



ARTIGO ORIGINAL

Fabiano André Petter^{1*}
Jodean Alves da Silva¹
Leandro Pereira Pacheco¹
Fernandes Antônio de Almeida¹
Francisco de Alcântara Neto¹
Alan Mario Zuffo¹
Larissa Borges de Lima²

¹Universidade Federal do Piauí – UFPI,
Campus Professora Cinobelina Elvas,
Rod. BR 135, Km 3, 64900-000,
Bom Jesus, PI, Brasil

²Universidade Federal de Goiás – UFG,
74690-900, Goiânia, GO, Brasil

Autor Correspondente:

*E-mail: petter@ufpi.edu.br

PALAVRAS-CHAVE

Adubação
Eficiência agrônômica
Glycine max
Produtividade

KEYWORDS

Fertilization
Agronomic efficiency
Glycine max
Grain yield

Desempenho agrônômico da soja a doses e épocas de aplicação de potássio no cerrado piauiense

Agronomic performance of soybean as a function of potassium in the cerrado of the State of Piauí

RESUMO: A adubação é influenciada pelas condições edafoclimáticas específicas de cada região, sendo que, para algumas regiões, ainda não há uma recomendação de adubação potássica para a soja por parte dos órgãos oficiais de pesquisa, como é o caso do Estado do Piauí. O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência de doses e épocas de aplicação de potássio (K) na cultura da soja no cerrado piauiense. O trabalho foi conduzido a campo em Latossolo Amarelo Distrófico. O delineamento experimental utilizado foi blocos casualizados, com quatro repetições, em esquema fatorial (5×4) + 1, sendo os tratamentos compostos pela combinação de cinco doses de potássio: 30, 60, 90, 120 e 150 kg ha⁻¹ (K₂O) + controle (zero kg ha⁻¹), aplicadas em quatro épocas: 100% no plantio; 50% no plantio e 50% aos 30 dias após a semeadura (DAS); 100% aos 30 DAS; 50% aos 20 DAS e 50% aos 40 DAS. Avaliaram-se as variáveis: altura e fitomassa seca das plantas; teor foliar de K e clorofila; eficiência agrônômica no uso e na recuperação do K; índice de colheita de grãos, e produtividade. Apenas a eficiência agrônômica no uso e na recuperação do K foi influenciada pelas épocas de aplicação de K. Com exceção da fitomassa seca e do teor relativo de clorofila, todas as demais variáveis foram significativamente influenciadas pelas doses de K aplicadas. Fez-se exceção também a eficiência agrônômica no uso do K, que apresentou decréscimo exponencial com as doses. A aplicação de 90 kg ha⁻¹ de K₂O proporcionou maiores incrementos nas demais variáveis.

ABSTRACT: Fertilization is influenced by climatic conditions specific to each region and, for regions such as the State of Piauí, there is still no recommendation of potassium application for soybean by the official research. The objective of this study was to evaluate the efficiency of rates and time of K fertilization for soybean in the cerrado of the State of Piauí. The work was carried out in dystrophic Yellow Latosol. The experimental design used randomized blocks with four replicates in (5×4) + 1 factorial arrangement, with treatments consisting of combinations of five potassium doses, 30, 60, 90, 120 and 150 kg ha⁻¹ (K₂O) + control (zero kg ha⁻¹), implemented in four times: 100% at planting, 50% at planting, and 50% at 30 days after sowing (DAS), 100% at 30 DAS, 50% at 20 DAS and 50% at 40 DAS. The following variables were evaluated: plant height and plant dry weight, foliar K and chlorophyll, agronomic efficiency on use and recovery of K, harvest index and grain yield. Only the agronomic efficiency on use and recovery of K was influenced by K fertilizing times. Except for dry matter and relative chlorophyll content, all other variables were significantly influenced by K doses. Except for the agronomic efficiency of K use, which showed an exponential decrease with K doses increase, the application of 90 kg ha⁻¹ K₂O promoted higher increases on the other variables.

Recebido: 16/04/2012

Aceito: 10/07/2012

1 Introdução

O cerrado piauiense, considerado por muitos como a última fronteira agrícola desse Bioma, vem se destacando no cenário nacional como uma região de grande potencial de produção de grãos, principalmente com a cultura da soja. No Piauí, a safra de soja em 2010/2011 teve uma área plantada de 389 mil ha, com estimativas de produção de 1.167,3 mil t e com uma média de produtividade de 3.000 kg ha⁻¹ (CONAB, 2011). Com a crescente expansão de área cultivada, há também um aumento da demanda por fertilizantes, dentre os quais se podem destacar os fertilizantes potássicos.

Os solos da região dos cerrados, de maneira geral, se caracterizam por apresentar elevada acidez, baixa saturação por bases e elevada saturação por alumínio (WATANABE et al., 2005). No caso específico do cerrado piauiense, além das características mencionadas, a maior parte dos solos desse Bioma, que se localiza nos platôs, apresenta baixos teores de argila e baixa capacidade de troca catiônica (CTC), principalmente em função de baixos teores de matéria orgânica (MO), que para estes solos pode representar até 80% da CTC (PACHECO; PETTER, 2011). Todas essas características elevam o potencial de perdas de potássio por lixiviação.

