

A SAGA DO DESENVOLVIMENTO AGRÍCOLA NO CERRADO BRASILEIRO

Scheid Lopes, A.⁽¹⁾, L.R. Guimarães Guilherme⁽²⁾, e S.J. Ramos⁽³⁾

Introdução

O avanço do agronegócio brasileiro, que representou 23% do PIB Brasileiro em 2006, tem sido um fato notável na evolução econômica brasileira nas últimas três décadas (Lopes e Daher, 2008). Um fator chave que regula este progresso agrícola tem sido o uso adequado de técnicas de manejo de nutrientes garantindo a alta produtividade brasileira. Este fato pode ser visualizado no período de 1992 a 2011, onde a área cultivada com culturas de grãos no Brasil aumentou de 35,6 milhões de hectares para 48,6 milhões de hectares (um aumento de 40%), enquanto a produção de grãos aumentou de 68,3 milhões de toneladas para 160,1 milhões de toneladas (230%) e as vendas de fertilizantes cresceram de 9,3 milhões de toneladas para 28,3 milhões de toneladas (300%). Esses números representam taxas geométricas de crescimento anual de 1,93% da área cultivada, 4,77% na produção de grãos, e de 5,55% nas vendas de fertilizantes.

Um dos fatores-chave sobre esta evolução foi a expansão da agricultura e da produção de carne bovina no Cerrado brasileiro, uma área considerada como imprópria para agricultura até o início da década de 60. Norman Borlaug, Prêmio Nobel da Paz, que foi chamado de "pai da Revolução Verde", disse uma vez que "ninguém pensava que estes solos iriam ser algum dia produtivos". O Cerrado brasileiro, com mais de 200 milhões de hectares e um papel enorme na produção agrícola, é o segundo maior bioma brasileiro, com uma biodiversidade significativa que pode ser explorada para a produção de alimentos, rações, fibras e combustível, bem como de madeira, plantas medicinais e ornamentais.

Este artigo apresenta informações sobre a região do Cerrado no Brasil considerando tanto as suas potencialidades quanto as suas limitações, com foco em diversas práticas, incluindo o manejo de nutrientes necessário para superar as limitações de fertilidade de solo e alcançar a bem sucedida produção agrícola na região.



Mapa 1. América do Sul e a região do Cerrado no Brasil (marcado em verde).

Fonte: Adaptado de Lopes e Guilherme, 1994. O Cerrado Brasileiro tem 2,04 milhões de km², 23% do total da área do Brasil.

A região do cerrado no Brasil

A área sob vegetação de Cerrado no Brasil central ocupa 2.040.000 km², ou 23% do país (Mapa 1). Estima-se que 50% desta área é adequada para a agricultura e que 66% desta poderia ser incorporada a produção agrícola/ pecuária/ silvicultura. A precipitação anual varia de 900 a 2.000 mm, normalmente na faixa de 1.000 a 1.400 mm e a temperatura média anual é de 22 °C no sul da região e 27 °C no norte (Goedert, 1989). A maioria dos solos nesta área é bastante

⁽¹⁾ Agrônomo, PhD; Professor emérito, Universidade Federal de Lavras (UFLA), Brasil; Pesquisador emérito, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Brazil. ascheidl@dcs.ufla.br

⁽²⁾ Agrônomo, PhD; Professor associado, UFLA; Pesquisador Bolsista, CNPq. e-mail: guilherm@dcs.ufla.br

⁽³⁾ Agrônomo, Dr.; Pesquisador assistente, Instituto Tecnológico da Vale Mineração. silvio.ramos@vale.com

intemperizada como Latossolos (46%), Argissolos (15%) e Neossolos Litólicos (15%), com sérias limitações para a produção agrícola em termos de baixa fertilidade do solo natural. Estes solos são ácidos e têm baixa disponibilidade de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), boro (B), cobre (Cu), molibdênio (Mo) e zinco (Zn). Adicionalmente, estes solos têm ainda uma alta saturação por alumínio (Al^{3+}) o que os faz tóxicos para a maioria das plantas. Tais solos têm também alta capacidade de fixação de P (Tabela 1).

Além dos problemas químicos, há diversas outras limitações para a produção agrícola na região (Lopes e Guilherme, 1994):

- tipicamente uma temporada de 5 a 6 meses de seca (abril a setembro);
- Períodos de seca de uma a três semanas, regionalmente chamados de "veranicos", durante a estação chuvosa, que estão geralmente associados com altas taxas de evapotranspiração;
- baixa capacidade de retenção de água, mesmo em solos argilosos;
- profundidade de enraizamento limitada de muitas culturas como consequência da toxicidade de Al^{3+} e/ ou a deficiência de Ca nas camadas sub-superficiais do solo.

Estes pontos enfatizam a necessidade de tecnologias de manejo adequadas para incrementar o potencial de aumento da produção agrícola nos solos do Cerrado. Apesar de todos estes problemas, avanços no desenvolvimento agrícola têm ocorrido na região durante as décadas recentes, principalmente ligados a culturas alimentares, pastagens e culturas perenes.

