

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA - UFU
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS – ICIAG
GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

FLÁVIO DE OLIVEIRA COUTO JÚNIOR

**RESPOSTA DA CULTURA DA SOJA À SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DE K POR Na
EM CONDIÇÕES DE CAMPO**

**UBERLÂNDIA - MG
2022**

FLÁVIO DE OLIVEIRA COUTO JÚNIOR

**RESPOSTA DA CULTURA DA SOJA À SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DE K POR Na
EM CONDIÇÕES DE CAMPO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Agronomia da
Universidade Federal de Uberlândia,
para obtenção do título de Engenheiro
Agrônomo.

Orientador
Prof. Dr. Wedisson Oliveira Santos

UBERLÂNDIA – MG
2022

FLÁVIO DE OLIVEIRA COUTO JÚNIOR

**RESPOSTA DA CULTURA DA SOJA À SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DE K POR Na
EM CONDIÇÕES DE CAMPO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Agronomia da
Universidade Federal de Uberlândia,
para obtenção do título de Engenheiro
Agrônomo.

Uberlândia, 17 de agosto de 2022

Banca examinadora:

Igor Forigo Beloti

Membro 1

Jéssica Mieko Ota Alves

Membro 2

Prof. Dr. Wedisson Oliveira Santos

Orientador

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus por te me abençoado durante toda essa jornada, e em especial quero dedicar essa conquista ao meu pai, que hoje mora ao lado de Deus, o senhor é a minha referência e sempre sonhou com essa realização em minha vida, te amo eternamente. Agradeço a toda minha família, em especial aos meus avós, a minha mãe e a minha irmã, que sempre estiveram ao meu lado e me apoiaram em todas as minhas decisões.

Agradeço aos meus amigos, aqueles de longas datas e aqueles que construí na faculdade, em especial ao meu amigo-irmão Gustavo, que sempre esteve junto comigo, e ao Marco Antônio, que foi um irmão que a faculdade me presenteou.

Ao meu orientador Prof. Dr. Wedisson, muito obrigado, por todas as reuniões, orientações, pela paciência e por disponibilizar seu tempo para desenvolver esse trabalho. Agradeço também ao Igor, técnico do laboratório, que contribuiu muito na realização do trabalho.

E por fim, agradeço à fazenda Monte Sinai, ao meu tio Eduardo e meu primo Pedro Henrique por terem cedido a área para condução do experimento.

RESUMO

Dentre as culturas plantadas no Brasil, a soja destaca-se como a principal, sendo responsável por quase 50% da produção total de grãos do país. Entre os nutrientes mais extraídos e exportados pela soja ressalta-se o K como o mais relevante depois do N. Busca por fontes alternativas de K, prospecção de novas reservas e investigações da viabilidade de substituição, mesmo que parcial, são ações altamente desejáveis diante da extrema dependência externa da agricultura brasileira por esse nutriente, associada a falta de perspectiva de médio-longo prazos de novas reservas. Face ao exposto, objetivou-se avaliar o efeito da substituição de K por Na na cultura da soja (*Glycine max*) em condições de campo. O experimento foi conduzido na fazenda Monte Sinai (Município de João Pinheiro - MG - 80°55'17" S; 36°41'81" E, 564 m de altitude), entre 02 de novembro de 2021 e 09 de março de 2022. O ensaio foi composto por sete tratamentos, sendo seis proporções m/m K/Na (100/0; 87.5/12.5; 75/25; 50/50; 25/75; 0/100) e um tratamento controle (sem fertilização com Na ou K). Os tratamentos foram distribuídos no campo em blocos casualizados, com cinco repetições. A unidade experimental foi composta com 6 m² de área (sendo 4 linhas por parcela em espaçamento de 0,5 m entre linhas). A aplicação dos tratamentos foi realizada em cobertura e parcelada em duas etapas, aos 15 e 30 dias após o plantio (DAP), seguindo uma dose padrão de 90 kg ha⁻¹ de K. Avaliou-se a altura das plantas em R2 e R5. A colheita foi realizada manualmente, em 20 plantas por parcela, para que posteriormente fosse determinada a produtividade e massa de grãos. Os resultados foram submetidos a análise de regressão. A altura das plantas e a massa de 100 grãos não apresentaram diferença significativa entre os tratamentos. Por outro lado, a soja mostrou-se responsiva a substituição de K por Na para produtividade, sendo que nas condições experimentais onde a disponibilidade inicial de K foi considerada elevada, a maior produtividade foi obtida para a proporção 66% de K e 34% de Na. Portanto, os dados são promissores, mas há necessidade de estudos especialmente com análises fisiológicas visando identificar os teores críticos de Na e efeitos moleculares.

Palavras chave: *Glycine max*, nutrição, adubo.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	7
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	13
3.1 - Área experimental.....	13
3.2 - Tratamentos	14
3.3 - Avaliações	15
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	17
5. CONCLUSÕES	20
6. REFERÊNCIAS	21

1. INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* L.) é a cultura mais cultivada no Brasil. O manejo na cultura vem se transformando ao longo das últimas décadas. O seu cultivo expandiu-se do Sul do país para o Sudeste e atualmente é cultivada em todas regiões do Brasil. Em menos de duas décadas o cultivo de soja expandiu-se em cerca de 57%, tornando-se uma cadeia produtiva do agronegócio de grande importância social, econômica e ambiental (CONAB, 2020).

A produção de soja na safra 2021/22 alcançou 124 M t, cerca de 10% menor que a safra anterior, 2020/21. A área plantada cresceu em 4,5%, chegando a 40,95 M ha e produtividade média de 3.029 kg ha⁻¹, havendo uma redução de 14,1% na produtividade em relação à safra anterior, esse decréscimo de produção e produtividade é explicado pelo grande déficit hídrico sofrido na região Sul do país, onde houve queda acentuada de produção, em 44,2% (CONAB, 2022).

