

# Características morfológicas e produtivas da soja influenciadas por doses de cloreto de potássio na linha de semeadura

*Morphological and productive characteristics of soybean influenced by potassium chloride rates in the furrow*

Fernando Marcos **BRIGNOLI**<sup>1,5</sup>; Gilmar Luiz **MUMBACH**<sup>2</sup>; Douglas Luiz **GRANDO**<sup>3</sup>; Abelino Anacleto de **SOUZA JUNIOR**<sup>2</sup>; André Gustavo **MISFELD**<sup>4</sup>; Alan Roberto **HAMM**<sup>4</sup>; Bruna Andrieli **SHAFFER**<sup>4</sup> & Fernando Francisco Dillmann **PAJARA**<sup>4</sup>

## RESUMO

Para melhorar o aproveitamento, o potássio (K) é aplicado preferencialmente no sulco de plantio, na semeadura. Em virtude do efeito salino do KCl, altas doses devem ser evitadas. A hipótese do presente trabalho é que doses de K acima do limite recomendado na linha de semeadura (80 kg ha<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>O) prejudicam o desenvolvimento da soja. O objetivo foi avaliar os atributos morfológicos e o rendimento da soja diante do aumento da dose de K<sub>2</sub>O na linha de plantio. O estudo foi conduzido em um cambissolo no município de Rio do Sul (SC). O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados, com quatro repetições. Os tratamentos corresponderam a doses de potássio e uma testemunha sem aplicação. Avaliaram-se a massa fresca e o número de vagens, a massa de grãos, a parte aérea e de raízes, a massa fresca de nódulos e a produtividade. Procedeu-se à análise de variância, e os efeitos significativos foram desdobrados por regressão (p<0,05). As doses de K<sub>2</sub>O influenciaram de forma quadrática a maioria das características atribuídas à parte aérea e ao rendimento da cultura. No entanto o sistema radicular não foi influenciado. O rendimento máximo da cultura ocorreu para a dose de 26 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O.

**Palavras-chave:** adubação potássica; cambissolo; estresse salino; *Glycine max*.

## ABSTRACT

To improve the use, potassium (K) is preferably applied in the planting furrow, at sowing. Due to the saline effect of KCl, high doses should be avoided. The hypothesis of the present work is that doses of K above the recommended limit in the sowing line (80 kg ha<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>O) impair soybean development. The objective was to evaluate the morphological attributes and the soybean yield in face of the increase of the K<sub>2</sub>O dose in the planting line. The study was conducted in a Cambisol in the city of Rio do Sul (SC). The experimental design used was randomized blocks, with four replications. The treatments corresponded to potassium doses and a control without application. Fresh mass and number of pods, grain mass, shoots and roots, fresh mass of nodules and yield were evaluated. Analysis of variance was performed and significant effects were broken down by regression (p<0.05). K<sub>2</sub>O doses influenced in a quadratic way most of the characteristics attributed to the aerial part and the crop yield. However, the root system was not influenced. The maximum crop yield occurred at the rate of 26 kg ha<sup>-1</sup> of K<sub>2</sub>O.

**Keywords:** Cambisol; *Glycine max*; potassium fertilization; salt stress.

Recebido em: 10 ago. 2022

Aceito em: 27 out. 2022

<sup>1</sup> Universidade Estadual de Maringá (UEM), Av. Colombo, n. 5790, Zona 7 – CEP 87020-900, Maringá, PR, Brasil.

<sup>2</sup> Universidade do Estado de Santa Catarina (Udesc), Florianópolis, SC, Brasil.

<sup>3</sup> Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, RS, Brasil.

<sup>4</sup> Instituto Federal Catarinense (IFC), Rio do Sul, SC, Brasil.

<sup>5</sup> Autor para correspondência: fernando.brignoli17@gmail.com.

## INTRODUÇÃO

O potássio (K) é um dos nutrientes de maior participação no metabolismo das plantas, desempenhando as funções de regulação osmótica, transporte de fotoassimilados e de ativador enzimático (PRAJAPATI & MODI, 2012). É altamente demandado nas práticas de adubação, graças à grande exportação, ou seja, absorção, mobilização pelos grãos, os quais são colhidos. Sendo assim, uma parte do potássio é retirada do sistema, o que reduz os teores desse mineral no solo (MUMBACH *et al.*, 2020).

No solo, o K trocável ( $K^+$ ) é a principal forma de contribuição do nutriente (FIRMANO *et al.*, 2019), mantendo em equilíbrio as concentrações na solução do solo. No entanto essas reações são dependentes da capacidade de troca catiônica (CTC), do teor de argila e do poder tampão de K (PTK) (ERNANI, 2016). Além disso, em virtude de seu caráter monovalente, o K é suscetível a lixiviação, principalmente em solos menos argilosos (ROSOLEM & STEINER, 2017), tornando seu manejo mais cauteloso.

