 a 5 anos (Galvão, 2004). Em condição de teores baixos no solo, Zancanaro e Tessaro (2006) recomendaram o uso de  $3 \text{ kg ha}^{-1}$  a  $6 \text{ kg ha}^{-1}$  de Cu a lanço no algodoeiro.

Para outros micronutrientes, como Fe, Cl e Mo, não há registros de resposta do algodoeiro à adubação no Brasil.

Desde que não haja limitações no perfil solo, o algodoeiro desenvolve um sistema radicular profundo, que é usado para aumentar a absorção de água e nutrientes. Por isso, além da correção da acidez na camada superficial, é necessário eliminar qualquer restrição química nas camadas subsuperficiais, o que é feito pelo aumento de bases trocáveis lixiviadas da superfície com a aplicação de gesso.

As maiores possibilidades de resposta ao gesso, quanto à produtividade, ocorrem quando as concentrações de Ca nas profundidades de 0,2 m a 0,4 m e de 0,4 m a 0,60 m forem inferiores a  $0,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  e a saturação por Al na

CTC efetiva dessas mesmas camadas  $[Al / (Ca+Mg+K+Na) \times 100]$  for superior a 20% (Sousa; Lobato, 2004a). Nesses casos, para as camadas de 0,2 m a 0,4 m ou 0,4 m a 0,6 m, calcula-se a necessidade de gesso (NG) pela fórmula:

$$NG \text{ (kg/ha)} = 5 \times \text{Teor de argila (g/kg)}.$$

O S é um elemento pouco móvel na planta e, por isso, o algodoeiro necessita de suprimento contínuo desse nutriente para seu pleno desenvolvimento. Em geral, o S se acumula nas camadas mais profundas do solo; sempre que sua concentração disponível, na média das camadas de 0,2 m a 0,4 m e de 0,4 m a 0,6 m, estiver abaixo de  $10 \text{ mg dm}^{-3}$  de S  $[S-SO_4^{2-}]$  extraído com  $CaH_2(PO_4)_2$ , há grande probabilidade de resposta à sua aplicação.

Ensaio conduzidos na Bahia durante 5 anos mostraram que, nos solos argilosos, o S se concentra na camada de 0,4 m a 0,8 m de profundidade e, nos solos arenosos, de 0,6 m a 1,0 m. Entretanto isso não causou problemas, pois as raízes do algodoeiro alcançavam facilmente 2,0 m de profundidade (Carvalho et al., 2011). Conforme Rosolem (2010), a calagem pode disponibilizar S no solo por aumentar a taxa de mineralização da matéria orgânica; mas, considerando as tendências atuais de se utilizar menos calcário e de se aplicar o corretivo na superfície do solo em sistemas de semeadura direta, a ocorrência de deficiência de S pode tornar-se mais comum. Apesar disso, sabe-se que a adubação com 30 a 40 quilogramas por hectare por ano permite completo atendimento das necessidades de S do algodoeiro e que a gessagem, quando realizada na área, fornece todo o S necessário à cultura.

## Considerações finais

A elaboração de um programa de adubação para soja, milho e algodoeiro inicia-se pela análise do solo com os objetivos de diagnosticar suas limitações químicas e de definir estratégias de correção. Uma vez superada a etapa de construção da fertilidade, pode-se optar por um programa de adubação com vistas à manutenção da fertilidade. Posteriormente, recomenda-se adotar a adubação com foco no sistema de produção como um todo, o que envolve estratégia de reposição dos nutrientes exportados

pelos cultivos, haja vista que, para manter a sustentabilidade produtiva de um solo ao longo dos anos, é essencial que se façam a rotação e a sucessão de culturas. Cabe sempre lembrar que os requerimentos de nutrientes de cada cultura devem ser garantidos nas adubações com o intuito de manter o potencial produtivo das plantas.