A produção de soja está em crescimento devido ao melhoramento genético, práticas de manejo, materiais adaptados a diferentes condições ambientais, períodos mais longos para o enchimento de grãos, diminuição do acamamento, melhoria do controle de plantas infestantes e maior resistência às doenças. Com as mudanças no rendimento da cultura da soja, houve também mudança na absorção e eficiência de fertilizantes (BALBOA; SADRAS; CIAMPETTI, 2018).

O cultivo da soja depende da aplicação de fertilizantes minerais para produção sustentável. O período de pandemia pelo vírus do COVID-19 e a guerra entre Rússia e Ucrânia está gerando aumento nos preços de fertilizantes, pois a Rússia é a maior exportadora mundial de fertilizantes (CARREGOSA; BARROS, 2022). O Brasil, nas últimas décadas, diminuiu a produção interna de fertilizantes, ficando cada vez mais dependente das importações. Atualmente é o quarto maior consumidor de fertilizantes do mundo. No caso do K, o percentual

importado chega a 95% de todo fertilizante potássico aplicado nas lavouras brasileiras (PEDUZZI, 2022).

O N é o macronutriente mais extraído pela soja, já o K detém a segunda colocação. O íon K^+ atua na ativação enzimática, regulação estomática e controle osmótico dos tecidos (MALAVOLTA, 2006). O fornecimento adequado de potássio na cultura da soja promove maior nodulação, número de vagens, tamanho de sementes e diminuição do número de grãos deformados (MALAVOLTA, 1980). A demanda de K da cultura da soja é de aproximadamente 38 kg/t K_2O de grão, sendo que cerca de 20 kg do total é exportado e 18 kg retido na matéria seca no campo (OLIVEIRA JÚNIOR *et al.*, 2013)

Dessa forma, o fertilizante potássico está sendo responsável pela elevação de custos na sojicultura. É compreensível a busca por alternativas que possam mitigar esse problema, e uma opção seria a substituição de K por outro elemento. Como alternativa de substituição pode ser utilizado o Na, pois é considerado um elemento benéfico para algumas plantas. Em beterraba (*Beta vulgaris* L.) o Na apresenta efeitos satisfatórios na produção, desde que os níveis de K estejam satisfatórios (COSTA; CARVALHO; OLIVEIRA, 2020). Porém, de acordo com Malavolta (2006), as funções do Na nos tecidos das plantas não são esclarecidas, mas sabe-se que ele pode substituir o K em algumas espécies, principalmente nas funções osmóticas.

Diante da grande dependência externa de fertilizantes potássicos, dos elevados preços, da insuficiência de produção brasileira, e sabendo da carência de trabalhos sobre a substituição desse K por Na, pesquisas são necessárias para um posicionamento mais assertivo.

Com isso, o objetivo desse trabalho foi avaliar algumas respostas no desenvolvimento da cultura da soja (*Glycine max*) mediante a substituição de adubação potássica (KCl) por adubação sódica (NaCl) em diferentes proporções de substituição. As hipóteses são: a substituição da adubação potássica por sódica em diferentes proporções diminui o crescimento de plantas de soja; as diferentes substituições de sódio por potássio influenciam de maneira

significativa a produtividade das plantas de soja; o peso de grãos de soja é afetado pela utilização do sódio como uma alternativa de substituir o potássio; a extração de K para os grãos de soja é afetada pela proporção de substituição por adubação sódica.

2. REVISÃO

A soja (*Glycine max*) cultivada no Brasil para a produção de grãos é uma planta herbácea, da família Fabaceae. De origem asiática, o seu cultivo é diferente se for comparado há cinco milênios, pois eram plantas rasteiras desenvolvidas próximas a rios e lagos, nomeada de soja selvagem (MOZZAQUATRO *et al.*, 2017).

A cultura é típica de países de clima temperado, foi tropicalizada e hoje é a cultura que mais se estabeleceu no território nacional. Com o desenvolvimento da agricultura, o Brasil nos anos de 2003 e 2004 se tornou um grande exportador mundial, representando respectivamente 8% das exportações (DOMINGUES; BERMANN; MANFREDINI, 2014).

O agronegócio é o setor que mais cresce no Brasil, representando 27,4% do PIB do país. O Produto Interno Bruto (PIB) do agronegócio brasileiro, calculado pelo Cepea (Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada), da Esalq/USP, em parceria com a CNA (Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil), cresceu 8,36% em 2021. Ressalta-se que, no último trimestre de 2021, especificamente, o PIB do agronegócio brasileiro chegou a cair, 2,03%, influenciado sobretudo por uma piora nos preços reais do setor. Diante do bom desempenho do PIB agregado do agronegócio em 2021, o setor alcançou participação de 27,4% no PIB brasileiro, a maior desde 2004 (CEPEA, 2022).

O Brasil é um país de dimensões continentais, com grandes variações edafoclimáticas. O melhoramento genético da soja precisou ultrapassar várias barreiras nas últimas décadas para tornar a cultura rentável em diversas regiões do país. De fato, os genótipos não eram adaptados as regiões do Sudeste, norte, nordeste e centro-oeste, por questões de temperatura, umidade

relativa, período chuvoso e, principalmente fotoperíodo (COSTA *et al.*, 2018). Se genótipos adaptados ao cultivo no Sul do país fossem semeados em menores latitudes como em Minas Gerais, as plantas ainda jovens eram induzidas ao florescimento pelo fotoperíodo ser menor que o fotoperíodo crítico da cultivar. Sendo assim, o melhoramento genético da soja foi essencial para o sucesso de produção atual.