A principal fonte de K utilizada na agricultura é o cloreto de potássio (KCl) (ROSOLEM *et al.*, 2017). Apresenta alta solubilidade e concentração de K, bem como menor custo por unidade de K. O emprego desse fertilizante (KCl) nos sistemas de produção é mais vantajoso do que o de outras fontes de fertilizantes, alternativas, embora pesquisas recentes tenham apontado respostas técnicas semelhantes a partir de outros minerais, tais como a polihalita (DAL MOLIN *et al.*, 2019).

As mesmas características químicas que conferem vantagens ao KCl podem influenciar negativamente em alguns aspectos químicos do solo e, por conseguinte, no desenvolvimento das plantas. Após a aplicação de KCl no solo, o aumento da concentração eletrolítica nas regiões próximas da deposição do fertilizante pode prejudicar a absorção de água pelas plantas, em função do aumento da pressão osmótica na solução do solo, atribuída ao alto índice salino do KCl (SANGOI *et al.*, 2009). A absorção de nutrientes, tais como Ca e Mg, pode ser afetada em decorrência do aumento da atividade do íon K na solução (ERNANI *et al.*, 2007). Além disso, a elevada presença de K é capaz de deslocar alumínio (Al) trocável das cargas negativas das argilas, aumentar a acidez do solo e causar efeito tóxico desse elemento para as raízes (CUNHA *et al.*, 2015; BRIGNOLI *et al.*, 2020).

Em áreas que apresentam níveis mais baixos de K, recomenda-se o fornecimento de fertilizantes na linha de semeadura, com o objetivo de concentrar o nutriente mais próximo à planta (CQFS-RS/SC, 2016). Por causa da variação de tipos de solos no país, atualmente as regiões brasileiras estabelecem diferentes critérios de recomendação de K. Para os solos de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, a dose máxima a ser aplicada na linha de semeadura é de 80 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, enquanto para os solos do cerrado é de 50 kg ha<sup>-1</sup> (SOUSA & LOBATO, 2004; CQFS-RS/SC, 2016). Apesar desses critérios que delimitam geograficamente os manejos da adubação, existem variações pedológicas dentro das próprias regiões, tais como textura, mineralogia e CTC (POTTER *et al.*, 2004; NASCIMENTO *et al.*, 2014).

Estudos que abordem o efeito do acréscimo de doses de KCl em linha de semeadura são escassos, tornando necessária a verificação dos possíveis impactos de tal prática nas culturas. Nesse sentido, a hipótese do presente trabalho é que doses acima de 80 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O em linha prejudicam o desenvolvimento da soja. Com base nisso, o objetivo foi verificar se o KCl apresenta potencial de influenciar negativamente alguns atributos morfológicos e o rendimento da soja, diante do aumento da dose do fertilizante aplicado na linha de semeadura.

## MATERIAL E MÉTODOS

### LOCALIZAÇÃO, CARACTERÍSTICAS DA ÁREA EXPERIMENTAL E DESCRIÇÃO DOS TRATAMENTOS

O estudo foi realizado no período de dezembro/2015 a maio/2016, no Instituto Federal Catarinense, no município de Rio do Sul – SC (27°11'17" de latitude, 49°39'19" de longitude e altitude de 668 m). O clima é classificado como do tipo Cfb (ALVARES *et al.*, 2014), e o solo como

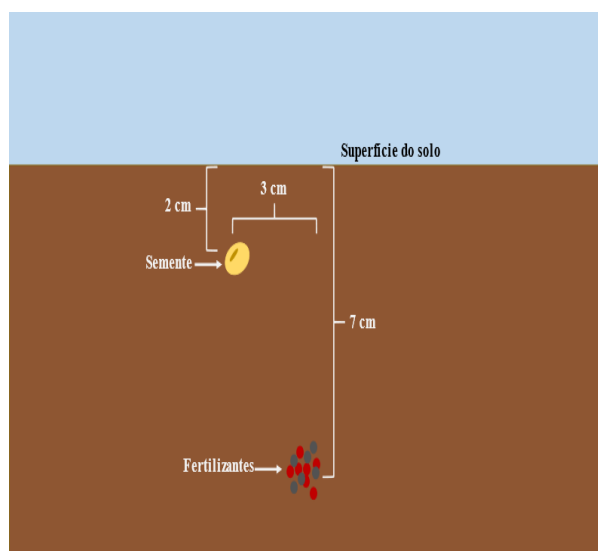
cambissolo háplico (SANTOS *et al.*, 2018). Anteriormente à instalação do experimento, a área estava sendo conduzida sob pastagem natural.

