

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

FACULDADE DE ENGENHARIA

UNESP – CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA

**ÉPOCAS DE APLICAÇÃO E DOSES DE FONTES ALTERNATIVAS DE POTÁSSIO
NA CULTURA DA SOJA**

JOÃO VICTOR DURAN NARDOCCI

Ilha Solteira – SP

Maior de 2025

JOÃO VICTOR DURAN NARDOCCI

**ÉPOCAS DE APLICAÇÃO E DOSES DE FONTES ALTERNATIVAS DE POTÁSSIO
NA CULTURA DA SOJA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Faculdade de Engenharia da Unesp – Campus
de Ilha Solteira, como parte dos requisitos para
a obtenção do grau de Engenheira Agrônoma.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Carvalho
Minhoto Teixeira Filho
Coorientador: Guilherme Carlos Fernandes

Ilha Solteira – SP

Maio de 2025

FICHA CATALOGRÁFICA
Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

N224e Nardocci, João Victor Duran.
Épocas de aplicação e doses de fontes alternativas de potássio na cultura da soja / João Victor Duran Nardocci. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2025
36 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Agrônômica) -
Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira,
2025

Orientador: Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho

Coorientador: Guilherme Carlos Fernandes

Inclui bibliografia

1. Glycine max L.. 2. Silicato de potássio. 3. Adubação potássica. 4.
Produtividade de grãos.

Sandra Montibeller - CRB-8/060

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE ENGENHARIA - CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA

CURSO DE ENGENHARIA AGRONÔMICA

ATA DA DEFESA - TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TÍTULO: Épocas de aplicação e doses de fontes alternativas de potássio na cultura da soja

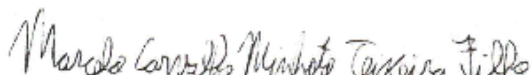
ALUNO: João Victor Duran Nardocci

RA: 201053535

ORIENTADOR: Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho

Aprovado ☒ - Reprovado () pela Comissão Examinadora com Nota: 9,3

Comissão Examinadora:


Prof. Dr. Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho
Presidente (Orientador)



Dr. Edson Cabral da Silva

 KARINA DA SILVA SOUZA
CPF: 36.062.025-15 (25.55.0.993)
verifique em https://portal.ev.gov.br

Me. Karina da Silva Souza


João Victor Duran Nardocci

Ilha Solteira, 16 de junho de 2025.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho e toda a minha graduação aos meus pais, Amanda e João, às minhas irmãs, Maria Fernanda, Maria Alice e Sophia, que sempre me apoiaram a seguir meus sonhos. Também, dedico aos meus companheiros de república que durante esses cinco anos sempre me apoiaram e me ensinaram muito. Muito Obrigado! Sem vocês nada disso seria possível.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer á minha mãe Amanda, ao meu pai João, às minhas irmãs Maria Fernanda, Maria Alice e Sophia e aos meus avós Ivete e Francisco.

Gostaria de agradecer também aos meus irmãos de república por todos esses anos juntos, pela companhia, risadas, ensinamentos, puxões de orelha e tudo o que envolve essa família.

Gostaria de agradecer ao grupo Nutrição de Plantas, ao Bruno, Guilherme, William e ao professor Dr. Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho, por todos os ensinamentos durante todos esses anos.

Gostaria de agradecer ao laboratório do grupo Nutrição de Plantas, que é gerenciado pelo Marcelo Rinaldi e Kaway, sem vocês nenhuma das pesquisas do grupo seria possível, o apoio, incentivo e dedicação de vocês é fundamental para a continuidade das pesquisas da Universidade.

Agradecer à Universidade Estadual Paulista, Campus de Ilha Solteira, por todo o investimento, apoio e incentivo à formação de grandes profissionais. Sem sua presença muitos alunos do interior de São Paulo não teriam acesso à educação e profissionalização de qualidade. Assim como o apoio e ensino de seus professores que sempre estão dedicados a transmitir seus conhecimentos para nós alunos do curso de Engenharia Agrônômica.

Gostaria de agradecer ao PIBIC, pelo incentivo e apoio, que é fundamental ao fomentar a pesquisa nas universidades.

“É difícil alcançar a perfeição, mas não é difícil aproximar-se dela.”

Telê Santana

RESUMO

O Brasil a cada ano que passa vem aumentando sua área de cultivo de soja e consequentemente aumentando sua produtividade. A área de soja saiu de cerca de 46 mil hectares para cerca de 47,5 mil hectares. Já a produção saiu de 147,7 mil toneladas para 168,3 mil toneladas. O principal destino da soja brasileira é o mercado externo, muito movimentado pela nutrição animal. Consequentemente a isso, aumenta-se a busca pela maior produção visando o menor investimento e buscando investimentos mais sustentáveis. O potássio é fundamental para a produção da soja, por conta da sua importante atuação no enchimento de grãos, sendo fundamental também no teor de óleo e proteína do grão. O potássio está ligado à abertura e fechamento dos estômatos, influenciando assim a passagem de água e nutrientes para os grãos. No Brasil, há diversas rochas que são ricas em silício e que podem ser processadas para se tornarem fontes de potássio, o que pode reduzir os custos na produção agrícola e diminuir a dependência de fertilizantes potássicos importados. O objetivo deste estudo foi analisar como diferentes dosagens e momentos de aplicação de fontes alternativas de potássio (como Potasil “fonólito” ou Ekosil “Fonolito hidrotermalizado/Rocha potássica”) influenciavam a nodulação, os componentes produtivos e a qualidade da produção de soja. O estudo foi conduzido no município de Selvíria, MS, cujo solo da área de pesquisa é classificado como Latossolo Vermelho distrófico (LV) e apresenta uma textura argilosa. O experimento foi estruturado em blocos casualizados com um arranjo fatorial 2x4x3, envolvendo: duas épocas de aplicação (uma antecipada e a outra no momento da semeadura), quatro níveis de K_2O (0, 40, 80 e 120 kg ha⁻¹) e três fontes de potássio (KCl, Potasil “Fonolito” e Ekosil “Fonolito Hidrotermalizado/Rocha Potássica”). Os tratamentos que incluíam a adubação potássica foram aplicados a lanço, sem serem incorporados ao solo. Independentemente da fonte utilizada ou do tempo de aplicação. A oferta de 80 kg ha⁻¹ de K_2O proporcionou a maior produtividade de grãos de soja. A aplicação antecipada de Ekosil resultou em um aumento na massa de nódulos quando comparada ao Potasil e ao Cloreto de Potássio. Devido a serem menos suscetíveis à lixiviação e por apresentarem um efeito prolongado na liberação de potássio, Ekosil e Potasil foram alternativas viáveis ao KCl. A utilização de fontes de K_2O aliadas ao silício trouxe impactos positivos no cultivo da soja, onde a aplicação antecipada de Ekosil na dose de 40 kg ha⁻¹ de K_2O demonstrou uma maior eficiência agronômica na adubação potássica destinada à soja. Assim, esse tipo de material possui potencial para substituir o KCl no cultivo de soja, mantendo os teores apropriados de potássio no solo.

Palavras-chave: *Glycine max* L., silicato de potássio, adubação potássica, produtividade de grãos.

ABSTRACT

Brazil has been increasing its soybean cultivation area every year and consequently increasing its productivity. The soybean area has increased from around 46,000 hectares to around 47,500 hectares. Production has risen from 147,700 tons to 168,300 tons. The main destination for Brazilian soybeans is the foreign market, which is heavily driven by animal nutrition. As a result, the search for higher production is increasing, with a view to lower investment and more sustainable investments. Potassium is essential for soybean production due to its important role in grain filling, as well as its fundamental role in the grain's oil and protein content. Potassium is linked to the opening and closing of stomata, thus influencing the passage of water and nutrients to the grain. In Brazil, there are several rocks that are rich in silicon and can be processed to become sources of potassium, which can reduce costs in agricultural production and reduce dependence on imported potassium fertilizers. The aim of this study was to analyze how different times and dosages of application of alternative potassium sources (such as Potasil “phonolite” or Ekosil “hydrothermalized phonolite/potassium rock”) influenced nodulation, productive elements and the quality of soybean production. The soil in the research area is classified as Latossolo Vermelho Distrófico (LV) and has a clayey texture. The experiment was structured in randomized blocks with a 2x4x3 factorial arrangement, involving: two application times (one in advance and the other at the time of sowing), four levels of K₂O (0, 40, 80 and 120 kg ha⁻¹) and three potassium sources (KCl, Potasil “Fonolito” and Ekosil “Fonolito Hidrotermalizado/Rocha Potássica”). The treatments that included potassium fertilization were applied by hand, without being incorporated into the soil. Regardless of the source used or the time of application. The 80 kg ha⁻¹ of K₂O provided the highest yield of soybeans. Early application of Ekosil resulted in an increase in nodule mass when compared to Potasil and Potassium Chloride. Because they are less susceptible to leaching and have a prolonged effect on potassium release, Ekosil and Potasil are viable alternatives to KCl. The use of K₂O sources combined with silicon has had a positive impact on soybean cultivation, where the early application of Ekosil at a dose of 40 kg ha⁻¹ of K₂O has shown greater agronomic efficiency in potassium fertilization for soybeans. Thus, this type of material has the potential to replace KCl in soybean cultivation, maintaining the appropriate levels of potassium in the soil.

Keywords: *Glycine max* L.; potassium silicate; potassium fertilization; grains productivity, Fonolito

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	6
2 REVISÃO DE LITERATURA	8
3 OBJETIVOS	10
4 MATERIAL E MÉTODOS	10
4.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL E CARACTERIZAÇÃO DO SOLO	10
4.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS	11
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	12
5.1 TEORES DE NUTRIENTES NO SOLO	12
5.2 TEORES DE MACRONUTRIENTES E MICRONUTRIENTES NA FOLHA	
DIAGNOSE DA SOJA	14
5.3 COMPONENTES BIOMÉTRICOS E PRODUTIVOS DA CULTURA DA SOJA	20
6 CONCLUSÃO	24
7 LITERATURA CONSULTADA	25

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, o Brasil passou de importador a um dos maiores exportadores de alimentos do mundo. Nesse contexto, por ter área e água disponíveis para a expansão agrícola, é um país que também é responsável por atender à crescente demanda mundial por alimentos (EMBRAPA, 2018). Com o aumento da área cultivada e produção de soja, existem preocupações quanto a adequada nutrição das plantas para que atinjam o potencial máximo das cultivares, com maior retorno para o produtor (Boaretto; Natale, 2016). Portanto, o uso das tecnologias como máquinas agrícolas, sementes geneticamente modificadas, controle de pragas e bom manejo do solo são fundamentais para o aumento da produtividade de grãos no mundo (Herrendorf; Schoellman, 2015).