A adubação de plantio é fundamental para fornecer uma nutrição para as plantas e possibilitar que essas expressem seu potencial produtivo, sendo que a deficiência de algum nutriente compromete a produtividade da soja, mesmo que os demais estejam em abundância no solo. Atualmente, os agricultores fazem o uso de adubos químicos ou minerais na maior parte dos cultivos, diferentemente de anos atrás, onde utilizava-se adubos orgânicos como esterco, tortas e rejeitos da própria agricultura.

A nutrição potássica feita corretamente na cultura da soja traz benefícios como: o aumento da nodulação, do número de vagens por planta, da porcentagem de vagens com grãos, do tamanho dos grãos, conseqüentemente maiores massas de grãos e teores de óleo, além de reduzir o número de grãos enrugados (MALAVOLTA, 2006).

O K tem atuação no processo de abertura e fechamento dos estômatos que, regulando o processo de assimilação de C e perda de água, assim causando a turgidez e expansão foliar, o que propicia um melhor aproveitamento da radiação solar (MALAVOLTA, 2006). Ainda, segundo Malavolta, Vitti e Oliveira (1997) o K não participa de nenhum composto orgânico e de nenhuma função estrutural na planta, portanto é necessário na ativação de aproximadamente 50 enzimas, entre elas as sintetases, oxiredutases, desidrogenases, transferases, quinases e aldolases. A resistência da soja ao ataque de pragas e doenças também está relacionada ao manejo adequado da adubação potássica. Estudos realizados por Sugimoto *et al.* (2009) mostram que o suprimento adequado de K confere maior resistência às doenças.

Na soja, o elemento químico mais requerido é o N, sendo exigido em torno de 83 kg ha⁻¹ para produção de 1 t de grãos, sendo na maior parte, pela fixação simbiótica (65% à 85%). Na sequência, K, P e S (GITTI, ROSCOE, 2017). Para produtividade média de 3 t ha⁻¹, são extraídos cerca de 114 kg de K₂O e são exportados aproximadamente 60 kg/ha de K₂O. Sendo assim, pode-se dizer que o K é o segundo macronutriente mais requerido pela cultura da soja. Portanto, para uma produção estimada em 123,8 M t para a safra 21/22, considerando uma extração de 38 kg/ha, seriam necessários 4,7 M t de K₂O.

Diferentemente do P, o K é conhecido por ter alta mobilidade no solo, e dessa forma pode ser aplicado a lanço quando necessário, possibilitando o parcelamento das doses. Conforme ressaltado por Marcandalli *et al.* (2008) e confirmado por Cavalini *et al.* (2018), a adubação potássica pode ser fornecida via superfície do solo, a lanço, não diminuindo a produtividade da soja.

O K e o Na são quimicamente similares, possuindo uma carga positiva, e dessa forma podem ser substituídos em funções não específicas, inclusive diminuindo o nível crítico do K, quando o Na é fornecido (SUBBARAO *et al.*, 2003). O Na é considerado um elemento benéfico às plantas, auxiliando algumas espécies na eficiência fotossintética em condições de baixa concentração de CO₂ (PES; ARENHARDT, 2015). Também é importante para espécies que possuem fotossíntese do tipo C4 (SANTOS, 2004), pois a deficiência de Na tem sido relatada por prejudicar a conversão de piruvato em fosfoenolpiruvato (PEP) (MARSCHNER, 1995).

Estudos demonstram que a substituição de K por Na é possível para algumas culturas, como na beterraba, em que é feita a substituição de parte do fertilizante potássico por sódico. Mesmo o Na não sendo considerado um nutriente essencial e relativamente tóxico para certas plantas, consegue exercer funções no metabolismo vegetal de determinados vegetais (MATEUS *et al.*, 2021). Estudos avaliando o desenvolvimento inicial da cultura do milho

demonstram que a cultura foi favorecida em produtividade nas proporções de 50% de K e 50% com Na (CARNEIRO, 2022).

Analisando o desenvolvimento de mudas de açazeiro submetidos a diferentes proporções dos cátions Ca:K:Na em solução nutritiva, Sousa *et al.* (2004) constataram que as soluções contendo a proporção 4:2:1 e 3:3:1 proporcionaram maior produção de matéria seca e um maior acúmulo de macronutrientes (P, K, Ca, Mg, S) nas mudas. Já em adubação de pastagem com o capim *Panicum maximum* cv. Mombaça a substituição do K por Na aumentou a produção de forragem até a dose de 28,77 mg dm⁻³ de Na a partir dos 60 d de emergência das plantas, e reduziu em 7,9% o desenvolvimento do capim Mombaça até os 90 dias (ANDRADE *et al.*, 2014).

Estudos com espécies florestais indicaram que diferentes proporções com substituição de K por Na promoveu diferenças significativas no desenvolvimento das mudas, nos teores e acúmulos de K e Na para as espécies de *Sesbania virgata* e *Enterolobium contortisiliquum* (INOCENCIO; CARVALHO; FURTINI NETO, 2014). Sette Jr. *et al.*, (2014) não encontraram alterações químicas significativas na composição da madeira ao adubar plantas jovens de *Eucaliptus grandis* com substituição de K por Na, indicando que é possível realizar adubação com Na e K para a cultura do eucalipto. Já Freitas *et al.* (2015) não encontraram alterações nas características anatômicas de *E. grandis* ao realizarem a adubação de K e Na.

