



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CAMPUS DE CURITIBANOS  
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS  
CURSO DE AGRONOMIA

Valéria Santos de Souza

**Formas de aplicação de fertilizante potássico no desempenho de soja e milho**

Curitibanos  
2024

Valéria Santos de Souza

**Formas de aplicação de fertilizante potássico no desempenho de soja e milho**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao curso de Agronomia do Centro de Ciências Rurais do Campus de Curitiba da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharela em Agronomia

Orientador: Prof. Douglas Adams Weiler, Dr.

Curitiba

2024

Ficha catalográfica gerada por meio de sistema automatizado gerenciado pela BU/UFSC.  
Dados inseridos pelo próprio autor.

Souza, Valéria Santos de  
Formas de aplicação de fertilizante potássico no  
desempenho de soja e milho / Valéria Santos de Souza ;  
orientador, Douglas Adams Weiler, 2024.  
40 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -  
Universidade Federal de Santa Catarina, Campus  
Curitibanos, Graduação em Agronomia, Curitibanos, 2024.

Inclui referências.

1. Agronomia. 2. Potássio. 3. CTC do solo. 4.  
Estratificação de camadas. 5. Percolação. I. Weiler,  
Douglas Adams. II. Universidade Federal de Santa Catarina.  
Graduação em Agronomia. III. Título.

VALÉRIA SANTOS DE SOUZA

**Formas de aplicação de fertilizante potássico no desempenho de soja e milho**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de Engenheira Agrônoma e aprovado em sua forma final pelo Curso de Graduação em Agronomia.

Curitiba, 17 de maio de 2024.

Assinatura  
ou Assinatura Digital

Coordenação do Curso

**Banca examinadora**

Assinatura  
ou Assinatura Digital

Prof. Dr. Djalma Eugênio Schmitt  
Membro da banca examinadora  
Universidade Federal de Santa Catarina

Assinatura  
ou Assinatura Digital

Prof. Dra. Naiara Guerra  
Membro da banca examinadora  
Universidade Federal de Santa Catarina

Assinatura  
ou Assinatura Digital

Prof. Dr. Douglas Adams Weiler  
Orientador  
Universidade Federal de Santa Catarina.

Curitiba, 2024.

*“Este trabalho é dedicado à toda minha família, em especial ao meu esposo Thiago e meus queridos pais Wanderléia e Amilton!  
Meu eterno amor e gratidão.”*

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, agradeço a Deus, pelo dom da vida e a capacidade resiliência na caminhada. Aos meus pais Wanderléia e Amilton por todo apoio e exemplo de dedicação e perseverança, aos meus sogros Ione e Adenir pelas conversas e risadas. Em especial agradeço ao meu esposo Thiago pela paciência, incentivo e amor. Você segurou a minha mão para seguirmos juntos até o fim! A minha irmã Alaiane e meu cunhado William por me proporcionar ser tia e dinda do maior amor do mundo chamado Miguel Arthur, que tornou nossa família mais completa e feliz. A minha cunhada Alice pelas brincadeiras.

As minhas amigas Janice e Petra que apesar da distância sempre estiveram presentes de alguma forma. A Dara que foi minha primeira amiga da faculdade e me ajudou muito no decorrer desses anos, obrigada pelas conversas, desabafos e troca de experiências. Ao Marlos que foi essencial na condução do experimento no campo, na realização dos trabalhos e parceiro de todas as horas, um amigo muito importante pra chamar de irmão. As minhas amigas Thania, Eduarda e Kamila que foram parceiras de bons momentos e que marcaram um momento especial na minha vida e a todos os colegas que compartilhamos experiências e conhecimento.

Ao professor Douglas, por todo ensinamento, conversas, incentivo, risadas e por me orientar na elaboração desse e de outros trabalhos. Ao grupo de pesquisa em Manejo e Fertilidade do Solo, principalmente aos membros que auxiliaram na execução deste trabalho, Rosiéle, Emilene, Marlos e Alano.

As professoras Karine e Naiara por serem fontes de inspiração na trajetória acadêmica! E a todos os demais professores, técnicos, funcionários e a equipe de assistência estudantil da UFSC Curitibanos. A todos, minha eterna gratidão!

## RESUMO

O Brasil ocupa o segundo lugar no ranking dos países que mais utilizam fertilizantes potássicos no mundo, sendo boa parte desses fertilizantes utilizados na cultura do milho (*Zea mays*) e da soja (*Glycine max*). O cloreto de potássio (KCl) é a forma comercial mais utilizada do fertilizante nos cultivos agrícolas e os métodos de aplicação mais utilizados com a adoção do sistema de plantio direto são a lanço ou na linha de semeadura. A localização do adubo potássico na semeadura pode determinar a disponibilidade de potássio (K) no solo. Desta forma, estudos técnicos relacionados a otimização no uso dos insumos e maior eficiência nos sistemas de produção são fundamentais para garantir a produção e diminuição dos custos. O objetivo desse trabalho foi determinar a absorção de K e produtividade de soja e milho, além da concentração de K nas camadas de 0-2,5, 2,5-5, 5-10, 10-15 e 15-20 cm, em relação a aplicação em superfície ou na linha de semeadura. O experimento foi conduzido a campo, em delineamento de blocos casualizados, com 4 repetições e os tratamentos avaliados foram: controle (C), KCl superficial (S) e KCl e em linha (L). No tratamento em linha foi utilizado 350 kg ha<sup>-1</sup> do formulado 0-8-48 e no tratamento com aplicação superficial de K o fósforo foi fornecido na forma de superfosfato triplo (73 kg ha<sup>-1</sup>) no sulco de plantio e o potássio foi aplicado superficialmente na forma de KCl em quantidade equivalente a 270 kg ha<sup>-1</sup>, conforme o recomendado pela análise de solo. O tratamento controle não recebeu adubação potássica. As amostras de folhas foram coletadas após a maturidade fisiológica na cultura da soja, já os grãos e planta inteira foram coletadas após a colheita na cultura de milho e soja, em seguida foram submetidas a digestão sulfúrica. O K nas amostras de solo foi extraído utilizando solução Mehlich 1. A concentração de K nas amostras de planta inteira, folhas, grãos e do solo foi determinada por fotometria de chama. Os teores de K do solo da área cultivada com soja na camada 10-15 cm foram superiores no tratamento no sulco comparado ao superficial e na camada 15-20 cm o L foi superior aos tratamentos S e C. Na área cultivada com milho na camada 10 – 15 cm o tratamento S foi superior ao C. Nas demais camadas de solo não foram observadas diferenças entre os tratamentos. Os teores de K na planta de milho foram superiores no L em relação ao C, já na cultura da soja não houve diferença. Em relação aos teores de K na folha e grãos, no K reciclado, K exportado e produtividade das culturas não houve diferença estatística entre os tratamentos.

**Palavras-chave:** CTC, KCl, estratificação de camadas, absorção de K<sup>+</sup>.

## ABSTRACT

Brazil occupies second place in the ranking of countries that consume the most potassium fertilizers in the world, with a large part of these fertilizers being used in corn and soybean. Potassium chloride (KCl) is the most used commercial form of fertilizer in agricultural crops and the application methods most used with the adoption of the no tillage are broadcast or banded. The location of potassium fertilizers when sowing can determine the availability of potassium ( $K^+$ ) in the soil. Therefore, technical studies related to optimizing the use of inputs and greater efficiency in production systems are essential to guarantee production and reduce costs. The objective of this work was to determine the absorption of K and productivity of soybeans and corn, in addition to the concentration of K in the layers of 0-2.5, 2.5-5, 5-10, 10-15 and 15-20 cm, in relation to broadcast or banded application. The experiment was conducted in the field, the design used was a randomized block design and the treatments evaluated were the following: control (C), broadcast application of KCl (S) and banded application of KCl (I), with four replications. In treatment I,  $350 \text{ kg ha}^{-1}$  of the formula 0-8-48 was used and in the treatment with superficial application of K, phosphorus was supplied as triple superphosphate ( $73 \text{ kg ha}^{-1}$ , banded) and potassium was broadcast as KCl in amount equivalent to  $270 \text{ kg ha}^{-1}$ , as recommended by soil analysis. The control treatment did not receive potassium fertilizer. Nitrogen fertilization in corn occurred at two stages, 12 days after sowing ( $30 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) and at the V4 stage ( $120 \text{ kg N ha}^{-1}$ ), both using common urea. Plant samples were subjected to sulfur digestion and K in soil samples was extracted using Mehlich I solution. K concentration in tissue samples, grains and soil was determined by flame photometry. The soil K contents in the area cultivated with soybeans in the 10-15 cm layer were higher in treatment I compared to S, and in the 15-20 cm layer I was higher than in treatments S and C. In the area cultivated with corn in the layer 10 – 15 cm, treatment S was superior to C. In the other soil layers, no differences were observed between treatments. The K levels in the corn plant were higher in I compared to C, while in the soybean crop there was no difference. In relation to K content in leaves and grains, in recycled K, exported K and crop productivity, there was no statistical difference between treatments.

**Keywords:** Cation Exchange Capacity, KCl, soil layers stratification,  $K^+$  absorption

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	10
<b>2.</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	13
2.1	CTC DO SOLO E RETENÇÃO DE K NO SOLO .....	13
2.2	MÉTODOS DE APLICAÇÃO DE K .....	15
2.3	SISTEMA RADICULAR DAS PLANTAS E ABSORÇÃO DE K .....	16
<b>3.</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>19</b>
3.1	CARACTERÍSTICAS DO LOCAL DO EXPERIMENTO.....	19
3.2	DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS UTILIZADOS .....	19
3.3	QUANTIFICAÇÃO DE POTÁSSIO NO SOLO.....	21
3.4	QUANTIFICAÇÃO DE POTÁSSIO NA PLANTA .....	22
3.5	AVALIAÇÃO DE PRODUTIVIDADE .....	23
3.6	ANÁLISE ESTÁTISTICA.....	23
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>24</b>
4.1	DADOS CLIMÁTICOS .....	24
4.2	POTÁSSIO NO SOLO.....	24
4.3	TEOR DE K NA PLANTA E CICLAGEM DE K .....	28
4.4	PRODUTIVIDADE DE GRÃOS E EXPORTAÇÃO DE K.....	30
<b>5.</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>34</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>35</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil ocupa o segundo lugar no ranking dos países que mais consomem fertilizantes potássicos no mundo, além disso, de forma geral o potássio é o segundo elemento mais exigido pelas culturas (Martinez; Marotta; Mangas, 2021). Boa parte desse nutriente é utilizado nas culturas de milho (*Zea mays*) e soja (*Glycine max*), que são consideradas as principais commodities do agronegócio brasileiro. Devido à essas grandes quantidades consumidas e baixa produção nacional de fertilizantes, o Brasil é um dos maiores importadores mundiais de fertilizante potássico (ANDA, 2023). A origem desses fertilizantes é principalmente o Canadá, Belarus e Rússia (Oliveira; Malagolli; Cella, 2019). As flutuações no câmbio (cotação do dólar) e recentemente a guerra na Ucrânia fazem com que o desempenho do agronegócio brasileiro seja dependente de fatores externos. Em 2021, a contribuição do agronegócio no PIB brasileiro foi de 26,6%. Nos anos de 2022 e 2023 atingiu valores de 24,8% e 24,1% respectivamente, apresentando uma queda nesses anos. Pesquisadores acreditam que essa queda se deu devido ao aumento de custo dos insumos para a produção e a baixa dos preços de importantes culturas, dentre elas o milho e a soja (CEPEA, 2023).