O potássio (K) é indispensável para ativação de muitas enzimas, à regulação osmótica dos tecidos e regular a abertura e o fechamento estomático na planta (Borkert et al., 2005). Teores adequados de K ainda favorecem a nodulação, os componentes de produção e a quantidade de óleo contida no grão, auxiliando ainda na redução da proporção de grãos enrugados e na maior tolerância da soja frente a situações de estresse de ordem biótica ou abiótica (Oliveira Junior; Castro; Oliveira, 2018). Em contrapartida, o desequilíbrio de potássio gera falta de uniformidade no desenvolvimento das plantas e na maturação, além de redução na qualidade e na densidade dos grãos, em especial, no terço superior das plantas (Oliveira Junior; Castro; Oliveira, 2018).

A aplicação insuficiente de adubo potássico pode levar ao esgotamento das reservas do solo e a aplicação excessiva pode intensificar as perdas por lixiviação mesmo em solos com média e alta capacidade de troca catiônica (ERNANI et al., 2007). De acordo com Paglia et al. (2007), há aumento da concentração de K^+ na solução lixiviada, na medida em que a quantidade de K_2O aplicado no solo aumenta. Portanto, o manejo correto da adubação potássica pode minimizar perdas e evitar o esgotamento de K do solo (Werle et al., 2008).

Dentre os fertilizantes potássicos, o cloreto de potássio (KCl) é o mais utilizado no Brasil, porém constam na literatura, perdas por lixiviação de K na ordem de 50-70% (Wu; Liu, 2008). Neste contexto, Guareschi et al. (2011) constataram que a aplicação a lanço de KCl revestido por polímeros 15 dias antes da semeadura, proporcionou maior produção de massa seca, número de vagens por planta e produtividade de grãos de soja em relação ao KCl convencional. Apesar disto, quando aplicados na semeadura referidos fertilizantes proporcionaram produtividades de grãos e de massa seca de soja semelhantes. Valderrama et al. (2011) também não verificaram maior eficiência do KCl revestido quando comparado ao

mesmo fertilizante convencional em adubação de semeadura, para produtividade de grãos de milho nas condições edafoclimáticas de Cerrado.

O uso do cloreto de potássio (KCl) predomina na agricultura brasileira, resultado da maior disponibilidade e da melhor relação custo-benefício (Echer; Foloni; Creste, 2009). No entanto, vários inconvenientes econômicos e ambientais associados à utilização de fertilizantes convencionais tornam-se foco de preocupação em todo o mundo (James; Sojka, 2008; NI; LIU; LÜ, 2009). Os fertilizantes são os que representam maior valor no custo de produção e os que mais limitam a produtividade de algumas culturas (Yan, 2008). O KCl, quando aplicado de forma inadequada, aos solos são perdidos para o ambiente sem serem absorvidos pelas plantas (Sousa; Rein, 2009), o que provoca não só grandes perdas de recursos econômicos, mas também prejuízos ambientais devido à poluição dos recursos hídricos (Ge et al., 2002; Shavit; Reiss; Shaviv, 2002). Além disso, a aplicação em excesso do KCl (sal) dificulta a absorção de água pelas sementes e pelas radículas, devido ao aumento da pressão osmótica externa às células (Sangoi et al. 2009), podendo provocar redução na germinação das sementes com consequente menor número de plantas por área. Outro problema é que a produção agrícola brasileira apresenta grande dependência da importação desse fertilizante potássico, comprometendo sua sustentabilidade e segurança alimentar. Os sais potássicos representam a principal fonte de K utilizada na agricultura mundial; porém, a produção deste insumo está restrita a poucos países como: Canadá, Rússia, Bielorrússia, Alemanha, Israel, Estados Unidos e Jordânia, que juntos respondem por mais de 85% da produção mundial. Tal fato obriga o Brasil a importar mais de 95% de todo o K utilizado.

O Brasil é responsável por cerca de 8% do consumo global de fertilizantes, ocupando a quarta posição, atrás apenas da China, Índia e dos Estados Unidos. Soja, milho e cana-de-açúcar respondem por mais de 73% do consumo de fertilizantes no País (MAPA, 2023).

A Associação Nacional para a Difusão de Adubos (Anda) revelou que mais de 70% dos fertilizantes usados na agricultura brasileira são importados, sendo as maiores dependências externas do país o cloreto de potássio (95%), nitrogênio (80%) e fosfato (60%). Isso justifica a busca de fontes alternativas de potássio, sobretudo que promovam a reciclagem desse e de outros nutrientes de plantas. O desembolso passou de US\$ 8,59 bilhões, em 2018, para US\$ 24,76 bilhões em 2022 (ANDA, 2023).

No Brasil existem várias rochas silicáticas abundantes e com possibilidade de uso como fontes de K em sua forma moída (Resende et al., 2005). Essas rochas são aglomerados de minerais que possuem desagregação dissolução relativamente lenta no seu estado natural. Por isso, os fertilizantes de liberação lenta podem reduzir o número de adubações feitas durante um

ciclo da cultura, reduzindo assim os custos de produção e a lixiviação de íons para o lençol freático. O produto libera os nutrientes gradativamente, podendo assim, atender melhor a necessidade de cada cultura, diminuindo possíveis danos causados às raízes pela alta concentração de sais e com distribuição mais homogênea dos nutrientes, favorecendo o fornecimento e a demanda fisiológica da planta (Rossa, 2008).

A Mineração Curimbaba, localizada na região de Poços de Caldas-MG, dispõe de grandes reservas da rocha denominada fonolito, um potássio silicatado que apresenta, de acordo com Teixeira et al. (2011), a seguinte composição química: 52,44% SiO₂; 23,37% Al₂O₃; 9,06% K₂O; 8,4% Na₂O; 3,85% Fe₂O₃; 2,84% CaO; 0,61% TiO₂; 0,13% MnO; e 0,10% P₂O₅ (Luz et al., 2013). Esta fonte alternativa de K também fornece Si em grande quantidade e pode propiciar maior efeito residual de potássio no solo. Na literatura constam respostas ao efeito residual da adubação potássica quando as culturas anteriores são o girassol, soja e trigo (Borkert et al., 1997). O fornecimento do silício (Si) na agricultura, por meio do silicato de potássio aplicado no solo é interessante, principalmente quando as plantas são submetidas a estresses bióticos e abióticos, comuns em condições edafoclimáticas adversas como no Cerrado brasileiro.

O Cerrado é uma grande fronteira agrícola que contribui de forma exorbitante na produção de alimentos. No entanto, seus solos possuem baixa fertilidade natural, influenciada pela intensa intemperização (Pasuch; Mendonça, 2019). Quando cultivada nesses solos, a cultura do milho apresenta sensibilidade à deficiência de nutrientes, sendo primordial o adequado manejo da adubação (Resende, 2003; Fancelli, 2010). Todavia, mais de 80% dos fertilizantes consumidos no Brasil são de origem estrangeira (Pnf, 2021). A dependência externa dos fertilizantes minerais e o aumento do custo destes insumos tem preocupado o setor agrícola brasileiro, levando à busca por fontes alternativas de nutrientes e otimização do manejo de adubação das lavouras.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 SOJA

A soja (*Glycine max* (L.)) é uma leguminosa oriunda da ásia, seus primeiros registros de cultivo dão como localidade o nordeste da China, há aproximadamente cinco mil anos. Sua espécie domesticada que conhecemos e cultivamos hoje vem da espécie silvestre *Glycine soja*, encontrada em regiões da China, Coreia, Japão e Rússia Oriental. Sua expansão pelo mundo se deu a partir do século XX, podendo destacar assim o Brasil, Estados Unidos da América e a Argentina como os maiores países produtores desse grão.

Para produção de um saco de sementes de soja, a planta precisa de cerca de 1,68 kg de

potássio (K_2O). Desse total, aproximadamente 60% do potássio aplicado é retirado do solo durante a colheita. A fase em que a planta mais demanda potássio é a vegetativa, quando o crescimento é mais intenso e há maior formação de massa verde (Foloni & Rosolem, 2008). O restante do potássio que não é extraído do campo, fica presente na palhada, porém, logo ele já é liberado ao solo pelo fato de não formar compostos orgânicos.

O potássio já presente no solo está ligado à matéria orgânica, por conta do fato de sua carga ser negativa retendo assim o mineral. Também pode ser encontrado em minerais primários e secundários, na forma de potássio inorgânico. Nessas condições, o K pode ser lentamente liberado para o solo e absorvido pelas plantas conforme a necessidade (Júlio et al., 2016).

A fonte de potássio mais utilizada na agricultura brasileira é o cloreto de potássio. Sendo uma fonte muito eficiente, porém é necessário ter cautela em sua utilização, devido ao fato de ela ser uma fonte com alta solubilidade, sendo facilmente lixiviada, principalmente em solos com textura mais arenosa ou situações com maior umidade do solo (chuvas e irrigação intensa). Outro ponto de atenção é seu fator salino que pode prejudicar a germinação da cultura (Korber et al., 2017).

2.2 POTÁSSIO

O potássio (K) desempenha um papel crucial na nutrição da soja (*Glycine max* L.), desempenhando funções fisiológicas como a fotossíntese, o transporte de carboidratos, a regulação da abertura estomática e a resistência a estresse hídrico e doenças (Prado, 2021). A alta necessidade de potássio para a cultura da soja justifica a atenção ao seu fornecimento, particularmente em solos com baixos teores desse mineral. Historicamente, o cloreto de potássio (KCl), apesar de eficaz, apresenta restrições relacionadas à salinização do solo e à necessidade de importação do produto.

Neste cenário, aumenta a procura por alternativas de potássio que favoreçam maior sustentabilidade, a utilização de recursos minerais locais e diminuam a necessidade de importações. Ademais, fatores como o momento de aplicação e a quantidade correta são cruciais para a eficácia da utilização deste nutriente, impactando diretamente na produtividade da plantação (Janke; Primieri, 2025).

Os agrominerais potássicos, também conhecidos como fontes alternativas de potássio, englobam rochas como fonolito, sienito nefelínico, basalto e xisto, muitos dos quais estão presentes no Brasil. Essas fontes possuem níveis variáveis de K_2O e solubilidade inferior em relação ao KCl. No entanto, podem ser vantajosas devido ao fornecimento progressivo do

nutriente, o que é vantajoso para culturas perenes e para a produção de soja em sistemas conservacionistas (EMBRAPA, 2025).

