

Doses e épocas de aplicação de potássio no desempenho agrônômico do milho no cerrado piauiense

Fabiano André Petter^{1*}, Fabricio Ribeiro Andrade², Alan Mario Zuffo³,
Marinete Martins de Sousa Monteiro⁴, Leandro Pereira Pacheco⁵, Fernandes Antônio de Almeida⁶

¹Universidade Federal de Mato Grosso, Sinop, MT, Brasil

²Instituto Federal de Mato Grosso, Juína, MT, Brasil

³Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Dourados, Brasil

⁴Universidade Federal do Piauí, Bom Jesus, PI, Brasil

⁵Universidade Federal de Mato Grosso, Rondonópolis, MT, Brasil

⁶Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, PB, Brasil

*Autor correspondente, e-mail: petter@ufmt.br

Resumo

Por se tratar de uma fronteira agrícola relativamente nova, o cerrado piauiense ainda necessita de informações quanto ao manejo de adubação potássica, uma vez que, ainda não há uma recomendação técnica de adubação para o milho por parte dos órgãos oficiais de pesquisa. Assim, objetivou-se com esse trabalho avaliar a eficiência de doses e épocas de aplicação de K_2O na cultura do milho 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 $(4 \times 4) + 1$, sendo os tratamentos compostos pela combinação de quatro doses de potássio: 30, 60, 90 e 120 kg de K_2O ha^{-1} + testemunha adicional (zero kg de K_2O ha^{-1}), aplicadas em quatro épocas: 100% na semeadura; 100% aos 30 dias após a semeadura (DAS); 50% na semeadura e 50% 30 DAS; 50% 20 DAS e 50% 40 DAS. Apenas a altura, o diâmetro caulinar e a eficiência agrônômica no uso do K^+ foram influenciados pelas épocas de aplicação de K^+ , com destaque positivo para a aplicação de 50% na semeadura e 50% aos 30 DAS. Com exceção do teor relativo de clorofila e comprimento da espiga, todas as demais variáveis foram influenciadas pelas doses de K_2O . A aplicação de K_2O proporcionou maiores incrementos nas demais variáveis, sendo a maior resposta para a produtividade de grãos obtida com 53 kg de K_2O ha^{-1} .

Palavras-chave: *Zea mays* L., manejo, adubação potássica

Doses and time of potassium application on corn agronomic performance cultivated in a 'Cerrado' area at Piauí State, Brazil

Abstract

Since the 'Cerrado' area of Piauí State, Brazil is a relatively new agricultural frontier, there is lack of information regarding the handling of potassium fertilization, since no information about the better fertilization techniques for this area was provided by the federal research corporations. Thus, the aim of this study was to evaluate the effect of dose and time of application of K_2O in corn grown in a 'Cerrado' area at the Piauí state. The experiment was conducted in a yellow dystrophic oxisol with a completely randomized block design, with four repetitions in a $(4 \times 4) + 1$ factorial. The treatments consisted of combinations of four potassium levels: 30, 60, 90 and 120 kg K_2O ha^{-1} + additional control (zero kg ha^{-1}) applied in four seasons: 100% at sowing; 100% at 30 days after sowing (DAS); 50% at sowing and 50% 30 DAS; 50% 20 DAS and 50% at 40 DAS. Only the height, stem diameter and agronomic efficiency of the K use were influenced by the K^+ time of application, especially with the application of 50% at sowing and 50% at 30 DAS. Except for the relative chlorophyll content and ear length, all other variables were influenced by K_2O doses. The application of K_2O resulted in greater increases of other evaluated variables, mainly for the yield obtained when the dose of 53 kg K_2O ha^{-1} was used.

Keywords: *Zea mays* L., management, potassium fertilization

Recebido: 27 Março 2015
Aceito: 13 Junho 2016

Introdução

O milho (*Zea mays* L.) com aproximadamente 140 milhões de hectares é o terceiro cereal mais cultivado no mundo (Fageria et al., 2011). No Brasil a área ocupada pelo cereal na safra 2012/2013 foi de aproximadamente 15,9 milhões de hectares distribuídos no cultivo do milho safra e safrinha (CONAB, 2013). O estado do Piauí responde por aproximadamente 5% da área plantada de milho safra, no entanto, sua participação no cultivo de milho safrinha tem sido praticamente inexistente (CONAB, 2013).

Apesar de incipiente frente a safra brasileira, o cultivo de milho no Cerrado piauiense está em franco processo de expansão, o que vem contribuindo diretamente para o desenvolvimento socioeconômico da região, haja visto que a região apresenta condições edafoclimáticas favoráveis ao cultivo desse cereal (Oliveira Junior et al., 2008). Concomitantemente ao crescimento da área cultivada, há também um aumento no consumo de insumos, dentre os quais, pode-se destacar os fertilizantes, em especial os potássicos.

Entretanto, assim como nas demais regiões do cerrado, os solos desse bioma no estado do Piauí também apresentam de maneira geral, baixa fertilidade natural, elevada acidez, alta saturação por alumínio e baixa saturação por bases, baixa capacidade de troca de cátion (CTC), sendo esta última, devido principalmente aos baixos teores de matéria orgânica (MO) que podem representar a maior parte da CTC (Petter et al., 2012).

No solo, o potássio (K^+) encontra-se disponível na solução, trocável, não trocável e o estrutural (Rabêlo et al., 2013), sendo estes os responsáveis por suprir em parte a demanda das culturas (Otto et al., 2010). Devido à alta solubilidade em água e baixa força de adsorção aos colóides do solo (Duiker & Beegle, 2006), o parcelamento de doses de K_2O acima de 50 kg ha^{-1} é frequentemente recomendado (Foloni & Rosolem, 2008), sobretudo em solos arenosos. Essa prática tem como finalidade aumentar a eficiência no uso do nutriente, reduzir as perdas de K^+ por lixiviação e minimizar o efeito salino do fertilizante sobre as sementes na linha de semeadura (Moterle et al., 2006; Bernardi et al.,

2009).