Nesse sentido estudos técnicos relacionados a otimização no uso dos insumos e maior eficiência nos sistemas de produção são fundamentais para garantir a produção e diminuição dos custos (Artuzo *et al.*, 2018). Assim, é fundamental que sistemas de produção sejam conduzidos de maneira a maximizar o aproveitamento dos nutrientes pelas culturas.

O fertilizante mais utilizado como fonte de potássio (K) é o cloreto de potássio (KCl) que é tradicionalmente fornecido no momento da semeadura, incorporado junto a linha e próximo das sementes. Isso se justifica, pela forma que o nutriente se movimenta no solo, principalmente por meio da difusão, sendo que pode também se deslocar consideravelmente por fluxo de massa (Batista *et al.*, 2018). Assim, para que o nutriente atinja as raízes há uma necessidade de proximidade deste com o sistema radicular das culturas, já que o processo de difusão se caracteriza por movimentação de K em curtas distâncias e proporcional à concentração do nutriente no solo (Ernani *et al.*, 2007).

Alguns estudos anteriores em relação a aplicação de fertilizantes potássicos em diferentes tipos de solos buscaram explicar a dinâmica do K no solo, sua eficiência, absorção pelas raízes e a quantidade de K perdida por lixiviação (Rosolem; Steiner, 2017). De forma geral, o K quando aplicado na linha de semeadura fica mais próximo do sistema radicular das plantas, a concentração do nutriente é maior e cria-se um gradiente de concentração que favorece o processo de difusão até o sistema radicular (Ernani, 2016). Além disso, devido os

teores de matéria orgânica e capacidade de troca de cátions (CTC) serem menores do que na superfície, o K fica menos adsorvido à CTC do solo.

Segundo Fernandez e White (2012) a aplicação de fertilizante potássico na linha de semeadura faz com que aumente os teores do nutriente abaixo da linha de cultivo, próximo ao sistema radicular, e diminui teores na superfície do solo, quando comparado com aplicação a lanço. A aplicação de fertilizantes potássicos em camadas mais profundas do solo, com menores teores de matéria orgânica do solo e menor CTC, faz com que maior quantidade de K permaneça na solução do solo, favorecendo a absorção pelas plantas, por outro lado o nutriente está mais propício a lixiviação (Albuquerque *et al.*, 2000; Vyn, 2002).

O aumento expressivo de áreas cultivadas fez com que as técnicas de manejo passassem por adaptações. Assim, nos últimos anos a aplicação de fertilizantes potássicos vem sendo realizada em superfície, antecedendo ou após o estabelecimento dos cultivos. A técnica de aplicação de fertilizantes vem ganhando espaço principalmente pela rapidez na operação e facilidade de aplicação, com objetivo de ganho de rendimento operacional. Neste caso, os fertilizantes potássicos são distribuídos na superfície do solo, mais distante do sistema radicular das plantas. Essa prática pode não ser a mais adequada quando os solos possuem alto teor de argila e matéria orgânica, principais componentes da CTC do solo. Nestes casos, quando a aplicação de K é realizada em superfície, boa parte do K pode permanecer retida nas camadas superficiais do solo, atrasando sua chegada até o sistema radicular. Ao realizar a aplicação em superfície e distribuir o K em toda a área, a concentração do cátion e sua difusão são diminuídas. Em alguns casos, o uso do fertilizante não é eficiente devido à baixa disponibilidade próxima ao sítio de absorção, ou por baixa concentração do nutriente no período crítico da cultura, causando deficiência nas plantas (Nkebiwe *et al.*, 2016).

Os Cambissolos Háplicos da região de Curitiba apresentam altos teores de argila e matéria orgânica, o que confere a estes solos alta CTC. Desta forma, a aplicação de fertilizantes potássicos na superfície do solo pode ser uma prática com menor eficiência, já que boa parte do K pode permanecer retida na CTC da camada superficial do solo. Nesta situação, a movimentação de K no solo por difusão pode ser restrita, reduzindo a absorção do nutriente pelas plantas. A absorção eficiente deste fertilizante pelas plantas desse fertilizante é crucial para redução dos custos de produção, pois uma grande parcela do custo de produção é na aquisição dos insumos como os fertilizantes potássicos, sendo assim, tem o potencial para contribuir, de forma significativa, no custo final (Artuzo *et al.* 2018).

O objetivo desse estudo foi determinar se existe diferença no aproveitamento e absorção de K pelas plantas além do reflexo na produtividade, na ciclagem e na distribuição vertical do nutriente nas camadas estratificadas do solo, em relação as diferentes formas de aplicação: em cobertura ou na linha de semeadura nas culturas de milho e soja.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

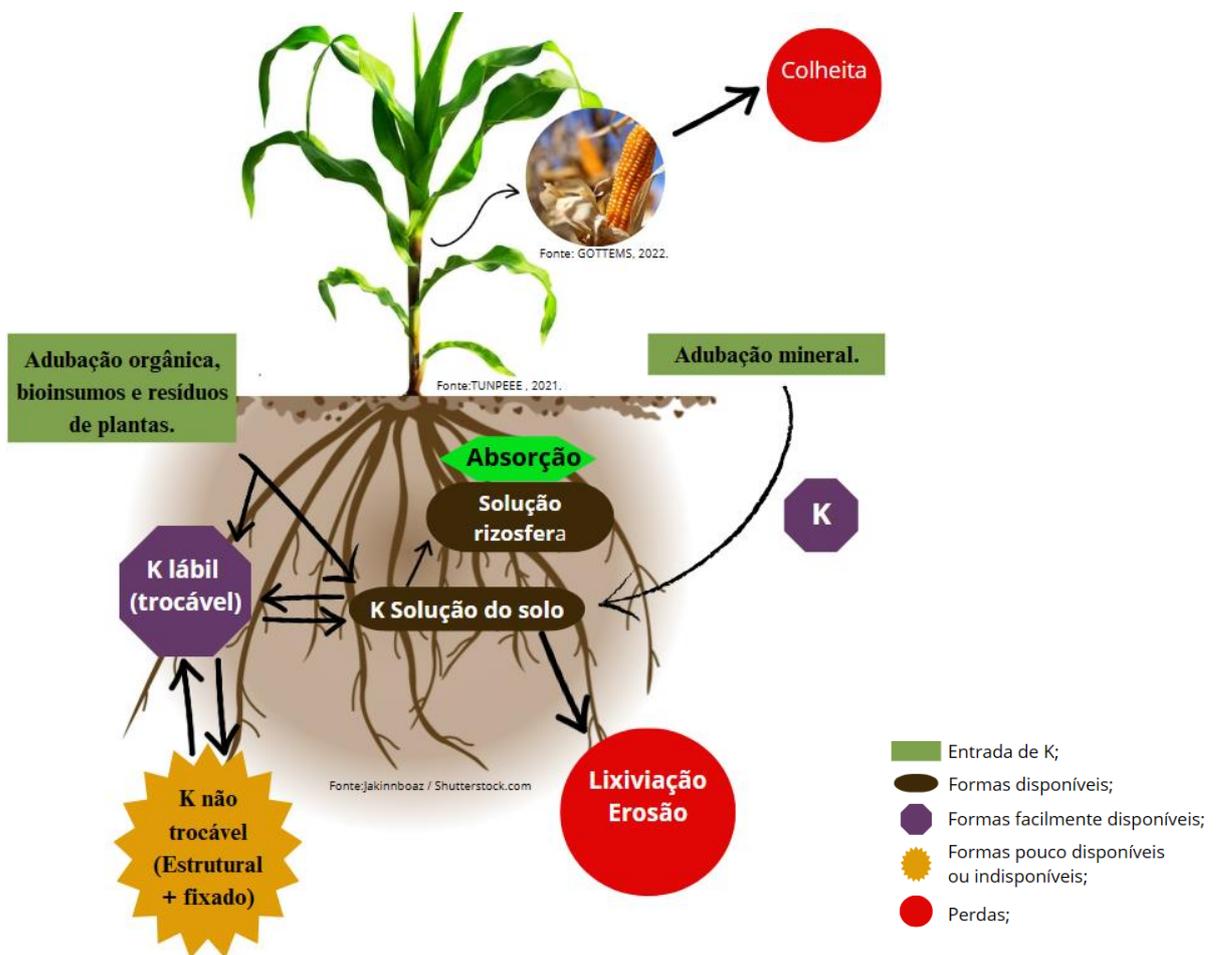
### 2.1 CTC DO SOLO E RETENÇÃO DE K NO SOLO

A Capacidade de Troca de Cátions (CTC) é uma característica físico-química, que indica a quantidade de cátions que o solo, sob certas condições, é capaz de reter (Raij, 1969). A CTC do solo está diretamente associada ao teor de matéria orgânica do solo (MOS), pois a CTC representa um excesso de cargas negativas presentes nas estruturas dos trocadores que tendem a se ligar com partículas de carga contrária. Assim, a conservação e manutenção da MOS é fundamental para o aumento da CTC do solo. A MOS apresenta cargas negativas em sua camada de superfície atuando como um agente ligante de cátions à sua estrutura, favorecendo a manutenção dos nutrientes com carga positiva nas camadas superficiais, pois é próximo a superfície do solo que está presente a maior fração de MOS (Silva *et al.*, 2023).

