

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE AGRONOMIA

GABRIEL PEREIRA CARVALHO CLARO

DISTRIBUIÇÃO DO FÓSFORO E POTÁSSIO EM LATOSSOLOS DO CERRADO SOB
DIFERENTES SISTEMAS DE CULTIVO

Uberlândia

2025

GABRIEL PEREIRA CARVALHO CLARO

**DISTRIBUIÇÃO DO FÓSFORO E POTÁSSIO EM LATOSSOLOS DO CERRADO SOB
DIFERENTES SISTEMAS DE CULTIVO**

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

Orientadora: Prof^a. Dra. Araújo Hulmann
Batista

Uberlândia 2025

GABRIEL PEREIRA CARVALHO CLARO

**DISTRIBUIÇÃO DO FÓSFORO E POTÁSSIO EM LATOSSOLOS DO CERRADO SOB
DIFERENTES SISTEMAS DE CULTIVO**

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

Uberlândia, 28 de março de 2025.

Banca Examinadora:

Profa. Dra. Araújo Hulmann Batista
Orientadora

Dr. Luciano Ferreira da Fonseca
Membro da Banca

Prof. Dr. Sandro Manoel Carmelino Hurtado
Membro da banca

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus, por me conceder saúde, força e sabedoria para enfrentar cada etapa dessa jornada. Sem sua presença em minha vida, nada disso seria possível.

Aos meus pais, pelo amor incondicional, pelos valores que me ensinaram e por sempre acreditarem no meu potencial. Ao meu irmão e a toda a minha família, pela torcida, apoio e carinho em todos os momentos.

À minha namorada, pelo companheirismo, paciência e incentivo constante, mesmo nos dias mais desafiadores.

À minha orientadora, pela dedicação, atenção e orientação essencial ao longo deste trabalho. Sua contribuição foi fundamental para meu crescimento acadêmico e pessoal.

Aos professores do curso de Agronomia da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), por todo o conhecimento compartilhado e pela formação sólida que levarei para a vida.

E aos meus amigos, que estiveram ao meu lado nos momentos bons e difíceis da graduação, compartilhando aprendizados, risadas e conquistas. Sou imensamente grato por cada um de vocês.

Agradeço também à Conteagro Soluções Agronômicas, pela oportunidade de crescimento, pelas experiências vividas e pelo ambiente de aprendizado que tanto contribuiu para meu desenvolvimento profissional e pessoal.

A todos os envolvidos, o meu sincero muito obrigado.

RESUMO

O sistema de cultivo e o manejo da adubação fosfatada e potássica influenciam a disponibilização desses nutrientes no solo, o acesso pelas plantas e, consequentemente, a produção das culturas. Diante disso, torna-se essencial avaliar a distribuição e a dinâmica desses elementos ao longo do perfil do solo para compreender o impacto de cada sistema de manejo. O experimento foi conduzido em Latossolo na região rural de Uberlândia-MG, comparando diferentes usos do solo, sendo: T1. Cerrado nativo; T2. Cultivo de grãos em sistema plantio direto; T3. Cultivo de grãos em sistema convencional; T4. Culturas diversas sob pivô de irrigação. Os tratamentos seguiram um esquema fatorial 4×6 , com quatro sistemas de cultivo e seis profundidades, em delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições. Para cada sistema, foram abertas quatro trincheiras (60 cm de profundidade) para a coleta de amostras indeformadas de solo a cada 10 cm de profundidade. A distribuição de P e K foi determinada utilizando o extrator Mehlich-1, com leituras realizadas por espectrofotometria de absorção molecular e espectrofotometria de emissão de chamas. Os dados foram submetidos à análise de variância ($p \leq 0,05$) e as médias comparadas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Os resultados demonstraram que a profundidade do solo não apresentou relação significativa com o sistema de cultivo na dinâmica do fósforo, evidenciando o caráter pouco móvel desse nutriente e seus baixos teores nas camadas mais profundas, entretanto a disponibilidade do nutriente revelou variações significativas apenas na camada de 0–10 cm, onde o sistema plantio direto (SPD) e sistema irrigado apresentaram os maiores teores. Por outro lado, a irrigação exerceu influência significativa sobre a mobilidade do potássio, promovendo sua redistribuição ao longo do perfil do solo e diferenciando-o dos sistemas de plantio direto e convencional, nos quais o potássio permanece concentrado nas camadas superficiais. Os elevados valores de K nos solos sob sistema irrigado indicam que o uso mais intensivo do solo contribui para o aumento na disponibilidade deste nutriente. Conclui-se que os sistemas de manejo impactam diretamente a dinâmica do potássio no solo, sendo fundamental considerar essas interações para otimizar as estratégias de fertilização e promover o uso mais eficiente desse nutriente no ambiente agrícola.