Até os anos 70, a atividade econômica nessas áreas foi baseada na pecuária extensiva, no cultivo de arroz, produção de carvão vegetal e desmatamento.



Mapa 2. Mapa de solos do Brasil e a região do Cerrado (contorno em vermelho). Fonte: Embrapa Solos.

Entretanto, ao longo dos últimos 30 anos a atividade agrícola tem mostrado um desenvolvimento excepcional. Atualmente, cerca de 98,5 milhões de ha são cultivados incluindo 50 milhões de ha com pastagens cultivadas, 30 milhões de ha com pastagens nativas, 15 milhões de ha com culturas anuais e, 3,5 milhões de ha para culturas perenes e florestas. O Cerrado é responsável por mais de 55% da produção brasileira de soja, com rendimentos mais elevados do que a média nacional. Esta região desempenha também um papel muito importante na produção de outras culturas chave e provém 76%

do algodão, 31% do milho, 18% do arroz e 22% do feijão em relação a produção nacional destas culturas. A gama de cultivos agrícolas se expandiu recentemente com a chegada de culturas como sorgo, girassol, cevada, trigo e seringueira assim como frutas e vegetais para a indústria de processamento de alimentos. Na pecuária, os números são bastante significativos, com 42% do rebanho nacional de 176 milhões de bovinos, responsáveis por 55% da produção de carne brasileira (Embrapa, 2012).

O potencial agrícola da região é tão grande que o Dr. Norman Borlaug mencionou o Cerrado brasileiro como a última grande fronteira agrícola do mundo (Borlaug e Dowswell, 1993). Estimativas sugerem que a área pode produzir anualmente 250 milhões de toneladas de grãos, 12 milhões de toneladas de carne e 90 milhões de toneladas de culturas perenes (Macedo, 1995; Lopes e Guilherme, 1994).

Tabela 1. Propriedades químicas de 518 amostras compostas da camada superficial (0-15 cm) sob vegetação de Cerrado

| Propriedades | Área do Cerrado | Propriedades | Área do Cerrado |
|--|-----------------|--|-----------------|
| | % | | % |
| ph em água (<5,0) | 50 | Matéria orgânica % <2,0 | 17 |
| Ca cmol./dm ³ <1,5 | 96 | Zn mg/dm ³ Mehlich 1 <1,0 | 95 |
| Mg cmol./dm ³ <0,5 | 90 | Cu mg/dm ³ Mehlich 1 <1,0 | 70 |
| K cmol./dm ³ <0,15 | 85 | Mn mg/dm ³ Mehlich 1 <5,0 | 37 |
| Al cmol./dm ³ >1,0 | 15 | Deficiência de N | 32 |
| CTC efetiva cmol./dm ³ <4,0 | 97 | Deficiência de S-SO ₄ ²⁻ | 70 |
| Saturação de Al da CTC efetiva >40% | 79 | Deficiência de B | 60 |
| P mg/dm ³ Mehlich 1 <2,0 | 92 | | |

Fonte: Adaptado de Lopes e Cox, 1977; Malavolta e Klemann, 1985.

Consumo de nutrientes na Agricultura Brasileira e na região do Cerrado

O consumo de NPK tem crescido continuamente ao longo dos anos, com um crescimento geométrico anual de 4,9% de 1970 até 2011 (5,40, 3,82 e 5,86% para N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente) (Figura 1). A alta demanda por K está relacionada à expansão da área. A soja, uma cultura que demanda altas doses de K, responde por 35% da participação no mercado de fertilizantes no Brasil, seguida pelo milho e cana-de-açúcar os quais também absorvem altas quantidades de K (Figura 2). Nas últimas duas décadas a intensificação do uso de rotações de cultura com o crescimento exponencial da área de “plantio direto” no Brasil e o acréscimo da produção de culturas com alta extração de K (por exemplo, soja, milho e cana-de-açúcar), tem aumentado significativamente a remoção desse nutriente dos solos brasileiros. Isto é notável porque o K desempenha um papel significativo na melhoria da qualidade das culturas do agronegócio brasileiro, por exemplo, melhorando a qualidade física e química da cana-de-açúcar e a qualidade da fibra de algodão. O K também desempenha um papel importante melhorando a fixação de N na soja e aumentando a qualidade das sementes.

Um dos fatores chaves responsáveis pelo aumento da produção agrícola e a produtividade na região do Cerrado tem sido o aumento na eficiência do uso de fertilizantes, especialmente o N, P e K. Em 1970/71, no início da expansão agrícola do Cerrado Brasileiro, o consumo médio de N, P₂O₅ e K₂O no Brasil era de apenas 7,7; 11,5 e 8,5 kg/ha, respectivamente. A área total cultivada era de 36 milhões de ha e a produção das 16 principais culturas (base seca) era de 52 milhões de toneladas, com um rendimento médio de 1,4 t/ha. Por outro lado, em 2010/2011, o consumo médio de N, P₂O₅ e K₂O foram estimados em 39,9; 52,4 e 49,2 kg/ha, respectivamente, representando um aumento de 5,2; 4,6 e 5,8 vezes o consumo quando comparado com 1970/71.