Segundo Janke e Primieri (2025), o uso de fonolito hidrotermalizado apresentou resultados positivos na preservação do potencial fisiológico de sementes de soja, resultando em aumento na massa seca das plântulas e vigor inicial. Estes achados indicam que, mesmo com menor solubilidade, o uso agrícola do potássio presente em rochas pode ser eficiente, especialmente quando combinado com práticas de gestão como a correção da acidez do solo e a adição de compostos orgânicos.

A aplicação do potássio é um elemento fundamental na gestão da fertilidade do solo, uma vez que impacta diretamente a disponibilidade do elemento no período de maior necessidade das plantas. Durante as fases de florescimento e preenchimento dos grãos, a soja requer uma maior quantidade de potássio, pois ocorre uma intensa mobilização de assimilados para os órgãos reprodutivos (Silva et al., 2017).

Pesquisas sugerem que a divisão da adubação potássica, com aplicações distribuídas entre a preparação do solo e a fase vegetativa (V4 a V6), pode potencializar a eficácia na absorção do nutriente. De acordo com Agrolink (2025), estudos realizados entre 2020 e 2022 indicaram que a adição de potássio na linha de plantio aumentou a produtividade da soja e aprimorou a distribuição de K no perfil do solo, particularmente nas camadas mais profundas.

Ademais, a aplicação tardia de potássio em cobertura tem se mostrado benéfica em solos arenosos e em condições climáticas de elevada lixiviação, minimizando as perdas por erosão e maximizando a absorção nas etapas fenológicas mais importantes (EMBRAPA, 2025).

A quantidade de potássio a ser empregada deve levar em conta aspectos como a avaliação química do solo, a previsão de produtividade, o método de plantio e a fonte empregada. Normalmente, a sugestão para a soja varia de 80 a 160 kg ha⁻¹ de K₂O, variando de acordo com a fertilidade do solo e a cultura anterior (Prado, 2021).

Em relação às fontes alternativas, podem ser necessárias doses mais altas, devido à menor solubilidade. Contudo, sua utilização constante durante os ciclos pode auxiliar no enriquecimento do solo e na nutrição mais balanceada. Janke e Primieri (2025) informaram que doses crescentes de fonolito hidrotermalizado impulsionaram consideravelmente o crescimento inicial da soja, sem prejudicar a qualidade fisiológica das sementes, o que destaca seu potencial como uma alternativa viável para a obtenção de potássio.

É importante ressaltar que a resposta à adubação potássica também está ligada à interação com outros nutrientes, tais como magnésio e cálcio, bem como a composição orgânica do solo, que afeta a capacidade de reter e fornecer K⁺.

A gestão eficaz do potássio na cultura da soja exige não só a seleção correta da fonte, mas também um cuidado metódico com a dose e o período de aplicação. A utilização de fontes alternativas, como os agrominerais potássicos, é uma tática promissora para diminuir despesas, melhorar a sustentabilidade da produção agrícola e incentivar a utilização de produtos nacionais. Contudo, é crucial que essas práticas se baseiem em análises de solo, avaliações agronômicas locais e na integração com outras práticas de gestão conservacionista. A implementação de fertilização potássica fundamentada em princípios de eficiência, economia e sustentabilidade pode ter um impacto significativo no crescimento da produtividade da soja e na garantia da segurança alimentar mundial.

3 OBJETIVOS

O presente estudo teve como objetivo verificar o efeito de épocas de aplicação e doses de fontes alternativas de potássio (Potasil “fonolito” ou Ekosil “fonolito Hidrotermalizado/Rocha Potássica”), na cultura da soja em sequeiro, cultivada em sistema plantio direto no Cerrado.

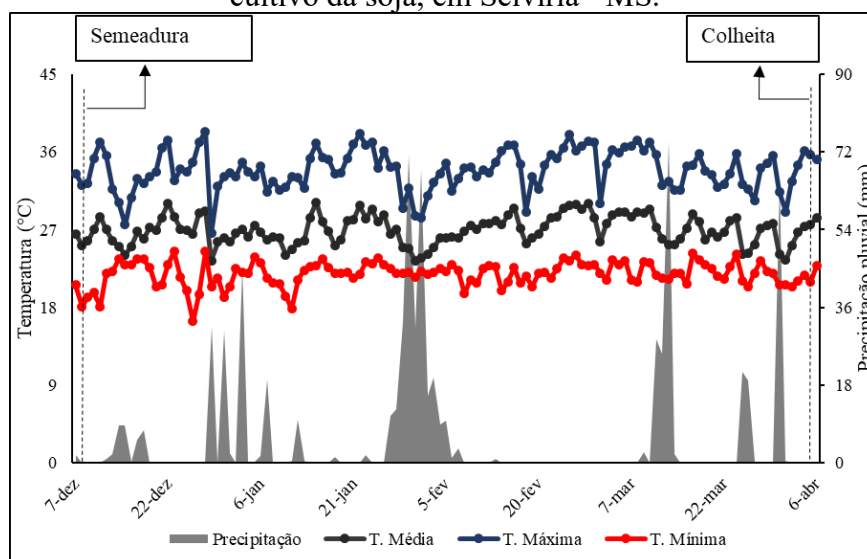
4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL E CARACTERIZAÇÃO DO SOLO

O experimento com a cultura da soja foi conduzido na área experimental, localizada na Fazenda de Ensino Pesquisa e Extensão da UNESP, Campus de Ilha Solteira – SP, situada nas coordenadas 22° 25' 5" S e 51° 20' 30" O, no município de Selvíria-MS, com altitude de 335 m.

A classificação climática da região, de acordo com Köppen, é Aw, com precipitação média pluvial anual de 1370 mm, temperatura média anual 23,5 °C (Hernandez et al., 1995). Os dados climáticos mensais durante a condução do experimento de soja estão disponíveis em forma de gráfico (Figura 1).

Figura 1. Precipitação pluvial e temperaturas máxima, média e mínima registradas durante o cultivo da soja, em Selvíria - MS.



Fonte: Próprio autor

O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho distrófico, textura argilosa Santos et al. (2018), cultivado nos últimos 17 anos em sistema plantio direto (SPD) tendo mamona e milho como cultivos antecessores.

Tabela 1- Caracterização química inicial do solo na área experimental, antes da semeadura da cultura da soja, na camada de 0,00–0,20 m. Selvíria- MS.

P (resina)	S	MO	pH	K	Ca	Mg	H+Al	Al	SB
-----mg dm ⁻³ -----		g dm ⁻³	CaCl ₂				-----mmol _c dm ⁻³ -----		
44	13	18	5,2	3,3	20	14	28	0	37,3
B ^a	Cu ^b	Fe ^b	Mn ^b	Zn ^b	CTC	V	m		
-----mg dm ⁻³ -----					mmol _c dm ⁻³	%	%		
0,27	3,4	0,8	24	23,9	2,4	65,3	57	0	

^a Determinado em água quente ^b Determinado em DTPA (dietilenotriaminopentaacético). MO: matéria orgânica, CTC: capacidade de troca catiônica, SB: soma de bases, V: saturação por bases, m: saturação por Al.

4.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL, TRATAMENTOS E CONDUÇÃO DA PESQUISA

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 2x4x3, sendo: duas épocas de aplicação (30 dias antes da semeadura e na ocasião da semeadura), quatro doses de potássio (0, 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de K₂O) e três fontes de potássio (KCl, Potasil “Fonolito” e Ekosil “Fonolito Hidrotermalizado/Rocha Potássica”), com quatro

repetições. O fertilizante aplicado 30 dias antes da semeadura foi em área total a lanço, assim os tratamentos aplicados na ocasião de semeadura.

As parcelas foram delimitadas com cinco metros de comprimento e oito linhas espaçadas em 0,50 m. A área útil das parcelas foram as quatro linhas centrais de 5 m. Os tratamentos com adubação potássica foram aplicados a lanço e sem incorporação ao solo, pois a pesquisa foi realizada em uma área agrícola com histórico de SPD. Nas sementes de soja, foi realizada a inoculação convencional das sementes com *Bradyrhizobium japonicum*. Com base na análise de solo (Tabela 1) foi realizada a adubação com 62 kg ha⁻¹ de P₂O₅, utilizando-se o fertilizante superfosfato triplo, aplicado abaixo e ao lado do sulco de semeadura de soja.

A cultivar de soja utilizada foi a TMG7063, com 18 sementes semeadas por metro linear de sulco. Aplicou-se, cobalto e molibdênio (CoMo) no sulco, na dose de 150 mL ha⁻¹ (com 1,5% de Co e 19,5% de Mo). Procedeu-se a inoculação convencional (dose de 75 mL de inoculante para 50 kg de semente) com as estirpes de *Bradyrhizobium japonicum* SEMIA 5079 e SEMIA 5080 garantiu que 5×10^9 UFC mL⁻¹ na forma fluida fossem realizados nas sementes de soja.

4.3 AVALIAÇÕES

4.3.1 Nutricional

No experimento de soja foram realizadas as seguintes avaliações: a) teor de N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn, Zn, Na e Si foliar, coletando-se o terceiro trifólio da soja de cima para baixo no florescimento pleno (R2), de cada parcela, segundo a metodologia descrita em Cantarella et al. (1997).

4.3.1 Componentes biométricos e produtivos

No experimento de soja foram realizadas as seguintes avaliações: b) altura de plantas na maturação, definida como sendo à distância (m) do nível do solo ao ápice da planta; Foram coletadas 10 plantas de soja representativas na ocasião da colheita para contagem do: d) número de vagens por planta, e) número de grãos por planta, f) altura de inserção da primeira vagem. g) massa de 100 grãos, determinada em balança de precisão 0,01g, a 13% (base úmida); h) produtividade de grãos, determinada pela coleta das plantas contidas nas quatro linhas úteis de cada parcela. Após a trilha mecânica, os grãos foram quantificados e os dados transformados em kg ha⁻¹ a 13% (base úmida); i) eficiência agrônômica dos tratamentos, cujo cálculo foi

realizado a partir da formula: produção de grãos com fertilizante - produção de grãos sem fertilizante) / (quantidade de K_2O aplicada (Fageria; Baligar,2005).

Avaliou-se também o teor de potássio e silício no solo, no fial do cultivo de soja, para isso foram amostrados cinco pontos por parcela para determinação deste nutriente conforme metodologia de Raij et al. (2001).