## Referências

- ACOMPANHAMENTO DA SAFRA BRASILEIRA [DE] GRÃOS: safra 2016/17: décimo primeiro levantamento, v. 4, n. 11, p. 1-171, ago. 2017.
- ACOMPANHAMENTO DA SAFRA BRASILEIRA [DE] GRÃOS: safra 2018/19: oitavo levantamento, v. 6, n. 8, p. 1-69, maio 2019.
- ALVARENGA, R. C.; COBUCCI, T.; KHUTHCOUSKI, J.; WRUCH, F. J.; CRUZ, J. C.; GONTIJO NETO, M. M. **A cultura do milho na integração lavoura-pecuária**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2006. 12 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular técnica, 80).
- ANDRADE, F. R.; PETTER, F. A.; NÓBREGA, J. C. A.; PACHECO, L. P.; ZUFFO, A. M. Desempenho agrônomico do milho a doses e épocas de aplicação de nitrogênio no Cerrado piauiense. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 57, n. 4, p. 358-366, 2004.
- BLANCO, F. F.; CARDOSO, M. J.; FREIRE FILHO, F. R.; VELOSO, M. E. da C.; NOGUEIRA, C. C. P.; DIAS, N. da S. Milho verde e feijão-caupi cultivados em consórcio sob diferentes lâminas de irrigação e doses de fósforo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 5, p. 524-530, maio 2011.
- BORGHI, E; CRUSCIOL, C. A. C.; COSTA, C.; MATEUS, G. P. Produtividade e qualidade das forragens de milho e de *Brachiaria brizantha* em sistema de cultivo consorciado. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 5, n. 3, p. 369-381, 2006.
- BORIN, A. L. D. C.; CARVALHO, M. da C. S.; FERREIRA, G. B. Nutrição, calagem e adubação do algodoeiro. In: FREIRE, E. C. (ed.). **Algodão no cerrado do Brasil**. 3. ed. rev. ampl. Brasília, DF: Positiva, 2015. p. 485-531.
- BORKERT, C. M.; CASTRO, C. de; OLIVEIRA, F. A. de; KLEPKER, D.; OLIVEIRA JÚNIOR, A. de. O potássio na cultura da soja. In: SIMPÓSIO SOBRE POTÁSSIO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 2., 2004, São Pedro, SP. **Anais...** Piracicaba: Potafos, 2005. p. 671-722.
- BORKERT, C. M.; SFREDO, G. J.; KLEPKER, D.; OLIVEIRA, F. A. de. Estabelecimento das relações entre Ca, Mg e K para soja, em solo de Cerrados. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA NA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 28., 2006, Uberaba. **Resumos...** Londrina: Embrapa Soja, 2006. p. 428-429. (Embrapa Soja. Documentos, 272).
- CARVALHO, M. da C. S.; FERREIRA, G. B.; STAUT, L. A. Nutrição, calagem e adubação do algodoeiro. In: FREIRE, E. C. (ed.). **Algodão no cerrado do Brasil**. 2. ed. rev. ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2011. p. 677-752.
- COELHO, A. M. **Nutrição e adubação do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2006. 10 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular técnica, 78).

CRUZ, S. C. S.; PEREIRA, F. R. da S.; BICUDO, S. J.; ALBUQUERQUE, A. W. de; SANTOS, J. R.; MACHADO, C. G. Nutrição do milho e da *Brachiaria decumbens* cultivados em consórcio em diferentes preparos do solo. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 30, n. 5, p. 733-739, 2008. Suplemento. DOI: 10.4025/actasciagr.v30i5.5975.

CURY, J. P.; SANTOS, J. B.; SILVA, E. B.; BYRRO, E. C. M.; BRAGA, R. R.; CARVALHO, F. P.; VALADÃO SILVA, D. Acúmulo e partição de nutrientes de cultivares de milho em competição com plantas daninhas. **Planta Daninha**, v. 30, n. 2, p. 287-296, abr./jun. 2012. DOI: 10.1590/S0100-83582012000200007.

DAMIN, V.; SILVA, M. A. S. Manejo do nitrogênio na região do cerrado. In: FLORES, R.; CUNHA, P. P. (ed.). **Práticas de manejo do solo para a adequada nutrição de plantas de cerrado**. Goiânia: UFG, 2016. p. 225-252.

DONAGEMMA, G. K.; FREITAS, P. L. de; BALIEIRO, F. de C.; FONTANA, A.; SPERA, S. T.; LUMBRERAS, J. F.; VIANA, J. H. M.; ARAÚJO FILHO, J. C. de; SANTOS, F. C. dos; ALBUQUERQUE, M. R. de; MACEDO, M. C. M.; TEIXEIRA, P. C.; AMARAL, A. J.; BORTOLON, E.; BORTOLON, L. Caracterização, potencial agrícola e perspectivas de manejo de solos leves no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1003-1020, set. 2016. DOI: 10.1590/s0100-204x2016000900001.