No solo, o K está presente de diversas formas: K na solução, K trocável e o K não trocável (Figura 1). Cada uma dessas formas apresenta equilíbrio com a solução e tem influência na disponibilidade do nutriente para as plantas (Martinez; Marotta; Mangas, 2021). O K da solução é aquele que se encontra disponível para ser absorvido pelas plantas, esse é proveniente da adubação mineral, da adubação orgânica, do K trocável e/ou do K não trocável. K trocável está presente no solo, ligado as cargas negativas das superfícies orgânicas e inorgânicas e em equilíbrio com a concentração do elemento na solução. Essa forma pode ser considerado o armazenamento de K no solo e principal compartimento de suprimento de K para as plantas a curto/médio prazo, pois assim que a concentração na solução diminui, as ligações eletrostáticas que fazem com que o K se mantenha na CTC são desfeitas e o K movimentado para a solução. Dessa forma, essa fonte de K é a de principal importância quando se trata de nutrição vegetal, pela dinâmica de reabastecimento de K na solução do solo (Ernani *et al.*, 2007).

No solo, cerca de 98% do K total está presente em uma forma indisponível ou disponível em um longo prazo, pois faz parte da estrutura do solo na forma de minerais primários e secundários, essa forma do nutriente é chamada de K estrutural. Nessa condição, o K somente é liberado para a solução para ser absorvido pelas plantas após o intemperismo dos minerais. Sendo assim, o K estrutural é lentamente disponibilizado, pois depende de condições ambientais, químicas e biológicas, além de liberar pequenas e geralmente insuficientes quantidades de nutriente para as plantas.

Figura 1 – Dinâmica de K e suas interações no solo.



Fonte: Adaptado de Martinez *et al.*, 2021.

Em solos com alta CTC, para uma mesma quantidade de potássio total no solo, haverá uma menor quantidade de K na solução (relação K trocável: K da solução), quando se compara com solos com CTC menor. Isso reflete em menor quantidade de K solúvel, diminuindo a retirada de K pelas plantas e evitando perdas por lixiviação (Foloni; Roselem, 2008). Em estudo realizado por Miranda *et al.*, (2013), os autores observaram que K é mais facilmente lixiviado no solo arenoso do que no solo argiloso, mostrando que a textura do solo influencia significativamente nas perdas do potássio por lixiviação. Murrell *et al.*, (2021) afirmam que a lixiviação de K ocorre em quantidades significativas apenas em solos fertilizados e de textura leve, ou seja, com teores baixos de argila.

O potássio no solo pode ser expresso em uma relação Q/I, onde o Q representa o K lábil, ou seja, aquele ligado as partículas de solo que pode passar rapidamente para a solução do solo se tornando disponível para as plantas, já o I representa a intensidade de potássio e sua atividade

no solo. Quando se trata de uma relação Q/I alta, representa uma boa disponibilidade, quando acompanhada de uma boa intensidade de K no solo, facilitando assim o acesso das raízes a esse K da solução (Ernani *et al.*, 2007). Contudo, as concentrações de K na solução são geralmente bem pequenas e por isso é necessário a reposição do nutriente no solo, geralmente via adubação mineral (Batista *et al.*, 2018).

## 2.2 FORMAS DE APLICAÇÃO DE K

A aplicação de fertilizantes potássicos pode ser realizada de duas formas: a lanço e na linha de semeadura. A aplicação em linha é realizada durante a semeadura e o fertilizante é aplicado no sulco de semeadura em uma profundidade de 3 a 6 cm (Ernani *et al.*, 2007), em uma maior concentração e mais próximo da semente do que quando comparado a aplicação superficial. Borges e Mallarino (2003), sugerem que a localização do K próximo ao sistema radicular favorece a sua absorção, especialmente nos estádios iniciais de desenvolvimento das culturas. Dessa forma, a eficiência de absorção de K pelas plantas poderia ser maior quando comparada a adubação a lanço. Um cuidado importante que se deve ter em relação a aplicação no sulco, próximo a semente, é em relação a doses de fertilizantes potássicos, já que doses elevadas em condições de baixa umidade do solo podem causar efeito salino principalmente em sementes de leguminosas como é o caso da soja (Mallarino, 1997 *apud* Kluthcouski e Stone, 2003).

A aplicação a lanço se assemelha com adubações de cobertura, onde o fertilizante é aplicado superficialmente no solo. Quando aplicado a lanço em sistemas de cultivo convencionais pode-se fazer a incorporação dos fertilizantes com arações e gradagem durante o preparo do solo, que antecedem a semeadura das culturas. Após a incorporação o fertilizante tende a ficar em camadas mais profundas e mais próximo do sistema radicular. Contudo, em áreas sob plantio direto não é possível realizar a incorporação dos fertilizantes potássicos, uma vez que os solos não são revolvidos com frequência. Com objetivo de agilizar a implantação das culturas de verão, o K vem sendo aplicado em superfície antes ou logo depois da implantação das culturas.

Alguns estudos anteriores em relação a aplicação de fertilizantes potássicos em diferentes tipos de solos buscaram explicar a dinâmica do K no solo, sua eficiência, absorção pelas raízes e a quantidade perdida por lixiviação (Rosolem; Steiner, 2017). De forma geral, quando os teores de matéria orgânica e CTC são menores nas camadas subsuperficiais do que na superfície, o K fica menos adsorvido à CTC do solo.

Os resultados reportados na literatura ainda são inconclusivos com relação a aplicação de K em superfície ou incorporado junto a linha de semeadura e seus efeitos no rendimento das culturas. Guareschi *et al.*, (2008), não observaram diferença na produtividade de soja em relação a aplicação de potássio na linha de semeadura e a lanço antecipado, em um estudo realizado em Latossolo Vermelho no Cerrado. De acordo com os autores, nesse caso deve-se dar preferência ao método que apresenta menor custo (Guareschi *et al.*, 2008). Porém, vale ressaltar que a CTC do solo nesse estudo foi baixa, além de apresentar alta pluviosidade anual, o que facilita a percolação do potássio no perfil do solo, aproximando o fertilizante do sítio de absorção das raízes. Vyn *et al.*, (2002), também não observaram diferença no rendimento de milho com a aplicação de fertilizante potássico incorporado ou em superfície em 3 sistemas conservacionistas, embora destaquem a ocorrência de estratificação de K nas camadas de solo em áreas que realizam aplicação de K a lanço de forma contínua. Por outro lado, Nkebiwe *et al.*, (2016), em um estudo de meta-análise no qual compilaram dados de 40 locais, observaram que a incorporação do fertilizante potássico junto a linha de semeadura é mais efetiva para crescimento de raízes em profundidade e absorção de K do que a adubação a lanço, além disso, houve um incremento de 3,7% no rendimento na aplicação na linha quando comparado com aplicação a lanço.

### 2.3 SISTEMA RADICULAR DAS PLANTAS E ABSORÇÃO DE K

A absorção do nutriente pelas plantas depende de fatores relacionados ao solo, a planta e ao clima. No solo depende da forma que o nutriente está, a quantidade e a distância do sistema radicular. O sistema radicular mais desenvolvido é capaz de explorar maior área no solo e conseqüentemente mais água e nutrientes. Temperaturas mais elevadas e umidade tendem a favorecer processos químicos e biológicos e, conseqüentemente, a difusão de nutrientes no solo (Ernani *et al.*, 2007). Na difusão o cátion se move no solo por diferença de concentração, ou seja, ocorre a formação de um gradiente de concentração, onde o nutriente se move do meio mais concentrado para o menos concentrado, a fim de reestabelecer a condição de equilíbrio CTC – solução do solo (Fernandez; White, 2012).

O K da solução do solo é absorvido pelas plantas na forma de íon livre  $K^+$  principalmente na região da rizosfera (em média é o volume de solo compreendido numa distância de 0,1 a 1,5 mm da raiz). A movimentação do K é favorecida em direção a rizosfera quando o solo apresenta altos teores de K trocável, que rapidamente entra em equilíbrio com o

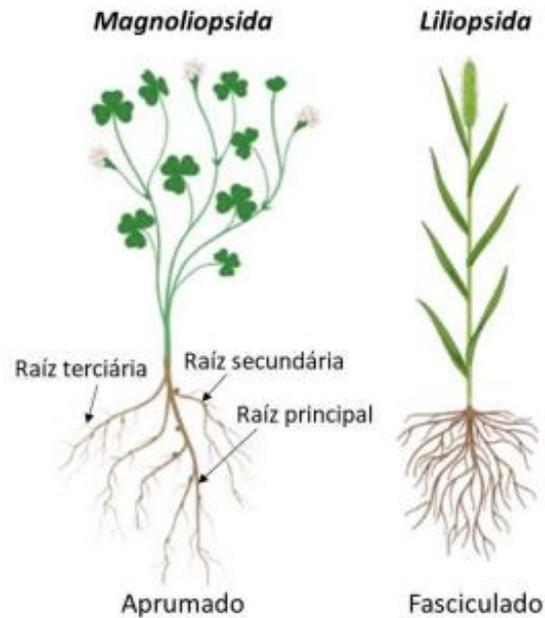
K da solução. Isso ocorre devido a manutenção de alto gradiente de concentração (Meurer, 2006).

A absorção de K ocorre somente quando este entra em contato direto com a raiz da planta. Para que isso ocorra é necessário um contato direto do nutriente com o sistema radicular das plantas, já que o K se desloca por distâncias curtas, geralmente de 1 a 4 mm (Meurer, 2006). Algumas características relacionadas à arquitetura do sistema radicular influenciam diretamente na absorção do K pelas plantas, como comprimento da raiz, crescimento, pelos radiculares e características relacionadas à associação com micorriza. Esses aspectos adquirem ainda mais importância quando há pouca disponibilidade do nutriente na solução do solo (Hinsinger *et al.*, 2021).

A área de solo que o sistema radicular consegue explorar depende das condições físicas e químicas do solo. Em condições de toxidez por alumínio ( $Al^{+3}$ ), quando o pH é baixo e apresenta hidrogênio ( $H^+$ ), o sistema radicular tem dificuldade de se desenvolver, conseguindo explorar um menor volume de solo e conseqüentemente uma menor quantidade de nutrientes. Além disso, um solo com teores de nutrientes desequilibrado, onde a solução é saturada por alguns nutrientes e apresenta pequenas quantidades de outros, a planta pode sofrer com excesso e/ou falta de nutriente, não apresentando um desenvolvimento adequado. Considerando os fatores físicos, solos com baixo teor de matéria orgânica, descobertos, compactados armazenam menores quantidades de água nos macros e micro poros do solo, o que influencia na disponibilidade de K na solução do solo, e na movimentação vertical do  $K^+$  (Ernani *et al.*, 2007).