Fez-se uma coleta de solo na camada de 0-20 cm, que apresentou as seguintes características de acordo com a metodologia proposta por Tedesco *et al.* (1995): pH-H<sub>2</sub>O (relação solo e solução 1:1): 5,3; índice SMP: 5,6; matéria orgânica do solo (MOS): 2,9 %; P disponível (Mehlich 1): 0,7 mg dm<sup>-3</sup>; K trocável: 44,0 mg dm<sup>-3</sup>; Al trocável: 0,6 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Ca: 5,2 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Mg: 6,8 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; acidez potencial (H+Al): 6,9; soma de bases: 8,1 e CTC pH<sub>7,0</sub>: 15,0 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>. Composição granulométrica composta por 22, 58 e 20% de areia, silte e argila, respectivamente.

A área foi preparada mecanicamente, com uma aração e gradagem e posterior calagem seguida por gradagem, com a finalidade de incorporar o calcário dolomítico e nivelar o solo, objetivando a elevação do pH para 6,0 (CQFS-RS/SC, 2016). Antes da implantação da cultura, efetuou-se a dessecação das plantas daninhas com herbicida *glyphosate* (2,0 L ha<sup>-1</sup>) para inibir a competição interespecífica.

O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados, com quatro repetições. Os tratamentos corresponderam a doses de potássio (25, 50, 75 e 100 kg ha<sup>-1</sup>) e a testemunha sem aplicação. O fertilizante usado foi o KCl, com garantia de 60% de K<sub>2</sub>O. Cada parcela experimental foi composta por cinco linhas de 4 m de comprimento e espaçamento entrelinhas de 0,45 m. A adubação fosfatada seguiu as recomendações da CQFS-RS/SC (2016) para a expectativa de produtividade de 3 t ha<sup>-1</sup>.

Os sulcos de semeadura foram abertos manualmente, com o auxílio de uma enxada, na profundidade de 7 cm. Depois, foram depositadas as quantidades proporcionais de KCl dos tratamentos, distribuídas uniformemente em mistura com superfosfato triplo (42% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> em água + CNA) de forma padrão, a fim de elevar o nível de P no solo até o teor crítico. Efetuou-se a cobertura parcial dos sulcos e posterior deposição das sementes (cultivar BMX Potência RR) em uma população de 13 sementes m<sup>-1</sup>, posicionadas com desvio de 3 cm do fertilizante e profundidade de 2 cm (figura 1). Em seguida, os sulcos foram completamente fechados com solo.

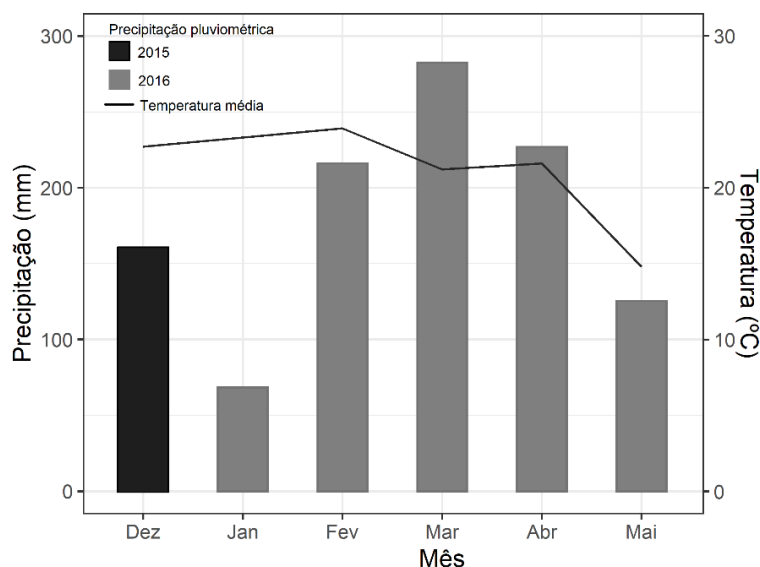


**Figura 1** – Representação da localização espacial da semente e fertilizantes (K<sub>2</sub>O e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) no solo. Fonte: primária.

Os manejos fitossanitários seguiram as recomendações técnicas da cultura e foram iguais para todos os tratamentos. Salienta-se que foi realizado o fornecimento de cobalto e molibdênio via solução de molibdato de sódio e sulfato de cobalto, respectivamente. Depois da secagem da solução, as sementes foram inoculadas com bactérias fixadoras de nitrogênio (*Bradyrhizobium japonicum*), utilizando inoculante turfoso com garantia de 5x10<sup>9</sup> UFC g<sup>-1</sup>.

## DADOS CLIMÁTICOS, AVALIAÇÕES DA CULTURA E ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Obtiveram-se as variáveis climáticas de estação meteorológica da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI, 2020). De acordo com os dados climáticos, foram observados 1.080 mm de chuva acumulados durante o ciclo da cultura (figura 2).



**Figura 2** – Variáveis climáticas durante o ciclo da cultura da soja, safra 2015/16. Dados fornecidos pela Epagri (2020). Fonte: primária.