Diante do cenário atual a substituição da adubação potássica por outras fontes é altamente desejável, visto que o potássio é o nutriente que a cultura da soja mais demanda via adubação. Portanto, foi propósito da pesquisa investigar a substituição da adubação potássica por adubação sódica na cultura da soja, em condições de campo.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 - Área experimental

O ensaio foi instalado na fazenda Monte Sinai, situada no município de João Pinheiro – MG, sob as seguintes coordenadas 17°35'08" S; 46°16'50" O, e 564 m de altitude. A área utilizada foi de primeiro cultivo, irrigada via pivô central (Figura 1).



Figura 1. Área experimental com cultivo de soja submetida à substituição de K por Na em diferentes proporções no município de João Pinheiro – MG.

Tabela 1. Resultados da análise de solo da camada 0-20 cm da área experimental

Parâmetro	Método	Resultado	Unidade
pH em água	EMBRAPA (2017)	5,29	-log(H ⁺)
pH em CaCl ₂	EMBRAPA (2017)	4,65	-log(H ⁺)
Matéria orgânica (MOS)	SCHULTE; HOSKINS, 2011	1,91	dag/kg
Carbono orgânico total	SCHULTE; HOSKINS, 2011	1,1	dag/kg
K	EMBRAPA (2009)	86,37	mg/dm ³
P	EMBRAPA (2009)	14	mg/dm ³
S	IAC (2001)	4,1	mg/dm ³
Ca ²⁺	EMBRAPA (2009)	1,59	cmolc/dm ³
Mg ²⁺	EMBRAPA (2009)	0,92	cmolc/dm ³
Acidez trocável	EMBRAPA (2009)	<0,1	cmolc/dm ³
Acidez potencial (H +Al)	EMBRAPA (2017)	1,32	cmolc/dm ³
CTC efetiva	EMBRAPA (2009)	2,83	cmolc/dm ³
CTC total a pH 7,00	EMBRAPA (2009)	4,05	cmolc/dm ³
Saturação de bases (V%)	EMBRAPA (2009)	67	%
Saturação por alumínio (m%)	EMBRAPA (2009)	0	%
Areia	EMBRAPA (2017)	70	%
Silte	EMBRAPA (2017)	4	%
Argila	EMBRAPA (2017)	26	%

3.2 - Tratamentos

O ensaio foi composto por sete tratamentos, sendo seis proporções m/m K/Na (100/0; 87.5/12.5; 75/25; 50/50; 25/75; 0/100) e um tratamento controle (sem fertilização com Na ou K). Os tratamentos foram distribuídos no campo em blocos casualizados, com cinco repetições (Tabela 2). A dose padrão utilizada foi de 90 kg ha⁻¹ de K (108 kg ha⁻¹ de K₂O), tendo como base uma extração de 114 kg para produção de 3 t ha⁻¹ de soja, a partir dessa dose calculou-se as proporções de substituição para cada tratamento. Cada parcela possuiu 3 m de comprimento e 2 m de largura, totalizando 6 m², em espaçamento de 0,5 m entre linhas, sendo 4 linhas por parcela. A área útil utilizada para as avaliações foram somente as duas linhas centrais de cada parcela, descartando as linhas das extremidades.

Tabela 2. Descrição dos tratamentos considerando diferentes proporções Na/K aplicadas no cultivo de soja para uma dose de Na ou K de 90 kg ha⁻¹

Tratamento	K ⁺ (%)	Na ⁺ (%)	K ⁺ (kg. ha ⁻¹)	Na ⁺ (kg. ha ⁻¹)
T1	100	0	90	0
T2	87.5	12.5	78.8	11.2
T3	75	25	67.5	22.5
T4	50	50	45.0	45.0
T5	25	75	22.5	67.5
T6	0	100	0	90
T7	Controle	Controle	0	0

Os tratamentos foram aplicados aos 15 e 30 dias após o plantio (DAP) utilizando como fonte de potássio o adubo Cloreto de Potássio (KCl) composto por 60% K₂O. A fonte de sódio foi o sal grosso (NaCl) composto por 36% de Na, por apresentar uma granulometria maior do que o sal refinado, facilitando a mistura com o KCl mais homogênea, melhorando a distribuição no campo. A adubação foi realizada a lanço, em cobertura. A quantidade de fertilizantes necessárias para cada parcela foram pesadas, seguindo as proporções de cada tratamento,

posteriormente foram colocados em saquinhos previamente identificados, e levados à campo (Figura 2).



Figura 2. Saquinhos com as proporções de K e Na para adubação da área experimental e adubação sendo realizada no cultivo de soja no município de João Pinheiro – MG.

3.3 - Avaliações

Foram avaliadas a altura das plantas, a produtividade, massa de 100 grãos e a exportação de K pelos grãos. Para mensurar a altura das plantas, foram medidas 15 plantas por parcela, das duas linhas centrais, descartando 1 metro das extremidades, em dois diferentes estágios fenológicos da soja, em R2 (pleno florescimento) e em R5 (enchimento de grãos), visto que a maior absorção de K pela soja ocorre durante o estágio reprodutivo. Medindo as plantas da base (rente ao solo) até a folha mais jovem da planta.

A produtividade foi determinada pela colheita de 20 plantas por parcela, de forma manual, selecionando-se 10 plantas de cada uma das linhas centrais. Foi feita a debulha manual, separando os grãos da vagem (Figura 3), e posteriormente a massa de grãos total foi medida em balança e determinada a produtividade de cada parcela.



Figura 3. Etapas de debulha e separação dos grãos do ensaio com diferentes proporções de K e Na no cultivo de soja no município de João Pinheiro – MG.