4.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados foram submetidos aos testes preliminares de normalidade e homoscedasticidade. Após isto os resultados foram analisados pela análise de variância e teste de Tukey a 5% de probabilidade para comparação de médias das épocas de aplicação de K e de fontes de potássio, e ajustadas a equações de regressão para o efeito das doses de K_2O , utilizando-se o programa SISVAR (FERREIRA, 2008).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 TEORES DE NUTRIENTES NO SOLO

Para os teores de potássio (K) no solo, houve efeito significativo para doses, com ajuste quadrático, com ponto de máximo $77,53 \text{ kg ha}^{-1}$ de K_2O (Figura 2A), também houve o desdobramento da interação dos fatores Fonte e Época de aplicação (Tabela 2).

O teor de silício (Si) no solo, apresentou interação entre os fatores Dose e Fonte de K_2O (Figura 1B), e Dose e Época de aplicação (Figura 1C) e o desdobramento para Fonte e Época de aplicação (Tabela 3).

Tabela 2. Médias e probabilidade (Teste-F) do teor de potássio (K) e silício (Si) no solo, após o cultivo da soja sob diferentes fontes, doses e métodos de aplicação de fertilizantes potássicos.

Doses de K_2O (kg ha^{-1})	K $\text{mmol}_e \text{ dm}^{-3}$	Si mg dm^{-3}
0	1,50	27,66
40	2,45	28,86
80	2,36	28,61
120	2,28	25,19
Fontes		
KCl	2,22	23,54
Potasil	2,06	30,31
Ekosil	2,16	24,89
Época apl.		
Antecipado	2,25	25,19
Semeadura	2,05	29,97
Média	2,15	27,58

CV (%)	13,68	14,21
F.V.		
Bloco	0,04*	0,50 ^{ns}
Dose (D)	0,0**	0,02*
Fonte (F)	0,12 ^{ns}	0,00**
Época (E)	0,00**	0,00*
D*F	0,13 ^{ns}	0,00**
D*E	0,32 ^{ns}	0,00**
F*E	0,03*	0,0**
D*F*E	0,16 ^{ns}	0,09 ^{ns}
Linear	0,0**	-
Quadrática	0,0**	-

^{ns} - Não significativo pelo teste F; *, ** - Significativo em $p \leq 0,05$ e $p \leq 0,01$ pelo teste F, respectivamente. As médias seguidas de letras distintas na coluna diferem pelo teste de Tukey.

Em relação ao desdobramento de Fontes e Época de aplicação para o teor de K no solo (Tabela 3). Em relação à aplicação antecipada, não houve diferença entre as fontes, enquanto que quando aplicado apenas na semeadura, o KCl se sobressai às demais fontes. Quando analisou-se o época de aplicação para o Potasil e Ekosil, verificou-se que quando fornecidos antecipadamente o teor de K no solo aumentou, por conta que são fontes de liberação mais lentas, necessitando de um tempo maior para a liberação do nutriente.

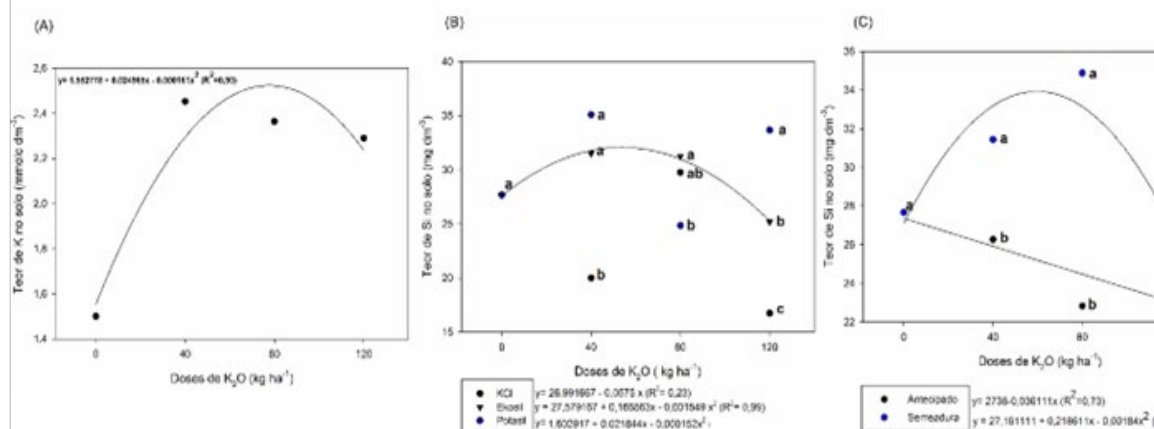
Tabela 3- Médias do teor de K no solo, sob interação entre diferentes fontes e métodos de aplicação de fertilizantes potássicos.

Fonte de K₂O	Época de aplicação	
	Antecipado	Semeadura
KCl	2,20 aA	2,25 aA
Ekosil	2,29 aA	2,03 abB
Potasil	2,24 aA	1,87 bB
Média	2,24	2,05

Letras minúsculas distintas na coluna entre as fontes de K₂O, letras maiúsculas distintas na linha entre e o época de aplicação de fertilizante potássico são diferentes pelo teste de Tukey ao nível de 1% de probabilidade.

Figura 2- Médias de teor de K no solo (A) em função das doses de K₂O, teor de Si no solo (B) em função das doses de K₂O nas três diferentes fontes testadas, e teor de Si no solo (C) em função das doses de K₂O nos dois épocas de aplicação.

Fonte:Próprio autor



Se possível, colocar desvio padrão nos pontos

Em relação ao desdobramento de doses e fontes de K₂O, apenas para a fonte Ekosil teve ajuste quadrático para teor de Si no solo, com ponto de máximo 53,76 kg ha⁻¹ de K₂O, enquanto para as outras fontes, o ajuste não foi significativo. As maiores médias foram encontradas para o Potasil comparado às outras doses (Figura 2B). Quando comparou-se a época de aplicação, os maiores teores de Si no solo foram obtidos quando se aplicou as fontes no momento da semeadura (Figura 2C).

5.2 TEORES DE MACRONUTRIENTES E MICRONUTRIENTES NA FOLHA DIAGNOSE DA SOJA

Para os teores de macronutrientes na folha diagnose da cultura da soja, apenas o cálcio (Ca) não foi influenciado por pelo menos um dos fatores testados (Dose, Fonte e época de aplicação), todos os outros nutrientes, em pelo menos um fator foi significativo (Tabela 4).

Tabela 4. Médias e probabilidade (Teste-F) dos teores dos macronutrientes e silício na folha diagnose da soja sob diferentes fontes, doses e métodos de aplicação de fertilizantes potássicos.

Doses de K ₂ O (kg ha ⁻¹)	N	P	K	Ca g kg ⁻¹	Mg	S	Si
0	52,15	3,41	24,34	10,62	5,11	2,10	0,17
40	53,45	3,56	24,59	11,26	4,75	2,65	0,16
80	53,11	3,50	24,49	11,22	4,93	2,65	0,14
120	53,93	3,67	24,62	10,82	4,79	2,68	0,17
Fontes							
KCl	52,67 a	3,48	24,84	10,75	4,83 a	2,47	0,16
Potasil	53,45 a	3,64	24,56	10,92	4,90 a	2,59	0,16
Ekosil	53,37 a	3,48	24,12	11,28	4,96 a	2,50	0,15
Época apl.							
Antecipad o	53,06 a	3,52 a	24,96	11,08 a	4,77 b	2,58	0,15 a

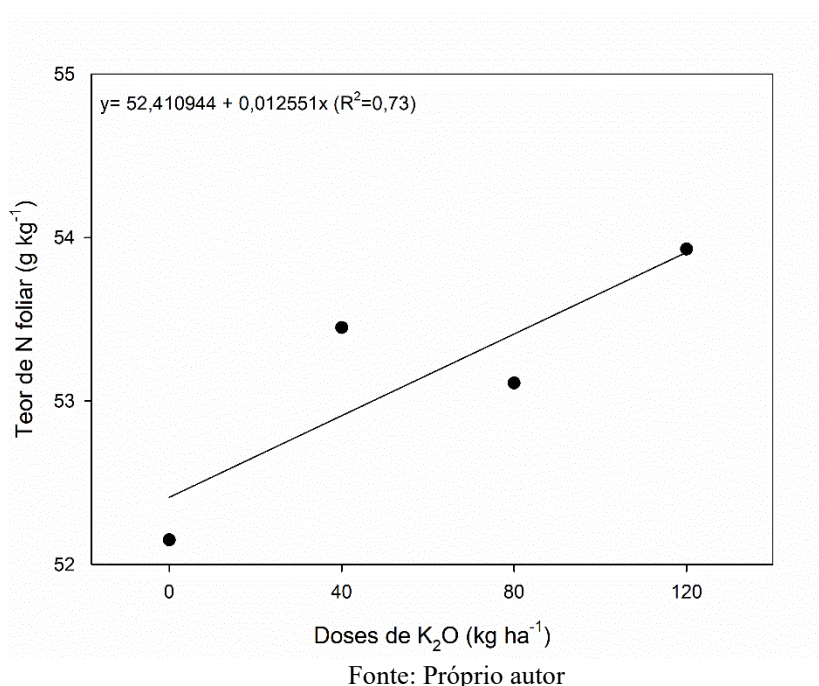
Doses de K₂O (kg ha ⁻¹)	N	P	K	Ca g kg ⁻¹	Mg	S	Si
Semeadura a	53,26 a	3,55 a	24,05	10,88 a	5,02 a	2,46	0,16 a
Média	53,16	3,53	24,51	10,98	4,90	2,52	0,16
CV (%)	3,18	10,08	6,16	15,74	9,94	18,45	15,88
F.V.							
Bloco	0,08*	0,03*	0,11 ^{ns}	0,00**	0,00**	0,95 ^{ns}	0,98 ^{ns}
Dose (D)	0,02*	0,18 ^{ns}	0,94 ^{ns}	0,62 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,00**	0,00**
Fonte (F)	0,23 ^{ns}	0,19 ^{ns}	0,26 ^{ns}	0,54 ^{ns}	0,65 ^{ns}	0,62 ^{ns}	0,10 ^{ns}
Época (E)	0,61 ^{ns}	0,61 ^{ns}	0,01*	0,63 ^{ns}	0,02*	0,28 ^{ns}	0,27 ^{ns}
D*F	0,47 ^{ns}	0,04*	0,22 ^{ns}	0,92 ^{ns}	0,99 ^{ns}	0,24 ^{ns}	0,03*
D*E	0,30 ^{ns}	0,51 ^{ns}	0,18 ^{ns}	0,60 ^{ns}	0,44 ^{ns}	0,03*	0,69 ^{ns}
F*E	0,40 ^{ns}	0,46 ^{ns}	0,01*	0,60 ^{ns}	0,37 ^{ns}	0,01**	0,54 ^{ns}
D*F*E	0,63 ^{ns}	0,93 ^{ns}	0,36 ^{ns}	0,91 ^{ns}	0,99 ^{ns}	0,00**	0,36 ^{ns}
Linear	0,07**	0,05 ^{ns}	0,65 ^{ns}	0,75 ^{ns}	0,14 ^{ns}	-	-
Quadrático a	0,551 ^{ns}	0,91 ^{ns}	0,85 ^{ns}	0,20 ^{ns}	0,34 ^{ns}	-	-

^{ns} - Não significativo pelo teste F; *, ** - Significativo em $p \leq 0,05$ e $p \leq 0,01$ pelo teste F, respectivamente. As médias seguidas de letras distintas na coluna diferem pelo teste de Tukey.