No estágio R5 da cultura (FEHR & CAVINESS, 1977), fez-se a coleta de duas plantas nas linhas centrais de cada parcela, com o auxílio de uma pá de corte, amostrando a parte aérea juntamente com o sistema radicular. O bloco de amostragem continha as dimensões de 0,45 e 0,20 m de largura e profundidade, respectivamente. O comprimento compreendeu a distância entre as duas plantas centrais amostradas.

Determinaram-se os seguintes parâmetros: massa fresca e número de vagens (MV e NV), massa de grãos (MG), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca de raízes (MSR) e massa fresca de nódulos (MFN), a partir da remoção manual das estruturas nas raízes. Os valores de cada parâmetro corresponderam à média de duas plantas amostradas.

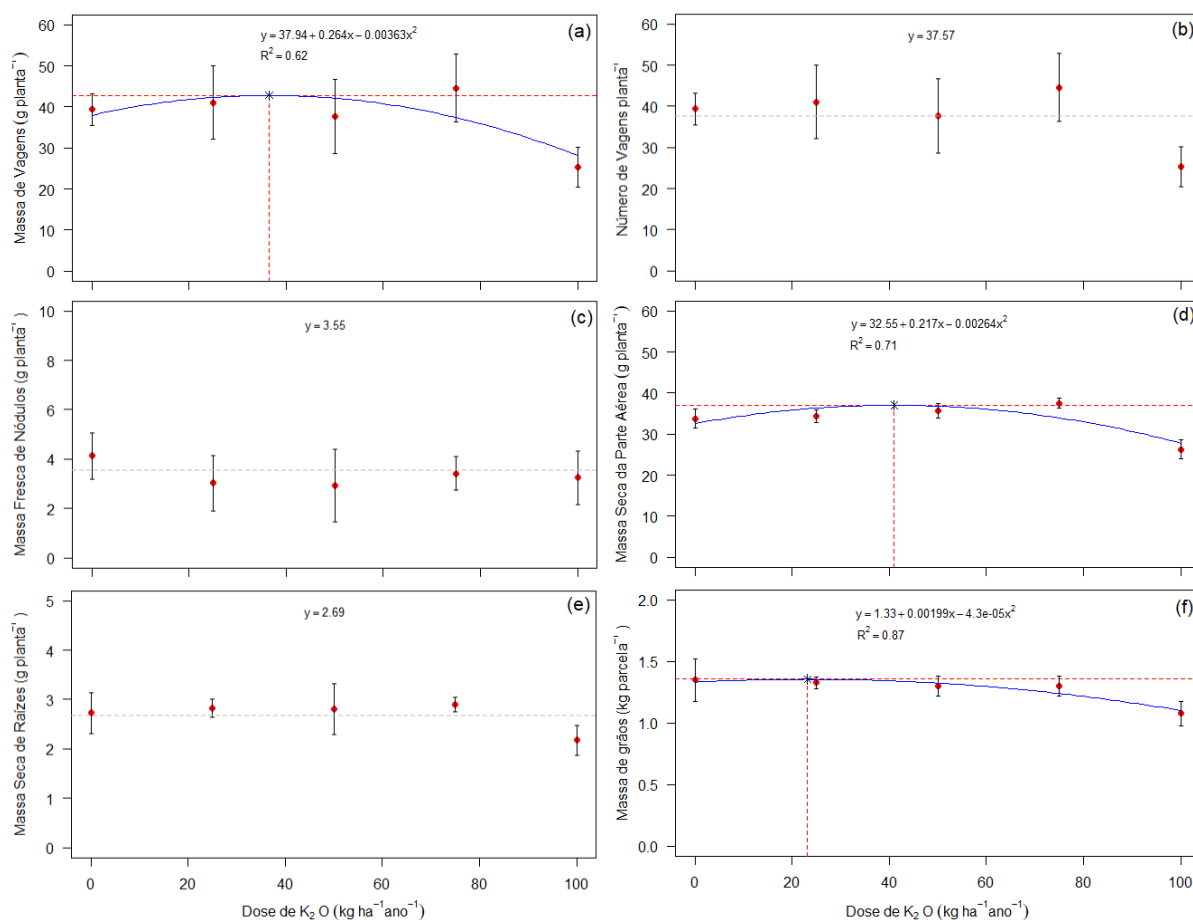
O rendimento de grãos foi obtido por meio da colheita das três linhas centrais, em uma área útil de 3,4 m<sup>2</sup>, descartando uma bordadura de 0,75 m de cada unidade experimental. Os grãos foram secos em estufa de ventilação forçada a 60°C até o peso constante e a umidade corrigida para a determinação da produtividade a 13%.

Os dados obtidos foram submetidos ao teste de Shapiro-Wilk para a verificação da normalidade. Procedeu-se a análise de variância (Anova), e os efeitos significativos foram desdobrados por regressão ao nível de significância de 5%. Realizaram-se as análises no *software* R (R CORE TEAM, 2021).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As doses de K<sub>2</sub>O apresentaram efeito significativo apenas para as variáveis MV, MSPA, MG e produtividade (figura 3A, D e F e figura 4), com comportamento quadrático em todas as regressões. Os melhores ajustes aos modelos propostos, indicados pelo valor de R<sup>2</sup>, foram evidenciados para as variáveis de colheita (MG e produtividade). No entanto os atributos relacionados ao sistema radicular não foram influenciados pelas doses, assim como o NV também não foi relacionado.