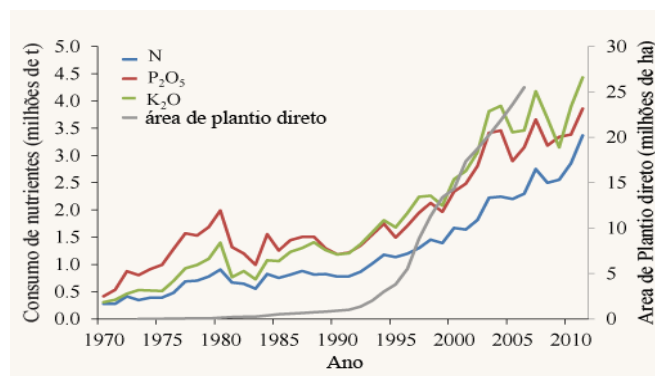


Figura 1. Crescimento do consumo de N, P₂O₅ e K₂O na agricultura brasileira de 1970 a 2011, plotado junto com a expansão da área de plantio direto no Brasil de 1973 a 2006.

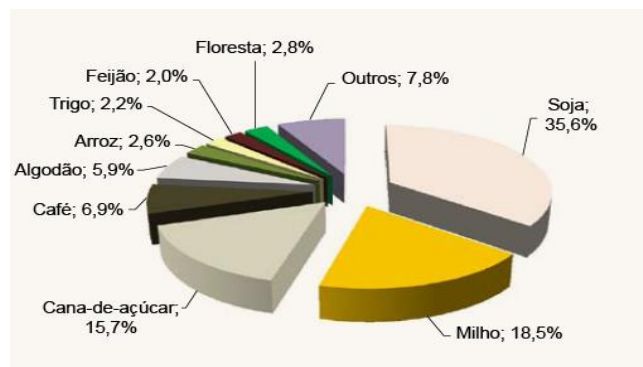


Figura 2. Mercado brasileiro de fertilizantes dividido por cultura em 2011. Fonte: ANDA.

A área cultivada atingiu 64 milhões de ha em 2009/2010, com uma produção total de 258 milhões de toneladas das 16 principais culturas e um rendimento de 4,0 t/ha. Estes dados indicam um aumento de 1,8 vezes da área cultivada com aumento correspondente de 2,9 vezes no rendimento (1,4-4,0 t/ha), levando a um aumento da produção total de cerca de 5 vezes. A área estimada poupada devido a este aumento de rendimento - que tem muito a ver com o uso adequado

de nutrientes - equivale a 77 milhões de hectares ou, a área equivalente à metade do Estado do Amazonas no Brasil.

Estes dados revelam também que o K foi o nutriente com o maior aumento no uso, especialmente nos dois últimos plantios (2010/11) no Brasil (Figura 1). Na verdade, ao comparar os dados de consumo total de nutrientes de 2011 com o de 1970, houve um aumento de 14,4 vezes no consumo de K₂O durante este período, com um crescimento médio anual de 6,5%, seguido por um aumento de 12,2 vezes no consumo de N e, 9,3 vezes de aumento no consumo de P₂O₅, durante o período. Este importante crescimento no consumo de nutrientes ocorreu principalmente nas últimas duas décadas, quando a área de plantio direto começou a se expandir no Brasil, atingindo 25,5 milhões de ha em 2006, muitos dos quais atribuídos a região do Cerrado (11,9 milhões de ha de plantio direto em 2006).

É visível o maior aumento relativo no consumo de K₂O, quando comparado com N e P₂O₅. Enquanto o K contribuiu para o aumento na produtividade e rendimento da agricultura brasileira, a sua utilização adequada no Cerrado demonstrou muitos benefícios adicionais, incluindo a redução do estresse hídrico e térmico, melhoria da qualidade de produtos agrícolas, aumento da síntese proteica, melhor retenção de frutos e, maior fixação de N em leguminosas.

Fertilidade e práticas de manejo do solo

Calagem

A calagem é uma prática de manejo agrícola essencial para culturas não tolerantes a acidez e para corrigir o pH baixo e a toxicidade de Al (Tabela 2). As doses médias de calcário são de 3 t/ha (de 1 a 5), em área total e incorporado o mais profundo possível para ajudar no aumento da profundidade de enraizamento e assim, a tolerância aos veranicos durante a temporada de cultivo. Para as culturas perenes já estabelecidas, pastagens melhoradas e culturas de grãos sob plantio direto ou cultivo mínimo, as doses de calcário são em geral um quarto das doses normais.

Como a maioria desses solos com pH baixo também são deficientes em Ca e Mg, os calcários dolomítico ou magnésiano (classificação esta não mais existente na legislação brasileira) são comumente recomendados. O método geralmente utilizado para avaliar a necessidade de calcário na região é o de incremento na saturação por bases onde a dose de calcário é determinada pela seguinte equação:

$$\text{Necessidade de calcário (mt/ha)} = T (V2-V1)/100$$

Onde T = CTC a pH 7,0; V2 = saturação de bases adequada para a cultura e V1 = saturação de bases da CTC a pH 7,0 (Quaggio et al., 1983).