Diante da dinâmica do K^+ e das características dos solos do cerrado piauiense, que o tornam insuficiente para suprir as quantidades extraídas pelas culturas em cultivos sucessivos, o manejo da adubação deve ser realizado de maneira a minimizar as perdas e aumentar a eficácia de utilização pelas culturas. Importante destacar, que há recomendações de adubação potássica para algumas regiões do cerrado, todavia, são escassos os estudos para a região do cerrado piauiense, não havendo sequer até o momento qualquer recomendação técnica ou aproximação por parte de órgãos de pesquisa para a aplicação de fertilizantes potássicos na cultura do milho nessa região.

Nesse sentido, aliado ainda ao fato de que há diferenças no uso de fertilizantes na cultura do milho entre as várias regiões do País (Coelho & França, 2013), e que, recomendações de fertilizantes potássicos não devem ser extrapoladas de uma região para outra, mesmo que dentro do mesmo bioma (Petter et al., 2012), torna-se evidente a necessidade de estudos que possam subsidiar futuras recomendações de manejo e adubação potássica para essa região.

Nesse contexto, objetivou-se com esse trabalho, avaliar o desempenho agrônomo do milho em função de doses e épocas de aplicação de potássio na região do cerrado piauiense.

Material e Métodos

O experimento foi realizado a campo na safra 2011/2012, na Fazenda União (Serra das Laranjeiras) localizada no município de Currais, PI cujas coordenadas pontuais são 08°38'12" de latitude Sul e 44°40'11" de longitude Oeste, com altitude média de 550 m. O solo utilizado foi classificado como LATOSSOLO AMARELO – LA, textura franco arenosa (argila: 160 g kg^{-1} , silte: 50 g kg^{-1} e areia: 790 g kg^{-1}), cuja composição química encontra-se na Tabela 1.

O histórico da área é caracterizado pelo cultivo em monocultura da soja desde o ano de 2004, recebendo aplicações anuais de 500 kg ha^{-1} de fertilizante NPK 00-20-20. De maneira geral e considerando a classificação

de fertilidade para o Cerrado da região Centro-Oeste, esse solo se enquadra como de média fertilidade.

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 média ocorrida durante a realização do experimento encontram-se na Figura 1.

Tabela 1. Composição química do solo Latossolo Amarelo distrófico (0-0,20 m) antes da instalação do experimento na região do cerrado piauiense.

pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H ⁺ +Al ³⁺	SB	CTC	P	K ⁺	MO	V
CaCl ₂	cmol _c dm ⁻³						mg dm ⁻³	g kg ⁻¹		%
4,6	2,10	1,00	0,20	3,30	3,50	6,39	53,0	74,00	15,00	51,49

H + Al: acidez potencial; SB: soma de bases; CTC: capacidade de troca catiônica a pH 7,0; MO: matéria orgânica; V: saturação por bases.

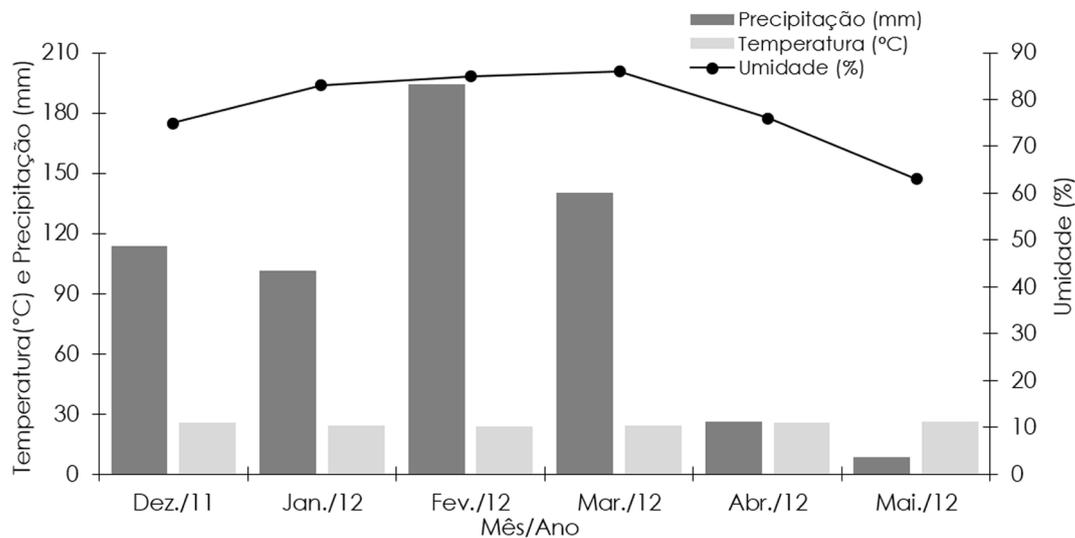


Figura 1. Temperatura média, umidade relativa e precipitação ocorrida na Fazenda União – Currais, PI durante o período de dezembro de 2011 a maio de 2012, na região de Cerrado piauiense (pluviômetro instalado na área e dados da estação meteorológica em Bom Jesus-PI).

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições e 17 tratamentos, dispostos em esquema fatorial incompleto 4×4+1 com tratamento adicional como controle (sem aplicação: 0 kg de K₂O ha⁻¹). Os demais tratamentos constituíram-se pela combinação de quatro doses de K₂O (30; 60; 90 e 120 kg ha⁻¹) e quatro épocas de aplicação: 100% na semeadura; 100% aos 30 dias após a semeadura; 50% na semeadura e 50% aos 30 dias após a semeadura; 50% aos 20 dias após a semeadura e 50% aos 40 dias após a semeadura.

A fonte de adubo potássico utilizada foi o cloreto de potássio. Cada parcela foi composta por oito fileiras espaçadas em 0,5 m entre si e com 5 m de comprimento, totalizando 20,0 m². Como área útil foram consideradas as quatro linhas centrais, tendo-se desprezado 1 m em cada extremidade, perfazendo uma área

de 6 m². Para a aplicação dos tratamentos, foram realizadas distribuições manuais a lanço.