FANCELLI, A. L. Milho. In: PROCHNOW, L. I.; CASARIN, V.; STIPP, S. R. (ed.). **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes**: culturas. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2010. v. 3, p. 43-89.

FERREIRA, C. F. **Diagnose nutricional de cultivares de milho (*Zea mays* L.) de diferentes níveis tecnológicos**. 2009. 114 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

FERREIRA, G. B.; SMIDERLE, O. J.; OLIVEIRA JUNIOR, M. C. M. **Uso de gesso agrícola na correção da acidez subsuperficial dos solos para cultivo do algodoeiro no cerrado de Roraima**. Boa Vista: Embrapa Roraima, 2009. (Embrapa Roraima. Comunicado técnico, 44).

FLORES, R.; CUNHA, P. P. **Práticas de manejo do solo para a adequada nutrição de plantas de cerrado**. Goiânia: UFG, 2016. 503 p.

FRANCISCO, E. A. B.; CÂMARA, G. M. de S. Desafios atuais para o aumento da produtividade da soja. **Informações Agrônomicas**, n. 143, p. 11-16, set. 2013. Separata.

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

KLEPKER, D. Desafios para melhoria da qualidade do solo no Cerrado das novas fronteiras agrícolas. In: LEITE, L. F. C.; MACIEL, G. A.; ARAÚJO, A. S. F. de (ed.). **Agricultura conservacionista no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 217-230.

KLEPKER, D.; BORKERT, C. M.; SFREDO, G. J. Níveis de calagem e de saturação por bases e sua relação com o rendimento de grãos de soja nos Cerrados do Maranhão. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 24., 2002, São Pedro, SP. **Resumos...** Londrina: Embrapa Soja, 2002. p. 124-125. (Embrapa Soja. Documentos, 185).

KLUTHCOUSKI, J.; COBUCCI, T.; AIDAR, H.; PACHECO, L.; STONE, L. F.; ROBERTO, L. **Integração lavoura - pecuária pelo consórcio de culturas anuais com forrageiras, em áreas de lavoura, nos sistemas plantio direto e convencional**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2000. 28 p. (Embrapa Arroz e Feijão. Circular técnica, 38).

LEITE, L. F. C.; FREITAS, R. de C. A.; SAGRILLO, E.; GALVÃO, S. R. da S. Decomposição e liberação de nutrientes de resíduos vegetais depositados sobre Latossolo Amarelo no Cerrado maranhense. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 1, p. 29-35, jan./mar. 2010.

LUMBRERAS, J. F.; CARVALHO FILHO, A. de; MOTTA, P. E. F. da; BARROS, A. H. C.; AGLIO, M. L. D.; DART, R. de O.; SILVEIRA, H. L. F. da; QUARTAROLI, C. F.; ALMEIDA, R. E. M. de; FREITAS, P. L. de. **Aptidão agrícola das terras do Matopiba**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2015. 49 p. (Embrapa Solos. Documentos, 179).

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M.; CARNEIRO, N. P.; PAIVA, E. **Fisiologia do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2002. 23 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular técnica, 22).

MAGALHÃES, R. T. de; KLIEMANN, H. J.; OLIVEIRA, I. P. de. Evolução das propriedades físicas de solos submetidos ao manejo do Sistema Barreirão. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 31, n. 1, p. 7-13, jan./jun. 2001.

MATIAS, S. S. R.; BAPTISTEL, A. C.; NÓBREGA, J. C. A.; ANDRADE, F. R.; SILVA, J. B. L. da. Variabilidade espacial dos atributos do solo em duas áreas de manejo convencional no Cerrado piauiense. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 58, n. 2, p. 217-227, abr./jun. 2015. DOI: 10.4322/rca.1687.

MENDONÇA, V. Z. de; MELLO, L. M. M. de; ANDREOTTI, M.; YANO, E. H. Teor e acúmulo de nutrientes no consórcio de milho com forrageiras no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 9, n. 3, p. 330-337, 2014. DOI: 10.5039/agraria.v9i3a3391.

MIRANDA, E. E. de; MAGALHÃES, L. A.; CARVALHO, C. A. de. **Proposta de delimitação territorial do Matopiba**. Campinas: Embrapa, 2014. 18 p. (Embrapa. Nota técnica GITE, 1).