Tabela 2. Balanço econômico do efeito da calagem em três cultivos no Brasil

| Dose de calcário no primeiro ano t/ha | Aumento de produção após calagem | |
|--|----------------------------------|--------------------|
| | Primeiro ano | Período em análise |
| | -----kg/ha----- | |
| Cinco anos com milho | | |
| 3,0 | 422 | 7877 |
| 6,0 | 600 | 11619 |
| 9,0 | 1250 | 13777 |
| Três anos com soja | | |
| 1,5 | 473 | 1746 |
| 3,0 | 513 | 2357 |
| 4,5 | 645 | 2610 |
| Quatro anos com algodão | | |
| 1,5 | 32 | 1072 |
| 3,0 | 245 | 2609 |
| 6,0 | 442 | 4092 |

Fonte: Raij e Quaggio, 1984

Para a maioria das culturas os valores de V2 são 50% e a proporção Ca: Mg deve ser mantida entre 1:1 a 10:1, com um mínimo de 0,5 cmol_c Mg/dm³ (Sousa e Lobato, 2004). Os efeitos residuais destas doses de calcário podem variar de 3 a 5 anos. O calcário deve ser aplicado em área total e incorporado pelo menos 60 a 90 dias antes do plantio ou da aplicação do fertilizante.

Melhoria da acidez do subsolo

Na maioria dos casos as reações benéficas do calcário ocorrem apenas na camada incorporada. Os baixos níveis de Ca e toxicidade de Al podem restringir o enraizamento profundo na camada sub superficial do solo (Lopes, 1983; Goedert, 1987). Sob estas condições, a aplicação de gesso agrícola, subproduto da produção de ácido fosfórico, tem demonstrado ser uma prática eficiente no aumento da profundidade de enraizamento para abaixo da camada de superfície (Foto 1).

É extremamente importante avaliar os parâmetros de acidez (níveis de pH, Ca e Al), na camada superficial (0-20 cm), e a profundidades de 20 a 40 e de 40 a 60 cm. Para culturas perenes, as avaliações devem incluir também a profundidade de 60 a 80 cm. Para as áreas com 0,3 cmol_c Ca/dm³ ou menos e/ou 0,5 cmol_c Al/dm³ ou mais e/ou mais do que 30% de saturação por Al da CTC efetiva nestas camadas sub-superficiais, o uso do gesso agrícola é recomendado para possibilitar o movimento do Ca para abaixo dessas camadas e/ou para reduzir a toxicidade de Al ao longo do perfil do solo (Lopes, 1983; Lopes, 1986).

O parâmetro mais simples para avaliar as doses de gesso é a porcentagem de argila. Duas abordagens são mais comumente usadas:

- Dose de gesso (kg/ha) = 300 + (20 x % argila), desenvolvido por Lopes e Guilherme (1994), para incrementar a camada de 20 a 40 cm.

- Dose de gesso (kg/ha) = 50 x % argila, desenvolvido por Sousa e Lobato (2004), para incrementar a camada de 20 a 60 cm. Para culturas perenes multiplicar os resultados por 1,5.

Melhoria nos rendimentos devido ao uso de gesso nestes solos é principalmente uma consequência da maior profundidade de enraizamento e o uso mais eficiente da água e nutrientes do sub-solo. Respostas agrônômicas pelo uso do gesso têm sido relatadas como: 72, 59, 14, 30 e 80% para milho, trigo, soja, café e alfaça, respectivamente. Respostas significativas têm sido obtidas também com manga, laranja e cana-de-açúcar (Souza, Lobato e Rein, 1995). As doses recomendadas de gesso são geralmente em aplicação superficial, de 60 a 90 dias após calagem. Efeitos residuais permanecem por 5 a 15 anos.

Construção da fertilidade do fósforo

Estes solos têm a disponibilidade extremamente baixa de P. Assim, a construção da fertilidade por esse elemento tem sido um passo crucial para alcançar rendimentos econômicos em um período curto de tempo. O conteúdo disponível médio de P nos solos é de 0,4 mg/dm³ e a capacidade de fixação de P é extremamente alta. Existe uma relação bem definida entre a percentagem de argila uma vez que a maioria desses solos têm argilas de baixa atividade e a dose de P necessária para construir os níveis de fertilidade de P no solo. Em geral, um alto conteúdo de argila significa uma alta capacidade de fixação de P. Consequentemente, solos de textura fina como argila e silte, têm uma maior capacidade de fixação de P que solos arenosos de textura grossa. Argilas do tipo 1:1 (caulinita) têm uma maior capacidade de fixação que argilas tipo 2:1 (montmorilonita, illita, vermiculita). Solos formados sob condições de alta pluviosidade e altas temperaturas, assim como os solos do Cerrado, contêm grandes quantidades de argila cauliniticas e, por isso, têm uma maior capacidade de fixação de P que os solos contendo argilas tipo 2:1. Altas temperaturas e alta pluviosidade também favorecem a formação de óxidos de Fe e Al no solo, os quais contribuem amplamente para a fixação de P aplicado no solo do Cerrado.