A semeadura do milho foi direta, realizada mecanicamente, utilizando-se o híbrido simples Pioneer 30F35H, de ciclo precoce, na densidade de 60 mil sementes por hectare, previamente tratadas com inseticida Imidacloprido + Thiodicarb, na dose de 45 + 135 g de i.a. e fungicida Carbendazim + Thiran na dose de 40 + 87,5 g de i.a. por 100 kg de sementes. No momento da semeadura foram aplicados 70 kg de P₂O₅ ha⁻¹ (superfosfato simples) e 20 kg de N ha⁻¹ (uréia). Quando a cultura atingiu o estágio vegetativo V6, procedeu-se a adubação de cobertura, aplicando-se 80 kg de N ha⁻¹, tendo como fonte de fertilizante nitrogenado a uréia (45% N). Não foi realizada calagem.

Antes da semeadura do milho foram aplicados os herbicidas glyphosate e 2,4-D nas

doses de 1.440 e 806 g ha⁻¹ i.a., respectivamente. O controle de plantas daninhas em pós-emergência foi realizado com o milho no estádio de cinco folhas, utilizando-se o herbicida atrazina, na dose de 1.500 g ha⁻¹ i.a. No período anterior ao florescimento procedeu-se à aplicação do fungicida Epoxiconazole + Pyraclostrobin na dose de 99,7 + 87,5 g de i.a. ha⁻¹ associado aos inseticidas Metomil e Imidacloprido + Thiodicarb, na dose de 12,9 e 45 + 135 g de i.a. ha⁻¹.

No período de pleno florescimento foram determinados os teores de K⁺ na folha, teor relativo de clorofila, altura de plantas, fitomassa seca da parte aérea e diâmetro do colmo. Quando a cultura atingiu a fase de maturidade fisiológica foi avaliada a altura de inserção de espiga e produtividade de grãos. Determinou-se posteriormente o comprimento de espiga (sem palha), número de fileiras por espiga e massa de mil grãos. Foram utilizadas cinco plantas e espigas por parcela para mensuração das variáveis acima descritas. A determinação do teor de K⁺ foliar foi realizada em pleno florescimento através da coleta da folha diagnóstica, localizada na região oposta a inserção da espiga em cinco plantas de cada parcela, que posteriormente foram secas em estufa de circulação forçada a 60°C, por 72 horas, moídas em moinho Willey equipado com peneira de 40 mesh, sendo à determinação do K⁺ foliar realizada pelo método de digestão em solução nitro-perclórica e determinadas por fotometria de chama. A colheita de grãos foi realizada em toda a área útil da parcela, onde as espigas foram trilhadas mecanicamente e a produção transformada em kg ha⁻¹ de grãos, padronizado a 13% de umidade.

O teor relativo de clorofila, foi mensurado utilizando-se clorofilômetro (clorofilLOG CFL 1030), com avaliação do ponto central da folha diagnóstica, localiza na região oposta a espiga. Para a determinação da fitomassa seca da parte aérea as plantas foram levadas à estufa de circulação forçada a 60°C, até obtenção do peso constante.

Determinou-se a eficiência agrônômica: produção econômica obtida (grãos, no caso de culturas anuais) por unidade de nutriente aplicado, a partir da seguinte equação.

$$(EA) = (PGca - PGsa)/(QNa), (kg kg^{-1})$$

em que: EA e a eficiência agrônômica; PGca é a produção, em kg, com adubação; PGsa é a produção, em kg, sem adubação; QNa é a quantidade de nutriente aplicado, em kg.

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

Após a análise de variância e, no caso de haver significância (p<0,05), os fatores qualitativos foram comparados pelo teste de Tukey (p<0,05), utilizando o programa computacional SISVAR, enquanto os fatores quantitativos foram submetidos à análise de regressão polinomial utilizando o programa computacional SigmaPlot.

Resultados e Discussão

Com exceção da altura de plantas, diâmetro caulinar e eficiência agrônômica no uso do K⁺, as demais variáveis não foram significativamente influenciadas pelas épocas de aplicação do K₂O (Tabela 2). Kalpana & Krishnarajan (2002) verificaram efeito significativo das épocas de aplicação de K₂O na altura de plantas e fitomassa seca da parte aérea do milho, corroborando em parte com os resultados do presente estudo.

A inexistência do efeito significativo das épocas de aplicação de K⁺ nos parâmetros citados pode ser atribuída à utilização pela cultura do milho, das reservas de K-trocável do solo, uma vez que os teores disponíveis de K⁺ no solo estavam acima de 70 mg dm⁻³, sendo considerado como adequado para a região dos Cerrados (Tabela 1). De acordo com Petter et al. (2012) nessas condições de solo no cerrado piauiense, a opção de se fazer a aplicação do K⁺ de forma total ou parcelada na semeadura deve ser em função dos custos e/ou da otimização das operações de aplicação. Entretanto, os referidos autores alertam sobre a utilização de doses elevadas de K₂O, principalmente em função do efeito salino do sal cloreto que poderá ocasionar redução na germinação, se ocorrer períodos de déficit hídrico posterior a semeadura.

A aplicação do K⁺ com 50% na

semeadura e 50% 30 DAS apresentou o maior incremento em altura de plantas de milho (Tabela 2). Tais resultados diferem dos obtidos por Rabêlo et al. (2013) que não verificaram diferenças na altura de plantas quando as doses de potássio foram aplicadas somente na semeadura ou parcelada. Essas diferenças podem ser atribuídas

ao tipo às condições edafoclimáticas das regiões de estudo. O menor diâmetro de coleto de plantas de milho verificado com a aplicação de todo o K_2O aos 30 DAS, se deve ao fato da alta demanda do K nos primeiros 30 dias (Borin et al., 2010).

Tabela 2. Características agrônômicas e fisiológicas do milho em função das épocas de aplicação de potássio. Currais-PI, safra 2011/2012.