O potássio (K) é o segundo elemento mais absorvido pelas plantas e sua reserva mineral nos solos da região dos cerrados, que são bastante intemperizados (SILVA et al., 2008), é muito pequena, insuficiente para suprir as quantidades extraídas pelas culturas por cultivos sucessivos. A contribuição de todos esses fatores faz com que o manejo da adubação potássica (fonte, doses, métodos e épocas de aplicação) seja de grande importância para a manutenção e a melhoria da produtividade das culturas (VILELA et al., 2007).

Embora as metodologias existentes para a estimativa da disponibilidade de potássio nas plantas e no solo tenham sido aprimoradas nos últimos anos, evidências apontam para problemas no estabelecimento das concentrações e doses adequadas a serem aplicadas, principalmente em função da ampla variação mineralógica dos solos (KAMINSKI et al., 2007). Ademais, segundo Petter et al. (2012), a eficiência no uso de fertilizantes está intimamente associada às condições edafoclimáticas de cada região, afetando assim a dinâmica do uso dos fertilizantes.

A ocorrência de veranicos, comumente verificados na região dos cerrados, é um dos fatores que compõem as condições edafoclimáticas mais importantes no manejo da adubação potássica, principalmente porque a disponibilidade de K para as plantas depende da mobilidade deste no solo. Esta se dá quase que exclusivamente por difusão, processo que é altamente dependente de umidade no solo.

Normalmente, a adubação com potássio na cultura da soja tem sido realizada no sulco de plantio (BERNARDI et al., 2009); todavia, em razão do efeito salino e da alta solubilidade dos sais potássicos comumente utilizados, essa prática tem acarretado muitas vezes redução do poder germinativo das sementes, principalmente em condições de déficit hídrico e elevadas perdas por lixiviação, em condições de excesso de precipitação.

O desenvolvimento de modelos para o diagnóstico da fertilidade do solo e a recomendação de doses econômicas

e ambientalmente adequadas de fertilizantes para as diferentes culturas e os tipos de solo ainda é complexo (RHEINHEIMER et al., 2007). Este fato pode ser comprovado pelos resultados divergentes (FOLONI; ROSOLEM, 2008; BERNARDI et al., 2009) quanto à resposta da soja à aplicação de K na região dos cerrados.

O Estado do Piauí ainda não apresenta, por parte de órgãos de pesquisa, uma recomendação técnica ou uma aproximação para a recomendação do uso de fertilizantes potássicos.

O objetivo foi avaliar a eficiência de doses e épocas de aplicação do potássio no desenvolvimento e na produtividade da soja no cerrado piauiense.

2 Material e Métodos

O experimento foi conduzido a campo na Serra do Quilombo, na safra agrícola 2010/2011, no município de Bom Jesus-PI, em solo classificado como Latossolo Amarelo Distrófico – LAd, textura franco argilo arenosa, com os seguintes valores texturais: Argila: 280 g kg⁻¹; Silte: 80 g kg⁻¹; Areia: 640 g kg⁻¹. A composição química do solo encontra-se na Tabela 1. O experimento foi conduzido em área cultivada com monocultura da soja havia oito anos e que vinha recebendo aplicações anuais de 500 kg ha⁻¹ de fertilizante NPK 00-20-20.

O clima da região é do tipo Aw, segundo a classificação climática global de Köppen, com duas estações bem definidas, sendo uma seca, que vai de maio a setembro, e outra chuvosa, que vai de outubro a abril. Os dados de precipitação e temperatura ocorridas durante a condução do experimento encontram-se na Figura 1.

A semeadura direta da soja (cultivar Monsoy 9350) foi realizada no dia 5 de dezembro de 2010, distribuindo-se 13 sementes por metro linear, em espaçamento de 0,5 m entre linhas e profundidade de semeadura de 2-3 cm. A adubação de base no ato do plantio foi constituída pela aplicação de 400 kg ha⁻¹ de superfosfato simples.

O delineamento experimental utilizado foi blocos casualizados, com quatro repetições, em esquema fatorial (5 × 4) + 1, sendo os tratamentos compostos pela combinação de cinco doses de potássio – 30, 60, 90, 120 e 150 kg ha⁻¹ (K₂O) + controle (zero kg ha⁻¹) – aplicadas em quatro épocas: 100% no plantio; 50% no plantio e 50% aos 30 dias após a semeadura (DAS); 100% aos 30 DAS; 50% aos 20 DAS e 50% aos 40DAS, utilizando como fonte cloreto de potássio. Cada parcela foi composta por dez fileiras espaçadas em 0,5 m

Tabela 1. Composição química do solo (0-20 cm) da área experimental antes da instalação do experimento.

pH	P (Melich)	K	Ca	Mg	Al	H + Al	M.O. ¹
H ₂ O	mg dm ⁻³				cmol _c dm ⁻³		g dm ⁻³
5,0	36,4	77,0	2,1	0,4	0,2	4,6	14,0
V ²	CTC ³	Fe	B	Mn	Zn	Cu	S
%	cmol _c dm ⁻³				mg dm ⁻³		
37	7,3	129	0,3	8,5	3,7	1,4	8,0

¹M.O.: matéria orgânica; ²V: saturação por bases; ³CTC: capacidade de troca catiônica.

e com 5 m de comprimento, totalizando 25,00 m², sendo a área útil para as avaliações de 12,00 m². Para a aplicação dos tratamentos, foram realizadas distribuições manuais a lanço.