O teor foliar de nitrogênio (N) teve ajuste de função crescente (Figura 3), enquanto que para o teor foliar de magnésio (Mg), apenas o época de aplicação foi significativo (Tabela 4), onde a aplicação na semeadura apresentou maiores médias.

Para os teores foliares de fósforo (P) e silício (Si) houve o desdobramento de dose e fontes de K₂O (Tabelas 5 e 8). Enquanto que para o teor foliar de potássio (K) ocorreu a interação entre os fatores fontes e época de aplicação (Tabela 6). O teor foliar de enxofre (S) foi o único macronutriente que apresentou interação tripla (Tabela 7).

Figura 3- Médias de teor de N na folha diagnose em função das doses de K₂O.



Para o desdobramento de fontes dentro de doses de K_2O , apenas o Potasil na dose de 120 kg ha^{-1} de K_2O se diferiu estatisticamente dos demais, propiciando o maior teor de fósforo foliar (Tabela 5). Para nenhuma das fontes houve ajuste significativo para doses de K_2O .

Tabela 5- Médias do teor de P na folha diagnose, sob interação entre fontes e doses de fertilizantes potássicos.

Fonte de K_2O	Doses de K_2O (kg ha^{-1})			
	0	40	80	120
KCl	3,41 a	3,63 a	3,27 a	3,61 ab
Ekosil	3,41 a	3,47 a	3,71 a	3,34 b
Potasil	3,41 a	3,57 a	3,53 a	4,06 a
Média	3,41	3,54	3,50	3,67

Letras minúsculas distintas na coluna entre as fontes de K_2O são diferentes pelo teste de Tukey ao nível de 1% de probabilidade

KCl = 3,48^{ns}

Ekosil = 3,48^{ns}

Potasil = 3,64^{ns}

Para o teor de K foliar, as fontes KCl e Potasil proporcionaram teores superiores à fonte Ekosil quando aplicados na semeadura da soja (Tabela 6). Não ocorreu diferença significativa para o momento de aplicação de KCl e Potasil; já para ao Ekosil, o melhor resultado foi encontrado quando aplicado antecipadamente à semeadura, obtendo assim o maior teor de K na folha diagnose.

Tabela 6- Médias do teor de K na folha diagnose, sob interação entre fontes e épocas de aplicação de fertilizantes potássicos.

Fonte de K ₂ O	Época de aplicação	
	Antecipado	Semeadura
KCl	24,86 aA	25,82 aA
Ekosil	25,37 aA	22,88 bB
Potasil	24,66 aA	24,46 aA
Média	24,96	24,39

Letras minúsculas distintas na coluna entre as fontes de K₂O, letras maiúsculas distintas na linha entre e o época de aplicação de fertilizante potássico são diferentes pelo teste de Tukey ao nível de 1% de probabilidade.

Para o teor de S na folha diagnose, o maior teor foi encontrado com uso da fonte Potasil aplicado antecipadamente na dose de 120 kg ha⁻¹ de K₂O, enquanto com o KCl e o Potasil aplicados antecipadamente, os dados se ajustaram à função linear crescente (Tabela 7).

Tabela 7- Médias do teor de S na folha diagnose da soja sob interação entre diferentes fontes, doses e métodos de aplicação de fertilizantes potássicos.

Fonte de K ₂ O	Época de aplicação	Doses de K ₂ O (kg ha ⁻¹)			
		0	40	80	120
KCl	Antecipado ¹	1,94 aA	2,62 aA	2,80 aA	3,01 abA
KCl	Semeadura	2,33 aA	2,28 aA	2,89 aA	1,88 bB
Ekosil	Antecipado	1,94 aA	2,43 aA	2,42 aA	2,48 bA
Ekosil	Semeadura	2,25 aA	3,09 aA	2,18 aA	3,20 aA
Potasil	Antecipado ²	1,94 aA	3,29 aA	2,67 aA	3,42 aA
Potasil	Semeadura	2,25 aA	2,18 aB	2,93 aA	2,08 bB
Média		2,11	2,65	2,65	2,68

Letras minúsculas distintas na linha entre as fontes no época de aplicação, letras maiúsculas na coluna entre o época de aplicação de fertilizante potássico são diferentes pelo teste de Tukey ao nível de 1% de probabilidade.

¹KCl Antecipado = 2,087667 + 0,008483 x (R²= 0,89)

KCl Semeadura = 2,34^{ns}

Ekosil Antecipado = 2,31 ^{ns}

Ekosil Semeadura = 2,68 ^{ns}

²Potasil Antecipado = 2,253667 + 0,009633x (R²=0,53)

Potasil Semeadura = 2,36^{ns}

O teor foliar de Si não diferiu em função das fontes de K₂O. A fonte Ekosil na dose de 40 kg ha⁻¹ proporcionou teor superior estatisticamente à fonte de KCl, demonstrando uma maior disponibilidade (Tabela 8). Nas doses mais elevadas, a resposta mais baixa pode ser devido à lixiviação para camadas mais profundas.

Tabela 8- Médias do teor de Si na folha diagnose, sob interação entre fontes e doses de fertilizantes potássicos.

Fonte de K ₂ O	Doses			
	0	40	80	120
KCl	0,18 a	0,14 b	0,15 a	0,19 a
Ekosil	0,17 a	0,18 a	0,12 a	0,15 b
Potasil	0,16 a	0,16 ab	0,14 a	0,16 ab
Média	0,17	0,16	0,13	0,16

Letras minúsculas distintas na linha entre as fontes no época de aplicação dentro das doses são diferentes pelo teste de Tukey ao nível de 1% de probabilidade.

KCl = 0,165^{ns}

Ekosil = 0,15^{ns}

Potasil = 0,17^{ns}

Segundo Cantarella (2022) as faixas adequadas dos teores de macronutrientes em g kg⁻¹ são: N: 25 a 35; P: 1,9 a 3,5; K: 17 a 30; Ca: 2,5 a 6,0; Mg 1,5 a 4,0 e S: 1,5 a 3,0, e as faixas ideais para os teores de micronutrientes em mg kg⁻¹ na folha diagnose, são: Cu: 6-15; Fe: 70-200; Mn: 40-100 e Zn: 20-50. Logo, no presente estudo, todos os teores situaram dentro ou acima da faixa considerada adequada para a cultura da soja, seguindo a recomendação do boletim 100 (Cantarella, 2022).

Com relação aos teores de micronutrientes na folha diagnose da cultura da soja, apenas o manganês (Mn) e o zinco (Zn) ajustaram à função linear decrescente com o incremento das doses de K₂O (Tabela 9). O teor de boro (B) apresentou uma maior concentração quando a cultura foi adubada como cloreto de potássio e houve interação entre os fatores doses e época de aplicação (Tabela 10). Os teores foliares de cobre (Cu) e Ferro (Fe) apresentaram interação tripla dos fatores (Tabelas 11 e 12).

Tabela 8- Médias e probabilidade (Teste-F) do teor dos micronutrientes na folha diagnose da soja sob diferentes fontes, doses e métodos de aplicação de fertilizantes potássicos.

Doses de K₂O (kg ha⁻¹)	B	Cu	Fe mg kg⁻¹	Mn¹	Zn²
0	34,12	23,0	168	129,2	56,40
40	44,38	16,50	164	113,8	47,83
80	46,66	18,22	173	117,6	46,77
120	51,88	18,72	157	117,1	46,83
Fontes					
KCl	45,79 a	19,83	168,0	119,6 a	49,55 a
Potasil	45,36 ab	19,66	164,9	120,4 a	49,72 a
Ekosil	41,63b	17,83	164,4	118,4 a	49,10 a
Época apl.					
Antecipado	41,21	20,22a	163,7	119,5 a	50,00 a
Semeadura	47,31	18,00	168,2	119,3 a	48,92 a
Média	44,26	19,11	165,0	119,4	49,46
CV (%)	12,69	19,11	7,55	10,79	17,03
F.V.					
Bloco	0,36ns	0,17ns	0,01*	0,00**	0,01*
Dose (D)	0,00**	0,00**	0,00**	0,00**	0,00**
Fonte (F)	0,02*	0,12ns	0,47ns	0,86ns	0,96ns
Época (E)	0,00**	0,01**	0,13ns	0,94ns	0,59ns
D*F	0,10ns	0,06ns	0,00**	0,45ns	0,96ns
D*E	0,00**	0,00**	0,08ns	0,74ns	0,28ns
F*E	0,34ns	0,00**	0,04*	0,31ns	0,21ns
D*F*E	0,31ns	0,00**	0,02*	0,92ns	0,94ns

Linear	-	-	-	0,02*	0,00**
Quadrática	-	-	-	0,01*	0,03*

^{ns} - Não significativo pelo teste F; *, ** - Significativo em $p \leq 0,05$ e $p \leq 0,01$ pelo teste F, respectivamente. As médias seguidas de letras distintas na coluna diferem pelo teste de Tukey.

¹Mn = $124,353333 - 0,081167x$ ($R^2 = 0,4$)

²Zn = $53,924444 - 0,074389x$ ($R^2 = 0,7$)

Para o teor foliar de boro, nas doses intermediárias de 40 e 80 kg ha⁻¹ de K₂O, a época de aplicação na semeadura se sobressaiu ao aplicado antecipadamente (Tabela 9). Os teores de B aplicados de forma antecipada ajustaram-se à função crescente, enquanto que os dados com a aplicação em semeadura ajustaram-se à função quadrática, com ponto de máximo 83 kg ha⁻¹ de K₂O.

Tabela 9- Médias do teor de B na folha diagnose, sob interação entre diferentes épocas de aplicação e doses de fertilizantes potássicos.