Época	Altura plantas (cm)	Altura de inserção da espiga (cm)	K Foliar	Clorofila total
100% S	274,22 ab*	152,6 ^{ns}	22,15 ^{ns}	62,60 ^{ns}
50% S + 50% 30 DAS	276,96 a	153,40	22,50	60,50
100% 30 DAS	275,69 ab	150,80	21,80	62,10
50% 20 DAS + 50% 40 DAS	269,77 b	149,75	22,60	61,55
CV	2,76	3,78	17,60	6,25

Época	Fitomassa seca (g planta ⁻¹)	Diâmetro caulinar (mm)	Número de fileiras por espiga	Comprimento de espiga (cm)
100% S	127,70 ^{ns}	21,95 ab*	16,95 ^{ns}	14,05 ^{ns}
50% S + 50% 30 DAS	135,50	22,05 a	17,00	14,15
100% 30 DAS	132,15	21,15 b	16,90	13,60
50% 20 DAS + 50% 40 DAS	128,55	21,35 ab	16,45	14,05
CV	12,30	4,96	4,59	6,93

Época	Peso de mil grãos (g)	Produtividade de grãos (kg ha ⁻¹)	Eficiência agrônômica (kg kg ⁻¹)	ICG
100% S	257,75 ^{ns}	6402 ^{ns}	14,08 b*	0,47 ^{ns}
50% S + 50% 30 DAS	258,40	6266	19,87 a	0,45
100% 30 DAS	256,45	6591	17,62 ab	0,47
50% 20 DAS + 50% 40 DAS	256,45	6101	15,06 b	0,45
CV	3,26	10,94	24,90	8,84

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey; * Significativo a 5% pelo teste F; ns: não significativo pelo teste F; S: semeadura; DAS: dias após a semeadura; ICG: índice de colheita de grãos.

Embora não tenha havido efeito significativo das épocas de aplicação para a maioria dos parâmetros avaliados, houve efeito para a eficiência agrônômica no uso do K^+ , fato este, que pode reduzir os custos de produção em função do manejo de adubação, uma vez que, podem-se utilizar adubações com taxas menores, mas sempre de acordo com a necessidade da cultura nas condições edafoclimáticas cultivadas. Esses resultados evidenciam que aplicações parceladas do nutriente tendem a ser mais responsivas devido a elevada necessidade desse nutriente ao longo do desenvolvimento da cultura, fato este, comprovado por Von Pinho et al. (2009) que observaram picos de absorção do referido nutriente durante o crescimento vegetativo, enchimento de grãos e maturidade fisiológica de duas cultivares de milho.

Considerando-se a máxima produtividade estimada neste estudo, que é de

6.607,5 kg ha⁻¹, as doses necessárias para atingir este valor em função da eficiência agrônômica no uso do K^+ foram: 29,7 kg ha⁻¹, 21,1 kg ha⁻¹, 23,8 kg ha⁻¹ e 27,8 kg de K_2O ha⁻¹, para as aplicações em 100% na semeadura; 50% na semeadura + 50% aos 30 DAS; 100% aos 30 DAS; 50% aos 20 DAS + 50% aos 40 DAS, respectivamente. Para eficiência agrônômica neste estudo, a melhor época de aplicação do K^+ (21,1 kg de K_2O ha⁻¹ que corresponde 50% na semeadura + 50% aos 30 DAS), proporcionou uma economia no uso de fertilizantes de aproximadamente 29%, quando comparada à da aplicação na semeadura. Contudo, segundo Petter et al. (2012) mesmo quando os custos das operações de aplicação de K^+ em cobertura seja equivalente ao retorno, o produtor deve considerar os benefícios ambientais do menor uso do fertilizante.

Houve incremento linear significativo nas concentrações de K^+ nas folhas de milho à medida que doses crescentes de K_2O foram

aplicadas (Figura 2a). Todavia, esse aumento nas concentrações de K^+ nas folhas não influenciou o teor relativo de clorofila total (Figura 2b), evidenciando não haver correlação direta entre níveis de K^+ nas folhas e síntese de

clorofila. Aumento no teor de K^+ em plantas de milho também foi verificado por Valderrama et al. (2011) com a aplicação de doses crescentes de potássio.

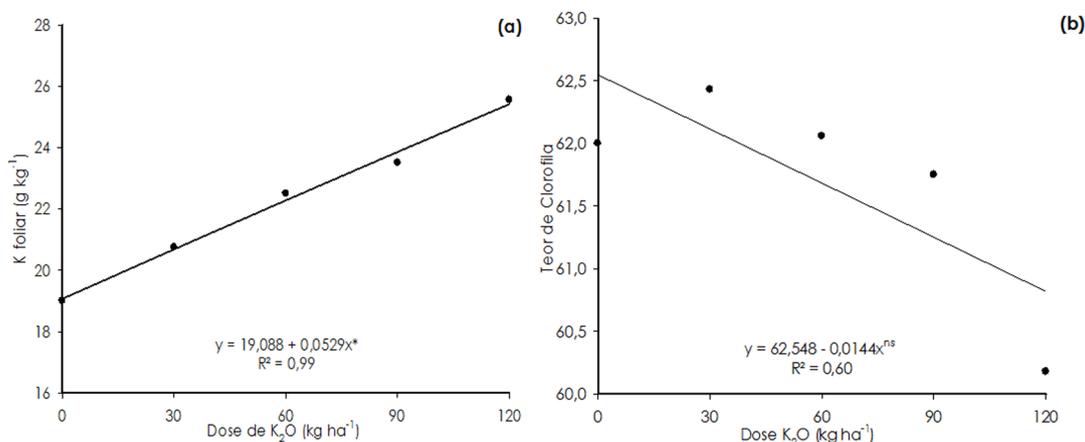


Figura 2. Teor de K (a) e teor relativo de clorofila (b) nas folhas de plantas de milho em função de doses de potássio no cerrado piauiense. ^{ns} não significativo; ** e * significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste "t" de Student, respectivamente. Currais-PI, safra 2011/2012.

A ausência de efeito significativo das doses de K_2O nos teores de clorofila corroboram com os dados obtidos por Sousa et al. (2010) que não verificaram efeito da aplicação de K^+ nos teores de clorofila em plantas de milho. Diversos trabalhos (Ferreira et al., 2006; Viana & Kiehl, 2010) têm demonstrado correlações positivas entre os teores de clorofila obtidos com clorofilômetro apenas com a concentração de nitrogênio nas

folhas, o que é devido ao papel do nitrogênio na síntese de clorofila (Debaeke et al., 2006).