Os tratos culturais (controle de plantas daninhas, pragas e doenças) anteriores e posteriores ao plantio foram os recomendados para a região e para a variedade, e de acordo com as necessidades da cultura.

Em plena floração, foram avaliados: a altura e a fitomassa seca das plantas, tomando-se cinco plantas por parcela; o teor de K nos tecidos foliares, coletando-se cinco trifólios por parcela, e o teor de clorofila, utilizando-se clorofilômetro (clorofilLOG CFL 1030), com avaliação em três pontos da folha central, do terceiro trifólio do ápice para a base caulinar. Por ocasião da colheita, avaliaram-se a palha e a produtividade de grãos, com padronização de umidade a 14%. Para a determinação da fitomassa seca, as plantas foram levadas à estufa de circulação forçada a 65 °C, por 72 horas; para a determinação dos teores de K no tecido vegetal, amostras do material seco – posteriormente triturado em moinho tipo “Willey”, com peneira 20 “mesh” – foram digeridas em solução nitro-perclórica e determinadas por fotometria de chama.

A partir dos dados de produtividade e teores de potássio nas folhas, determinou-se a eficiência no uso do K, por meio das fórmulas (Equações 1 e 2):

$$(EA) = (PG_{cf} - PG_{sf}) / (QN_a), \text{ em kg kg}^{-1} \quad (1)$$

em que: EA = eficiência agrônômica; PG_{cf} = produtividade de grãos com fertilizante potássico; PG_{sf} = produtividade de grãos sem fertilizante potássico; QN_a = quantidade do nutriente aplicado (kg).

$$(ERK) = (AK_{ca} - AK_{cna}) / (QK_a) \times 100, \text{ em \%} \quad (2)$$

em que: ERK = eficiência na recuperação do K; AK_{ca} = absorção do K pela cultura adubada; AK_{cna} = absorção pela cultura não adubada; QK_a = quantidade de nutriente aplicado × 100.

Determinou-se também o índice de colheita de grãos (ICG) da seguinte forma: ICG = produtividade de grãos/produtividade de grãos + palha.

Os resultados qualitativos obtidos foram submetidos à análise de variância por meio do teste de Tukey a 5% de

significância, utilizando-se o programa estatístico Sisvar 5.3. Os dados quantitativos (doses) foram avaliados por meio de análise de regressão, em que as equações foram ajustadas utilizando-se os parâmetros de correlação e determinação para as variáveis avaliadas, em função das doses de aplicação do fertilizante potássico, empregando o programa estatístico SigmaPlot.

Também foi determinada a máxima eficiência técnica (MET), em que, a partir da primeira derivada de cada equação de regressão e igualando-as a zero, obteve-se o ponto de máxima dose de K. Os valores obtidos foram substituídos em suas equações principais e, então, chegou-se aos valores de MET. Para a determinação da máxima eficiência econômica (MEE), igualou-se a derivada de cada equação de regressão à relação entre preço do nutriente e preço do produto.

3 Resultados e Discussão

Com exceção da eficiência agrônômica (EA) e eficiência na recuperação do K (ERK), as demais variáveis não foram significativamente influenciadas pelas épocas de aplicação de K (Tabela 2). Esses resultados diferem dos obtidos por Lana et al. (2002) para altura e fitomassa seca de plantas de

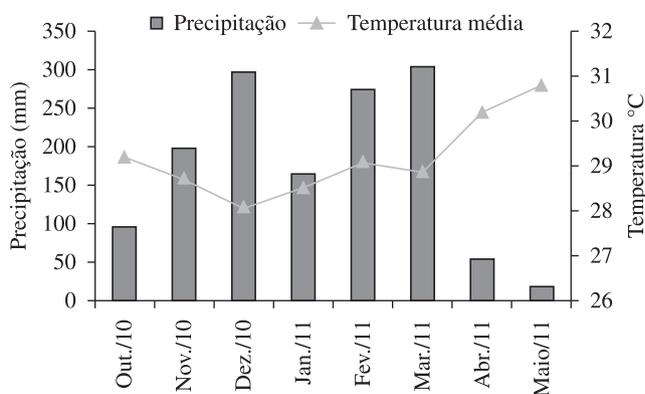


Figura 1. Precipitação e temperatura média ocorridas em Bom Jesus-PI, durante a condução do experimento.

Tabela 2. Características agrônômicas e fisiológicas da soja em função das épocas de aplicação de potássio.

Época	Altura plantas	Fitomassa seca	K folhas	Clorofila total*
	(cm)	(g 5 plantas ⁻¹)	(g kg ⁻¹)	
100% no plantio	62,6 ^{ns}	95,0 ^{ns}	12,0 ^{ns}	46,2 ^{ns}
50% plantio + 50% 30 DAS	63,2	91,4	12,3	45,3
100% 30 DAS	62,7	94,7	12,6	46,5
50% 20 DAS + 50% 40 DAS	63,4	94,2	12,7	45,1
Época	Eficiência	Eficiência	ICG	Produtividade
	Agrônômica (kg kg ⁻¹)	Recuperação K (%)		
100% no plantio	6.0 b	24 b	0,72 ^{ns}	3.714 ^{ns}
50% plantio + 50% 30 DAS	8.9 a	35 a	0,75	3.815
100% 30 DAS	10.5 a	33 a	0,80	3.867
50% 20 DAS + 50% 40 DAS	9.0 a	39 a	0,74	3.707

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey; ^{ns}: não significativo; DAS: dias após a semeadura; *teor relativo de clorofila total; ICG: índice de colheita de grãos.

soja, todavia corroboram com os obtidos por Vale e Prado (2009) para teor de K e clorofila total. Note-se que para a produtividade, os resultados são contraditórios, uma vez que alguns autores (FOLONI; ROSOLEM, 2008) verificaram resposta para a produtividade em função de épocas de aplicação e outros, não (BERNARDI et al., 2009).