As raízes mais desenvolvidas exploram uma maior quantidade de solo e possivelmente aumentam a área de contato com o K. Cada grupo de plantas apresenta uma distribuição das raízes no solo. A soja pertence ao grupo das dicotiledóneas, apresentando um sistema radicular com raiz pivotante e menor número de ramificações. Já o milho (monocotiledônea), possui um sistema radicular fasciculado, sem a presença de raiz pivotante, porém com grande número de raízes adventícias (Figura 2).

Figura 2. Esquema representativo da diferença entre o sistema radicular de plantas pertencentes ao grupo Magnoliopsida (dicotiledôneas) e ao grupo Liliopsida (monocotiledôneas). Esquema realizado no software BioRender.



Fonte: Cardoso; Gazarini, 2022.

Baseado na morfologia do sistema radicular das monocotiledôneas e dicotiledôneas, é possível inferir que a capacidade de exploração de solo e absorção de K difere entre espécies. De maneira geral as gramíneas apresentam uma maior arquitetura radicular e são capazes de explorar melhor o perfil do solo, conseqüentemente conseguem ciclar água e nutrientes de maneira mais ativa e eficiente nas camadas mais profundas do solo (Silva *et al.*, 2023). Ebelhar e Varsa (2000) sugerem que o milho é mais exigente em K do que a soja, apresentando maior resposta às adubações potássicas. Ainda, destacam que, para o milho, o local de aplicação do fertilizante potássico (em superfície ou incorporado) é menos importante do que a dose de K aplicada.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 CARACTERÍSTICAS DO LOCAL DO EXPERIMENTO

O estudo foi conduzido na Área Experimental Agropecuária da Universidade Federal de Santa Catarina – Campus Curitibanos, em condições de campo, no período de outubro de 2022 a maio de 2023. O local do experimento está situado nas coordenadas geográficas 27°16'26.55"S e 50°30'14.41"W, com altitude média de 1000 metros. O solo da área experimental é classificado como Cambissolo Háptico típico de textura argilosa (Santos *et al.*, 2018). De acordo com a classificação de Köppen, clima da região é classificado como Cfb temperado, mesotérmico úmido e verão ameno, a precipitação média anual é de 1.500-1.700 mm a temperatura média anual fica entre 16-17°C e umidade relativa do ar de 80-82% (EPAGRI, 2003). Os atributos químicos e físicos da área experimental foram determinados a partir de uma análise de solo realizada nas camadas de 0 a 10 cm e de 10 a 20 cm de profundidade e estão representados na tabela 1.

Tabela 1. Atributos químicos e físicos do solo da Área Experimental Agropecuária-Curitibanos, 2022.

Camada Cm	Argila %	pH H <sub>2</sub> O	SMP	P	K	Ca	Mg	CTC <sub>pH 7</sub>	MO	V	Al
				-- mg dm <sup>-3</sup> --		-- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> --				%	
0-10	55	6,7	6,2	24,1	111,1	12,0	4,5	20,3	4,0	83	0,0
10-20	53	7,3	6,7	16,6	52,7	12,1	4,7	18,8	1,9	90	0,0

Legenda: P: fósforo disponível Mehlich 1; K: potássio disponível Mehlich 1; M.O: matéria orgânica; Ca: cálcio trocável por KCl 1 mol L<sup>-1</sup>; Mg: magnésio trocável extraído por KCl 1 mol L<sup>-1</sup>; CTC<sub>pH 7,0</sub>: capacidade de troca de cátions em pH 7,0; V: soma de bases e Al: Alumínio.

Fonte: Autora, 2024.

#### 3.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS UTILIZADOS

O delineamento utilizado foi o de blocos casualizados. Os tratamentos foram: 1) controle, onde não houve aplicação de fertilizantes potássicos; 2) aplicação superficial com cloreto do potássio (KCl) e 3) aplicação de KCl na linha de semeadura. Para as culturas de milho e soja. Cada parcela apresentou 6 metros quadrados (2x3m). Em todos os tratamentos, o fósforo foi fornecido ao lado da linha de semeadura. No tratamento com aplicação de potássio

em linha foi utilizado  $350 \text{ kg ha}^{-1}$  de um formulado 0-8-48. No tratamento com aplicação de potássio em superfície, o fósforo foi fornecido na forma de superfosfato triplo ( $73 \text{ kg ha}^{-1}$ ) e o potássio foi aplicado superficialmente na forma de KCl em quantidade equivalente a  $270 \text{ kg ha}^{-1}$ , conforme o recomendado pela análise de solo, com expectativa de rendimento de  $5,5 \text{ Mg ha}^{-1}$  de soja e  $12 \text{ Mg ha}^{-1}$ . As linhas de plantio e aplicação dos fertilizantes de base foram realizadas com a semeadora (Figura 2-A), porém a semeadura foi feita de forma manual para facilitar a disposição dos tratamentos já que se tratavam de duas culturas. A semeadura foi realizada no dia 09 de novembro de 2022. (Figura 2-B).

Figura 2-A: Abertura da linha de plantio e aplicação da adubação de base; 2-B: Semeadura das culturas soja e milho.



Fonte: Autora, 2022.

A primeira aplicação de fertilizante nitrogenado em cobertura na cultura do milho foi realizada 12 dias após a semeadura, ou seja, no dia 21 de novembro de 2022, logo após a emergência da cultura, essa adubação foi aplicada na dose de  $30 \text{ kg N ha}^{-1}$ , uma vez que o fertilizante formulado utilizado na adubação de base não continha nitrogênio devido a presença da soja. Quando a planta atingiu o estágio de V4 foi aplicado a segunda adubação na dose equivalente a  $120 \text{ kg N ha}^{-1}$ . Ambas as adubações foram feitas utilizando ureia comum (45% de nitrogênio).

O híbrido de milho utilizado foi DEKALB 230 VTPRO 4 e a cultivar de soja Soytech 580 x2i Xtend. As culturas de verão foram semeadas sobre os resíduos culturais de aveia preta em plantio direto, a densidade de semeadura do milho foi de  $89.000 \text{ plantas ha}^{-1}$  e da soja  $178.000 \text{ plantas ha}^{-1}$ .

### 3.3 QUANTIFICAÇÃO DE POTÁSSIO NO SOLO

A coleta de solo para quantificação de K, foi realizada após a colheita do milho e da soja. Com uma pá foi aberta uma trincheira de 30 x 30 x 20 cm em cada parcela e com o auxílio de uma régua o solo foi estratificado nas seguintes camadas: 0 – 2,5; 2,5 – 5; 5-10; 10-15 e 15 -20 cm (Figura 3-A). O solo foi coletado utilizando uma espátula para facilitar a retirada das camadas e posteriormente foi armazenado em amostras individuais (Figura 3-B).

Figura 3-A: Estratificação de camadas; 3-B: Coleta de solo.



Fonte: Autora, 2023.

Para a realização da extração de K do solo no laboratório foi utilizada a metodologia de Tedesco (1995). Foram colocados em recipientes chamados de snap cap, 5 gramas (g) de solo e adicionado 50 ml de solução Mehlich1 (colocar aqui a concentração dos dois ácidos) e conduzidos a um agitador horizontal por um período de 5 minutos. Em seguida, deixou-se decantar por 16 horas e então foi retirado o sobrenadante que foi mantido congelado até o momento da análise (Figura 4).

Figura 4 – Amostras de solo durante a decantação após serem agitadas em agitador horizontal.



Fonte: Autora, 2023.

A concentração de K na solução foi determinada utilizando um fotômetro de chama. Em copos plásticos descartáveis foram pipetados com 1 ml de solução e 10 ml de água destilada e então realizada a leitura no fotômetro de chama (Figura 5).

Figura 5 – Leitura das amostras em Fotômetro de chama.



Fonte: Furlan, 2023.

### 3.4 QUANTIFICAÇÃO DE POTÁSSIO NA PLANTA

O teor de K nas plantas foi determinado em diferentes momentos. Primeiro, o teor de K foi determinado nas folhas da soja, para a análise foram coletadas as plantas de 1 m linear logo após a maturidade fisiológica (R.7), uma vez que esta cultura se caracteriza pela perda das folhas antes do final do ciclo da cultura. No final do ciclo foram coletadas as plantas de 1 m linear para determinar o K no grão e no talo e vagens (planta inteira, sem grãos). Em cada um destes momentos, um segmento de linha de 50 cm foi coletado para determinação da massa seca e da concentração de K no tecido. Na cultura do milho, as plantas foram amostradas no final do ciclo para quantificar K na planta e nos grãos, foram coletadas 4 plantas, as espigas foram debulhadas manualmente e o grão foi amostrado separado, para quantificação de K na planta foi amostrado o talo, folhas, palha e sabugo.

As plantas foram quantificadas quanto a produção de massa seca e finamente moídas (Figura 6-A). A determinação da concentração de K no tecido foi realizada após digestão sulfúrica, seguida de leitura da intensidade de emissão de K em fotômetro de chama.

Figura 6 - Moagem das folhas, talo, vagem, sabugo, palha e grãos para digestão sulfúrica.



Fonte: Autora, 2023.

### 3.5 AVALIAÇÃO DE PRODUTIVIDADE

A produtividade do milho foi avaliada através da coleta de 4 plantas por parcela, foi debulhada as espigas dessas 4 plantas e pesado os grãos, foi contado quantas plantas de milho há em cada parcela e assim foi possível estimar a produtividade de cada parcela.

Para estimar a produtividade da soja foi colhido 1 m linear na parte central da parcela. Então, foi separado os grãos das vagens e pesado, contando quantas plantas há em cada parcela, foi possível verificar a produtividade de cada parcela. Os grãos de soja e milho foram pesados e secos em estufa a 65° C, após secar foi medido a umidade dos grãos e ajustar para 13% de umidade.