A fitomassa seca da parte aérea (Figura 3a) e diâmetro caulinar (Figura 3b) de plantas de milho foram influenciados significativamente pelas doses de K_2O , sendo que para ambos os parâmetros houve comportamento semelhante, em que o modelo quadrático melhor se ajustou aos dados.

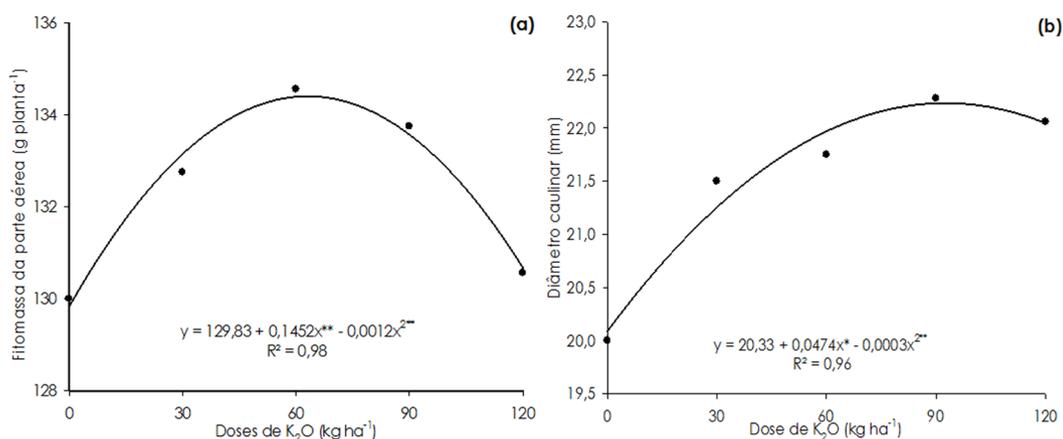


Figura 3. Fitomassa da parte aérea (a) e diâmetro caulinar (b) de milho em função de doses de potássio no cerrado piauiense. ^{ns} não significativo; ** e * significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste "t" de Student, respectivamente. Currais-PI, safra 2011/2012.

A máxima fitomassa da parte aérea (132,2 g) e diâmetro do colmo (22,2 mm) nas plantas de milho foram verificados nas doses de 60 e 79 $kg\ ha^{-1}$ de K_2O respectivamente. Ebrahimi

et al. (2011) observaram incremento na fitomassa e diâmetro de coleto de plantas de milho com o aumento da dose de K_2O , enquanto que, Rabêlo et al. (2013) não observaram diferença

na produção de fitomassa com as doses de K_2O , apenas uma tendência de maior produção de fitomassa utilizando 90 kg ha^{-1} de K_2O . Este fato pode estar associado ao aumento do influxo de CO_2 , pelo fato do K^+ interferir na regulação osmótica, promovendo assim maior tempo de abertura estomática e conseqüentemente aumentando a taxa fotossintética das plantas que resulta em maior produção carboidratos (Ebrahimi et al., 2011) e conseqüentemente maior produção de fitomassa.

O maior diâmetro do colmo com incremento das doses de K_2O também foi observado por Andreotti et al. (2001), o incremento do diâmetro de coleto constitui um fator importante do ponto de vista fisiológico, haja vista que o colmo não possui apenas função de sustentação de folhas e inflorescências, mas principalmente, como uma estrutura destinada ao armazenamento de sólidos solúveis que são

utilizados posteriormente na formação dos grãos (Carmo et al., 2012) através da mobilização das reservas, além de reduzir o acamamento das plantas, ocasionando assim menores perdas dos grãos no ato de colheita.

Verificou-se diferença significativa entre as doses de K_2O aplicadas para a altura de plantas de milho (Figura 4a) altura de inserção de espiga (Figura 4b), em que os modelos quadráticos e linear melhor se ajustaram aos dados observados respectivamente. A altura máxima de plantas de milho (278 cm) foi obtida com a dose estimada de $82 \text{ kg de } K_2O \text{ ha}^{-1}$, esses resultados corroboram com os observados por Rabêlo et al. (2013) onde os dados observados se ajustaram ao modelo quadrático e a máxima altura de plantas (281 cm) foi observada com a dose estimada de $97 \text{ kg de } K_2O \text{ ha}^{-1}$, valores bem próximos dos encontrados no presente estudo.

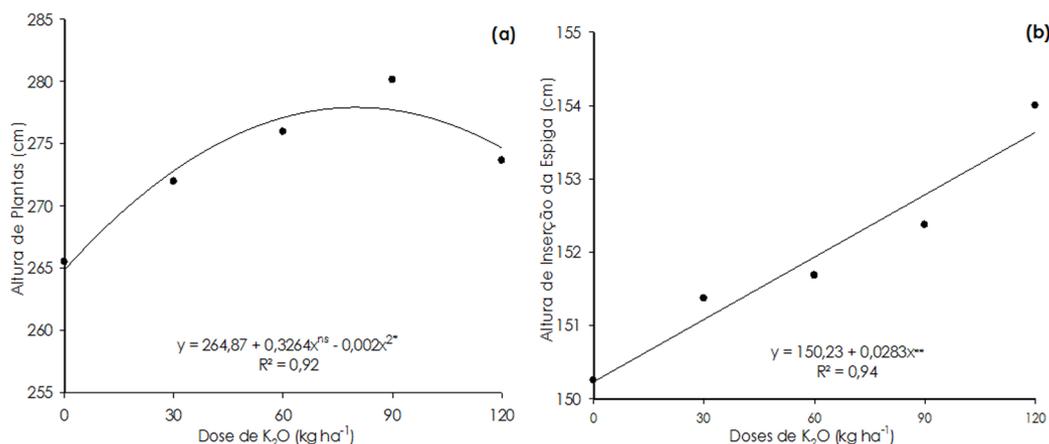


Figura 4. Altura de plantas (a) e altura de inserção da espiga (b) de milho em função de doses de potássio no cerrado piauiense. ^{ns} não significativo; ^{**} e ^{*} significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste "t" de Student, respectivamente. Currais-PI, safra 2011/2012.