A inexistência do efeito significativo das épocas de aplicação de K nos parâmetros citados pode ser atribuída à utilização, pela cultura da soja, das reservas de K-trocável do solo, uma vez que os níveis de K no solo estavam acima de 70 mg dm^{-3} , dentro da faixa considerada ótima para a região dos cerrados (Tabela 1). Para essas condições de solo no cerrado piauiense, a escolha de se fazer a aplicação do K de forma parcelada ou total no plantio deve ser em função dos custos e/ou da otimização das operações de aplicação. Todavia, outro aspecto a ser considerado deve ser a possibilidade de ocorrência de períodos de déficit hídrico próximos ao plantio, o que poderá ocasionar redução da germinação quando utilizadas doses elevadas de K_2O , principalmente em função do efeito salino do sal cloreto.

A aplicação da dose total de K no plantio proporcionou menor eficiência agrônômica e menor eficiência na recuperação do K (Tabela 2). Esses dados estão de acordo com os obtidos por Bernardi et al. (2009), que verificaram maior eficiência agrônômica no uso do K com duas aplicações parceladas, a lanco, em cobertura. Segundo esses autores, tal efeito se deve à maior eficiência de extração pelas plantas e à menor perda, principalmente por lixiviação. Mesmo não havendo efeito significativo das épocas sobre a produtividade, a eficiência agrônômica e a eficiência na recuperação do K refletem uma maior eficiência econômica no uso do K, podendo os custos de produção ser reduzidos em função do manejo de adubação.

Considerando-se a máxima produtividade estimada neste estudo, que é de 3.961 kg ha^{-1} (Figura 5a), as doses necessárias para atingir esse teto em função da eficiência agrônômica no uso do K foram: 106 kg ha^{-1} , 72 kg ha^{-1} , 60 kg ha^{-1} e 71 kg ha^{-1} de K_2O , para aplicações em 100% no plantio; 50% plantio + 50% aos 30 DAS; 100% aos 30 DAS; 50% aos 20 DAS + 50% aos 40 DAS, respectivamente. Para as condições em que foi realizado o estudo, as aplicações em cobertura representam uma economia no uso de fertilizantes de aproximadamente 36%, quando comparada à da aplicação no plantio. Não obstante os custos das operações de aplicação de K em cobertura sejam equivalentes ao retorno, o produtor deve assim mesmo considerar os benefícios ambientais do menor uso do fertilizante.

Apesar de as doses de K terem influenciado significativamente a altura de plantas, o mesmo não foi verificado para a fitomassa seca (Figura 2). Para ambos os parâmetros, houve comportamento semelhante, em que as equações de regressão se ajustaram ao modelo quadrático das curvas; todavia, apenas os parâmetros da equação de altura de plantas foram significativos. Os dados evidenciam maior altura de plantas na dose de 90 kg ha^{-1} de K_2O . Esses resultados estão de acordo com os verificados por Lana et al. (2002), em que a aplicação de 90 kg ha^{-1} de K_2O proporcionou maior altura de plantas de soja.

Houve incremento linear significativo nas concentrações de K nas folhas de soja à medida que doses crescentes de

K_2O foram aplicadas (Figura 3a). Todavia, esse aumento nas concentrações de K nas folhas não influenciou o teor relativo de clorofila total (Figura 3b), evidenciando não haver correlação direta entre níveis de K nas folhas e síntese de clorofila. Aumento no teor de K em plantas de soja também foi verificado por Serafim et al. (2012) com a aplicação de doses crescentes de cloreto de potássio. Já para os teores de clorofila, esses dados corroboram com os obtidos por Sousa et al. (2010), que não verificaram efeito da aplicação de K nos teores de clorofila em plantas de milho e feijão respectivamente.

Correlação direta dos teores de clorofila com níveis de nitrogênio nos tecidos foliares tem sido verificada em diversas culturas, sendo que alguns autores (FERREIRA et al., 2006) têm utilizado o índice SPAD como forma de determinar o estado nutricional da planta quanto aos níveis de N e na recomendação de adubação nitrogenada.

Enquanto o nitrogênio participa diretamente na síntese de clorofila (DEBAEKE; ROUET; JUSTES, 2006), o K pode contribuir de forma indireta para os teores relativos de clorofila nas folhas, atuando na melhoria da eficiência no uso do N, em função do incremento na atividade da enzima redutase do nitrato (VENKATESAN; GANAPATHY, 2004), no metabolismo celular como ativador enzimático ou até mesmo no controle osmótico (NELSON; MOTAVALLI; NATHAN, 2005), por meio da regulação do potencial hídrico das células. Para a cultura da soja, este último processo seria mais evidente, principalmente em condições de déficit hídrico, o que não ocorreu durante a condução deste experimento (Figura 1).