Palavras-chave: Disponibilidade de nutrientes; Sistemas de manejo; mobilidade de potássio e fósforo.

ABSTRACT

Cropping systems and the management of phosphorus and potassium fertilization influence the availability of these nutrients in the soil, their uptake by plants, and consequently, crop productivity. Therefore, it is essential to evaluate the distribution and dynamics of these elements throughout the soil profile to understand the impact of each management system. The experiment was conducted on a Latosol in the rural region of Uberlândia, Minas Gerais, comparing different land uses: T1. Native Cerrado; T2. Grain cultivation under no-tillage system; T3. Grain cultivation under conventional tillage; and T4. Various crops under center-pivot irrigation. The treatments followed a 4×6 factorial scheme, with four cultivation systems and six depths, in a completely randomized design with four replicates. For each system, four trenches (60 cm deep) were opened to collect undisturbed soil samples at every 10 cm. The distribution of P and K was determined using the Mehlich-1 extractor, with readings performed by molecular absorption spectrophotometry and flame emission spectrophotometry. Data were subjected to analysis of variance ($p \leq 0.05$), and means were compared using Tukey's test ($p \leq 0.05$). Results showed that soil depth had no significant interaction with the cultivation system in phosphorus dynamics, confirming the low mobility of this nutrient and its reduced concentrations in deeper layers. However, phosphorus availability varied significantly only in the 0–10 cm layer, where the no-tillage and irrigated systems showed the highest concentrations. On the other hand, irrigation significantly affected potassium mobility, promoting its redistribution along the soil profile and differing from the no-tillage and conventional systems, in which potassium remained concentrated in the surface layers. The high K values observed in irrigated soils indicate that more intensive land use increases the availability of this nutrient. It is concluded that management systems directly influence potassium dynamics in the soil, and these interactions must be considered to optimize fertilization strategies and promote more efficient nutrient use in agricultural environments.

Keywords: Nutrient availability; Management systems; Potassium and phosphorus distribution.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	REVISÃO DE LITERATURA	11
2.1	Características dos Latossolos do Cerrado	11
2.2	Fósforo (P).....	11
2.3	Potássio (K)	15
3	OBJETIVO	19
4	MATERIAL E MÉTODOS	20
4.1	Determinação do teor de fósforo e potássio por Mehlich-1	21
4.2	Análise estatística.....	25
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
6	CONCLUSÕES.....	31
	REFERÊNCIAS.....	32

1 INTRODUÇÃO

O Cerrado é o segundo maior bioma brasileiro, abrangendo cerca de 2 milhões de km². Seus solos predominantes, os Latossolos, apresentam alta acidez, baixa fertilidade natural e elevada concentração de óxidos de ferro e alumínio, como hematita e gibbsita, que favorecem a fixação do fósforo (P) e baixa disponibilidade de potássio (K) (Correia *et al.*, 2004). Apesar dessas limitações, a região se tornou uma potência agrícola, com destaque para soja, milho, algodão e feijão, graças à adoção de tecnologias de correção do solo e práticas de manejo como calagem, gessagem e adubação (Sousa *et al.*, 2004; Lobato & Caldas, 2023).

Entre as práticas conservacionistas, o Sistema de Plantio Direto (SPD) tem se destacado por promover a melhoria da estrutura do solo, redução da erosão e aumento da matéria orgânica. Comparado ao Sistema de Plantio Convencional (SPC), o SPD altera significativamente a dinâmica dos nutrientes, especialmente na camada superficial (Núñez *et al.*, 2003; Nunes *et al.*, 2011).

O P, essencial para processos como fotossíntese e transferência de energia, é um dos nutrientes mais limitantes nos Latossolos do Cerrado devido à forte adsorção pelos óxidos de Fe e Al, que ocorre por quimiossorção (Novais *et al.*, 2007). Essa adsorção é influenciada pela mineralogia, pelo pH e pelo teor de matéria orgânica. No SPD, a manutenção de resíduos e a ausência de revolvimento favorecem o acúmulo de P na superfície, aumentando sua disponibilidade imediata para as plantas (Guareschi *et al.*, 2012). Já o SPC, ao incorporar o fertilizante, distribui o P no perfil do solo, mas aumenta seu contato com os sítios de fixação, reduzindo a eficiência de uso.