A maior altura de inserção de espiga, ocasionada pelo incremento das doses de K_2O deve-se principalmente, ao comportamento semelhante da altura de plantas, onde plantas maiores tendem a apresentar maior altura de inserção da espiga. Essa característica de maior altura de inserção da espiga é desejável do ponto de vista operacional, pois proporciona vantagens significativas na colheita mecanizada (Possamai et al., 2001) e econômicas pelo fato de reduzir perdas e aumentar a pureza dos grãos, principalmente em cultivos consorciados com espécies do gênero *Brachiaria* em sistemas de integração lavoura-pecuária.

A resposta da altura das plantas e altura de inserção de espigas de milho em função das doses de K_2O pode estar relacionada ao fato de que o K^+ pode influenciar indiretamente na melhoria do uso do N por meio da ativação enzimática, proporcionando maior divisão e expansão celular e interferindo positivamente no processo fotossintético.

Para o número de fileiras por espiga de milho (Figura 5a) o modelo quadrático evidenciou os maiores valores ($p < 0,05$) na dose de $90 \text{ kg de } K_2O \text{ ha}^{-1}$. E para o comprimento de espiga, apesar de haver uma tendência de aumento, não houve efeito significativo das doses aplicadas (Figura 5b).

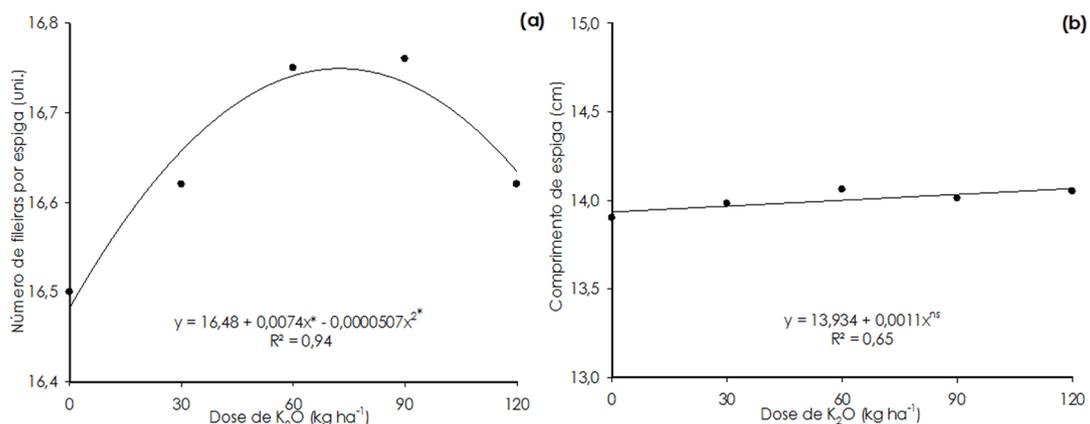


Figura 5. Número de fileiras por espiga (a) e comprimento da espiga (b) de plantas de milho em função de doses de potássio no cerrado piauiense. ^{ns} não significativo; * significativo a 5% de probabilidade pelo teste “t” de Student. Currais-PI, safra 2011/2012.

O aumento do número de fileiras por espiga é importante do ponto de vista produtivo, pois segundo Kappes et al. (2009) esse parâmetro é um dos caracteres que pode interferir, diretamente no número de grãos por fileira, e, conseqüentemente, na produtividade final.

A aplicação de doses crescentes de K₂O proporcionou decréscimo linear significativo na massa de mil grãos (Figura 6a). Resultados semelhantes foram verificado por Valderrama

et al. (2011), em que o incremento de doses de K₂O resultou em menor massa de mil grãos. A redução na massa de grãos pode ser perfeitamente compreendida, à medida que houve maior número de fileiras por espiga, e, conseqüentemente maior número de grãos, o que fisiologicamente tende a resultar em grãos com menor massa, uma vez que, aumenta-se a competição de fotoassimilados no interior da espiga.

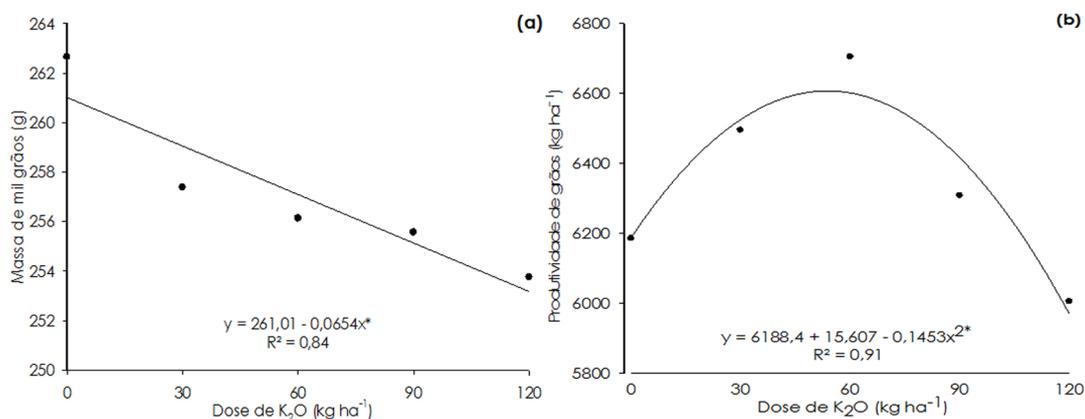


Figura 6. Massa de mil grãos (a) e produtividade de grãos (b) de milho em função de doses de potássio no cerrado piauiense. ^{ns} não significativo; ** e * significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste “t” de Student, respectivamente. Currais-PI, safra 2011/2012.

A produtividade de grãos foi significativamente influenciada pelas doses de K₂O aplicadas (Figura 6b). A máxima produtividade de grãos ou máxima eficiência técnica obtida foi de 6.607 kg ha⁻¹, utilizando a dose estimada de 53 kg ha⁻¹ de K₂O, o que representa uma produtividade de sete sacas superior à testemunha. Esses resultados diferem

dos obtidos por Pavinato et al. (2008) que não verificaram efeito da aplicação de K⁺ na produtividade de grãos do milho, todavia, corroboram os obtidos por Niu et al. (2013), que verificaram diferenças significativas na produtividade de grãos de milho com a aplicação de doses de K₂O.