No entanto, os dados das medições indiretas de clorofila (medidores portáteis) devem ser tratados com cautela, pois há a possibilidade de aumento nos teores relativos de clorofila, em função da redução na turgescência das células em condições de déficit hídrico; tal condição resultaria em um aumento da concentração de clorofila por unidade de área avaliada e não propriamente aumento na sua síntese. Já o efeito do K sobre a atividade da redutase do nitrato estaria mais associado a aplicações conjuntas com nitrogênio (XU; WOLF; KAFKAFI, 2002), o que para a soja não é comum, em função da fixação biológica do nitrogênio.

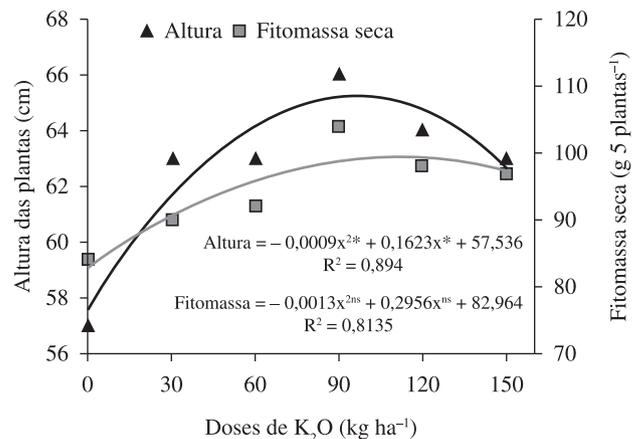


Figura 2. Altura e fitomassa seca de plantas de soja em função de doses de potássio. ns não significativo e *significativo a 5% de probabilidade pelo teste “t” de Student.

As aplicações de K_2O proporcionaram efeito quadrático significativo na eficiência de recuperação do K, sendo 90 kg ha^{-1} de K_2O a dose que proporcionou a máxima eficiência na recuperação, com aproximadamente 43% (Figura 4a). É possível observar na Figura 4a que há uma diferença na recuperação do K muito mais acentuada nas doses de 60 e 90 kg ha^{-1} de K_2O , passando de 23 para 43%. Esses dados demonstram que, em solos de cerrado, com baixos teores de argila e matéria orgânica, a resposta da cultura da soja ao K é tão acentuada quanto à resposta ao P. Segundo Sousa e Lobato (2003), em culturas anuais, com aplicações anuais variando de 0 a 100 kg ha^{-1} de P_2O_5 , a média de recuperação do P é de apenas 35%.

O aproveitamento do nutriente aplicado em uma cultura pode ser demonstrado do ponto de vista fisiológico ou agrônômico, sendo que este último expressa o rendimento agrícola físico,

por unidade de nutriente aplicado. A eficiência agrônômica no uso do K apresentou decréscimo com as aplicações de K_2O (Figura 4b), sendo a equação ajustada de forma exponencial convexa, ou seja, à medida que se aumentam as doses, as respostas em produtividades não seguem a mesma tendência em proporção. A maior eficiência agrônômica no uso do K foi verificada com a aplicação de 30 kg ha^{-1} , indicando que a dose que resultou em maior produtividade (90 kg ha^{-1}) não foi a dose que proporcionou a maior eficiência agrônômica. Esses resultados reforçam e corroboram a lei dos rendimentos decrescentes de Mitscherlich, a qual afirma que à medida que se aumenta a dose de um determinado fertilizante, a resposta em produtividade é reduzida de forma exponencial.

A produtividade foi significativamente influenciada pelas doses de K_2O aplicadas (Figura 5a). A equação se ajustou de maneira quadrática, evidenciando máxima produtividade com

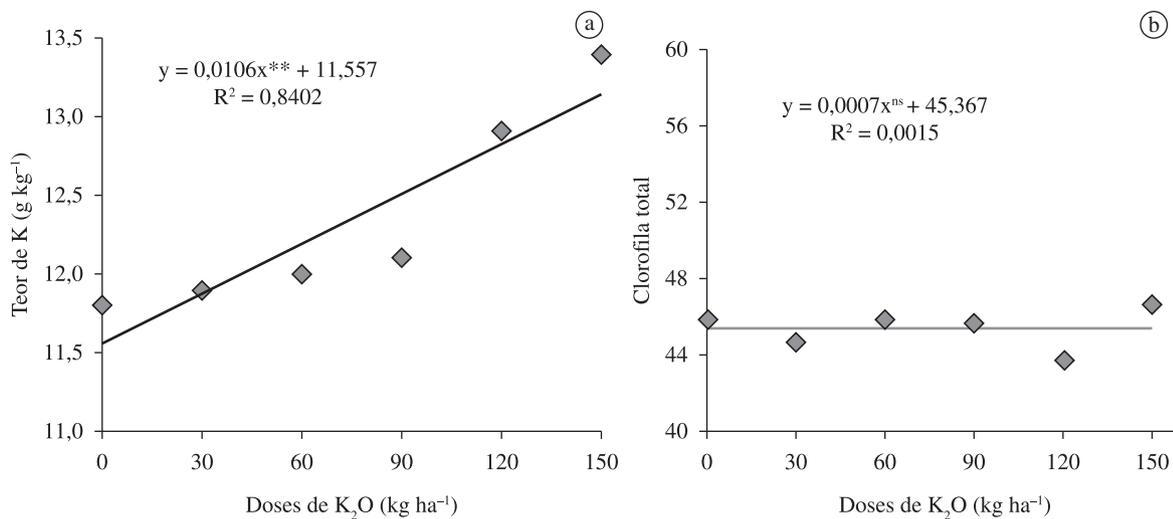


Figura 3. Teor de K (a) e teor relativo de clorofila total (b) nas folhas de soja em função de doses de potássio. ^{ns}não significativo e ^{**}significativo a 1% de probabilidade pelo teste “t” de Student.