Fonte de K ₂ O	Doses			
	0	40	80	120
Antecipado¹	36,51 a	37,61 b	38,67 b	51,94 a
Semeadura²	31,62 a	51,15 a	54,65 a	51,82 a
Média	34,01	44,38	46,66	51,88

Letras minúsculas distintas na linha entre as fontes no época de aplicação dentro das doses são diferentes pelo teste de Tukey ao nível de 1% de probabilidade.

¹Antecipado = $34,1540 + 0,117614x$ ($R^2 = 0,71$)

²Semeadura = $32,115111 + 0,579336x - 0,00349x^2$ ($R^2 = 0,98$)

A fonte KCl aplicado antecipadamente, ou na ocasião de semeadura da soja e o Potasil aplicado antes da semeadura, se ajustaram à função linear decrescente para a concentração de Fe foliar. Enquanto que o Ekosil nas duas formas de aplicação, se ajustaram a função quadrática com ponto de mínimo (Tabela 11). A fonte Ekosil na dose de 120 kg ha⁻¹ de K₂O aplicado na semeadura apresentou um valor muito superior aos demais tratamentos que foram adubados com potássio.

Tabela 10- Médias do teor de Cu na folha diagnose da soja sob interação entre diferentes fontes, doses e métodos de aplicação de fertilizantes potássicos

Fonte de K ₂ O	Época de aplicação	Doses de K ₂ O (kg ha ⁻¹)			
		0	40	80	120
KCl	Antecipado¹	31,33 aA	20,33 aA	24,00 aA	22,33 aA
KCl	Semeadura²	18,67 aB	16,00 aA	15,00 bB	11,00 bB
Ekosil	Antecipado³	24,00 bA	16,66 aA	12,66 bA	15,67 aB
Ekosil	Semeadura⁴	18,00 aA	13,33 aA	17,00 bA	25,33 aA
Potasil	Antecipado⁵	27,33 abA	19,33 aA	13,00 bB	16,00 aA
Potasil	Semeadura	18,67 aB	13,33 aA	27,67 aA	22,00 aA
Média		23	16,50	18,22	18,72

Letras minúsculas distintas na linha entre as fontes no época de aplicação, letras maiúsculas entre o época de aplicação de fertilizante potássico são diferentes pelo teste de Tukey ao nível de 1% de probabilidade.

$$^1\text{KCl Antecipado} = 28,0 - 0,058333x \text{ (R}^2= 0,40\text{)}$$

$$^2\text{KCl Semeadura} = 18,766667 - 0,06x \text{ (R}^2= 0,94\text{)}$$

$$^3\text{Ekosil Antecipado} = 24,183333 - 0,266250x + 0,001615x^2 \text{ (R}^2=0,99\text{)}$$

$$^4\text{Ekosil Semeadura} = 17,816667 - 0,179583x + 0,002031 x^2 \text{ (R}^2=0,99\text{)}$$

$$^5\text{Potasil Antecipado} = 24,966667 - 0,100833 \text{ (R}^2=0,71\text{)}$$

$$\text{Potasil Semeadura} = 20,41^{\text{ns}}$$

O teor foliar de Fe no tratamento com Potasil aplicado na ocasião da semeadura apresentou um ajuste linear decrescente. Já os teores de Fe com o KCl aplicado na semeadura foram inferiores quando do uso de Potasil e Ekosil fornecidos em ocasião de semeadura (Tabela 12).

Tabela 11- Médias do teor de Fe na folha diagnose da soja sob interação entre diferentes fontes, doses e métodos de aplicação de fertilizantes potássicos

Fonte de K ₂ O	Época de aplicação	Doses de K ₂ O (kg ha ⁻¹)			
		0	40	80	120
KCl	Antecipado	160,3 aA	162,6 aA	168,3 aB	160,3 aA
KCl	Semeadura	174,5 aA	146,6 bA	213,3 aA	162,0 aA
Ekosil	Antecipado	160,3 aA	163,3 aA	165,0 aA	152,7 aA
Ekosil	Semeadura	172,4 aA	176,0 aA	161,6 aA	164,0 aA
Potasil	Antecipado	167,0 aA	177,6 aA	168,0 aA	159,3 aA
Potasil	Semeadura¹	173,8 aA	162,6 abA	164,4 aA	146,7 aA
Média		168,05	164,78	173,43	157,5

Letras minúsculas distintas na linha entre as fontes no época de aplicação, letras maiúsculas entre o época de aplicação de fertilizante potássico são diferentes pelo teste de Tukey ao nível de 1% de probabilidade.

KCl Antecipado = 179ns

KCl Semeadura = 173,75ns

Ekosil Antecipado = 160ns

Ekosil Semeadura = 168,25ns

Potasil Antecipado = 167,75ns

¹Potasil Semeadura = $173,86 - 0,1985x$ (R²=0,82)

5.3 COMPONENTES BIOMÉTRICOS E PRODUTIVOS DA CULTURA DA SOJA

Não houve efeito significativos das fontes e doses de fertilizantes potássicos sobre a massa seca das raízes, massa seca da parte aérea, altura de plantas e da altura de inserção da primeira vagem de soja. As fontes e métodos de aplicação de K₂O não influenciaram (p>0,05) a altura de plantas, massa de nódulos, massa seca das raízes e massa seca da parte aérea. Houve efeito significativo da regressão e da interação significativa das fontes e épocas de aplicação de fertilizantes potássio sobre a massa de nódulos e interação das doses e fontes de fertilizante potássico sobre a massa seca das raízes (Tabela 12).

Tabela 12 - Médias e probabilidade (Teste-F) da massa de nódulos (MNOD), massa seca das raízes (MSR), massa seca da parte aérea (MSPA) altura de plantas (Altura) e altura da inserção da primeira vagem (Inserção) de soja sob diferentes fontes, doses e métodos de aplicação de fertilizantes potássicos.

Doses de K₂O (kg ha ⁻¹)	MNOD ----- g planta ⁻¹ -----	MSR ----- g planta ⁻¹ -----	MSPA ----- g planta ⁻¹ -----	Altura ----- cm -----	Inserção ----- cm -----
0	0,14	1,53	14,50	86,75	15,91
40	0,25	1,57	14,35	83,82	17,32
80	0,26	1,78	14,53	84,60	17,74
120	0,30	1,54	14,36	83,21	18,22
Fontes					
KCl	0,23	1,54	14,59	84,51	16,92
Potasil	0,24	1,59	14,31	84,54	17,61
Ekosil	0,25	1,68	14,40	84,74	17,36
Época apl.					
Antecipado	0,26	1,58	14,17	84,79	18,21 a
Semeadura	0,21	1,63	14,70	84,74	16,38 b
Média	0,24	1,60	14,43	84,59	17,29
CV (%)	43,33	24,71	14,88	7,62	22,85
F.V.					
Bloco	0,09 ^{ns}	0,77 ^{ns}	0,49 ^{ns}	0,05*	0,05*
Dose (D)	0,001**	0,10 ^{ns}	0,99 ^{ns}	0,26 ^{ns}	0,22 ^{ns}
Fonte (F)	0,71 ^{ns}	0,40 ^{ns}	0,87 ^{ns}	0,99 ^{ns}	0,77 ^{ns}
Época (E)	0,03*	0,54 ^{ns}	0,24 ^{ns}	0,77 ^{ns}	0,03*
D*F	0,29 ^{ns}	0,03*	0,64 ^{ns}	0,63 ^{ns}	0,96 ^{ns}
D*E	0,24 ^{ns}	0,87 ^{ns}	0,65 ^{ns}	0,74 ^{ns}	0,61 ^{ns}
F*E	0,01**	0,89 ^{ns}	0,19 ^{ns}	0,27 ^{ns}	0,68 ^{ns}
D*F*E	0,33 ^{ns}	0,70 ^{ns}	0,71 ^{ns}	0,57 ^{ns}	0,61 ^{ns}
Linear	0,001**	0,50 ^{ns}	0,90 ^{ns}	0,30 ^{ns}	0,26 ^{ns}
Quadrática	0,001**	0,08 ^{ns}	0,97 ^{ns}	0,56 ^{ns}	0,57 ^{ns}

^{ns} - Não significativo pelo teste F; *, ** - Significativo em $p \leq 0,05$ e $p \leq 0,01$ pelo teste F, respectivamente. As médias seguidas de letras distintas na coluna diferem pelo teste de Tukey.

A aplicação antecipada de Ekosil proporcionou maior massa de nódulos em relação a aplicação antecipada de KCl; além disso, a maior massa de nódulos foi observada quando foi aplicado Ekosil antecipado em relação ao aplicado na semeadura (Tabela 14). A maior massa de nódulos foi observada sob dose de 120 kg ha⁻¹ de K₂O, sendo 114% maior em relação a não aplicação de fertilizante potássico na soja (Figura 3B). O aumento da massa de nódulos pelo efeito da aplicação antecipada de K aumenta a atividade de rizóbios na região radicular e assim um aumento da eficiência da fixação biológica de nitrogênio da soja. A maior presença de nódulos nas plantas com fornecimento de Ekosil antecipado pode estar relacionado com aumento da nodulação, um efeito antes observado sob adubação silicatada em soja, que sob efeito da adubação com Si observou aumento do número e massa de nódulos em relação ao não uso de Si (STEINER et al., 2018). Como o Ekosil é uma fonte de K e Si, este beneficiou o aumento da simbiose entre rizóbios e as plantas de soja.

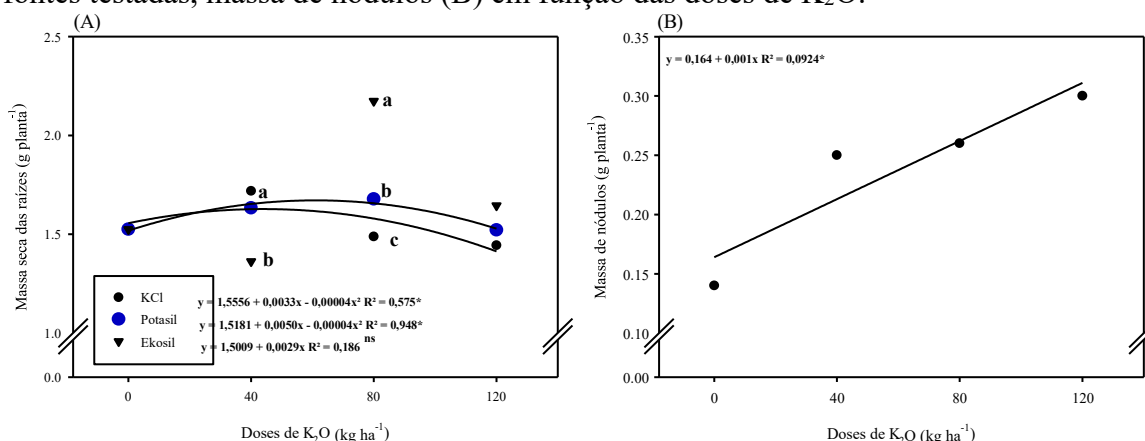
Tabela 13- Médias da massa de nódulos de soja sob interação entre diferentes fontes e métodos de aplicação de fertilizantes potássicos.