### 3.6 ANÁLISE ESTÁTISTICA

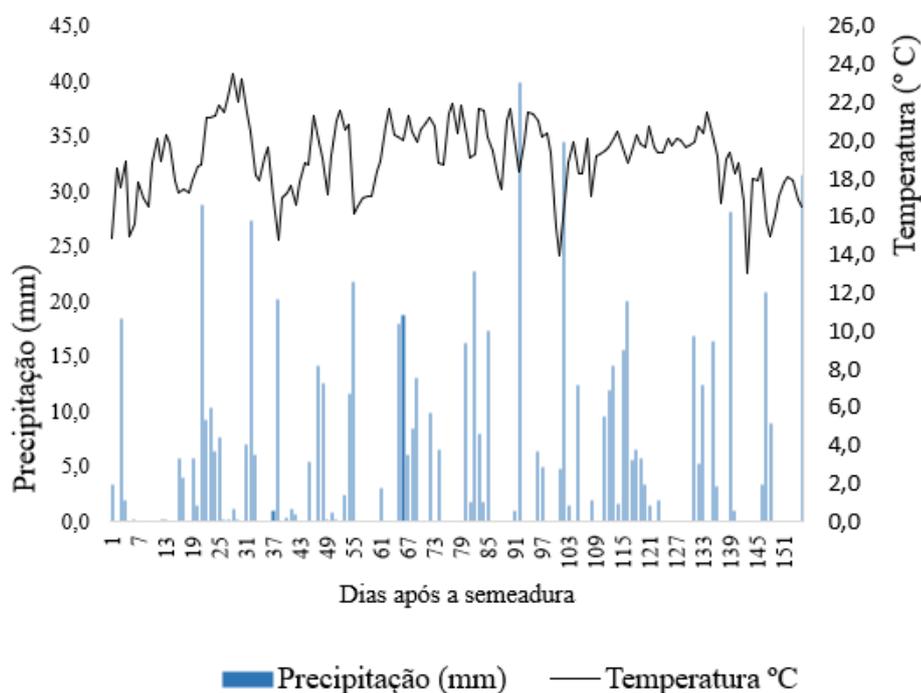
Os resultados obtidos nesse estudo foram submetidos a análise de variância (ANOVA). As duas culturas avaliadas não foram comparadas entre si devido ao fato de serem plantas que apresentam diferenças quanto ao porte, produção de biomassa, sistema radicular, rendimento entre outros fatores. As médias dos tratamentos foram comparadas entre si utilizando o teste de Tukey 5%. As análises foram realizadas utilizando o software Sisvar.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 DADOS CLIMÁTICOS

As condições climáticas do local onde foi conduzido o experimento se mantiveram dentro da média histórica para a região. A temperatura média, durante o ciclo das culturas foi de 19,1 °C e com precipitação acumulada de 743,0 mm, distribuída de maneira uniforme durante os meses de cultivo (figura 7). A temperatura média durante o ciclo de desenvolvimento da cultura ficou dentro da média histórica para a região (19,4°C) (Wrege, 2012).

Figura 7 – Dados climáticos durante a condução do experimento.



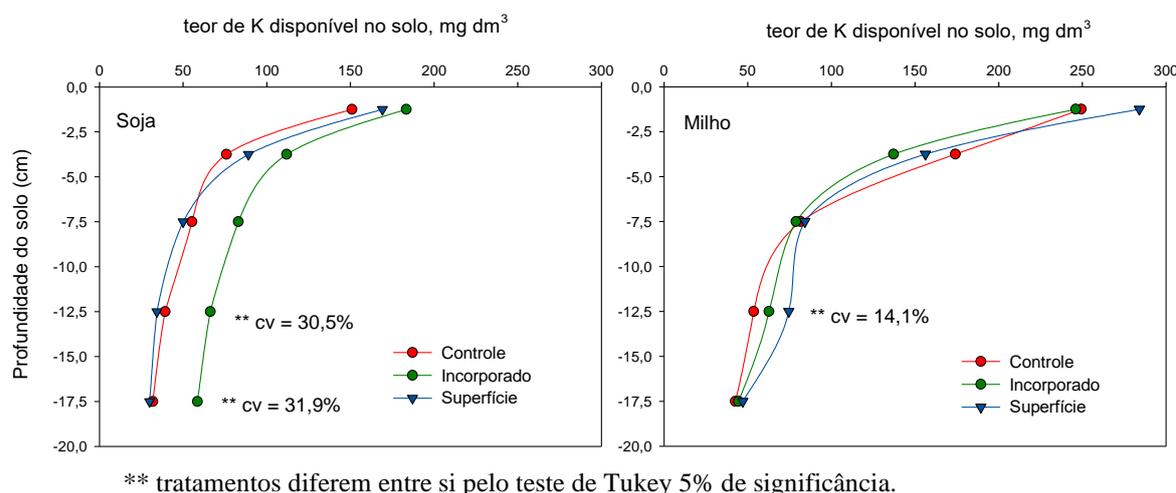
Fonte: Autora, 2024.

### 4.2 POTÁSSIO NO SOLO

Os resultados obtidos nesse estudo em relação aos teores de K nas camadas de solo 0 - 2,5; 2,5 - 5; 5 - 10 cm para milho e soja não diferiram entre os tratamentos. Na área cultivada com soja os teores de K no tratamento em linha foram superiores ao superficial na camada 10 - 15 cm e superiores ao superficial e ao controle na camada 15 - 20 cm. Na área cultivada com milho o teor de K na camada 10 - 15 cm foi maior quando a aplicação de KCl foi realizada de

forma superficial do que no tratamento controle, o teor de K no solo na camada 15 – 20 cm não diferiu entre os tratamentos (Figura 8).

Figura 8 – Teores de K disponível no solo com aplicação de KCl em superfície e incorporado ao solo.



Fonte: Autora, 2024.

Embora as áreas com milho e soja não tenham sido comparadas estatisticamente, é possível observar que os teores de K nas camadas superficiais foram maiores na área cultivada com milho do que na área cultivada com soja. Isso pode estar relacionado a coleta de solo ter sido realizada logo após a colheita do milho. Considerando que o K é rapidamente liberado dos resíduos culturais após a colheita, com ocorrência das primeiras precipitações justifica-se os resultados encontrados, já que a cultura da soja havia perdido as folhas e o K retornado ao solo antecipadamente (Figura 8).

Calonego *et al.*, (2012) avaliaram a persistência e liberação de nutrientes da palha de milho em 4 épocas de avaliação: no dia da deposição das plantas e após 45, 90 e 135 dias e observaram que o K foi o elemento com maior liberação acumulada e essa liberação ocorreu de forma rápida já nos primeiros 45 dias de avaliação. Isso se deve ao fato de que o K é um elemento com rápida velocidade de liberação da palhada, devido sua alta solubilidade e por se apresentar na forma iônica nas plantas, não fazendo parte das estruturas orgânicas (Sorato e Crusciol, 2007).

Uma possível justificativa para esses resultados é a ocorrência de precipitação bem distribuída ao longo do ciclo das culturas (Figura 7), a ocorrência de chuva facilita a percolação do K no solo, mesmo quando aplicado a superfície. Na área cultivada com milho coletado após

a colheita na camada 10 – 15 cm o tratamento superficial foi superior ao controle, isso provavelmente ocorreu devido o K aplicado superficialmente ter percolado no solo.

Em todos os tratamentos, o teor de K foi mais alto nas camadas superficiais e foi reduzindo em camadas mais profundas. Isso justifica-se possivelmente pelo teor inicial na camada superficial do solo ser maior, proveniente da adoção do sistema de plantio direto (SPD) com adubação sequencial nas safras nas camadas próximo a superfície, sem revolvimento do solo e conseqüentemente sem incorporação do fertilizante nas camadas mais profundas, fazendo com que os teores diminuam ao longo do perfil. Ademais, a manutenção dos resíduos culturais na superfície do solo ano após ano, vai criando a estratificação. Ou seja, o K absorvido pelas culturas vai sendo transferido e liberado para camadas superficiais.

Ernani *et al.*, (2007) em estudo realizado em laboratório testaram a mobilidade vertical de K sob diferentes doses aplicadas em superfície e incorporado ao solo, os solos utilizados foram: Cambissolo Húmico e um Nitossolo Vermelho. Os resultados encontrados pelos autores foram diferentes ao encontrado nesse estudo para o controle. A percolação foi uniforme ao passo que a profundidade foi aumentando, em média 40 mg kg<sup>-1</sup> para o Cambissolo Húmico.

Segundo Ernani *et al.*, (2007) mesmo o K tendo mobilidade vertical, na aplicação superficial os maiores teores ficaram nas camadas superficiais. Ainda assim, o nutriente estaria ao alcance de grande parte do sistema radicular, uma vez que as raízes das culturas anuais se concentram nos 20 cm, mesmo sendo aplicado superficialmente.

De acordo com Werle, Garcia e Rosolem (2008), quando os teores de K se elevam no solo a lixiviação tende a ocorrer mais facilmente, mesmo em solos argilosos e com alta CTC. O K faz parte da solução do solo que se movimenta de maneira vertical, sendo assim a quantidade do nutriente que lixivia é proporcional à concentração inicial do nutriente na solução no solo. A aplicação de altas doses de K ao longo dos anos fazem com que os teores do nutriente no solo aumentem, dessa forma, o efeito residual é maior e tende a lixiviar no perfil. O teor de K do solo experimentado segundo a análise de solo antes da semeadura das culturas era considerado médio para camada 0-10 cm e baixo 10-20 cm, o que pode justificar uma maior lixiviação nas camadas superficiais devido ao teor mais elevado do nutriente nessas camadas.

O solo onde o experimento foi conduzido apresenta alta CTC, é cultivado sob SPD onde a manutenção da palhada contribui para a ciclagem de nutrientes, resultando em teores consideráveis de K. Considerando essas características é possível justificar os resultados

obtidos nesse estudo, pois as plantas tendem a não serem tão responsivas quando comparadas a cultivos sob condições antagônicas a essas.

Embora os teores de K estejam acima da responsividade das culturas, é importante a reposição do fertilizante ao solo quando os teores estão abaixo do nível crítico, a fim de evitar um déficit do nutriente no solo e possíveis deficiências nutricionais na planta. Porém, caso os teores atinjam o nível crítico as doses podem ser reduzidas e até suspensas por um determinado período em condições de teores muito altos. Essa relação é muito importante e segundo ela quanto maior a disponibilidade de nutriente no solo menor será a quantidade de adubação necessária.

Como o solo amostrado foi coletado quinze dias após a colheita das culturas, parte do K já havia sido reciclado anteriormente pelas folhas de soja. Observa-se teores nas camadas superiores bastante expressiva nas duas culturas, resultado do rápido retorno de K ao solo proveniente da palha do milho e da soja. No gráfico é possível verificar que abaixo de 5 cm, ou seja, nas camadas mais profundas ocorre uma drástica redução de K. Resultado semelhante foi obtido por Artuso (2021), quando comparou os teores de K em camadas de solos de 24 municípios do Rio Grande do Sul, sob diferentes condições: área natural e SPD. Segundo o autor, em média abaixo de 10 cm os teores de K diminuem drasticamente nos solos sob SPD e os teores acima do nível crítico estão presentes até 6 cm de solo, sendo que nas camadas mais profundas a essa região apresenta deficiência de K.