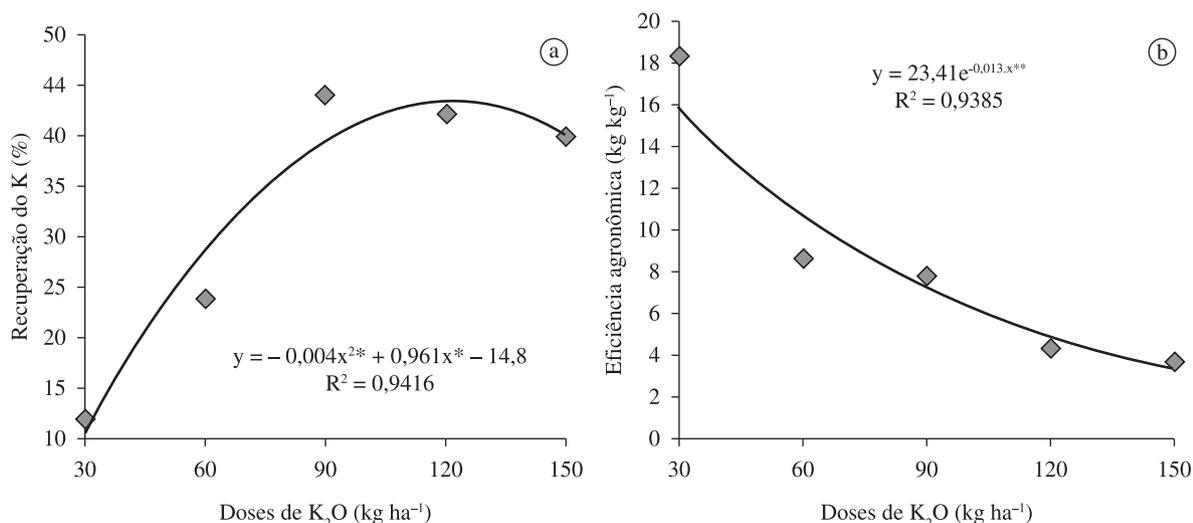


Figura 4. Eficiência na recuperação (a) e eficiência agrônômica no uso do potássio (b) na cultura da soja em função de doses de potássio. ^{**} e ^{*}significativo a 1% e 5% de probabilidade pelo teste “t” de Student.

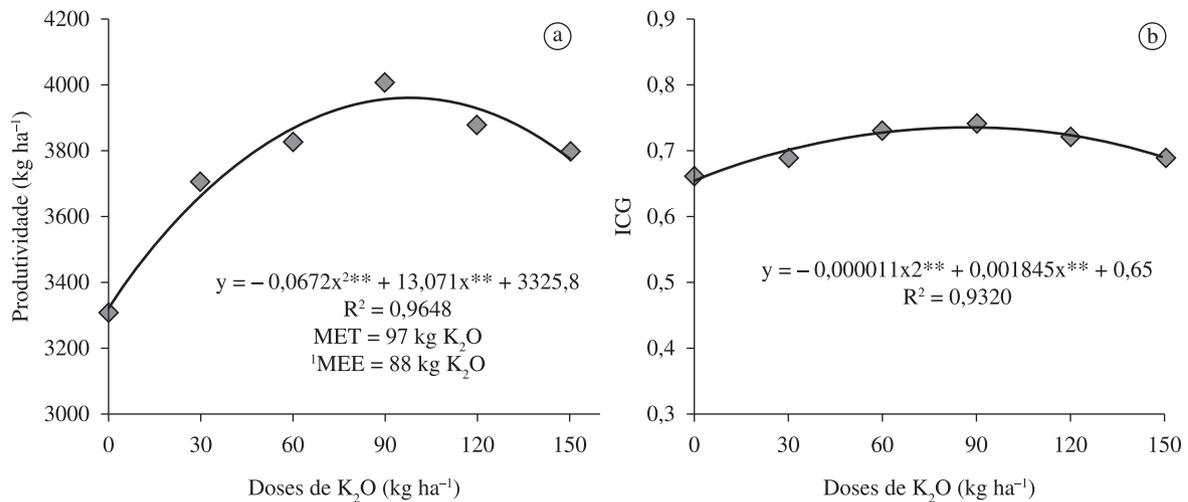


Figura 5. Produtividade (a) e índice de colheita de grãos (ICG) (b) da cultura da soja em função de doses de potássio. MET: máxima eficiência técnica. MEE: máxima eficiência econômica. ** e *: significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste “t” de Student. ¹Cálculo pelos preços em Bom Jesus-PI, na safra 2010/2011: K₂O = R\$ 0,84 kg⁻¹; soja = R\$ 0,66 kg⁻¹.

a aplicação de 90 kg ha⁻¹ de K₂O. A máxima produtividade ou a máxima eficiência técnica (MET) foi de 3.961 kg ha⁻¹, obtida com a dose estimada de 97 kg ha⁻¹ de K₂O. Já a máxima eficiência econômica (MEE) foi obtida com a dose de 88 kg ha⁻¹, resultando em uma produtividade estimada de 3.955 kg ha⁻¹. Resultados semelhantes foram obtidos por Lana et al. (2002), que verificaram maior produtividade da soja em solos de cerrado com baixo teor de K, com a aplicação de 90 kg ha⁻¹ de K₂O. Similarmente, Foloni e Rosolem (2008) verificaram maiores produtividades de soja com aplicações de 90 kg ha⁻¹ de K₂O em solo com médio teor de K. Adicionalmente, Gonçalves Júnior et al. (2010) verificaram maior produtividade da soja com aplicação de 120 kg ha⁻¹ de K₂O em solos com médio teor de K. No entanto, Bernardi et al. (2009) não verificaram efeito da aplicação de K₂O em solo com teor de K classificado de médio a alto.