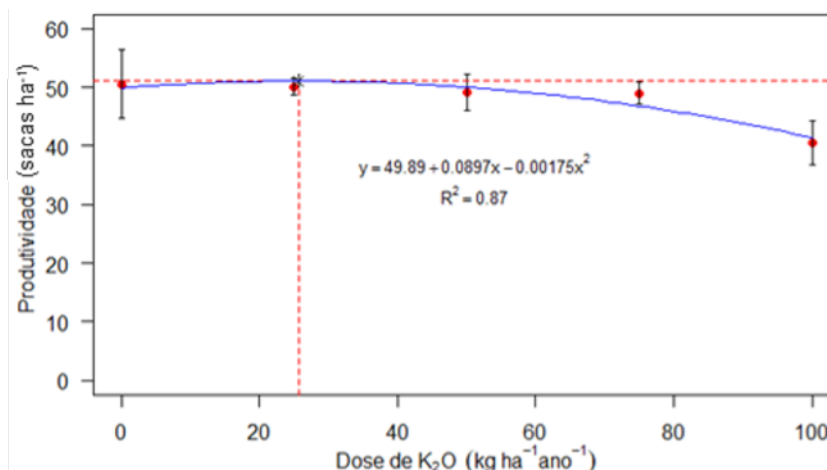
Ao analisar os vértices das abscissas ( $V$ ) das equações significativas, aplicando a função  $V=-b/2a$ , sendo  $b=x$  e  $a=x^2$ , verificou-se que os pontos de máxima resposta ao incremento das doses foram 36,5, 41,0, 23,2 e 25,7  $\text{kg ha}^{-1}$  para MV, MSPA, MG e produtividade, respectivamente.



**Figura 3** – Características morfológicas da cultura da soja sob doses de potássio aplicadas na linha de plantio. O ponto de intersecção das linhas tracejadas representa a máxima eficiência técnica. Fonte: primária.

O solo do presente estudo apresentou teor inicial de K considerado “médio”, segundo a CQFS-RS/SC (2016), a qual recomendava uma dose acima de  $100 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$ , para uma expectativa de produtividade de  $3 \text{ t ha}^{-1}$ . Entretanto observou-se que a máxima resposta em rendimento ficou muito abaixo disso ( $26 \text{ kg ha}^{-1} \text{K}_2\text{O}$ ), tornando a recomendação superestimada. Também, a máxima dose testada em nosso estudo evidenciou uma redução de 19% em produtividade, ou seja, aproximadamente 10 sacas  $\text{ha}^{-1}$  (figura 4).

Algumas formas de K não estimadas pelo extrator Mehlich-1 podem apresentar potencial de contribuição para as culturas em virtude da mineralogia de alguns solos do Sul do Brasil. Os cambissolos da região deste estudo apresentam a caulinita como argilomineral predominante, embora a composição mineralógica ainda apresente micas e argilominerais do tipo 2:1, como a vermiculita (ALMEIDA *et al.*, 1997). Tal aspecto pode influenciar a capacidade de fornecimento de K para as plantas, uma vez que esses minerais liberam, para a solução, o K anteriormente fixado nas entrecamadas, sendo essa dinâmica regida principalmente pela depleção do nutriente no solo (KAMINSKI *et al.*, 2010). Portanto, essas formas de K não trocáveis podem ter suprido parte da demanda nutricional da cultura, no período analisado, reduzindo as doses de adubos (fontes externas) em algumas situações (BERNARDI *et al.*, 2009).



**Figura 4** – Produtividade da cultura da soja em função das doses de potássio aplicadas na linha de plantio. O ponto de intersecção das linhas tracejadas representa a máxima eficiência técnica. Fonte: primária.

De forma geral, o rendimento da cultura ficou ligeiramente abaixo da média do estado e da região Sul (CONAB, 2016), o que pode ser explicado pela menor precipitação no mês de janeiro (figura 2) e pela semeadura em período relativamente tardio. Apesar disso, a dose de maior resposta (26 kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>) ficou mais próximo do limite de aplicação de K<sub>2</sub>O na linha de semeadura estabelecido para o cerrado do que o limite estabelecido para os solos do Sul do Brasil.