Fonte de K ₂ O	Época de aplicação	
	Antecipado	Semeadura
KCl	0,22 bA	0,24 aA
Ekosil	0,32 aA	0,18 aB
Potasil	0,25 abA	0,22 aA
Média	0,26	0,21

Letras minúsculas distintas na coluna entre as fontes de K₂O, letras maiúsculas distintas na linha entre e o época de aplicação de fertilizante potássico são diferentes pelo teste de Tukey ao nível de 1% de probabilidade.

Houve maior massa seca das raízes utilizando KCl e Potasil em relação ao Ekosil na dose de 40 kg ha⁻¹, porém, sob a dose de 80 kg ha⁻¹ de K₂O o uso do Ekosil como fonte proporcionou maior massa seca das raízes em relação aos demais (Figura 4A). Não se reportou efeito significativo das doses de K₂O na forma de Ekosil sobre a massa seca das raízes, a maior massa seca de raízes obtida foi de 1,62 e 1,67 g nas doses de 41 e 62 kg ha⁻¹ de K₂O utilizando as fontes KCl e Potasil, respectivamente (Figura 3A). Houve um aumento da massa de nódulos conforme o aumento das doses de K₂O (Figura 4B). O aumento do fornecimento de K nestes tratamentos ainda podem ter melhorado o crescimento das plantas de milho e acúmulo de massa nos tecidos das plantas, principalmente por melhorar o balanço hídrico, aquisição de CO₂ e sistema fotossintético das plantas (SINGH; REDDY, 2017). Por outro lado, o Potasil e o Ekosil são fertilizantes que fornecem Si, um dos efeitos observados pelo uso deste elemento benéfico em plantas de soja é o aumento do crescimento radicular e da nodulação das raízes da soja (STEINER et al., 2018).

Figura 4. Médias de massa seca das raízes (A) em função das doses de K₂O nas três diferentes fontes testadas, massa de nódulos (B) em função das doses de K₂O.



Fonte: Próprio autor

As fontes e métodos de aplicação de K₂O não influenciaram ($p > 0,05$) o número de grãos, número de vagens, massa de 100 grãos, palhada e produtividade de grãos, porém houve ajuste à regressão linear para o número de vagens e quadrática para a produtividade de grãos de soja. Houve efeito significativo ($p < 0,01$) das doses, fontes, interação entre doses e fontes, fontes e épocas e de doses, épocas e fontes sobre a eficiência agronômica dos tratamentos na soja (Tabela 15).

Tabela 15- Médias e probabilidade (Teste-F) do número de vagens por planta (Nº vagens), número de grãos por planta (Nº grãos), massa de 100 grãos (M100), produtividade de grãos (PROD), palhada da colheita (Palhada) e eficiência agronômica (EA) de soja sob diferentes fontes, doses e métodos de aplicação de fertilizantes potássicos.

Doses de K ₂ O (kg ha ⁻¹)	Nº vagens ----- nº planta ⁻¹ -----	Nº grãos	M100 g	PROD ----- kg ha ⁻¹ -----	Palhada	EA -
0	29,50	147,67	15,77	2749,75	4905,75	-
40	37,50	144,42	15,14	3186,29	4769,09	17,61
80	37,10	140,57	15,20	3219,58	4418,54	5,89
120	39,10	142,06	15,33	3131,79	4699,21	4,04
Fontes						
KCl	35,20	144,81	15,38	3028,66	4724,84	7,18
Potasil	35,70	139,28	15,20	3074,47	4635,03	8,84
Ekosil	36,50	146,94	15,50	3112,44	4734,56	11,52
Época apl.						
Antecipado	35,80	142,58	15,38	3096,29	4646,17	9,37
Semeadura	35,80	144,78	15,34	3047,42	4750,13	8,99
Média	35,80	143,68	15,36	3071,85	4698,15	9,18
CV (%)	17,53	18,51	6,53	8,60	13,90	40,14
F.V.						
Bloco	0,007**	0,25 ^{ns}	0,09 ^{ns}	0,005**	0,59 ^{ns}	0,18 ^{ns}
Dose (D)	0,001**	0,81 ^{ns}	0,13 ^{ns}	0,001**	0,08 ^{ns}	0,001**
Fonte (F)	0,69 ^{ns}	0,50 ^{ns}	0,50 ^{ns}	0,45 ^{ns}	0,80 ^{ns}	0,00**

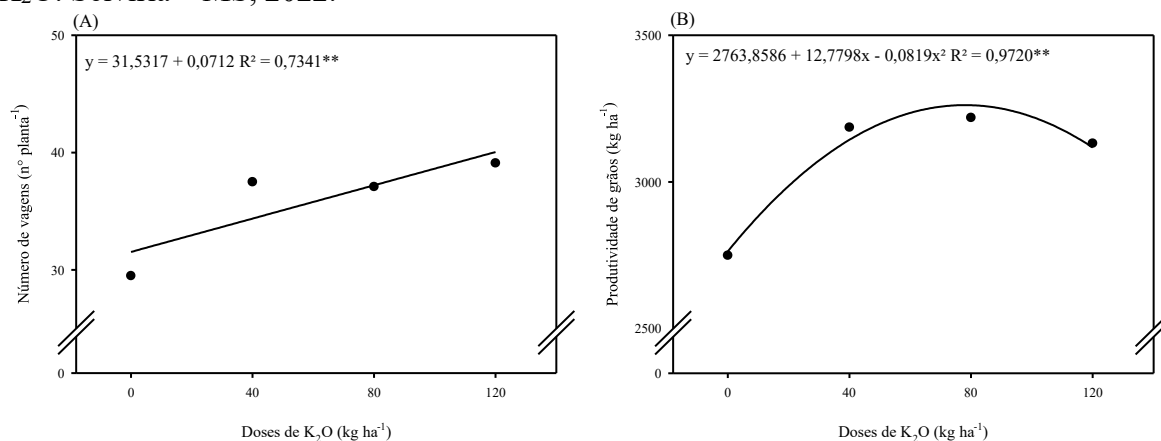
Época (E)	0,97 ^{ns}	0,69 ^{ns}	0,82 ^{ns}	0,37 ^{ns}	0,44 ^{ns}	0,67 ^{ns}
D*F	0,96 ^{ns}	0,76 ^{ns}	0,58 ^{ns}	0,52 ^{ns}	0,76 ^{ns}	0,001**
D*E	0,56 ^{ns}	0,83 ^{ns}	0,49 ^{ns}	0,29 ^{ns}	0,53 ^{ns}	0,44 ^{ns}
F*E	0,54 ^{ns}	0,88 ^{ns}	0,71 ^{ns}	0,83 ^{ns}	0,41 ^{ns}	0,001**
D*F*E	0,25 ^{ns}	0,49 ^{ns}	0,99 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,63 ^{ns}	0,001**
Linear	0,001**	0,51 ^{ns}	0,17 ^{ns}	0,001**	0,11 ^{ns}	-
Quadrática	0,02*	0,66 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,001**	0,12 ^{ns}	-

^{ns} - Não significativo pelo teste F; *, ** - Significativo em $p \leq 0,05$ e $p \leq 0,01$ pelo teste F, respectivamente. As médias seguidas de letras distintas na coluna diferem pelo teste de Tukey.

A aplicação antecipada do fertilizante potássico proporcionou aumento da altura da inserção da primeira vagem, em relação à aplicação na semeadura da soja (Tabela 13).

Verificou-se aumento de 37% no número de vagens por planta conforme o aumento do fornecimento de K_2O (Figura 5A). Por outro lado, a maior produtividade de grãos de soja estimada foi de 3262 kg ha⁻¹ observada na dose estimada de 78 kg ha⁻¹ de K_2O (Figura 5B). O K tem função fisiológica muito importante nas plantas, melhorando o balanço hídrico nas plantas, condutância estomática e reduz os efeitos de períodos de restrição hídrica, através da redução do abortamento de vagens e folhas e em consequência tendo maior número de vagens e grãos nas plantas de soja (STEINER et al., 2022). Como consequência ocorre um aumento da produtividade de grãos de soja e melhora a segurança produtiva no campo.

Figura 5. Número de vagens (A) e produtividade de grãos de soja (B) em função das doses de K_2O . Selvíria – MS, 2022.



Fonte: Próprio autor

A maior eficiência agronômica foi observada sob dose de 40 kg ha⁻¹ de K_2O nas fontes de Ekosil, KCl e Potassil aplicados de forma antecipada e na semeadura em relação às mesmas fontes e métodos de aplicação nas doses de 80 e 120 kg ha⁻¹ de K_2O (Tabela 16). Desta forma, é possível identificar a dose com maior eficiência produtiva e reduzir os consumos de fertilizantes aplicados no cultivo de soja, por outro lado, as fontes de K_2O que contêm Si em

sua formulação aumentaram a eficiência agronômica na dose de 40 kg ha⁻¹, Ekosil quando aplicado antecipadamente e o Potasil na semeadura. O aumento da eficiência agronômica com uso de Si na adubação também foi antes relatado no cultivo de trigo e milho (GALINDO et al., 2021), porém com a aplicação de silicato de cálcio e magnésio.

Tabela 16. Médias da eficiência agronômica de soja sob interação entre diferentes fontes, doses e métodos de aplicação de fertilizantes potássicos.

Fonte de K ₂ O	Época de aplicação	Doses de K ₂ O (kg ha ⁻¹)		
		40	80	120
KCl	Antecipado	11,48 aB+	6,28 bA+	3,41 aA+
KCl	Semeadura	12,44 aB+	5,60 bA+	3,89 bA+
Ekosil	Antecipado	30,98 aA+	4,25 bA+	6,43 bA+
Ekosil	Semeadura	15,87 aB-	8,20 bA+	3,37 bA+
Potasil	Antecipado	11,07 aB-	5,65 bA+	4,84 bA+
Potasil	Semeadura	23,81 aA+	5,45 bA+	2,30 bA+
Média		17,61	5,91	4,04

Letras minúsculas distintas na linha, letras maiúsculas distintas na coluna e sinal + e – distintos entre o época de aplicação de fertilizante potássico são diferentes pelo teste de Tukey ao nível de 1% de probabilidade.