A mobilidade do P no solo é baixa, ocorrendo majoritariamente por difusão. Fatores como compactação e teor de argila afetam esse processo (Motta *et al.*, 2002; Foloni *et al.*, 2003). Em solos muito adsorventes, a aplicação superficial contínua pode causar estratificação do P, o que exige estratégias de manejo específicas para garantir sua disponibilidade em camadas mais profundas.

O K, segundo nutriente mais exigido pelas culturas, atua na regulação osmótica, síntese de ATP e transporte de fotoassimilados (Ernani *et al.*, 2007). Diferente do P, o K apresenta maior mobilidade no solo, especialmente em Latossolos de baixa CTC e textura arenosa. No solo o K possui as seguintes formas - disponível na solução, ligado eletrostaticamente na superfície reativa da fase sólida na sua forma trocável, retido nas entre-camadas de

argilominerais em sua forma não-trocável e formando estrutura cristalina de minerais na sua forma estrutural.

No SPD, o K tende a se concentrar nas camadas superficiais, especialmente quando aplicado via cobertura, tornando-se mais suscetível à lixiviação em solos arenosos (Rosolen *et al.*, 2003). No SPC, o revolvimento favorece a redistribuição vertical do K, mas pode aumentar as perdas por erosão. A escolha do fertilizante também é relevante: o uso contínuo de KCl, com alto índice salino, pode aumentar perdas e afetar a absorção de outros cátions (Malavolta & Usherwood, 1982).

Portanto, o sistema de cultivo exerce forte influência sobre a dinâmica e a distribuição do P e do K nos Latossolos do Cerrado. O SPD, ao preservar a estrutura e a matéria orgânica do solo, pode favorecer a disponibilidade dos nutrientes na superfície, exigindo atenção ao manejo para garantir sua eficiência ao longo do perfil. Já o SPC, embora favoreça a redistribuição vertical, aumenta os riscos de imobilização e perdas, especialmente do P. Compreender essas interações é essencial para otimizar a fertilidade do solo e garantir a sustentabilidade da produção agrícola no bioma Cerrado.

Considerando a importância da disponibilidade de P e K para as plantas cultivadas, este trabalho buscou compreender a dinâmica e distribuição dos nutrientes em Latossolo Vermelho Distrófico típico sob diferentes sistemas de cultivo, na região do Cerrado do Triângulo Mineiro.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Características dos Latossolos do Cerrado

O Cerrado é considerado o segundo maior bioma brasileiro em extensão, estando presente em diversos estados brasileiros, contudo as maiores áreas do bioma provêm dos Estados de Mato Grosso, Goiás (quase totalmente inserido no bioma) e Minas Gerais, sendo válido salientar que soma mais de 50% da área do Centro-Oeste (IBGE, 2019). O bioma é uma formação do tipo savana tropical e conta com uma extensão aproximada de 2 milhões de km², que equivale a 25% do território nacional (Brasil, 2007). A principal classe de solo do bioma é a dos Latossolos, que devido ao elevado grau de intemperismo possuem baixa fertilidade, elevada acidez e presença de alumínio tóxico. Estas características estão associadas à qualidade da fração argila que os compõe, estabelecida principalmente por caulinita, óxidos de ferro (goethita e hematita) e óxidos de alumínio (gibbsita), minerais com baixa capacidade de troca de cátions (CTC) (Correia *et al.*, 2004). Apesar de suas características químicas e mineralógicas, responsáveis por sua baixa fertilidade, o bioma apresenta expressivas contribuições na produção agrícola nacional, como: soja (50%), milho (49%), café (23%), carne bovina (34%), algodão (86%), cana-de-açúcar (36%), feijão (43%) e sorgo (83%) (Lobato & Caldas, 2023).

Destaque deve ser dado ao fato de que as elevadas produtividades refletem as tecnologias inseridas nas práticas agrícolas, como a correção da acidez superficial e melhoria dos atributos químicos em subsuperfície pelas práticas da calagem, gessagem agrícola e fornecimento de nutrientes via adubação (Sousa *et al.*, 2004). Outro ponto que precisa ser considerado é a adoção de métodos conservacionistas de produção, como o cultivo mínimo, reduzindo as perdas de solo e de nutrientes por erosão, bem como, contribuindo com a distribuição das formas lábil e orgânica de fósforo (P) no solo (Núñez; Amaral Sobrinho; Mazur, 2003).