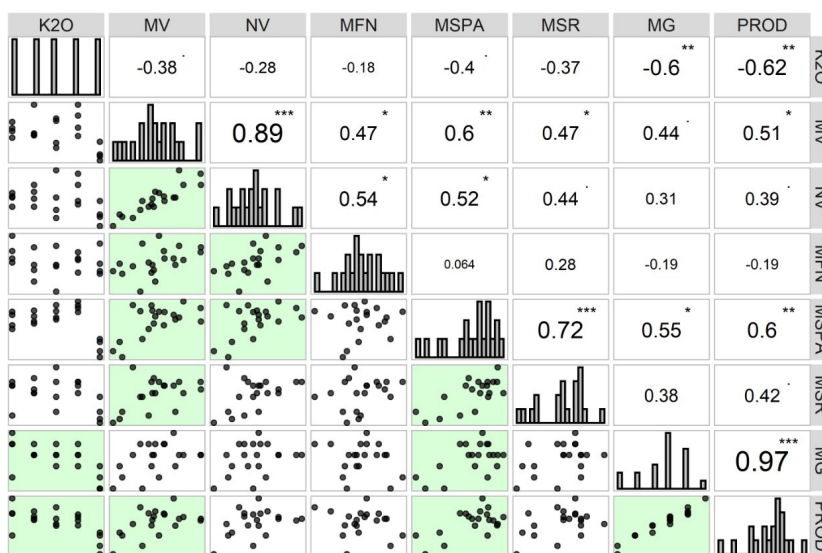
A redução de resposta ao aumento das doses de K<sub>2</sub>O também foi observada em experimentos de longa duração (ANTONANGELO *et al.*, 2019; FIRMANO *et al.*, 2019), cujas aplicações periódicas do nutriente não se refletiram em incrementos significativos de rendimento. Isso ocorre, em grande parte, pelas alterações nas frações de K trocável e não trocável e pela alta capacidade da cultura da soja em absorver parte dessas frações menos acessíveis (FARMAHA *et al.*, 2012).

Outros autores abordam danos nas culturas agrícolas promovidos direta ou indiretamente pelo KCl. Efeitos negativos atribuídos à salinidade do solo foram verificados por Sangoi *et al.* (2009), em estudo no qual se constatou que solos arenosos são mais sensíveis ao aumento das doses de KCl, em função da baixa capacidade de adsorção de K na superfície dos colóides, causando aumento da condutividade elétrica e impactos na produção de biomassa seca das plantas, principalmente no sistema radicular. Contudo ressalta-se que o mencionado experimento foi feito em caixas plásticas, o que pode ter intensificado o efeito salino nas plantas, por causa da limitação de espaço para o crescimento radicular e aumento da razão KCl:solo.

Em outro trabalho, conduzido por Mantovani *et al.* (2017), em um solo argiloso, mesmo sob altas precipitações pluviométricas, a produtividade da soja foi menor no tratamento com dose integral de KCl no sulco. Nesse sentido, discute-se atualmente sobre técnicas de manejo que otimizem a adubação potássica nos sistemas de cultivo. O fornecimento parcelado de K<sub>2</sub>O pré ou pós-semeadura associado à aplicação no sulco é uma estratégia que objetiva melhorar o aproveitamento do nutriente em situações de limitação hídrica ou em solos com potencial de perdas por lixiviação (ESPER NETO *et al.*, 2018).

Como já salientado, as doses de KCl não afetaram significativamente a massa de nódulos. São poucos os trabalhos que levam em consideração os impactos do efeito salino na formação de nódulos. Alguns estudos descrevem a diferença de tolerância entre genótipos de soja, em que alguns apresentam maior capacidade de suportar ambientes mais salinos. Essa diferença é atribuída não somente às bactérias, como também aos danos causados pelo excesso de sais em enzimas responsáveis pela fixação biológica de nitrogênio (FBN) (YASUTA & KOKUBUN, 2014). Na maioria dos casos, as pesquisas apontam efeitos deletérios na formação de nódulos e no processo de FBN. Alguns desses estudos, entretanto, foram desenvolvidos com fontes de sais incomuns na composição de fertilizantes, tais como o cloreto de sódio e de cálcio, e restringiram as análises apenas ao desenvolvimento inicial das plantas (SINGLETON & BOHLOOL, 1984; ELSHEIKH & WOOD, 1995).

As correlações mais fortes entre os atributos analisados ocorreram para a MV em relação ao NV (0,89), entre MSPA e MSR (0,72), bem como MSPA e produtividade (0,60), além deste último com a MG (0,97) (figura 5). Por outro lado, o fator “dose” apresentou as maiores correlações negativas com a MG (-0,60) e produtividade (-0,62) e menores para MV e MSPA. Os atributos relacionados ao sistema radicular obtiveram fracas correlações com os demais.



**Figura 5** – Coeficientes de correlação de Pearson entre o fator dose e as características morfológicas e produtivas da cultura da soja. Significativo: \*\*\* 0,001; \*\* 0,01 e \* 0,05. Fonte: primária.