Os grãos coletados para avaliar a produtividade também foram utilizados para determinar a massa de 100 grãos, selecionando-se 100 unidades ao acaso de cada parcela experimental, e posteriormente aferindo a massa em balança. As amostras de grãos foram levadas ao laboratório da UFU (LABAS) para determinar os teores de K, e assim possibilitar a obtenção da exportação de K. Primeiramente, as amostras foram secas na estufa a 65°C até estabilidade de massa, posteriormente moídas em moinho tipo Wiley.

Para a digestão das amostras seguiu-se o método de McGrath e Cunliffe (1985); transferindo-se 0,2 g de amostra para tubo de digestão, onde adicionou-se 6 mL de água régia (composta por ácido clorídrico e ácido nítrico em uma proporção 3:1) à frio, ficando em pré digestão por 16 h. Em seguida, foi realizada a digestão em bloco aquecedor com elevação gradual de temperatura até 180 °C, até que restasse cerca de 1 ml do extrato. Após o resfriamento das amostras, foram adicionados 50 ml de água destilada, posteriormente o extrato foi filtrado (filtro quantitativo) e transferido para balão volumétrico.

Após a extração, as amostras foram submetidas a leitura no espectrofotômetro de emissão de chamas, onde mediu-se a emissão de fótons devido a ionização do K^+ de cada amostra seguindo uma curva de calibração, feita a partir de soluções com diferentes

concentrações de K, e através desses valores de emissão e com essa curva construída foi possível determinar-se a quantidade de K que foi exportada pelos grãos de cada parcela.

Os dados foram submetidos à análise de variância, sendo o efeito das proporções Na/K estudado por meio de análise de regressão.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O crescimento da soja não foi afetado pela substituição de K por Na independentemente do estágio fenológico (R2- pleno florescimento e R5- enchimento de grãos). Nos estádios R2 e R5 as plantas registraram alturas médias de 70,71 e 118,32 cm, respectivamente (Figura 4). Apesar das diferenças em relação as condições experimentais e planta teste, Carneiro (2022), na cultura do milho, em condições de casa de vegetação com doses de 75 % de Na e 25% de K, não detectou diferença significativa no crescimento das plantas.

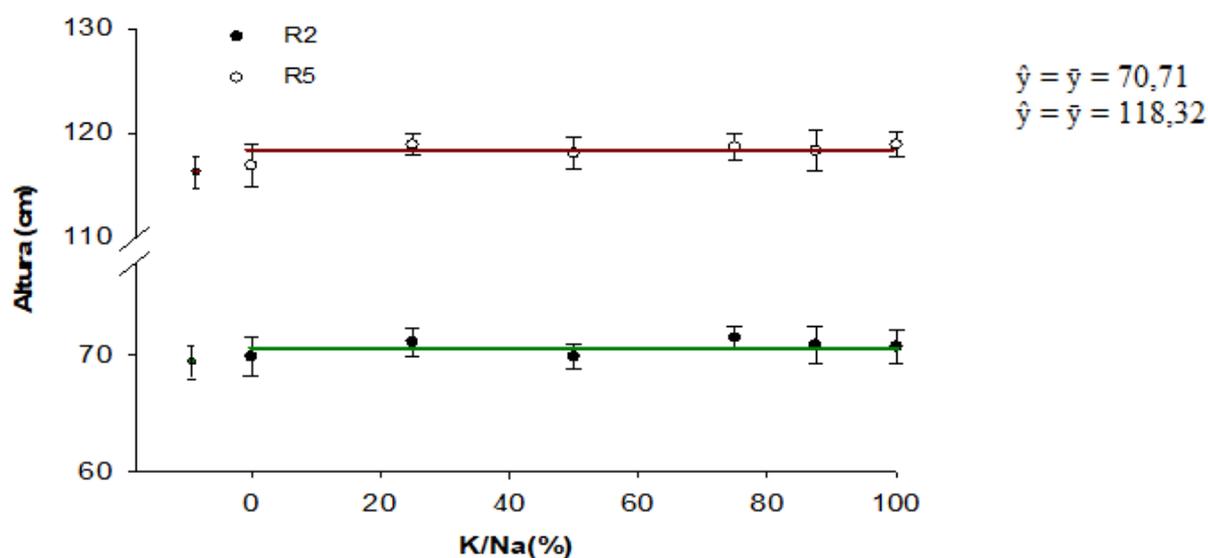


Figura 4– Alturas de plantas (cm) de soja adubadas com proporções de K e Na variando de 0 a 100% no município de João Pinheiro – MG.

Houve efeito quadrático da substituição Na/K na produtividade da soja (Figura 5), indicando como proporção ótima K/Na 66/34 para uma produtividade considerada elevada para

a cultura, de 4 230,7 t ha⁻¹. Curiosamente, acima de 66% de K houve tendência de diminuição de produtividade.

A fertilidade inicial do solo possibilitou uma produtividade de 3606,4 kg ha⁻¹. De acordo com os dados coletados pelo estudo o tratamento com maior produtividade, de 4243,2 kg ha⁻¹ foi adubado com 87,5% de K e 12,5% de Na. Ressalta-se que com a Figura 5 é interessante observar que a cultura da soja foi responsiva a adubação. A produtividade encontrada corrobora com o estudo de Carmo *et al.* (2018) realizado em Rio Verde (GO), com produtividade variando entre 3480,0 a 5569,0 kg. ha⁻¹.