Tiecher *et al.*, (2017), em um estudo realizado sob Latossolo Vermelho, com textura muito argilosa, concluiu que há uma maior fertilidade nas camadas superficiais (0-10 cm) em solos sob SPD quando comparado ao convencional. Apesar da camada superficial conter altos teores de nutrientes a concentração reduz repentinamente quando vai aprofundando as camadas nos solos de SPD, o que não ocorre em sistema convencional. Isso ocorre pelo fato da ausência de revolvimento e distribuição dos nutrientes de forma mais homogênea no perfil do solo. Os autores também destacam a eficiência das plantas de cobertura na ciclagem de nutrientes e redução de perdas de K.

O SPD reflete em um maior acúmulo de matéria orgânica no solo e simultaneamente ocorre aumento da CTC, favorecendo a estocagem no solo e melhor aproveitamento dos fertilizantes pelas plantas, inclusive o K, atuando de forma positiva na ciclagem dos nutrientes (Resende, 2011). De maneira geral, o cultivo simultâneo e a manutenção da cobertura de solo pela palhada têm efeito benéfico, pois aporta nutrientes de maneira significativa ao solo e

contribuiu para a manutenção e aumento da fertilidade do solo, a quantidade de nutriente incluindo o K que é reciclado depende da cultura, como comentado anteriormente.

O teor crítico (TC) de K sob as condições de  $CTC_{pH\ 7,0}$  do solo amostrado é 120 mg K  $dm^{-3}$ , onde se obtêm próximo a máxima eficiência econômica das culturas. No caso do presente estudo, o teor do solo está no nível médio onde o rendimento fica em torno de 75 a 90% do rendimento máximo. Através da realização da média ponderada dos teores de K no solo após a colheita das culturas na camada 0-10 cm, obteve-se valores de 84,36, 115,37 e 89,58 mg  $dm^{-3}$  para os tratamentos controle, em linha e superficial respectivamente, na cultura da soja. É possível perceber que os teores estão abaixo TC. Já para a área cultivada com milho os teores de K do solo após a colheita na camada 0-10 cm foram de 146,69, 135,30 e 152,15 mg  $dm^{-3}$  para os tratamentos controle, em linha e superficial respectivamente, sendo esses superiores ao TC. Esse resultado pode ser explicado pela maior quantidade de palha do milho e pela reciclagem de K ocorrer de forma mais concentrada, já que a cultura não perde as folhas precocemente.

#### 4.3 TEOR DE K NA PLANTA E CICLAGEM DE K

Os teores de K na planta na cultura da soja não apresentaram diferença estatística entre os tratamentos, enquanto que para a cultura do milho o tratamento em linha foi superior em relação ao controle (Tabela 2). Na avaliação dos teores de K no grão das culturas os tratamentos não diferiram entre si (Tabela 2).

Tabela 2 – Teores de K no tecido vegetal exceto grãos, folha e grãos de milho e soja com aplicação de K em superfície ou incorporado ao solo.

Tratamentos	Soja	Milho	Soja	Soja	Milho
	[ K ] tecido vegetal exceto grãos		[ K ] folha	[ K ] grão	
			g $kg^{-1}$		
Controle	13,20	6,90b	14,50	16,00	4,10
Incorporado	14,80	10,90 a	13,60	17,70	4,20
Superficial	12,10	8,80 ab	15,40	18,00	6,30
CV (%)	15,67	22,36	24,07	16,71	25,21

Letras minúsculas referem-se à comparação estatística nas colunas. Valores sem letras não diferem entre si pelo teste de Tukey 5% de significância

Fonte: Autora, 2024.

Rodrigues *et al.*, (2014) testaram a adubação com KCl revestido na cultura do milho no Cerrado e obtiveram teores de K foliares de 27,68 e 28,34 g kg<sup>-1</sup> no primeiro ano de avaliação para o tratamento do KCl sem e com revestimento respectivamente. No segundo ano obtiveram valores de 24,31 g kg<sup>-1</sup> para KCl sem revestimento e 24,47 g kg<sup>-1</sup> com revestimento, os valores encontrados não apresentaram diferença estatística nos dois anos de avaliação. Neste contexto, Meneses, Mendonza-Cortez e Cecílio Filho (2017) em um experimento no estado de São Paulo quando testaram a adubação potássica de milho doce em um solo com alta disponibilidade de K, os teores de K foliar nas diferentes doses de K aplicadas (0, 50, 100, 150, 200 e 250 kg de K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>) ficaram entre 18,95 e 20,77 g kg<sup>-1</sup>. Esse resultado é superior ao desse estudo, onde as plantas de milho apresentaram teores de 10,9, 8,78 e 6,92 g kg<sup>-1</sup> de K para os tratamentos incorporado, superficial e testemunha, respectivamente.

Em relação a cultura da soja Kurihara *et al.*, (2013) em um estudo realizado com intuito de estabelecer os teores adequados de nutrientes para soja, por meio do ajuste de modelos de regressão para o teor foliar em função do índice de equilíbrio nutricional definido pelo Sistema Integrado de Diagnóstico e Recomendação (DRIS) obtiveram teores médios de K nas folhas sem pecíolo 20,4 g kg<sup>-1</sup> e com pecíolo 25,8 g kg<sup>-1</sup>. Em outro estudo encontrado na literatura realizado por Silva e Lazarini (2014) os teores foliares de K para a cultura da soja foram de 24,4 g kg<sup>-1</sup> para a aplicação de K na semeadura e 25,0 g kg<sup>-1</sup> para aplicação em cobertura. Os resultados encontrados nesse trabalho em relação aos teores foliares de K na cultura da soja são inferiores aos teores de K encontrados pelos autores comentados anteriormente.

Resultado semelhante em relação aos teores de K no grão da soja foram encontrados por Serafim *et al.*, (2012) quando avaliaram o efeito de doses de K e níveis de umidade do solo nos componentes de produção da soja. Os resultados obtidos em relação ao teor de K no grão da soja sofreram influência das doses testadas, sendo que máximo acúmulo de K no grão, 20,6g kg<sup>-1</sup> foi para a dose de 178 mg dm<sup>-3</sup>. É importante ressaltar que o aumento de K no grão é esperado na cultura por se tratar do principal dreno da planta de soja. Isso pode justificar os resultados obtidos nesse trabalho em relação aos teores de K no grão de soja.

Apesar dos teores enquanto tratamento não diferirem, a cultura do milho produziu mais biomassa quando comparado a soja (Tabela 3), fazendo com que o milho tenha reciclado no final do ciclo logo após a colheita em média aproximadamente 90 kg K ha<sup>-1</sup> a mais que a soja nos tratamentos que receberam adubação potássica. Vale ressaltar que as plantas de soja perdem as folhas logo após a maturidade fisiológica, ou seja, o K contido nas folhas retorna antes do

final do ciclo para o solo. Sendo assim, o K proveniente das plantas de soja retorna em dois momentos para o solo: com queda de folhas e por meio dos resíduos da colheita. Já o milho o retorno de K para o solo ocorre de maneira concentrada, somente por resíduos da colheita, já que a cultura não perde as folhas após a maturidade fisiológica.

Tabela 3 – Quantidade de K reciclado pelas culturas da soja e milho com aplicação superficial e incorporado ao solo.

	Soja folha	Soja colheita*	Milho colheita**	Soja total
Tratamentos	--- kg ha <sup>-1</sup> ---			
Controle	53,82 <sup>ns</sup>	52,37 <sup>ns</sup>	93,77 <sup>ns</sup>	106,19 <sup>ns</sup>
Incorporado	46,83 <sup>ns</sup>	63,53 <sup>ns</sup>	161,09 <sup>ns</sup>	110,36 <sup>ns</sup>
Superficial	73,92 <sup>ns</sup>	54,72 <sup>ns</sup>	137,53 <sup>ns</sup>	128,64 <sup>ns</sup>
CV (%)	40,58	20,09	29,45	17,71

<sup>ns</sup>=valores não significativos não diferem entre si pelo teste de Tukey 5% de significância.

\* resíduo da colheita (talo e vagens); \*\*planta inteira exceto grãos.

Fonte: Autora, 2024.

A quantidade de potássio na biomassa de milho desse experimento (73,9% do total de K absorvido) volta para o solo através da palhada. Como o potássio não faz parte das moléculas estruturais das plantas, logo após a colheita dos grãos quando a palhada fica sobre a superfície do solo o K rapidamente retorna ao solo.

A reciclagem em média de K no milho foi de aproximadamente 9 kg por cada tonelada de palha que retornou ao sistema. Coelho (2006) aponta a cultura do milho com alta capacidade de reciclagem de K, no estudo apresentou resultado semelhante 12 kg de K por tonelada de palha, considerando como uma bomba recicladora quando a cultura é destinada a produção de grãos.

#### 4.4 PRODUTIVIDADE DE GRÃOS E EXPORTAÇÃO DE K

Na avaliação de rendimento, as culturas não diferiram estatisticamente entre os tratamentos. O milho, apresentou rendimentos de 8,52, 10,99 e 10,38 Mg ha<sup>-1</sup>, para os tratamentos controle, em linha e superficial, respectivamente. Já a soja os rendimentos foram de 5,04, 6,04 e 7,04 Mg ha<sup>-1</sup>, para controle, em linha e superficial, respectivamente (Tabela 4).

Apesar dos teores de K serem suficientes e não apresentarem diferença nas produtividades, observa-se um incremento de 1 a 2 Mg ha<sup>-1</sup> quando se aplica K o que pode ter um grande impacto na produção dependendo do tamanho da área em que se cultiva e estar atrelado ao lucro ou prejuízo da safra.

Tabela 4 – Rendimento de grãos e K exportado pela colheita com a aplicação de K em superfície ou incorporado em solo de alta CTC.

Tratamentos	Produtividade		K exportado	
	Mg ha <sup>-1</sup>		kg ha <sup>-1</sup>	
	Soja	Milho	Soja	Milho
Controle	5,04	8,52	79,09	34,71
Incorporado	6,04	10,99	102,9	45,80
Superficial	7,04	10,38	94,97	66,04
CV (%)	18,29	19,91	41,28	34,58

Valores não diferem entre si pelo teste de Tukey 5% de significância.