Neste estudo, foram observados efeitos benéficos do uso de fontes de K₂O e Si no cultivo de soja, e reportou-se ainda que a aplicação antecipada do Ekosil proporcionou melhor resultado de massa de nódulos e na eficiência agronômica de soja.

6 CONCLUSÕES

1. O fornecimento antecipado de Ekosil e de Potasil aumentaram os teores de K e Si no solo.
2. O teor de N foliar aumentou linearmente com o incremento da adubação potássica.
3. Para o teor de K foliar, as fontes KCl e Potasil foram superiores a Ekosil quando aplicados em semeadura.
4. O Ekosil aplicado antecipadamente, promoveu maior teor de K na folha diagnose.
5. A aplicação de 78 kg ha⁻¹ de K₂O proporcionou maior teor de K no solo e produtividade de grãos de soja.
6. O fornecimento antecipado de Ekosil aumentou a massa de nódulos e a eficiência agronômica da soja.

7. A maior eficiência agronômica e massa seca das raízes ocorreu com as doses de 40 e 80 kg ha⁻¹ de K₂O utilizando Ekosil como fonte.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BORKERT, C. M.; SFREDO, G. J.; FARIAS, J. R. B.; CASTRO, C. DE; SPOLADORI, C. L.; TUDIDA, F. **Efeito residual da adubação potássica** sobre girassol e milho, em três diferentes Latossolos Roxos. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 32, n. 12, p. 1227- 1234, 1997.

CANALRURAL – canal rural **cotações e previsões para safra**. Disponível em: <<https://www.canalrural.com.br/cotacao/soja/>> acesso em 05 de outubro de 2020.

CANTARELLA, H.; RAIJ, B. VAN; CAMARGO, C. E. O. CEREAIS. IN: RAIJ, B. VAN; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de calagem e adubação para o Estado de São Paulo**. Campinas: IAC, 1997. 285p. Boletim Técnico, 100.

COELHO, A. M.; FRANÇA, G. E. **Nutrição e adubação do milho**. Brasília: Embrapa CNPMS. 2009.<<http://www.cnpms.embrapa.br/milho/deficiencia/deficiencia.html>>. 03 Mar. 2011.

COELHO, A. M.; FRANÇA, G. E.; PITTA, G. V. E.; ALVES, V. M. C.; HERNANI, L. C. Sistemas de produção, 1: **Cultivo do milho**. Brasília: Embrapa CNPMS. 2007. s/p.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira de grãos, Safra 2019/2020**. Segundo levantamento, junho de 2020. Disponível em: <http://www.conab.gov.br> Acesso em: 10 de junho de 2020.

ECHER, F. R.; FOLONI, J. S. S.; CRESTE, J. E. **Fontes de potássio na adubação de cobertura do algodoeiro I – Produtividade, qualidade de fibras e análise econômica**. Semina: Ciências Agrárias, Londrina, v. 30, p. 1135- 1144, 2009. Suplemento 1.

EMBRAPA. **Fontes nacionais de potássio podem ser alternativa para a soja**. 2025. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1172180/1/Fontes-nacionais-de-potassio-podem-ser-alternativa-2025.pdf>. Acesso em: 30 abr. 2025.

ERNANI, P. R.; BAYER, C.; ALMEIDA, J. A. **Mobilidade vertical de cátions influenciada pelo método de aplicação de cloreto de potássio em solos com carga variável**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.31, p.393-402, 2007.

Fageria, N.K.; Baligar, V.C. Enhancing Nitrogen Use Efficiency in Crop Plants, Advances in **Agronomy**, Academic Press, Volume 88, 2005, p. 97-185, ISSN 0065-2113, ISBN 9780120007868, [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(05\)88004-6](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(05)88004-6). (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0065211305880046>)

FERREIRA, D. F. Sisvar: **Um programa para análises e ensino de estatística**. Revista Symposium, v.6, p.36-41, 2008.

GALINDO, F. S.; PAGLIARI, P. H.; RODRIGUES, W. L.; FERNANDES, G. C.; BOLETA, E. H. M.; SANTINI, J. M. K.; JALAL, A.; BUZETTI, S.; LAVRES, J.; TEIXEIRA FILHO,

M. C. M. **Silicon amendment enhances agronomic efficiency of nitrogen fertilization in maize and wheat crops under tropical conditions.** *Plants*, v.29, n.10, a.1329, 2021.

GE, J. J.; WU, R.; SHI, X. H.; YU, H.; WANG, M.; LI, W. J. **Biodegradable polyurethane materials from bark and starch.** II. Coating materials for controlled-release fertilizer. *Journal of Applied Polymer Science*, Bognor Regis, v. 86, n. 12, p. 2948-2952, 2002.

GUARESCHI, R. F.; GAZOLLA, P. R.; PERIN, A.; SANTINI, J. M. K. **Adubação antecipada na cultura da soja com superfosfato triplo e cloreto de potássio revestidos por polímeros.** *Ciência e Agrotecnologia*, v.35, p.643-648, 2011.

HERRENDORF, B.; SCHOELLMAN, T. **Why is measured productivity so low in agriculture?** *Review of Economic Dynamics*, v. 18, n. 4, p. 1003-1022, 2015.

JAMES, A. E.; SOJKA, R. E. **Matrix based fertilizers reduce nitrogen and phosphorus leaching in three soils,** *Journal of Environmental Management*, Cambridge, v. 87, n. 3, p. 364-372, 2008.

JANKE, J. P. Z.; PRIMIERI, C. **Potencial fisiológico de sementes de soja em função de diferentes doses e fontes alternativas de potássio.** *Revista Caribenha de Ciências Sociais*, v. 14, n. 2, p. 1-16, 2025. Disponível em: <https://revistacaribena.com/ojs/index.php/rccs/article/view/4458>. Acesso em: 30 abr. 2025.

LUZ, P. H. DE C.; PERES, C. E. B.; YASUDA, M.; FERRAZ, M. R.; CASADEI, R. A.; LUNARDI, L. J. **Avaliação do desempenho do fonólito via mineral e no enriquecimento da torta de filtro em soqueira de cana-de-açúcar.** *Anais... II CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAGEM*. Poços de Caldas – MG, 2013.

PAGLIA, E. C.; SERRAT, B. M.; FREIRE, C. A. DE L.; VEIGA, A. M.; BORSATTO, R. S. **Doses de potássio na lixiviação do solo com lodo de esgoto.** *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.11, p.94-100, 2007.

PRADO, R. M. **Nutrição de plantas.** 3. ed. São Paulo: Editora Unesp, 2021.

RAIJ, B. VAN.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais.** Campinas: IAC, 2001. 285p.

RESENDE, A. V.; MARTINS, E. S.; OLIVERA, C. G.; SENA, M. C.; MACHADO, C. T. T.; KIMPARA, J. D.; OLIVEIRA FILHO, E. C. **Suprimento de potássio e pesquisa de uso de rochas “in natura” na agricultura brasileira.** *Espaço e Geografia*, v. 9, n. 1, p. 19-42, 2006.

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*, v. 8, n. 2, p.187-197, 2009.

SHAVIV, A. **Advances in controlled-release fertilizers.** *Advances in Agronomy*, Newark, v. 71, n. 5, p. 1-49, 2001.

SHAVIV, A. **Preparation methods and release mechanisms of controlled release fertilizers: agronomic efficiency and environmental significancy.** Proceedings of the Fertiliser Society, v.41, p.1-35, 1999.

SIGA/MS - Boletim Semanal Casa Rural – Agricultura – **Circular 365**. Disponível em: <<http://sistemafamasul.com.br/informativo-siga-ms/>> acesso in: 05 de outubro de 2020.

SILVA, R. V. et al. **Resposta da soja à épocas de aplicação de potássio em cobertura.** Revista de Agricultura Neotropical, v. 4, supl. 1, p. 28–35, 2017. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/327288769>. Acesso em: 30 abr. 2025.

SINGH, S.K.; REDDY, V.R. **Potassium Starvation Limits Soybean Growth More than the Photosynthetic Processes across CO₂ Levels.** Front Plant Science, v.8, a.991, 2017.

SOUSA, D. M. G.; REIN, T. A. **Manejo da fertilidade do solo para culturas anuais: experiências no cerrado.** Planaltina: EMBRAPA-CPAC, jun. 2009. 28 p. (EMBRAPA-CPAC. Informações Agrônômicas, 126).

STEINER, F.; ZUFFO, A. M.; BUSH, A.; SANTOS, D. M. S. **Silicate fertilization potentiates the nodule formation and symbiotic nitrogen fixation in soybean.** Pesquisa Agropecuária Tropical, v.48, p.212-221, 2018.

STEINER, F.; ZUFFO, A. M.; OLIVEIRA, C. E. S.; ARDON, H. J. V.; SOUSA, T. O.; AGUILERA, J. G. **Can potassium fertilization alleviate the adverse effects of drought stress on soybean plants?.** RAMA - Revista em Agronegócio e Meio Ambiente, v.15, p.1-17, 2022.

VALDERRAMA, M.; BUZETTI, S.; BENETT, C. G. S.; ANDREOTTI, M.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M. **Fontes e doses de NPK em milho irrigado sob plantio direto.** Pesquisa Agropecuária Tropical, v.41, p.254-263, 2011.

VIÉGAS, G. P.; FREIRE, E. S. **Adubação do milho.** XI – efeito residual do fósforo. Bragantia, Campinas, v. 17, n. 21, p. 271-287, 1958.

VIEIRA, B. A. R. M.; TEIXEIRA, M. M. **Adubação de liberação controlada chega como solução.** Revista Campo & Negócios, v.41, p.4-8, 2004.

WERLE, R.; GARCIA, R. A.; ROSOLEM, C. A. **Lixiviação de potássio em função da textura e da disponibilidade do nutriente no solo.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.32, p.2297-2305, 2008.

WU, L.; LIU, M. **Preparation and properties of chitosancoated NPK compound fertilizer with controlled-release and water-retention.** Carbohydrate Polymers, v.72, p.240247, 2008.

YAN, X.; JIN, J. J.; HE, P.; LIANG, M. Z. **Recent advances in technology of increasing fertilizer use efficiency.** Scientia Agricultura Sinica, Pequim, v. 41, n. 2, p. 450-459, 2008.

ZAHRANI, S. **Utilization of polyethylene and paraffin waxes as controlled delivery systems for different fertilizers.** Industrial & Engineering Chemistry Research, v.39, p.367-371, 2000.