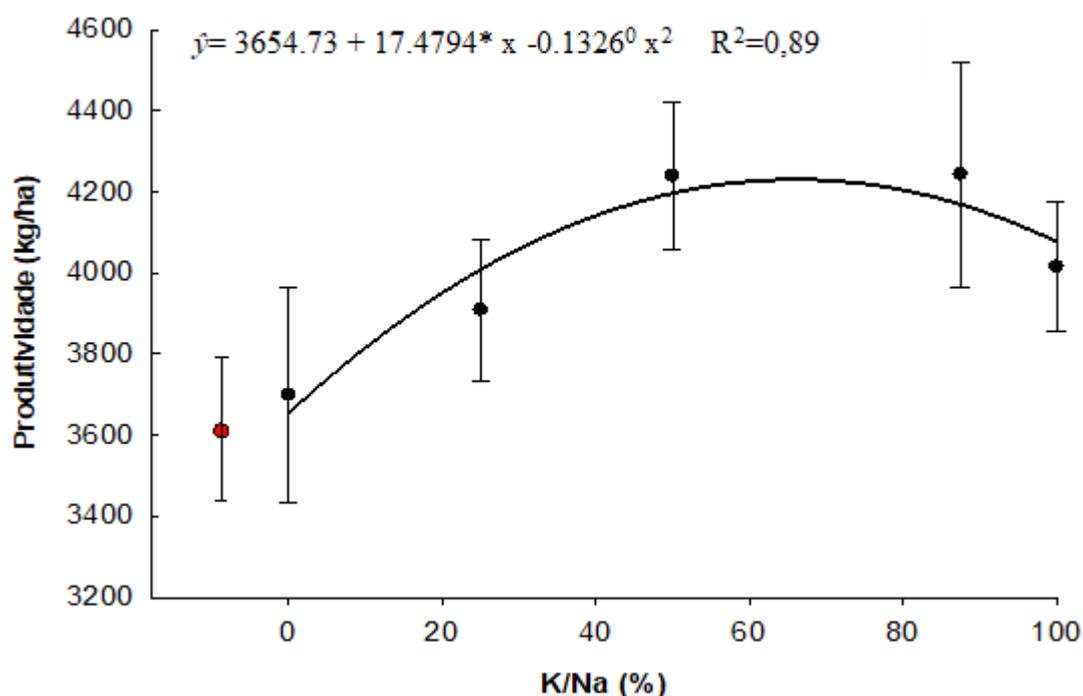


Figura 5 – Produtividade de soja (kg. ha⁻¹) adubada com diferentes proporções de K e Na no cultivo de soja no município de João Pinheiro – MG.

As plantas podem ser classificadas em 4 grupos conforme a tolerância a tolerância ao Na: o grupo 1 é composto por plantas que elevam a produtividade com a substituição parcial de K por Na; o grupo 2 com plantas que respondem à substituição, mas apresentam uma pequena queda na produtividade; o grupo 3 com plantas indiferentes à substituição; e o grupo 4 composto por plantas sensíveis à adubação sódica, manifestando efeitos negativos (FAQUIN,

2005; KORNDORFER, 2007). Portanto, como o efeito benéfico ou maléfico geralmente é função da disponibilidade, a depender da dose e grau de substituição a soja pode ser enquadrada em quaisquer dos grupos propostos. As condições experimentais permitem suportarmos que até 33% de substituição a soja seria enquadrada como do grupo 1 e acima dessa magnitude de substituição, como dos grupos 2 ou 4.

Não houve efeito do nível de substituição de Na por K na massa seca de 100 grãos de soja (Figura 6), que apresentou massa média de 15,15 g. Resultados semelhantes foram encontrados em duas cultivares de soja em diferentes épocas e distribuição de plantas, com massa de 100 grãos variando de 14,7 a 17,7 gramas Carmo *et al.* (2018).