Ficam claramente evidenciados os resultados controversos, quanto às épocas de aplicação e às doses de K a serem utilizadas em solos na região dos cerrados. Esses resultados reforçam a necessidade de se definir a adubação potássica em função das condições edafoclimáticas específicas de cada região, não podendo extrapolar recomendações de fertilizantes de outras regiões, mesmo que dentro do mesmo bioma.

A ausência de efeito crescente verificado na produtividade com aplicações acima de 90 kg ha⁻¹ de K₂O pode estar associada ao desbalanço nutricional do K com Ca e Mg. A absorção de elevadas quantidades de K pode reduzir a absorção ou a disponibilidade fisiológica de Ca e Mg. Outra explicação estaria no fato da baixa eficiência agrônoma no uso do K nas doses acima de 90 kg ha⁻¹ (Figura 4b), o que pode ser atribuído principalmente às perdas de K por lixiviação em função da baixa CTC e do teor de M.O. do solo em estudo.

Diante disso, os teores de K no solo não devem ser analisados, por si só, para a recomendação de fertilizantes, devendo ser considerados os teores de Ca e Mg. Considerando-se a

equação adaptada de Castro e Meneghelli (1989), em que a classe de resposta de um solo à adubação potássica é em função do equilíbrio entre as bases – ou seja, resposta a $K = K/\sqrt{(Ca + Mg)}$ (cmol_c dm⁻³) –, o solo do presente estudo apresenta alta capacidade de resposta. Nesse sentido, pode ser explicada, em parte, a resposta da cultura da soja à aplicação de K neste estudo, mesmo com os teores de K no solo se enquadrando como médio (77 mg dm⁻³), pela classificação dos solos de cerrados para culturas anuais.

O índice de colheita de grãos (ICG) seguiu a mesma tendência do acúmulo de fitomassa seca e da produtividade, sendo a equação ajustada de forma quadrática, em que o maior ICG foi proporcionado com a dose de 90 kg ha⁻¹ de K₂O (Figura 5b). Comportamento quadrático no ICG também foi verificado por Sant’Ana, Santos e Silveira (2011) para a cultura do feijoeiro, com aplicações de N. O ICG expressa a eficiência da cultura em converter a fitomassa em produtividade de grãos. De acordo com Fageria e Santos (2008), há correlação positiva entre ICG e produtividade. As variabilidades do ICG e da produtividade em função das doses de K foram 93% e 96%, respectivamente. O máximo valor de ICG estimado pela equação foi de 0,74, com a dose estimada de 84 kg ha⁻¹ de K₂O. Esses resultados demonstram que houve boa translocação de fotoassimilados das folhas para os grãos, ou seja, a eficiência de conversão de fitomassa em grãos foi satisfatória.

4 Conclusões

Aplicações de K em cobertura em solos do cerrado piauiense proporcionam maior eficiência agrônoma e eficiência na recuperação do K.

Não há incremento nos teores relativos de clorofila e fitomassa seca em função das doses e épocas de aplicação de K.

Os maiores valores de índice de colheita de grãos, recuperação do K e produtividade são verificados com a aplicação de 80 a 90 kg ha⁻¹ de K₂O.