Fonte: Autora, 2024.

Esses resultados obtidos para o rendimento são superiores as médias brasileiras de rendimento de milho (6,1 Mg ha<sup>-1</sup>) e da soja (3,5 Mg ha<sup>-1</sup>) para a safra 22/23 (CONAB, 2024). Resultados diferentes a esse estudo foram obtidos por Júlio *et al.*, (2017) em um experimento avaliando diferentes formas de aplicação de K e a produtividade da soja, os rendimentos nesse estudo ficaram entre 2,5 e 3,4 Mg ha<sup>-1</sup> nos tratamentos avaliados. Além disso, os autores destacam que houve um incremento de 34% na produtividade no tratamento com aplicação de K somente no sulco quando comparado ao tratamento testemunha que não recebeu adubação de K<sup>+</sup>. Todavia, Petry (2021) avaliou diferentes formas de adubação potássica no rendimento da soja sob Latossolo Vermelho no Rio Grande do Sul e obteve uma produtividade em torno de 4,1 a 4,2 Mg ha<sup>-1</sup>. Segundo o autor não foi encontrado diferença estatística para o rendimento em resposta aos tratamentos com aplicação a lanço, na linha de semeadura e sem aplicação potássica.

Para a cultura do milho, Lima *et al.*, (2023) quando testaram o potencial produtivo do milho sob adubação potássica em diferentes épocas de aplicação encontraram resultados de 2,2 a 5,2 Mg ha<sup>-1</sup>. Esse resultado é distinto ao encontrado nesse trabalho. Entretanto, as condições edafoclimáticas do local avaliado por Lima *et al.*, (2023) são bastantes distintas das condições de Curitiba, além disso, a adubação foi realizada para uma expectativa de rendimento de 12

Mg ha<sup>-1</sup> e o híbrido utilizado nesse experimento apresenta alto potencial produtivo (12 Mg ha<sup>-1</sup>).

Em relação as quantidades de K exportado não houve diferença estatística entre os tratamentos. Nos tratamentos que receberam adubação potássica em média a exportação da soja foi de aproximadamente 43 kg de K ha<sup>-1</sup> a mais que o milho. Resultado semelhante em relação ao rendimento da soja foi obtido por Bergamin *et al.*, (2008), quando avaliaram a resposta de duas cultivares de soja sob aplicação de K a lanço e em sulco, em Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico. Mesmo o número de vagens da planta de soja tendo sido maior no tratamento com aplicação em sulco, quando comparado com a aplicação a lanço, a produtividade não diferiu estatisticamente entre os tratamentos.

Bernardi *et al.*, (2009) avaliaram a produtividade da soja em função de doses e formas de aplicação distintas de K, o estudo foi conduzido em Latossolo Vermelho e também não encontraram diferença estatística no rendimento da cultura e apontaram como justificativa os teores de potássio no solo serem adequados.

Wendling *et al.*, (2008) não encontraram resposta na cultura do milho grão em sistema de semeadura direta. Segundo os autores, justificou-se pelo fato de os solos do local experimentado apresentarem teores de K<sub>(Mehlich-1)</sub>, entre 47 a 256 mg dm<sup>-3</sup>. Em outro estudo encontrado na literatura, apesar de ser considerado um teor baixo (52,7 mg dm<sup>3</sup>) na camada de 10-20 cm. Brunetto *et al.*, (2005) avaliando o nível crítico e resposta das culturas de soja, milho e sorgo ao potássio em um argissolo sob sistema de plantio direto, os autores concluíram que diversas culturas têm baixa responsividade em relação a adubação potássica, quando apresentavam valores de K acima de 50 mg dm<sup>3</sup> na camada 0-20 cm. As conclusões observadas nesses estudos, podem justificar os resultados obtidos neste experimento, pois os teores de K<sup>+</sup> no solo estão dentro dessa faixa descrita (Figura 1).

Segundo Coelho (2006) o milho tem uma exportação de K através dos grãos relativamente baixa, em torno de 30% do total de K absorvido. Isso justifica o resultado obtido, uma vez que a soja contém maiores teores de K nos grãos quando se compara ao milho. Por outro lado, os teores do nutriente na planta são mais elevados, aproximadamente 70% do total absorvido. Isso, tem implicância direta na reciclagem do nutriente, pois a manutenção dos restos culturais faz com que retorne ao solo grande parte do nutriente contido na palhada. Sendo assim, justifica-se o fato da alta demanda de adubação potássica em áreas com plantio e histórico de cultivo de milho silagem, pois a quantidade de K exportado é muito maior e se necessita de intensa reposição dependendo dos teores do nutriente no solo.

O local de aplicação do KCl não afetou o rendimento, porque os teores de K não foram limitantes para o desenvolvimento das culturas. A precipitação foi adequada e uniforme, facilitando a percolação de K no perfil do solo. Além disso, como as chuvas foram bem distribuídas as plantas não sofreram déficit hídrico, conseqüentemente não houve necessidade de as raízes aprofundarem mais no solo em busca de água. Sendo assim o sistema radicular ficou concentrado na camada superficial, mais próxima de onde estava o K.

## **5. CONCLUSÃO**

O método de aplicação na linha de semeadura na cultura da soja resultou em maiores teores de K nas camadas mais profundas do solo. Os teores de K no tecido vegetal exceto grãos foi superior no tratamento em linha em relação ao controle na cultura do milho.

A quantidade de K reciclado, a exportação e a produtividade nas duas culturas não sofreram influência do método de aplicação de KCl devido os teores de K no solo serem elevados.

## 6. REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; ERNANI, P. R.; FONTANA, E. C. Propriedades físicas e eletroquímicas de um Latossolo Bruno afetadas pela calagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 24, n. 2, p. 295-300, jun. 2000. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832000000200006>.

ANDA (Associação Nacional para difusão de adubos). **Estatísticas**. Disponível em: <http://anda.org.br>.

ARTUSO, Deonilce R. **Estratificação dos teores de potássio no solo de lavouras sob sistema plantio direto**. 2021. 82 f. Dissertação (Mestrado) – Mestre em de Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2021.

ARTUZO, Felipe D.; FOGUESATTO, Cristian R.; SOUZA, Ângela R. L.; SILVA, Leonardo X. Costs management in maize and soybean production. **Review Of Business Management**, São Paulo, v. 20, n. 2, p. 273-294, mar. 2018. FECAP Fundacao Escola de Comercio Alvares. <http://dx.doi.org/10.7819/rbgn.v20i2.3192>.

BATISTA, Marcelo A.; INOUE, Tadeu T.; ESPER NETO, Michel; MUNIZ, Antonio S. Princípios de fertilidade do solo, adubação e nutrição mineral. In: BRANDÃO FILHO, J.U.T., FREITAS, P.S.L., BERIAN, L.O.S., and GOTO, R., comps. **Hortaliças-fruto** [online]. Maringá: EDUEM, 2018, pp. 113-162. ISBN: 978-65-86383-01-0. <https://doi.org/10.7476/9786586383010.0006>.

BERGAMIN, Anderson C.; SCHLINDWEIN, Jairo A.; VENTUROSOS, Luciano do R.; VALADÃO JÚNIOR, Daniel D.; CARON, Bráulio O.; SCHMIDT, Denise. Respostas de duas cultivares de soja a adubação a lanço e em sulco no município de Rolim de Moura/. **Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal Of Agricultural And Environmental Sciences**, Belém, v. 50, n. 1, p. 155-166, 2008.

BERNARDI, Alberto C. C.; OLIVEIRA JÚNIOR, Juarez P.; LEANDRO, Wilson M.; MESQUITA, Tiago G. S.; FREITAS, Pedro L.; CARVALHO, Maria da C. S. Doses e formas de aplicação da adubação potássica na rotação soja, milho e algodão em sistema plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 39, n. 2, p. 158-167, 2009.

BORGES, Rogerio; MALLARINO, Antonio P. Broadcast and deep-band placement of phosphorus and potassium for soybean managed with ridge tillage. **Soil Science Society of America Journal**, v. 67, n. 6, p. 1920-1927, 2003.

BRUNETTO, Gustavo; GATIBONI, Luciano C.; SANTOS, Danilo R.; SAGGIN, Adair; KAMINSKI, João. Nível crítico e resposta das culturas ao potássio em um Argissolo sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 29, n. 4, p.

565-571, jul. 2005. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832005000400009>.

CALONEGO, Juliano C.; GIL, Fernando C.; ROCCO, Vitor F.; SANTOS, Eduardo A. PERSISTÊNCIA E LIBERAÇÃO DE NUTRIENTES DA PALHA DE MILHO, BRAQUIÁRIA E LABE-LABE. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, n. 5, p. 770-781, set./out. 2012.

CARDOSO, Hélia; GAZARIN, Luiz. **Unidade Curricular de Anatomia e Histologia Vegetal**. 2021-2022. 27 f. TCC (Graduação) - Curso de Biologia, Universidade de Évora, S.L, 2022. Disponível em: <https://dspace.uevora.pt/rdpc/bitstream/10174/32102/1/Texto%20de%20Apoio%20-%20Anatomia%20e%20Histologia%20Vegetal>. Acesso em: 10 abr. 2023.

CEPEA (Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada). **PIB do agronegócio brasileiro**. 2023. Disponível em: <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/pib-do-agronegocio-brasileiro.aspx>

CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento). **Acompanhamento da safra brasileira: grãos 2023/2024**. Disponível em: [E-book\\_BoletimZdeZSafrasZ-Z4Zlevantamento.pdf](#) Acesso em: 20 mar. 2024.

COELHO, Antônio M. **Nutrição e Adubação do Milho**. Sete Lagoas, Mg: Editoração Eletrônica: Tânia Mara Assunção Barbosa, 2006. 10 p. EMBRAPA.

EBELHAR, S. A.; VARSA, E. C. Applications in sustainable production. **Communications In Soil Science And Plant Analysis**, [s. l], v. 31, n. 11-14, p. 2367-2377, jun. 2000. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/00103620009370591>.

EPAGRI. **Caracterização Regional - Curitibanos**. 2003. Disponível em: [https://docweb.epagri.sc.gov.br/website\\_cepa/publicacoes/diagnostico/CURITIBANOS.pdf](https://docweb.epagri.sc.gov.br/website_cepa/publicacoes/diagnostico/CURITIBANOS.pdf). Acesso em: 18 dez. 2023.