MORAES, M. F. de; SANTOS, C. L. R. dos; TEIXEIRA, W. W. R.; PRADO, M. R. V.; SILVA, J. G. da; MELO, S. P. de. Manejo de micronutrientes na região de cerrado. In: FLORES, R. A.; CUNHA, P. P. da (ed.). **Práticas de manejo do solo para a adequada nutrição de plantas de cerrado**. Goiânia: UFG, 2016. p. 411-446.

NICOLODI, M.; GIANELLO, C. Understanding soil as an open system and fertility as an emergent property of the soil system. **Sustainable Agriculture Research**, v. 4, n. 1, p. 94-105, 2015. DOI: 10.5539/sar.v4n1p94.

OLIVEIRA JÚNIOR, A. de; PROCHNOW, L. I.; KLEPKER, D. Eficiência agronômica de fosfato natural reativo na cultura da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 5, p. 623-631, maio 2008. DOI: 10.1590/S0100-204X2008000500010.

OLIVEIRA JÚNIOR, A. de; PROCHNOW, L. I.; KLEPKER, D. Soybean yield in response to application of phosphate rock associated with triple superphosphate. **Scientia Agricola**, v. 68, n. 3, p. 376-385, May/June 2011. DOI: 10.1590/S0103-90162011000300016.

PACHECO, L. P.; LEANDRO, W. M.; MACHADO, P. L. O. de A.; ASSIS, R. L. de; COBUCCI, T.; MADARI, B. E.; PETTER, F. A. Produção de fitomassa e acúmulo e liberação de nutrientes por plantas de cobertura na safrinha. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 1, p. 17-25, jan. 2011. DOI: 10.1590/S0100-204X2011000100003.

PACHECO, L. P.; MONTEIRO, M. M. de S.; PETTER, F. A.; NÓBREGA, J. C. A.; SANTOS, A. S. dos. Biomass and nutrient cycling by cover crops in Brazilian Cerrado in the State of Piauí. **Revista Caatinga**, v. 30, n. 1, p. 13-23, jan./mar. 2017. DOI: 10.1590/1983-21252017v30n102rc.

PACHECO, L. P.; MONTEIRO, M. M. de S.; SILVA, R. R. da; SOARES, L. dos S.; FONSECA, W. L.; NÓBREGA, J. C. A.; PETTER, F. A.; ALCANTARA NETO, F. de; OSAJIMA, J. A. Produção de fitomas-

sa e acúmulo de nutrientes por plantas de cobertura no cerrado piauiense. **Bragantia**, v. 72, n. 3, p. 237-246, 2013. DOI: 10.1590/brag.2013.041.

PETTER, F. A.; ANDRADE, F. R.; ZUFFO, A. M.; MONTEIRO, M. M. de S.; PACHECO, L. P.; ALMEIDA, F. A. de. Doses e épocas de aplicação de potássio no desempenho agrônômico do milho no cerrado piauiense. **Comunicata Scientiae**, v. 7, n. 3, p. 372-382, 2016. DOI: 10.14295/cs.v7i3.1218.

PETTER, F. A.; SILVA, J. A. da; PACHECO, L. P.; ALMEIDA, F. A. de; ALCÂNTARA NETO, F. de; ZUFFO, A. M.; LIMA L. B. de. Desempenho agrônômico da soja a doses e épocas de aplicação de potássio no cerrado piauiense. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 55, n. 3, p. 190-196, jul./set. 2012. DOI: 10.4322/rca.2012.057.

PINHO, R. G. V.; BORGES, I. D.; PEREIRA, J. L. de A. R.; REIS, M. C. dos. Marcha de absorção de macronutrientes e acúmulo de matéria seca em milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 8, n. 2, p. 157-173, 2009. DOI: 10.18512/1980-6477/rbms.v8n2p157-173.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2011. 420 p.

RAIJ, B. van. **Gesso na agricultura**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2008. 233 p.

RAIJ, B. van; CANTARELA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônômico, 1996. 285 p. (IAC. Boletim técnico, 100).

RATKE, R. F.; SERON, H. P.; SANTOS JÚNIOR, J. de D. G. dos; FRAZÃO, J. J.; BARBOSA, J. M.; DIAS, B. de O. Root growth, nutrition and yield of maize with applied different limestone particle size in the Cerrado soil. **American Journal of Plant Sciences**, v. 5, n. 4, p. 463-472, 2014. DOI: 10.4236/ajps.2014.54060.