Referências

- BERNARDI, A. C. C.; OLIVEIRA JÚNIOR, J. P.; LEANDRO, W. M.; MESQUITA, T. G. S.; FREITAS, P. L.; CARVALHO, M. C. S. Doses e formas de aplicação da adubação potássica na rotação soja, milho e algodão em sistema plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 39, p. 158-167, 2009.
- CASTRO, A. F.; MENEGHELLI, N. A. As relações $K^+/(Ca^{2+}+Mg^{2+})^{1/2}$ e $+(Ca^{2+}+Mg^{2+})$ no solo e as respostas a adubação potássica. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 24, p. 751-760, jun. 1989.
- COMPANHIA NACIONAL E ABASTECIMENTO – CONAB. *Acompanhamento da safra 2011*. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/safras.asp>>. Acesso em: jun. 2011.
- DEBAEKE, P.; ROUET, P.; JUSTES, E. Relationship between the normalized SPAD index and the nitrogen nutrition index: application to Durum Wheat. *Journal of Plant Nutrition*, v. 29, p. 75-92, 2006. <http://dx.doi.org/10.1080/01904160500416471>
- FAGERIA, N. K.; SANTOS, A. B. Yield physiology of dry bean. *Journal of Plant Nutrition*, v. 31, p. 983-1004, 2008. <http://dx.doi.org/10.1080/01904160802096815>
- FERREIRA, M. M. M.; FERREIRA, G. B.; FONTES, P. C. R.; DANTAS, J. P. Índice SPAD e teor de clorofila no limbo foliar do tomateiro em função de doses de nitrogênio e da adubação orgânica, em duas épocas de cultivo. *Revista Ceres*, v. 53, p. 83-92, 2006.
- FOLONI, J. S. S.; ROSOLEM, C. A. Produtividade e acúmulo de potássio na soja em função da antecipação da adubação potássica no sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, p. 1549-1561, 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000400019>
- GONÇALVES JÚNIOR, A. C.; NACKE, H.; MARENGONI, N. G.; CARVALHO, E. A.; COELHO, G. F. Produtividade e componentes de produção da soja adubada Com diferentes doses de fósforo, potássio e zinco. *Ciência e agrotecnologia*, v. 34, p. 660-666, 2010.
- KAMINSKI, J.; BRUNETTO, G.; MOTERLE, D. F.; RHEINHEIMER, D. S. Depleção de formas de potássio do solo afetada por cultivos sucessivos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 31, n. 3, p. 1003-1010, 2007. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832007000500017>
- LANA, R. M. Q.; HAMAWAKI, O. T.; LIMA, L. M. L.; ZANÃO JÚNIOR, L. A. Resposta da soja a doses e modos de aplicação de potássio em solo de cerrado. *Bioscience Journal*, v. 8, p. 17-23, 2002.
- NELSON, K. A.; MOTAVALLI, P. P.; NATHAN, M. Response of No-Till Soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] To Timing of Preplant and Foliar Potassium Applications in a Claypan Soil. *Agronomy Journal*, v. 97, n. 03, p. 832-838, 2005. <http://dx.doi.org/10.2134/agronj2004.0241>
- PACHECO, L. P.; PETTER, F. A. Benefits of Cover Crops in Soybean Plantation In Brazilian Cerrados. In: NG, T. B. (Ed.). *Soybean – Applications and Technology*. 2011. p. 67-94.
- PETTER, F. A.; PACHECO, L. P.; ALCÂNTARA NETO, F.; SANTOS, G. G. Respostas de cultivares de soja à adubação nitrogenada tardia em solos de cerrado. *Revista Caatinga*, v. 25, p. 67-72, 2012.
- RHEINHEIMER, D. S.; SILVA, L. S.; CERETTA, C. A.; KAMINSKI, J.; PELLEGRINI, J. B. R. Desafios da fertilidade do solo: modelo e interdisciplinaridade. *Boletim Informativo da SBCS*, v. 32, p. 28-36, 2007.
- SANT'ANA, E. V. P.; SANTOS, A. B.; SILVEIRA, P. M. Eficiência de uso de nitrogênio em cobertura pelo feijoeiro irrigado. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 15, n. 5, p. 458-462, 2011.
- SERAFIM, M. E.; ONO, F. B.; ZEVIANI, W. M.; NOVELINO, J. O.; SILVA, J. V. Umidade do solo e doses de potássio na cultura da soja. *Revista Ciência Agronômica*, v. 43, p. 222-227, 2012.
- SILVA, V. A.; MARCHI, G.; GUILHERME, L. R. G.; LIMA, J. M.; NOGUEIRA, F. GUIMARÃES, P. T. G. Kinetics of K release from soils of Brazilian coffee regions: effect of organic acids. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, p. 533-540, 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000200008>
- SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. *Adubação fosfatada em solos da região do Cerrado*. Piracicaba: Potafós, 2003. 16 p. (Informações Agronômicas, n. 102).
- SOUSA, J. V.; RODRIGUES, C. R.; LUZ, J. M. Q.; CARVALHO, P. C.; RODRIGUES, T. M.; BRITO, C. H. Silicato de potássio via foliar no milho: fotossíntese, crescimento e produtividade. *Bioscience Journal*, v. 26, p. 502-513, 2010.
- VALE, D. W.; PRADO, R. M. Adubação com NPK e o estado nutricional de 'citrumelo' por medida indireta de clorofila. *Revista Ciência Agronômica*, v. 40, p. 266-271, 2009.
- VILELA, L.; SOUZA, D. M. G.; MARTHA JUNIOR, G. B. Adubação potássica e com micronutrientes. In: MARTHA JUNIOR, G. B.; VILELA, L.; SOUZA, D. M. G. *Cerrados: uso eficiente de corretivos e fertilizantes em pastagens*. Planaltina: *Embrapa Cerrados*, 2007. p. 179-188.
- WATANABE, R. T.; FIORETTO, R. A.; FONSECA, I. B.; SEIFERT, A. L.; SANTIAGO, D. C.; CRESTE, J. E.; HARADA, A.; CUCOLOTTO, M. Produtividade da cultura da soja em função da densidade populacional e da porcentagem de cátions (Ca, Mg e K) no complexo sortivo do solo. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 26, n. 4, p. 477-484, 2005.
- XU, G.; WOLF, S.; KAFKAFI, U. Ammonium on potassium interaction in sweet pepper. *Journal of Plant Nutrition*, v. 25, p. 719-734, 2002. <http://dx.doi.org/10.1081/PLN-120002954>
- VENKATESAN, S.; GANAPATHY, M. N. K. Nitrate reductase activity in tea as influenced by various levels of nitrogen and potassium fertilizers. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v. 35, p. 1283-1291, 2004. <http://dx.doi.org/10.1081/CSS-120037546>