Em número relativo, esse ganho

produtivo representa pouco quando comparado ao ganho promovido por outros nutrientes como o nitrogênio, porém, apesar desse nutriente encontrar-se em nível adequado no solo, o manejo da adubação proporcionou ganhos satisfatórios na produtividade com uma adubação abaixo do normalmente utilizado pelos produtores na prática, que é de 80 a 100 kg de K₂O ha⁻¹. Outro aspecto a ser considerado

é o benefício ambiental que a redução das doses de K₂O proporciona sem a redução de produtividade.

A eficiência agrônômica no uso do K⁺ apresentou decréscimo exponencial com o acréscimo nas doses de K₂O aplicadas (Figura 7a), ou seja, à medida que se aumentam as doses, as respostas em produtividade de grãos não seguem a mesma tendência em proporção.

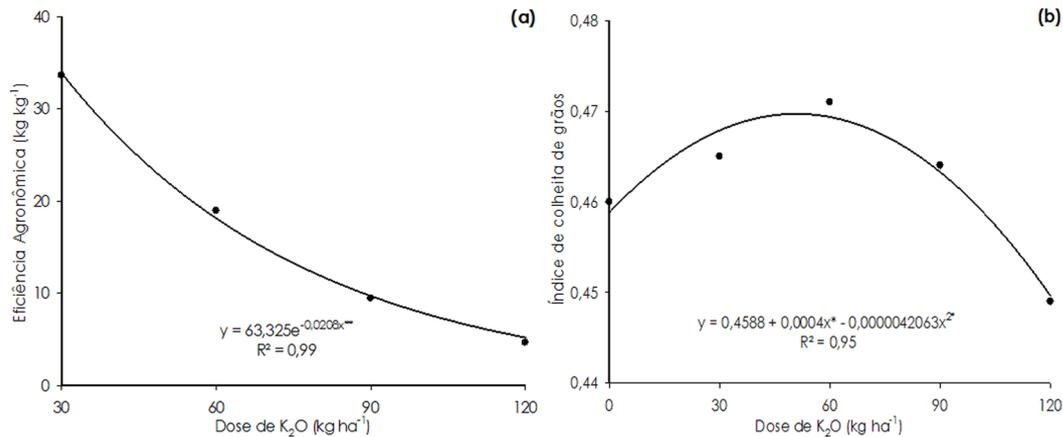


Figura 7. Eficiência agrônômica (a) e índice de colheita de grãos (b) de milho em função de doses de potássio no cerrado piauiense. ns não significativo; ** e * significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste "t" de Student, respectivamente. Currais-PI, safra 2011/2012.

A maior eficiência agrônômica no uso do K⁺ foi verificada com a aplicação de 30 kg de K₂O ha⁻¹, indicando que a dose aplicada que proporcionou maior produtividade (53 kg ha⁻¹) não foi a mesma dose que proporcionou maior eficiência agrônômica. Comparativamente, esses dados assemelham-se com os apresentados por Deparis et al. (2007), que também verificaram redução da eficiência no uso do K com aplicações acima de 30 kg de K₂O ha⁻¹. Esses resultados reforçam 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.

□ O índice de colheita de grãos (ICG) foi significativamente influenciado pelas doses de K₂O aplicadas (Figura 7b), onde o modelo quadrático foi o que melhor se ajustou aos dados, seguindo a tendência da maioria dos parâmetros analisados, com o maior valor estimado para tal índice (0,7) obtido com a aplicação de 48 kg de K₂O ha⁻¹. Esses resultados evidenciam que houve boa translocação de fotoassimilados das folhas para os grãos, ou

seja, a eficiência de conversão de fitomassa em grãos foi satisfatória, demonstrando estar dentro da faixa proposta pelos respectivos autores para cultivares de alta produtividade.

O índice de colheita de grãos consiste na fração dos grãos produzidos em relação à produção de matéria seca da parte aérea da planta, a utilização deste índice permite identificar a habilidade de um cultivar em combinar elevada capacidade de produção total e de destinar a matéria seca acumulada para componentes de interesse econômico, neste caso a produção de grãos (Dourado Neto & Fancelli, 2000). Segundo os mesmos autores o índice de colheita de grãos pode variar de 0,60 para cultivares de alta produtividade a 0,10 para cultivares de baixa produtividade. De acordo com Gava et al. (2010) o ICG é comumente empregado em avaliações de genótipos submetidos a diferentes tipos de tratamentos e em condições climáticas contrastantes.

Os resultados controversos observados no presente estudo, quanto às épocas de aplicação e a doses de K₂O a serem utilizadas em solos na região dos cerrados 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 conforme reportado por Petter et al. (2012).

Conclusões

Aplicações de potássio parceladas em LATOSSOLO AMARELO do cerrado piauiense proporcionaram maior eficiência agrônômica no uso do nutriente, diâmetro caulinar e altura de plantas de milho, com destaque para a aplicação de 50% na semeadura e o restante em cobertura aos 30 dias após a semeadura.

Os maiores valores de fitomassa seca, índice de colheita e produtividade de grãos são verificados com a aplicação de 48 a 60 kg de K_2O ha^{-1} .