Segundo Lopes (1983), para cada um por cento de argila, 3 a 5 kg de P₂O₅ solúvel é demandado, geralmente aplicado em área total no primeiro ano e incorporado através da gradagem antes do plantio, seguido de adubação de manutenção para alcançar a produtividade desejada dentro



Foto 1. Desenvolvimento da raiz do algodão em profundidade sem (esquerda) e com (direita) aplicação de 3t de gesso/ha. Cada quadrado tem 15 x 15cm. Foto de cortesia de D.M.G. Souza. Fonte: Souza e Rein, 2009.

Tabela 3. Taxa de aplicação recomendada para a reconstrução total da fertilidade do P para a região do Cerrado baseado na porcentagem de argila.

| Argila | Nível de P extraível do solo | | | | | |
|--------|--------------------------------------|-------|-------|--------------------|-------|-------|
| | Sistemas de altitude | | | Sistemas irrigados | | |
| | Muito baixo | Baixo | Médio | Muito baixo | Baixo | Médio |
| % | kg P ₂ O ₅ /ha | | | | | |
| <15 | 60 | 30 | 15 | 90 | 45 | 20 |
| 16-35 | 100 | 50 | 25 | 150 | 75 | 40 |
| 36-60 | 200 | 100 | 50 | 300 | 150 | 75 |
| >60 | 280 | 140 | 70 | 420 | 210 | 105 |

*Para fosfatos acidulados: P₂O₅ solúvel em citrato neutro de amônia mais água. Para termofosfatos e escórias alcalinas: P₂O₅ solúvel em 2% de ácido cítrico (relação 1:100). Para fosfato natural reativo: P₂O₅ total.

Fonte: Adaptado de Sousa e Lobato, 2004.

de três anos de incorporação. As recomendações mais detalhadas para a construção da fertilidade com P em áreas de sequeiro ou irrigadas são apresentadas na Tabela 3. Altas doses são demandadas para solos contendo níveis muito baixos de fósforo no solo assim como para solos com alto teor de argila. Se o solo tem um conteúdo de P adequado, então a construção da fertilidade de P não é recomendada.

Outra abordagem comum para a construção gradual do status de P nestes solos é a aplicação um pouco em excesso de P₂O₅ no plantio (30-40 kg/ha acima da quantidade normal para manutenção da cultura). Esta dose deve ser aplicada na linha por cinco a seis anos. Após o P no solo atingir níveis médios a altos, recomenda-se realizar somente a adubação de manutenção. Para culturas de grãos, cana-de-açúcar e café, fertilizantes com P solúvel (por exemplo, superfosfato simples, superfosfato triplo, termofosfato ou rocha fosfática com alta reatividade) foram confirmados como as fontes mais eficientes para uso logo após a calagem.

Devido a pouca reatividade da maioria das rochas fosfáticas brasileiras, estes produtos são normalmente recomendados apenas para aplicação direta na abertura de novas áreas com pastagem de espécies tolerantes a acidez (Smyth e Sanchez, 1982; Goedert e Lobato, 1984; Goedert e Lopes, 1988). Uma vez que a calagem reduz a eficiência agrônômica da rocha fosfática de baixa reatividade ainda mais, o calcário neste caso é recomendado a 1/4 das doses normais (Lopes e Guidolin, 1989).

Tabela 4. Recomendação da construção da fertilidade de K na região do Cerrado.

| Potássio extraível no solo (mg/dm ³) | Interpretação | Construção total | Construção gradual |
|---|-----------------------|------------------|--------------------|
| CTC a pH 7,0 menos que 4,0 cmol _c /dm ³ | | | |
| ----- Kg K ₂ O/ha ----- | | | |
| < 15 | Baixo | 50 | 70 |
| 16-30 | Médio | 25 | 60 |
| 31-40 | Adequado ¹ | 0 | 0 |
| >40 | Alto ² | 0 | 0 |
| CTC a pH 7,0 mais que ou igual a 4,0 cmol _c /dm ³ | | | |
| < 25 | Baixo | 100 | 80 |
| 26-50 | Médio | 50 | 60 |
| 51-80 | Adequado ¹ | 0 | 0 |
| >80 | Alto ² | 0 | 0 |

¹Para solos com níveis adequados de K extraível, doses de K₂O são recomendadas de acordo com o rendimento esperado.

²Para solos com alto nível de K extraível, doses de K₂O de 50% da adubação de manutenção ou extração esperada/ estimada são recomendadas na "última" produção.

Fonte: Adaptado de Sousa e Lobato, 2004.

Construção da fertilidade do potássio

A construção e aumento dos níveis de K é também recomendado para solos com baixo ou médio teor de K extraível. As doses são também estimadas de acordo com a CTC a pH 7,0 (Tabela 4). Solos com CTC a pH 7,0 com valores menores que 4,0 cmol_c/dm³ apresentam um alto potencial de perdas por lixiviação (Mclean e Watson, 1985). Nestas condições, doses acima de 40 kg/ha K₂O precisam ser divididas em aplicações na linha ou aplicadas em área total. Doses para construção total da fertilidade de K para aplicação em área total podem ser também calculadas para se alcançar 3 a 5% da saturação por K na CTC a pH 7,0 (Lopes e Guidolin, 1989).