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

REIS JÚNIOR, R. dos A. Produtividade do algodoeiro em função da adubação potássica. In: EMBRAPA AGROPECUÁRIA OESTE. **Resultados de pesquisa com algodão, milho e soja - safra 2000/2001**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste; Chapadão do Sul: Fundação Chapadão, 2001. p. 79-85. (Embrapa Agropecuária Oeste. Documentos, 42).

RESENDE, A. V. de; FONTOURA, S. M. V.; BORGHI, E.; SANTOS, F. C. dos; KAPPES, C.; MOREIRA, S. G.; OLIVEIRA JÚNIOR, A. de; BORIN, A. L. D. C. Solos de fertilidade construída: características, funcionamento e manejo. **Informações Agrônômicas**, n. 156, p. 1-19, dez. 2016.

RESENDE, J. M. do A.; MARQUES JÚNIOR, J.; MARTINS FILHO, M. V.; DANTAS, J. S.; SIQUEIRA, D. S.; TEIXEIRA, D. de B. Variabilidade especial de atributos de solos coesos do leste maranhense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 4, p. 1077-1090, jul./ago. 2014. DOI: 10.1590/S0100-06832014000400004.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. 359 p.

ROSOLEM, C. A. Algodão. In: PROCHNOW, L. I.; CASARIN, V.; STIPP, S. R. (ed.). **Boas práticas para o uso de fertilizantes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2010. v. 3, p. 95-159.

ROSOLEM, C. A. Micronutrientes em algodão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 5., 2005, Salvador, BA. **Algodão, uma fibra natural**: resumos. Salvador, BA: Embrapa Algodão, 2005. 1 CD-ROM.

SFREDO, G. J.; KLEPKER, D.; BORKERT, C. M.; OLIVEIRA, F. A. Estabelecimento de faixas de suficiência da saturação de Ca e Mg, na CTC, e da saturação por bases para a soja, em solos de Cerrado. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA NA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 27., 2006, Uberaba. **Resumos...** Londrina: Embrapa Soja, 2006. p. 430-431. (Embrapa Soja. Documentos, 272).

SILVA, K. M. **Produtividade de milho consorciado com plantas de cobertura em solo arenoso**. 2016. 62 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Piauí, Bom Jesus.

SILVA, N. M. Nutrição mineral e adubação do algodoeiro no Brasil. In: CIA, E.; FREIRE, E. C.; SANTOS, W. J. (ed.). **Cultura do algodoeiro**. Piracicaba: Potafos, 1999. p. 57-92.

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

SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E.; REIN, T. A. Adubação com fósforo. In: SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E. (ed.). **Cerrado**: correção do solo e adubação. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2004b. p. 147-168.

TECNOLOGIAS de produção de soja: região central do Brasil 2014. Londrina: Embrapa Soja, 2013. 265 p. (Embrapa Soja. Sistemas de produção, 16).

TEIXEIRA, C. M.; CARVALHO, G. J. de; ANDRADE, M. J. B. de; FURTINI NETO, A. E. Fitomassa, teor e acúmulo de micronutrientes do milheto, feijão-de-porco e guandu-anão, em cultivo solteiro e consorciado. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 30, n. 4, p. 533-538, 2008. DOI: 10.4025/actasciagron.v30i4.5314.

TISDALE, S. L.; NELSON, W. L.; BEATON, J. D. **Soil fertility and fertilizers**. New York: MacMillan, 1985. 754 p.

UENO, R. K.; NEUMANN, M.; MARAFON, F.; REINEHR, L. L.; POCZYNEK, M.; MICHALOVICZ, L. Exportação de macronutrientes do solo em área cultivada com milho para alimentação de bovinos confinados. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 6, p. 3001-3018, nov./dez. 2013. DOI: 10.5433/1679-0359.2013v34n6p3001.

VILELA, L.; SOUSA, D. M. G. de; SILVA, J. E. da. Adubação potássica. In: SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E. **Cerrado**: correção do solo e adubação. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2004. p. 169-184.

ZANCANARO, L.; TESSARO, L. Calagem e adubação. In: ZANCANARO, L.; TESSARO, L. (ed.). **Algodão**: pesquisa e resultados para o campo. Goiânia: Facual, 2006. p. 56-81.