Apesar de a MSR não ter evidenciado resposta significativa para as doses, tal variável demonstrou correlação com a biomassa da parte aérea e com o rendimento da cultura. A hipótese de que formas tóxicas de Al pudessem interferir no crescimento das raízes pode não ter se confirmado, visto que o pH do solo após a correção era de 5,5, limite inferior de acidez em que a maior parte do Al está precipitada (GILLESPIE *et al.*, 2021). Segundo Cunha *et al.* (2015), o aumento da concentração de sais na solução promove a troca de Al por K na superfície das argilas, aumentando, conseqüentemente, a atividade do elemento tóxico. Porém, no presente estudo, esse efeito pode ter sido amenizado pela liberação de ácidos orgânicos nas raízes capazes de complexar o Al, diminuindo a fitotoxidez (ZHENG *et al.*, 2014). Salienta-se que, após 41 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, houve redução na MSPA, o que poderia ser reflexo do efeito citado, pois em alguns casos a intensidade dos danos causados pelo Al é observada primeiro na parte aérea (TECHIO *et al.*, 2012).

De maneira geral, a máxima eficiência técnica da soja foi obtida com doses baixas de KCl, inferiores às recomendações vigentes. Os resultados indicam a necessidade de mais estudos de calibração, levando em consideração diferentes cenários agrícolas (tipo de solo, fertilizante, cultura de interesse e clima). Além disso, há necessidade de correlacionar as variáveis envolvidas, uma vez que os fertilizantes, além de fornecer o nutriente de interesse (efeito direto), podem alterar atributos químicos do solo e interagir, positiva ou negativamente, com outros elementos químicos (efeitos indiretos).

## CONCLUSÃO

A adubação com cloreto de potássio na linha de semeadura influencia a cultura da soja, com efeitos negativos sob doses elevadas. Os atributos relacionados ao sistema radicular não foram influenciados pelas doses do fertilizante.

Obteve-se a máxima resposta técnica da soja sob reduzidas doses de cloreto de potássio aplicadas na linha de semeadura. A máxima produtividade foi alcançada com apenas 26 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O.

As observações do estudo ressaltam a importância de ajustes nas doses de K atualmente recomendadas. A necessidade das diferentes culturas deve ser correlacionada com o potencial dos fertilizantes de causar efeitos indiretos no solo, tais como a salinidade.

## REFERÊNCIAS

- Almeida, J. A., Kampf, N. & Almeida, R. Caracterização mineralógica de cambissolos originados de rochas pelíticas nos patamares do Alto Rio Itajaí e no Planalto de Lages (SC). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 1997; 21:181-190.
- Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., Gonçalves, J. L. M. & Sparovek, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*. 2014; 22(6): 711-728.
- Antonangelo, J. A., Firmano, R. F., Alleoni, L. R. F., Oliveira Junior, A. & Zhang, H. Soybean production under continuous potassium fertilization in a long-term no-Till Oxisol. *Agronomy Journal*. 2019; 111(5): 2462-2471.
- Bernardi, A. C. C., Oliveira Júnior, J. P., Leandro, W. M., Mesquita, T. G. S., Freitas, P. L. & Carvalho, M. C. S. Doses e forma de aplicação da adubação potássica na rotação soja, milho e algodão em sistema plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Tropical*. 2009; 39(2): 158-167.
- Brignoli, F. M., Souza Junior, A. A. de, Grando, D. L., Mumbach, G. L. & Pajara, F. F. D. Atributos biométricos da soja influenciados pelo nível de pH do solo. *Revista Científica Rural*. 2020; 22(2): 13-28.
- Conab – Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira: grãos. *Boletim da Safra de Grãos 2015/2016*. 2016; 3(12): 1-184.
- CQFS-RS/SC – Comissão de Química e Fertilidade do Solo. Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Porto Alegre: Núcleo Regional Sul da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo; 2016. 376 p.
- Cunha, G. O. de M., Almeida, J. A., Testoni, S. A. & Barboza, B. B. Formas de alumínio em solos ácidos brasileiros com teores excepcionalmente altos de  $Al^{3+}$  extraível com KCl. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 2015; 39(5): 1362-1377.
- Dal Molin, S. J., Nascimento, C. O., Teixeira, P. C. & Benites, V. D. M. Polyhalite as a potassium and multinutrient source for plant nutrition. *Archives of Agronomy and Soil Science*. 2019; 66(5): 667-678.
- Elsheikh, E. A. E. & Wood, M. Nodulation and  $N_2$  fixation by soybean inoculated with salt-tolerant rhizobia or salt-sensitive bradyrhizobia in saline soil. *Soil Biology and Biochemistry*. 1995; 27(4-5): 657-661.
- Epagri – Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina. Banco de dados de variáveis ambientais de Santa Catarina. Florianópolis: Epagri; 2020. 20 p.
- Ernani, P. R. Química do solo e disponibilidade de nutrientes. 2. ed. Lages: Departamento de Solos e Recursos Naturais – CAV/Udesc; 2016. 254 p.
- Ernani, P. R., Bayer, C., Almeida, J. A. & Cassol, P. C. Mobilidade vertical de cátions influenciada pelo método de aplicação de cloreto de potássio em solos com carga variável. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 2007; 31(2): 393-401.
- Esper Neto, M., Minato, E. A., Besen, M. R., Inoue, T. T. & Batista, M. A. Biometric responses of soybean to different potassium fertilization management practices in years with high and low precipitation. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 2018; 42: e0170305.
- Farmaha, B. S., Fernández, F. G. & Nafziger, E. D. Soybean seed composition, aboveground growth, and nutrient accumulation with phosphorus and potassium fertilization in no-till and strip-till. *Agronomy Journal*. 2012; 104(4): 1006-1015.