2.2 Fósforo (P)

O P é um nutriente essencial e limitante para o desenvolvimento e processo reprodutivo das plantas, onde sua falta ou oferta em concentrações inadequadas, não permite acessar o máximo potencial produtivo das culturas, isso pois, dentre diversos fatores a redução de teores de fósforo inorgânico pode limitar sua capacidade fotossintética e transporte de trioses – fosfato

do cloroplasto para o citosol durante o processo fotossintético (Marschner, 1995; Taiz & Zeiger, 2004). Em seu estudo Zucareli *et al.* (2006) verificou que a adubação fosfatada com 150 kg.ha^{-1} de P_2O_5 resultou em aumento do número de vagens/planta e o número de sementes/planta em plantas de feijão. A função primordial do nutriente na planta é o armazenamento e transferência de energia na forma de moeda energética - o ATP (Malavolta, 2006). É importante ressaltar que existe uma grande preocupação com a disponibilidade de P nos solos do Cerrado, consequência da natureza dos minerais de argila predominantes nestes solos – óxidos de ferro e alumínio. Isto porque, além dos baixos teores deste nutriente, há perda do P por adsorção específica nestes minerais.

A dinâmica do P e sua adsorção nas argilas é influenciada por fatores como teor do nutriente no solo, quantidade de argila e qualidade mineralógica, pelo cultivo empregado e teor de matéria orgânica (MOS) nele presente e o conteúdo de colóides amorfos - não cristalinos (Novais & Smyth, 1999; Motta *et al.*, 2002; Souza *et al.*, 2006;). Outro ponto a ser considerado, é que a movimentação do P ocorre principalmente por difusão, logo sua adsorção e mobilidade são comprometidas pelos atributos físicos do solo, como por exemplo, a compactação (Foloni *et al.*, 2003).

Devido à baixa mobilidade do fósforo no solo, que ocorre principalmente por difusão, e à sua forte retenção por meio de processos de adsorção específica – conhecidos como fixação – sua disponibilidade para as plantas é frequentemente limitada, especialmente em solos altamente intemperizados. Por esse motivo, alguns estudos indicam que a aplicação de doses mais elevadas pode aumentar a disponibilidade do nutriente no solo. No caso de um Latossolo Vermelho Distrófico típico (LVd), com o mesmo grau de compactação, pesquisas mostram que a aplicação de 200 a 400 mg dm^{-3} de P_2O_5 pode atenuar os efeitos negativos da compactação, melhorando a disponibilidade de fósforo (Santos *et al.*, 2005). No entanto, apesar do potencial benefício do aumento da dose de fósforo, sua aplicação em larga escala pode não ser economicamente viável, especialmente quando comparada às doses tradicionalmente utilizadas no Cerrado.

O P apresenta diversas interações entre a fase sólida e solução do solo, dentre eles o processo de adsorção específica, conhecido como fixação. Em um primeiro momento, ocorre atração eletrostática e posteriormente a adsorção por oxi-hidróxidos (bastante comuns em Latossolos), pela ocorrência de uma troca de ligantes denominada de quimiossorção. Assim os grupamentos OH^- e OH_2^+ presentes nas bordas dos minerais oxídicos são substituídos por formas iônicas de P presente na solução como H_2PO_4^- e HPO_4^{2-} . É válido destacar que fatores como pH afetam diretamente as espécies químicas do nutriente no solo (algumas espécies

apresentam preferência para o processo de adsorção), bem como nas cargas do solo pela relação dos grupamentos com o pH (Novais *et al.*, 2007).

Além disso, variáveis como fonte dos fertilizantes fosfatados, seu modo de aplicação, profundidade, diferentes sistemas de cultivo e seu tempo de instalação são fundamentais na dinâmica e comportamento do P no solo, assim refletindo na sua disponibilidade e adsorção. É válido enfatizar que os sistemas de cultivo adotados são fundamentais para aumento da eficiência da adubação fosfatada e construção da fertilidade nos solos muito intemperizados. Compreender o impacto do sistema de cultivo na disponibilidade e comportamento dos nutrientes no solo é fundamental, tanto para a correta recomendação de doses, como para a otimização dos recursos.