O papel do potássio no crescimento da cultura da soja

O K é um dos principais nutrientes considerados essenciais para o crescimento da cultura da soja e para o desenvolvimento da produtividade, mesmo esse elemento não sendo componente integrante de nenhuma organela celular ou parte estrutural da planta. É o cátion mais abundante nas plantas e está associado ou envolvido com muitos processos fisiológicos que suportam o crescimento e desenvolvimento vegetal. Relações hídricas, fotossíntese, transporte de assimilados e ativação enzimática são todos afetados pelo potássio (Pettigrew, 2008). Além disso, Mengel (1980) também demonstrou que o transporte de amino ácidos é incrementado pelos altos níveis de K, especialmente o transporte de amino ácidos para o desenvolvimento das sementes.

Com relação à demanda de K₂O para as culturas agrícolas no Brasil, o cultivo de soja está em primeiro lugar, devido à sua elevada área cultivada (cerca de 25 milhões de ha em 2012) (IBGE, 2012).

De acordo com Sacramento e Rosolem (1998), o K desempenha papel importante na nutrição mineral da soja sendo que esse elemento é um dos macronutrientes absorvidos e translocados em maiores quantidades nessa cultura. Um dos sintomas visuais mais óbvios dos níveis

insuficientes do K na planta é a redução no crescimento da planta (Pettigrew e Meredith, 1997). Esta redução na biomassa ocorre porque as plantas de soja, crescendo sob deficiência de K, mostram frequentemente uma nítida diminuição no tamanho e na área foliar (Lana *et al.*, 2002).

Para alcançar ou manter as máximas produtividades, a aplicação suplementar de K₂O é frequentemente exigida, particularmente nos solos de Cerrado. Muitos pesquisadores têm relatado aumento na produtividade em resposta a fertilização potássica. Lana *et al.* (2002) descobriram que a produtividade da soja cultivada sob alta fertilidade de K deveu-se a maior produção de vagens por planta assim como maior número de sementes por vagem. A resposta positiva da produtividade ao K pode também ser atribuída aos aumentos na maioria dos componentes da produtividade, por exemplo, o número de vagens por planta (Lana *et al.*, 2002), o peso individual das sementes (Serafim *et al.*, 2012) e aumento no número de nódulos e, fixação de N em alguns cultivares de soja (Novo *et al.*, 1999). Assim, não apenas promove a produção de carboidratos nas folhas mas, também, incrementa o transporte destes para o sistema radicular para seu uso como fonte de energia para formação de nódulos, com isso estimulando fixação do N₂ (Armstrong, 1998). Além disso, no solo de Cerrado, onde a água é o principal fator limitante para uma bem sucedida produção de soja, o potássio pode suavizar o estresse hídrico devido ao seu papel no controle do turgor celular e da atividade metabólica.

O K desempenha papel no desenvolvimento da qualidade de muitas culturas (Usherwood, 1985). Na soja, Tanaka *et al.* (1995) verificaram que a adubação potássica aumentou o conteúdo de óleo nas sementes. As sementes de soja também contêm isoflavonas, um grupo de fitoquímicos responsáveis por proporcionar benefícios a saúde humana. Yin e Vyn (2004) relatam que a fertilização potássica aumentou a concentração de isoflavonóides nas sementes.

Construção da fertilidade de micronutrientes

O conceito de construção da fertilidade dos solos de cerrado também inclui os micronutrientes. Fertilizantes com micronutrientes podem ser aplicados em área total nos solos com baixa disponibilidade de micronutrientes (Zn, Cu, B, Mn e Mo). Quando os níveis destes micronutrientes estão baixos, recomenda-se uma aplicação em área total de: 2; 2; 6; 0,4 e 6 kg/ha de B; Cu; Mn; Mo e Zn, respectivamente. Essas doses podem ser divididas em três aplicações anualmente no sulco. Em solos com níveis médios de micronutrientes, recomenda-se 25% destas doses de aplicação no sulco. Quando o solo está em níveis elevados de micronutrientes, a aplicação não é recomendada.

Manejo da matéria orgânica

A grande maioria dos solos de Cerrado contém argilas de baixa atividade, teor de matéria orgânica médio e CTC muito baixa, onde mais de 70% da qual é devido à fração orgânica. Em sistemas de manejo que incluem a monocultura com preparo convencional e o uso de corretivos e fertilizantes, a degradação/ diminuição da matéria orgânica é rápida e pode chegar a níveis insustentavelmente baixos após alguns anos de cultivo. Sob estas condições é extremamente importante fazer uso de uma combinação de práticas agrícolas mais sustentáveis para evitar quedas bruscas no teor de matéria orgânica.

Práticas como a rotação de culturas incluindo pastagens melhoradas, adubos verdes, cultivo mínimo ou plantio direto, culturas forrageiras, “mulching” no caso de pequenas propriedades, esterco e aplicação de resíduos de culturas são todas práticas importantes de manejo. O incremento rápido do plantio direto na região nos anos recentes é certamente um fator chave para o desenvolvimento agrícola sustentável.