ERNANI, Paulo Roberto; ALMEIDA, Jaime Antônio de; SANTOS, Flávia Cristina dos. Potássio. In: NOVAIS, Roberto Ferreira; V., Víctor Hugo Alvarez; BARROS, Nairam Félix de; FORTES, Renildes Lúcio F.; CANTARUTTI, Reinaldo Bertola; NEVES, Júlio César Lima (ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa - Minas Gerais: Sociedade Brasileira do Solo, 2007. Cap. 9. p. 551-589.

ERNANI, Paulo R. **Química do Solo e Disponibilidade de Nutrientes**. 2. ed. Lages-SC: 2016. 256 p.

FERNÁNDEZ, Fabián G.; WHITE, Catherine. **No-Till and Strip-Till Corn Production with Broadcast and Subsurface-Band Phosphorus and Potassium**. S.L, v. 104, n. 4, p. 996-1005, 2012.

FOLONI, José S. S.; ROSOLEM, Ciro A. Produtividade e acúmulo de potássio na soja em função da antecipação da adubação potássica no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 32, n. 4, p. 1549-1561, ago. 2008. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832008000400019>.

GUARESCHI, Fernandes R.; GAZOLLA, Paulo R.; SOUCHIE, Edson L.; CORREA, Anisio, R. **Adubação fosfatada e potássica na semeadura e a lanço antecipada na cultura da soja cultivada em solo de Cerrado**. Ciências Agrárias., 2008, Vol. 29, núm.4, pp.769-774ISSN: 1676-546X. Disponível em <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=445744090004>. Acesso em: 11 abril.2023.

HINSINGER, Philippe; BELL, Michael J.; KOVAR, John L.; WHITE, Philip J. Rhizosphere Processes and Root Traits Determining the Acquisition of Soil Potassium. In: ·, MURRELL T. Scott; MIKKELSEN, Robert L.; SULEWSKI, Gavin; NORTON, Robert; THOMPSON, Michael L. (ed.). **Improving Potassium Recommendations for Agricultural Crops**. Norcross: Springer, 2021. p. 99-118.

JÚLIO, Otávio L. L.; ASCARI, João P.; MENDES, Inês R. N.; SANTOS, Esdras S.; DUARTE, Willian M.; NIED, Astor H. Formas de adubação potássica e produtividade da cultura da soja. **Agrarian**, Dourados/MS, v. 9, n. 32, p. 149–155, 2017.

KLUTHCOUSK, João; STONE, Luís F. **Principais fatores que interferem no crescimento radicular das culturas anuais, com ênfase no potássio**. 103. ed. Goiás: Informações Agronômicas, 09/2003. 7 p.

KURIHARA, Carlos H.; VENEGAS, Víctor H. A.; NEVES, Júlio C. L.; NOVAIS, Roberto F. STAUT, Luiz A.. Faixas de suficiência para teores foliares de nutrientes em algodão e em soja, definidas em função de índices DRIS. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 60, n. 3, p. 412-419, jun. 2013. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0034-737x2013000300015>.

LIMA, Beatriz L.; FILHO, João V. P.; LEONARDO, Francisco A. P. Potencial produtivo do milho sob adubação potássica em diferentes épocas de aplicação. VIII Inovagri International Meeting e XXXII CONIRD, 2023.

MARTINEZ, Herminia E. P.; MAROTTA, Juan J. L.; MANGAS, Ildefonso Bonilla. **Relações solo-planta: Bases para a nutrição e produção vegetal**. Editora UFV, 2021.

MENESES, Natália; MENDOZA-CORTEZ, Juan W.; CECÍLIOFILHO, Arthur B. Fertilización potásica del maíz dulce en suelo con alta disponibilidad de potasio. **Agrociencia (Uruguay)**, v. 21, n. 2, p. 54-58, 2017.

MEURER, Egon J. Potássio. In: FERNANDES, Manlio Silvestre (ed.). **Nutrição Mineral de Plantas**. Viçosa-MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. Cap. 11. p. 281-298

MIRANDA, Melissa C. C.; SANTOS, Douglas S.; PEREIRA, Hamilton S.; SANTOS, Jenifer C. G. Lixiviação de potássio proveniente de diferentes fontes de potássio em dois tipos de solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 34., 2013, Florianópolis. **Anais [...]**: Ciência do Solo, 2013. p. 1-3. Disponível em: <https://www.sbcs.org.br/cbcs2013/anais/arquivos/772.pdf>. Acesso em: 11 abr. 2023.

MURRELL, T. Scott; Mikkelsen, Robert L.; Sulewski, Gavin; Norton, Robert; Thompson, Michael L. (EDS.). **Improving Potassium Recommendations for Agricultural Crops**. Cham: Springer International Publishing, 2021.

NKEBIWE, Peteh M.; WEINMANN, Markus; BAR-TAL, Asher; MÜLLER, Torsten. Fertilizer placement to improve crop nutrient acquisition and yield: a review and meta-analysis. **Field Crops Research**, [s. l.], v. 196, p. 389-401, set. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2016.07.018>. Acesso em: 20 mar. 2023.

OLIVEIRA, Maiara P.; MALAGOLLI, Guilherme A.; CELLA, Daltro. MERCADO DE FERTILIZANTES: dependência de importações do Brasil. **Revista Interface Tecnológica**, [S. l.], v. 16, n. 1, p. 489-498, 2019. Disponível em: <https://revista.fatectq.edu.br/interfacetecnologica/article/view/606>. Acesso em: 5 abr. 2023.

PETRY, Lucas M. T. **Avaliação de diferentes formas de adubação potássica no rendimento da soja e percepção dos produtores quanto ao seu manejo**. 2021. 21 f. TCC (Graduação) - Curso de Agronomia, Universidade Estadual do Rio Grande do Sul Unidade Universitária em Três Passos, Três Passos, 2021.

RAIJ, Bernardo V. Potássio. In: VAN RAIJ, Bernardo. **Fertilidade do solo e adubação**. 60. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1991. Cap. 18. p. 206-217.

RESENDE, Alvaro V. **O sistema de plantio direto proporciona maior eficiência no uso de fertilizantes**. Sete Lagoas: Embrapa milho e sorgo, 2011. 23 p.

RODRIGUES, Mateus A. de C.; BUZETTI, Salatiér; TEIXEIRA FILHO, Marcelo C. M.; GARCIA, Cássia M. P.; ANDREOTTI, Marcelo. Adubação com KCl revestido na cultura do milho no Cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande/PB, v. 18, n. 2, p. 127-133, fev. 2014. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1415-43662014000200001>.

ROSOLEM, Ciro A.; STEINER, Fábio. Effects of soil texture and rates of K input on potassium balance in tropical soil. **European Journal Of Soil Science**, [S.L.], v. 68, n. 5, p. 658-666, set. 2017. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/ejss.12460>.

SANTOS, Humberto G.; JACOMINE, Paulo K. T.; ANJOS, Lúcia H. C.; OLIVEIRA, Virlei Á.; LUMBRERAS, José F.; COELHO, Maurício R.; ALMEIDA, Jaime A.; ARAÚJO FILHO, José C.; OLIVEIRA, João B.; CUNHA, Tony J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: EMBRAPA. v. 5, 2018

SERAFIM, Milson E.; ONO, Fábio B.; ZEVIANI, Walmes M.; NOVELINO, José O.; SILVA, Joil V. Umidade do solo e doses de potássio na cultura da soja. **Revista Ciência Agronômica**, [S.L.], v. 43, n. 2, p. 222-227, jun. 2012. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1806-66902012000200003>.

SILVA, Amilton F.; LAZARINI, Edson. Doses e épocas de aplicação de potássio na cultura da soja em sucessão a plantas de cobertura. **Semina: Ciências Agrárias**, [S.L.], v. 35, n. 1, p. 179, 26 fev. 2014. Universidade Estadual de Londrina. <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2014v35n1p179>.

SILVA, Carlos A.; CERRI, Carlos E. P.; ANDRADE, Cristiano A.; MARTIN-NETO, L.; BETTIOL, Wagner. Matéria orgânica do solo: ciclo, compartimentos e funções. Entendendo a matéria orgânica do solo em ambientes tropical e subtropical. Tradução. Brasília, DF: Embrapa, 2023. p. 788: il. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1153147/entendendo-a-materia-organica-do-solo-em-ambientes-tropical-e-subtropical>. Acesso em: 05 maio 2024.

SILVA, Leandro S.; GATIBONI, Luciano C.; ANGHINONI, Ibanor; SOUSA, Rogério O.; ERNANI, Paulo R. **Manual de Calagem e Adubação: Para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 11. ed. S/L: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Regional Sul. Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC, 2016. 376 p.

SORATTO, Rogério P.; CRUSCIOL, Carlos A. C. Cátions hidrossolúveis na parte aérea de culturas anuais mediante aplicação de calcário e gesso em superfície. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 1, p. 81-90, fev. 2007. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832007000100009>.

TEDESCO, Marino J.; GIANELLO, Clesio; BISSANI, Carlos A.; BOHNEN, Humberto; VOLKWEISS, Sérgio Jorge. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: p. 20-23, 1995.

TIECHER, Tales; CALEGARI, Ademir; CANER, Laurent; RHEINHEIMER, Danilo S. Soil fertility and nutrient budget after 23-years of different soil tillage systems and winter cover

crops in a subtropical Oxisol. **Geoderma**, [S.L.], v. 308, p. 78-85, dez. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.08.028>.

VYN, T.J.; GALIC, D.M.; JANOVICEK, K.J. Corn response to potassium placement in conservation tillage. **Soil & Tillage Research**, S.L, n. 67, p. 159-169, 14 maio 2002.

WENDLING, Ademir; ELTZ, Flávio L. F.; CUBILLA, Martin M.; AMADO, Telmo J. C.; MIELNICZUK, João. Recomendação de adubação potássica para trigo, milho e soja sob sistema plantio direto no Paraguai. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Paraguai, v. 32, n. 5, p. 1929-1939, out. 2008. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832008000500014>.

WERLE, Rodrigo; GARCIA, Rodrigo A.; ROSOLEM, Ciro Antonio. Lixiviação de potássio em função da textura e da disponibilidade do nutriente no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 32, n. 6, p. 2297-2305, dez. 2008. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832008000600009>.

WREGGE, Marcos S.; STEINMETZ, Silvio; REISSER JÚNIOR, Carlos; ALMEIDA, Ivan Rodrigues. **Atlas climático da região sul do Brasil: estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado; Colombo: Embrapa Florestas, 2012., 2012.