- Fehr, W. R. & Caviness, C. E. Stages of soybean development. Special Report. Ames: Iowa State University; 1977. p. 1-12.
- Firmano, R. F., Melo, V. F., Castro, A. O. J. C. & Alleoni, L. R. F. Soybean and soil potassium pools responses to long-term potassium fertilization and deprivation under no-till. *Soil Science Society of America Journal*. 2019; 83(6): 1819-1829.
- Gillespie, C. J., Antonangelo, J. A. & Zhang, H. The response of soil pH and exchangeable Al to Alum and lime amendments. *Agriculture (Switzerland)*. 2012; 11(6): 1-13.
- Kaminski, J., Moterle, D. F., Rheinheimer, D. S., Gatiboni, L. C. & Brunetto, G. Potassium availability in a Hapludalf soil under long term fertilization. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 2010; 34(3): 783-791.
- Mantovani, A., Ribeiro, F. R., Veiga, M., Zilio, M. & Felicio, T. P. Métodos de aplicação de potássio na soja em nitisolo vermelho. *Unoesc & Ciência*. 2017; 8(2): 169-176.
- Mumbach, G. L., Gatiboni, L. C., Bona, F. D., Schmitt, D. E., Corrêa, J. C., Gabriel, A. C., Dall'orsoletta, J. D. & lochims, D. A. Agronomic efficiency of organomineral fertilizer in sequential grain crops in southern Brazil. *Agronomy Journal*. 2020; 112(4): 3037-3049.
- Nascimento, P. C., Bissani, C. A., Levien, R., Losekann, M. E. & Finato, T. Uso da terra e atributos de solos do estado do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. 2014; 18(9): 920-926.
- Potter, R. O., Carvalho, A. P. de, Flores, C. A. & Bognola, I. Solos do estado de Santa Catarina. Rio de Janeiro: Embrapa Solos; 2004. 721 p.
- Prajapati, K. & Modi, H. A. The importance of potassium in plant growth – a review. *Indian Journal of Plant Sciences*. 2012; 1(2): 177-186.
- R Core Team. R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical computing; 2021.
- Rosolem, C. A., Almeida, D. S., Rocha, K. F. & Bacco, G. H. M. A Potassium fertilization with humic acid coated KCl in a sandy clay loam tropical soil. *Soil Research*. 2017; 56(3): 244-251.
- Rosolem, C. A. & Steiner, F. Effects of soil texture and rates of K input on potassium balance in tropical soil. *European Journal of Soil Science*. 2017; 68(5): 658-666.
- Sangoi, L., Ernani, P. R., Bianchet, P., Vargas, V. P. & Picoli, G. J. Efeito de doses de cloreto de potássio sobre a germinação e o crescimento inicial do milho, em solos com texturas contrastantes. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*. 2009; 8(2): 187-197.
- Santos, H. G. dos, Jacomine, P. K. T., Anjos, L. H. C. dos, Oliveira, V. A., Lumbrreras, J. F., Coelho, M. R., Almeida, J. A., Araújo Filho, J. C. de, Oliveira, J. B. de & Cunha, T. J. F. Sistema brasileiro de classificação de solos. 5. ed. Brasília: Embrapa; 2018. 356 p.
- Singleton, P. W. & Bohlool, B. B. Effect of salinity on nodule formation by soybean. *Plant Physiology*. 1984; 74(1): 72-76.
- Sousa, D. M. G. & Lobato, E. Cerrado: correção do solo e adubação. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Técnica; 2004. 416 p.
- Techio, J. W., Escosteguy, P. A. V., Berres, D. & Zanella, S. Crescimento de híbridos de milho em solução nutritiva com alumínio. *Revista de Ciências Agroveterinárias*. 2012; 11: 205-212.
- Tedesco, M. J., Gianello, C., Bissani, C. A., Bohnen, H. & Volkweiss, S. J. Análise de solo, planta e outros materiais. 2. ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul; 1995. Boletim técnico, 5. 170 p.
- Yasuta, Y. & Kokubun, M. Salinity tolerance of super-nodulating soybean genotype En-b0-1. *Plant Production Science*. 2014; 17(1): 32-40.
- Zheng, L., Lan, P., Shen, R. F. & Li, W. F. Proteomics of aluminum tolerance in plants. *Proteomics*. 2014; 14(4-5): 566-578.