Foto 2: Brachiaria como planta de cobertura em cultivo de milho.
Fonte: Cortesia de R. Trecenti.

Adubação de manutenção

Em sequência ao programa de construção da fertilidade, programas adequados e balanceados de manutenção são essenciais na manutenção da fertilidade do solo e da otimização potencial da produção da cultura. Adubação de manutenção para os macronutrientes primários é geralmente baseada na produtividade esperada e análises de solo e planta.

Considerações finais

Durante os últimos 50 anos, a região do Cerrado brasileiro mudou de uma área antes considerada marginal para a produção agrícola para uma de alta produtividade; o que pode ser considerado como um ótimo exemplo de revolução agrícola. O grande investimento em pesquisa em vários temas agrônômicos neste período permitiu o desenvolvimento de uma série de estratégias de gestão que possibilitaram o Cerrado brasileiro se tornar uma das regiões mais produtivas do Brasil em termos de produção de grãos, carne bovina, agroenergia bem como reflorestamento. Além disso, a fim de se tornar um exemplo de “agricultura verde”, uma série de tecnologias de manejo mais sustentáveis foram introduzidos nesta região nos últimos anos, incluindo:

- aumento do uso de rotação de culturas e culturas de cobertura (Foto 2);
- plantio direto e/ ou cultivo mínimo: em 1990 os agricultores brasileiros usavam 2,6% do plantio direto no cultivo de seus grãos, hoje são mais de 50%;
- integração da produção lavoura-pecuária e/ou da produção lavoura-pecuária-floresta (Foto 3): o eucalipto é uma das espécies mais utilizadas em sistemas comerciais; entretanto, existem mais de 100 espécies identificadas para sistemas agroflorestais no Cerrado (Schorr, 2001).



Foto 3: Sistema de produção Lavoura-Pecuária-Floresta.
Fonte: Cortesia de R. Trecenti.

Acreditamos que a convivência harmônica do agronegócio e a utilização racional dos recursos naturais da região – objetivando um processo de produção mais sustentável – exigem não apenas mais esforços de pesquisa crescente em relação a várias questões agrônomicas mas, também, ações para afastar vários problemas logísticos. Entre os inúmeros fatores limitantes do crescimento sustentável da produção agrícola na região, dois merecem destaque: infra-estrutura física inadequada e o transporte. O transporte e os problemas logísticos não afetam somente o preço final do produto agrícola mas, também, o fornecimento de insumos a preços competitivos para a agricultura, que, no caso da região do Cerrado, é estratégica, uma vez que a produção sustentável é altamente dependente de um fornecimento adequado de calcário e fertilizantes, entre outros.