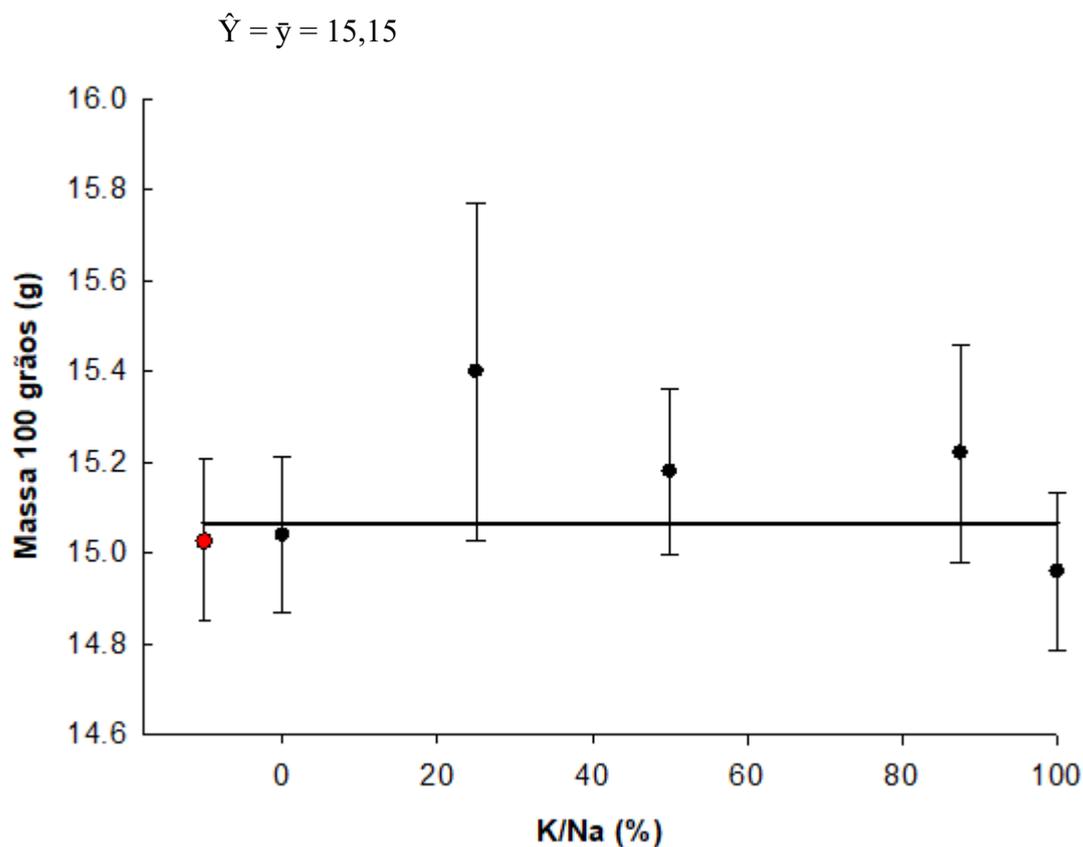


Figura 6 – Massa de 100 grãos de soja (gramas) adubada com diferentes proporções de K e Na no município de João Pinheiro – MG.

A exportação de K pelos grãos de soja não apresentou diferenças significativa, tendo os maiores valores nas maiores proporções de K, e o menor valor no controle, com média de 59,3 kg ha⁻¹. Ferreira *et al.* (2008) ao estudar a exportação de K em grãos de soja, encontrou a exportação máxima em 49 kg ha⁻¹ de K, resultado semelhante aos valores do tratamento controle e inferior ao restante dos tratamentos. Ainda segundo a Embrapa (2013), para a produtividade de 60 sacos (3600 kg), a soja exporta cerca de 60 kg de K; já para uma produtividade de 70 sacos (4200 kg), a soja exporta cerca de 70 kg de K; valores próximos aos obtidos no trabalho.

Com isso, infere-se que a substituição de Na por K até certa dose pode ser uma prática de manejo de adubação sem oferecer perdas produtivas na cultura da soja, com benefícios financeiros devido ao crescente aumento nos preços dos fertilizantes potássicos.

5. CONCLUSÕES

A cultura da soja apresenta potencial para substituição parcial de K por Na, o que poderá representar grande vantagem para a sojicultura brasileira, por diminuir a dependência de importação de fertilizantes potássicos. Entretanto, estudos mais aprofundados são altamente necessários, incluindo variáveis fisiológicas, moleculares, condições edafoclimáticas e cultivares.

6. REFERÊNCIAS

- ANDRADE, C. A. O. *et al.* Substituição parcial do potássio por sódio na adubação do capim mombaça em ciclos de pastejo. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**. Pombal – PB, v. 9, n. 5, p. 95 – 101, dez, 2014.
- BALBOA, G. R.; SADRAS, V. O.; CIAMPETTI, I. A. Mudanças no rendimento da soja, absorção de nutrientes e estequiometria de nutrientes: Uma análise de síntese histórica. **Crop Science**. 2018; 58:43-54. <https://doi.org/10.2135/cropsci2017.06.0349>
- CARMO, E. L. *et al.* Desempenho agronômico da soja cultivada em diferentes épocas e distribuição de plantas. **Revista de Ciências Agroveterinárias**. [s.l.], v. 17, n. 1, p. 61-69, 7 maio 2018. Universidade do Estado de Santa Catarina. <http://dx.doi.org/10.5965/223811711712018061>.
- CARNEIRO, F. B. **Resposta da cultura do milho à substituição de K por Na**. 27 f. TCC (Graduação) - Curso de Agronomia, Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2022.
- CARREGOSA, L.; BARROS, R. Entenda como a guerra impacta o mercado de fertilizantes: Rússia é o maior exportador mundial desses produtos, essenciais para a agricultura brasileira e de outros países. 2022. Disponível em: <https://www.poder360.com.br/europa-em-guerra/entenda-como-a-guerra-impacta-o-mercado-de-fertilizantes/>. Acesso em: 27 jul. 2022.
- CAVALINI, P. F.; SEVILHA, A.; CRUZ, R. M. S. da; ALBERTON, O. Resposta da soja a épocas de aplicação de potássio em cobertura. **Arq Ciênc Vet Zool**. 2018; 21(1): 23-28.
- CEPEA - Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil – CNA. **PIB do Agronegócio Cresceu Abaixo Das Projeções**. 2022. Disponível em: www.cnabrazil.org.br. Acesso em: 27 jul. 2022.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de grãos: décimo segundo levantamento. Brasília, v.7, Safra 2019/20, n. 12, 2020.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de grãos: décimo levantamento. Brasília, DF, v.9, Safra 2021/22, n. 10, p.1-88, Jul. 2022.
- COSTA, M. I. A. *et al.* Morfometria reprodutiva e diversidade genética em cultivares de soja. **Nucleus**, Viçosa, v. 15, n. 2, p. 207-215, 2018.
- COSTA, A. L. da; CARVALHO, K. F.; OLIVEIRA, N. P. Crescimento e nutrição da beterraba sob doses de sódio e potássio. **Research Society And Development**, v. 9, n. 8, p. 1-15, jul. 2020. E340985500. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i8.5500>.
- DOMINGUES, M. S. D.; BERMANN, C.; MANFREDINI, S. S. A produção de soja no Brasil e sua relação com o desmatamento na Amazônia. **Revista Presença Geográfica**, v.1, n.1, 2014.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária CARDOSO, E. L., FERNANDES, A. H. B. M.; FERNANDES, F. A. Análise de solos: finalidade e procedimentos de amostragem. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2009. 5 p. (Embrapa Pantanal. **Comunicado Técnico, 79**. Disponível em: Acesso em: 29 jul. 2022.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária: **Manual de métodos de análise de solo** / Paulo César Teixeira. Embrapa Solos Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF, 2017.

FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2005. 183p.

FERREIRA, E. V. O. *et al.* Ciclagem e balanço de potássio e produtividade de soja na integração lavoura-pecuária sob semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 1, n. 35, p. 161-169, 2011.

FREITAS, P. C. et al. Efeito da disponibilidade hídrica e da aplicação de potássio e sódio nas características anatômicas do lenho juvenil de *Eucalyptus grandis*. **Revista árvore**, Viçosa - MG, v. 39, n. 2, p.405-416, 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/0100-67622015000200020>.

GITTI, D. C.; ROSCOE, R.; RIZZATO, L. A. Manejo e fertilidade do solo para a cultura da soja. Fundação MS, Tecnologia e Produção: Soja 2017/2018, 2018.

IAC – Instituto Agronômico de Campinas. RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C. de; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise Química para Avaliação da Fertilidade de Solos Tropicais**. 285p. 2001

INOCENCIO, M. F.; CARVALHO, J. G.; FURTINI NETO, A. E. Potássio, sódio e crescimento inicial de espécies florestais sob substituição de potássio por sódio. **Revista Árvore**, Viçosa- MG, v. 38, n. 1, p.113-123, 2014.

KORNDORFER, G. H. Elementos benéficos. In: FERNANDES, M. S. (Ed.) **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa, MG: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 2006. p.355-374.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 251 p. 1980.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas – princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 309 p. 1997.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 638 p. 2006.

MARCANDALLI, L. H.; LEAL, A. J. F.; LAZARINI, E.; OLIVEIRA, W. A. S. Resposta da cultura da soja a adubação potássica na região dos chapadões. FERTBIO, 2008.

MARSCHNER, H. **Mineral Nutrition of Higher Plants**. San Diego: Academic Press, 888p. 1995.

MATEUS, N.S.; FLORENTINO, A.L.; SANTOS, E.F.; FERRAZ, A.V.; GONCALVES, J.L.M.; LAVRES, J. Partial substitution of K by Na alleviates drought stress and increases

water use efficiency Eucalyptus species seedlings. **Frontier in Plant Science**, v. 12:1-16, 2021.

McGRATH, S.P.; CUNLIFFE, C.H. A simplified method for the extraction of metals Fe, Zn, Cu, Ni, Cd, Pb, Cr, Co and Mn from soils and sewage sludges. **Journal of Science of Food and Agriculture**, Barking, v.36, p.794- 798, 1985.

MENEZES, J. F. S.; BERTI, M. P. S.; VIEIRA JUNIOR, V. D.; RIBEIRO, R. L.; BERTI, C. L. F. Extração e exportação de nitrogênio, fósforo e potássio pelo milho adubado com dejetos de suínos. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia-MS, v. 5, n. 3, p. 55-59, jul./set. 2018. ISSN 2358-6303.

MOZZAQUATRO, E. M. S. S.; ALMIRAO, D. D. O.; RIGHI, A. P.; LOPES, J. C. D. S. Viabilidade econômica da cultura da soja em uma propriedade rural. **Revista Congrega-Mostra de trabalhos de conclusão de curso-ISSN 2595- 3605**, v.1, p. 806-824, 2017.

OLIVEIRA JÚNIOR, A. *et al.* Adubação Potássica da soja: cuidados no balanço de nutrientes. **Informações Agrônômica**, v. 143, p. 1-10, set. 2013.

PEDUZZI, P. Brasil negocia aumento da importação de potássio da Jordânia: o país compra no exterior 95% do potássio usado na produção agrícola. 2022. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2022-05/brasil-negocia-aumento-da-importacao-de-potassio-da-jordania#>. Acesso em: 27 jul. 2022.

PES, L. Z.; ARENHARDT, M. H. **Fisiologia vegetal** Santa Maria, RS: Universidade Federal de Santa. 2015.

SANTOS, D. M. M. **Fisiologia Vegetal**. Jaboticabal: FCAV-UNESP, 2004.

SCHULTE, E.E.; HOSKINS, B. Recommended Soil Organic Matter Tests. In J.T. Sims and A. Wolf (eds.) Recommended Soil Testing Procedures for the Northeastern United States. Northeast Regional Bulletin #493. 3rd edition. Agricultural Experiment Station, University of Delaware, Newark, DE. p. 63-74, 2011.

SEDIYAMA T. Tecnologias de produção e usos da soja. Londrina: Mecenas. 314 p. 2009.

SETTE JR, R. C. et al. Alterações nas características químicas da madeira com a substituição do K por Na em plantações de eucalipto. **Revista árvore**, Viçosa - MG, v. 38, n. 3, p.569-578, 2014.

SOUSA, H. U. et al. Nutrição de mudas de açazeiro sob relações cálcio: potássio: sódio em solução nutritiva. **Ciência agrotecnica**. Lavras, v. 28, n. 1, p. 56-62, jan./fev., 2004.

SUBBARAO, G. V.; ITO, O.; BERRY, W. L.; WHEELER, R. M. Sodium-a functional plant nutrient. **Crit. Rev. Plant Sci**. 22: 391–416, 2003

SUGIMOTO, T.; WATANABE, K.; FURIKI, M.; WALKER, D. R.; YOSHIDA, S.; AINO, M.; KANTO, T.; IRIE, K. The effect of potassium nitrate on the reduction of Phytophthora stem rot disease of soybeans, the growth rate and zoospore release of Phytophthora sojae. **Journal of Phytopathology**, v. 157, p. 379-389, 2009.