Referências

- Andreotti, M., Rodrigues, J.D., Crusciol, A.C.C., Souza, E.C.A., Büll, L.T. 2001. Crescimento do milho em função da saturação por bases e da adubação potássica. *Scientia Agricola* 58(1): 145–150.
- Bernardi, A.C.C., Oliveira Júnior, J.P., Leandro, W.M., Mesquita, T.G.S., Freitas, P.L., Carvalho, M.C.S. 2009. Doses e formas de aplicação da adubação potássica na rotação soja, milho e algodão em sistema plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Tropical* 39(2): 158–167.
- Borin, A.L.D.C., Lana, R.M.Q., Pereira, H.S. 2010. Absorção, acúmulo e exportação de macronutrientes no milho doce cultivado em condições de campo. *Ciência e Agrotecnologia* 34(Edição Especial): 1591–1597.
- Carmo, M.S., Cruz, S.C.S., Souza, E.J., Campos, L.F.C., Machado, C.G. 2012. Doses e fontes de nitrogênio no desenvolvimento e produtividade da cultura de milho doce (*Zea mays* convar. *saccharata* var. *rugosa*). *Bioscience Journal* 28(Suplement 1): 223–231.
- Coelho, A.M., França, G.E. 2013. *Nutrição e adubação do milho*. Sete Lagoas, Embrapa Milho e Sorgo, p. 1- 17.
- CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. 2013. *Acompanhamento de safra brasileira: Grãos, 2º Levantamento*, Brasília, CONAB, p. 1-80.
- Debaeke, P., Rouet, P., Justes, E. 2006. Relationship between the normalized SPAD index and the nitrogen nutrition index: application to durum wheat. *Journal of Plant Nutrition* 29(1): 75–92.
- Deparis, G. A., Lana, M. do C., Frandoloso, J. F. 2007. Espaçamento e adubação nitrogenada e potássica em cobertura na cultura do milho. *Acta Scientiarum Agronomy* 29:517-525.
- Dourado Neto, D., Fancelli, A.L. 2000. *Produção de milho*. Guaíba, Agropecuária, 360p.
- Duiker, S.W., Beegle, D.B. 2006. Soil fertility distributions in long-term no-till, chisel/disk and moldboard plow/disk systems. *Soil Tillage Research* 88(1-2): 30–41.
- Ebrahimi, S.T., Yarnia, M., Benam, M.B.K., Tabrizi, E.F.M. 2011. Effect of potassium fertilizer on corn yield (Jeta cv .) under drought stress condition. *American Journal of Environmental Sciences* 10(2): 257–263.
- Fageria, N.K., Baligar, V.C., Jones, C.A. 2011. Corn. In: Fageria, N.K., Baligar, V.C., Jones, C.A. *Growth and mineral nutrition of field crops*. 3ª ed. Madison, Marcel Decker, p. 313–342.
- Ferreira, M.M.M., Ferreira, G.B., Fontes, P.C.R., Dantas, J.P. 2006. 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* 53(305): 83–92.
- Foloni, J.S.S., Rosolem, C.A. 2008. Produtividade e acúmulo de potássio na soja em função da antecipação da adubação potássica no sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 32(4): 1549–1561.
- Gava, G.J.C., Oliveira, M.W., Silva, M.A., Jerônimo, E.M., Cruz, J.C.S., Trivelin, P.C.O. 2010. Produção de fitomassa e acúmulo de nitrogênio em milho cultivado com diferentes doses de 15 N-uréia. *Semina: Ciências Agrárias* 31 (4): 851–862.
- Kalpana, R., Krishnarajan J. 2002. Effect of dose and time of potassium application on yield and quality of baby corn. *Agricultural Science Digest* 22(1): 59–60.
- Kappes, C., Carvalho, M.A.C., Yamashita, O.M., Silva, J.A.N. 2009. Influência do nitrogênio no desempenho produtivo do milho cultivado na segunda safra em sucessão à soja. *Pesquisa Agropecuária Tropical* 39(3): 251–259.
- Moterle, L.M., Lopes, P.C., Braccini, A.L., Scapim, C.A. 2006. Germinação de sementes e crescimento de plântulas de cultivares de milho-pipoca submetidas ao estresse hídrico e salino. *Revista Brasileira de Sementes* 28(3): 169–176.
- Niu, J., Zhang, W., Ru, S., Chen, X., Xiao, K., Zhang,

X., Assaraf, M., Imas, P., Magen, H., Zhang, F. 2013. Effects of potassium fertilization on winter wheat under different production practices in the North China Plain. *Field Crops Research* 140: 69–76.

Oliveira Junior, A., Prochnow, L.I., Klepker, D. 2008. Eficiência agronômica de fosfato natural reativo na cultura da soja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 43(5): 623–631.

Otto, R., Vitti, G.C., Luz, P.H.C. 2010. Manejo da adubação potássica na cultura da cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 34(4): 1137–1145.

Pavinato, P. S., Ceretta, C. A., Giroto, E., Moreira, I. C. L. 2008. Nitrogênio e potássio em milho irrigado: análise técnica e econômica da fertilização. *Ciência Rural* 38:358-364.

Petter, F.A., Silva, J.A., Pacheco, L.P., Almeida, F.A., Alcântara Neto, F., Zuffo, A.M., Lima, L.B. 2012. Desempenho agronômico da soja a doses e épocas de aplicação de potássio no Cerrado piauiense. *Revista Ciências Agrárias* 55(3): 190–196.

Possamai, J.M., Souza, C.M., Galvão, J.C.C. 2001. Sistemas de preparo do solo para o cultivo do milho safrinha. *Bragantia* 60(2): 79–82.

Rabêlo, F.H.S., Rezende, A.V., Rabelo, C.H.S., Amorim, F.A. 2013. Características agronômicas e bromatológicas do milho submetido a adubações com potássio na produção de silagem. *Revista Ciência Agronômica* 44(3): 635–643.

Sousa, J.V., Rodrigues, C.R., Luz, J.M.Q., Carvalho, P.C., Rodrigues, T.M., Brito C.H. 2010. Silicato de potássio via foliar no milho: fotossíntese, crescimento e produtividade. *Bioscience Journal* 26(4): 502–513.

Valderrama, M., Buzetti, S., Benett, C. G. S., Andreotti, M., Teixeira Filho, M. C. M. 2011. Fontes e doses de NPK em milho irrigado sob plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Tropical* 41:254-263.

Viana, E.M., Kiehl, J.C. 2010. Doses de nitrogênio e potássio no crescimento do trigo. *Bragantia* 69(4): 975–982.

Von Pinho, R.G., Borges, I.D., Pereira, J.L.A.R., Reis, M.C. 2009. Marcha de absorção de macronutrientes e acúmulo de matéria seca em milho. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo* 8(2): 157–173.