Referências

- Armstrong, D.I. 1998. Better Crops with Plant Food 82(3).
- Borlaug, N.E. e C.R. Dowsell. 1998. Fertilizer: to Nourish Infertile Soil that Feeds a Fertile Population that Crowds a Fragile World. Keynote address at the 61st Annual Conference, International Fertilizer Industry Association (IFA), May 24-27, 1993, New Orleans, Louisiana, USA. 18p.
- Embrapa. 2012. Embrapa Cerrados - Apresentação. Disponível: <http://www.cpac.embrapa.br/unidade/apresentacao/>
- Goedert, W.J. 1987. Management of Acid Tropical Soils in Savannas of South America. p. 109-127. *In*: IBSRAM (International Board for Soil Research and Management) Management of Acid Tropical Soils for Sustainable Agriculture: Proceedings of an IBSRAM inaugural workshop. Bangkok, Thailand.
- Goedert, W.J., e E. Lobato, 1984. Avaliação agrônômica de fosfatos em solos de cerrado. R. bras. Ci. Solo, Campinas, SP, 8:97-102.
- Goedert, W.J. 1989. Região dos cerrados: potencial agrícola e política para o seu desenvolvimento. Pesq. agropec. bras., Brasília, DF, Brasil, 24(1):1-17.
- Goedert, W.J. e A.S. Lopes. 1988. Eficiência agrônômica de fertilizantes fosfatados para culturas anuais, perenes, pastagens e reflorestamento. p. 24-29. *In*: Seminário sobre recuperação de fósforo. São Paulo, SP. IBRAFOS.
- IBGE. Levantamento sistemático da produção agrícola. Pesquisa mensal de previsão e acompanhamento das safras agrícolas no ano civil, Agosto 2012. Disponível em http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/lspa_201208.pdf.
- Lana, R.M.Q., O.T. Hamawaki, L.M.L. Lima, e L.A. Zanão jr. 2002. Resposta da soja a doses e modos de aplicação de potássio em solo de cerrado. Bioscience Journal 18:17-23.
- Lopes, A.S. 1983. Solos sob "cerrado": características, propriedades e manejo. Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, Piracicaba, SP, 162 p.
- Lopes, A.S. 1986. Calagem e gesso agrícola. Encontro técnico sobre gesso agrícola. Fósforo/Petrofósforo Belo Horizonte, MG. 58 p. (mimeo).
- Lopes, A.S., e F.R. Cox. 1977. A survey of the soils under cerrado vegetation in Brazil. Soil Science Society of America Journal 41:742-747.
- Lopes, A.S., e E. Daher. 2008. Agronegócio e recursos naturais no cerrado: desafios para uma coexistência harmônica. *In*: Faleiro, F. G.; Farias Nato, A. L. de (ed.). Savanas: desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2008. cap. 5, p. 173-209.
- Lopes, A.S., e J.A. Guidolin. 1989. Interpretação de análise de solos: conceitos e aplicações. ANDA, São Paulo, SP, Boletim Técnico Nº 2, 3ª edição. 64 p.
- Lopes, A.S., e L.R.G. Guilherme. 1994. Solos sob cerrado: manejo da fertilidade para produção agropecuária. ANDA. São Paulo, SP, Boletim Técnico V. 5, 2ª edição. 62p.
- Macedo, J. 1995. Perspectives for the rational use of the Brazilian Cerrados for food production. Planaltina, EMBRAPA- CPAC. 19 p.
- Malavolta, E., e H.I. Kliemann. 1985. Desordens nutricionais no cerrado. Piracicaba: Potafos, 1985. 136 p.
- McLean, E.D., e M.E. Watson. 1985. Soil Measurement of Plant Available Potassium. *In*: Munson, R.D., ed. Potassium in Agriculture. Madison, American Society of Agronomy, p. 277-308.
- Mengel, K. 1980. Effect on Potassium on the Assimilate Conduction to Storage Tissue. Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft 93:353-362.
- Novo, M.C.S.S., R.T. Tanaka, H. A. A. Mascarenhas, N. Bortoletto, P.B. Gallo, J.C.N.A. Pereira, e A.A.T. Vargas. 1999. Nitrogênio e potássio na fixação simbiótica de N₂ por soja cultivada no inverno. Scientia Agricola, 56:143-156.
- Oliveira Neto, S.N., A.B. Vale, A.P. Nacif, M.B. Vilar, e Assis. Sistema agrossilvipastoril integração lavoura, pecuária e floresta. 1ª ed. Viçosa, MG: Sociedade de Investigações Florestais - SIF, 2010. 189 p.
- Pettigrew, W.T. 2008. Potassium Influences on Yield and Quality Production for Maize, Wheat, Soybean and Cotton. Physiologic Plantarum 133:670-681.
- Pettigrew, W.T., e W.R. Meredith jr. 1997. Dry Matter Production, Nutrient Uptake, and Growth of Cotton as Affected by Potassium Fertilization. Journal of Plant Nutrition 20:531-548.
- Quaggio, J.A. 1983. Critérios para calagem em solos do estado de São Paulo. Dissertação de Mestrado, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz," Piracicaba, SP, 76 p.
- Sacramento, L.V.S., e C.A. Rosolem. 1998. Eficiência de absorção e utilização de potássio por plantas de soja em solução nutritiva. Bragantia 57(2):355-365.
- Serafim, Hi. Ono, W.M., Zeviani J.O. Novelino, e J.V. Silva, 2012. Umidade do solo e doses de potássio na cultura da soja, Revista Ciência Agrônômica 43:222-227.
- Schorr, M. 2001, Sistemas agroflorestais para o Brasil. Instituto Anima. 64 p.
- Sousa, D.M.G, de. e E. Lobato, 2004, Cerrado, Correção do solo e adubação. Planaltina, DF, Embrapa Cerrados. 2ª edição, 416 p.
- Sousa, D.M,G, de. e T.A. Rein. 2009. Manejo da fertilidade do solo para culturas anuais:

- experiências no cerrado. *Informações Agronômicas*, Nº 126, Junho 2009. IPNI, Piracicaba, SP, p. 1-7.
- Sousa, D.M.G. de, E. Lobato, e T.A. Rein. 1995. Uso de gesso agrícola nos solos dos cerrados, p. 20. Planaltina, DF, EMBRAPA-CPAC, Circular Técnica nº 32.
- Smyth, T.J., e P.A. Sanchez, 1982. Phosphate Rock Dissolution and Availability in Cerrado Soils as Affected by Phosphorus, Sorption Capacity. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, Wisconsin, USA, 46:339-34.
- Tanaka, R.T., H.A.A. Mascarenhas, M.A.B. Reginato-D'Arce, e P.B. Gallo, 1995. Concentração e produtividade de óleo e proteína de soja em função da adubação potássica e calagem. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 30:463-469.
- Usherwood, N, R. 1985. The Role of Potassium in crop Quality. *In: Munson. RD. (ed.) Potassium in Agriculture*, ASA, CSSA and SSSA, Madison, WI, p. 489-513, 1985.
- Yin, X., e T.J. Vyn. 2004. Critical Leaf Potassium Concentrations for Yield and Seed Quality of Conservation-Till Soybean. *Soil Science Society of America Journal* 68:1626-1634.

Este artigo "A saga do Desenvolvimento agrícola no Cerrado Brasileiro" pode também ser encontrado no website do IPI:

Regional Activities/Latin America