Desse modo, estratégias de manejo que visem melhorar a dinâmica e disponibilidade do nutriente no solo são necessárias. Sistemas de cultivos como sistema plantio direto, ganham crescente relevância, por sua capacidade de influenciar a disponibilidade dos nutrientes. Este sistema de cultivo, ao manter a cobertura vegetal e minimizar a mobilização do solo, pode contribuir para a redução da compactação e favorecer a melhor distribuição e aproveitamento do nutriente ao longo do perfil do solo (Pereira *et al.*, 2010). Assim, a combinação entre práticas de manejo adequadas e a aplicação equilibrada de fósforo pode ser uma alternativa mais eficiente e sustentável para otimizar sua disponibilidade nos Latossolos do Cerrado, por isso faz se necessário o correto estudo de análises de solo e interpretação dos teores do nutriente no solo (Quadro 1).

Quadro 1 - Classes de interpretação da disponibilidade para o fósforo de acordo com o teor de argila do solo (Mehlich-1).

Características	Classificação				
	Muito baixo	Baixo	Médio	Bom	Muito bom
	------(mg/dm ³)-----				
Argila (%)	Fósforo disponível (P)				
60 - 100	≤ 2,7	2,8 - 5,4	5,5 - 8,0	8,1 - 12,0	> 12,0
35 - 60	≤ 4,0	4,1 - 8,0	8,1 - 12,0	12,1 - 18,0	> 18,0
15 - 35	≤ 6,6	6,7 - 12,0	12,1 - 20,0	20,1 - 30,0	> 30,0
0 - 15	≤ 10,0	10,1 - 20,0	20,1 - 30,0	30,1 - 45,0	> 45,0

Fonte: (ALVAREZ V., V. H *et al.*, 1999).

O sistema plantio direto (SPD), ao manter a cobertura vegetal permanente, favorece o aumento dos teores de matéria orgânica no solo. Esse acúmulo pode reduzir a adsorção de

fósforo (P), uma vez que a matéria orgânica apresenta comportamento ambivalente quanto à disponibilidade do nutriente: ela pode tanto adsorvê-lo quanto bloquear os sítios de adsorção específica presentes nas superfícies das argilas oxídicas (Pereira et al., 2010). Outro aspecto relevante é o expressivo gradiente de decréscimo na concentração de P ao longo do perfil do solo. As maiores concentrações são observadas na camada de 0–10 cm de profundidade, refletindo o local de deposição do fertilizante pelas máquinas. Em contrapartida, as camadas inferiores apresentam baixos teores do nutriente, devido à sua limitada mobilidade por difusão e à ausência de revolvimento do solo no SPD, o que mantém os sítios de adsorção saturados mais próximos à superfície mesmo após sucessivos ciclos de cultivo. Com isso ocorre um gradiente de P – maiores teores em 0 – 10 cm em relação à maiores profundidades, aumentando a disponibilidade do nutriente para as plantas. Neste sentido, um trabalho realizado para avaliar os teores de P remanescente (Prem) em SPD com 20 anos em comparação ao cerrado nativo, mostrou que a área cultivada apresentou maiores valores do nutriente, C e N. Os autores concluíram que o incremento de MO promoveu a redução da adsorção de P pelo solo, o que consequentemente, aumenta sua disponibilidade para as plantas (Guareschi; Pereira; Perin, 2012).

Por outro lado, no SPC não é observado gradiente expressivo de decréscimo na disponibilidade de P em profundidade, mesmo quando o modo de aplicação é distinto - a lanço, ou sulco. Isso ocorre devido a camada de 0 – 20 cm ser a profundidade na qual o fertilizante é incorporado anualmente pelo disco de arado, assim havendo distribuição do P ao longo de toda esta camada. Sabe-se, entretanto, que a incorporação leva ao aumento do contato do nutriente com o solo ocasionando maiores perdas do elemento por adsorção específica (Nunes *et al.*, 2011).

Os Latossolos são caracterizados por um elevado grau de intemperismo e alto conteúdo de óxidos e hidróxidos de ferro e de alumínio presentes na fração argila. Esses minerais possuem alta afinidade pelo fósforo (P), favorecendo a formação de ligações fortes entre o nutriente e a fase sólida do solo, por meio de adsorção específica. Essa característica confere aos Latossolos um comportamento semelhante a um dreno de P, dificultando sua disponibilidade para as plantas, especialmente quando os teores são baixos. No entanto, quando o solo apresenta teores adequados de fósforo, o nutriente fica disponível e o solo então atua como fonte do nutriente (Rolim Neto et al., 2004).

Considerando o desafio de tornar o P disponível em solos com altos teores de argilas oxídicas, diversos estudos têm sido realizados para inferir a capacidade máxima de adsorção de P que os solos apresentam (CMAP), que variam de acordo com cada solo e a composição da

fase sólida. O método da energia de adsorção da isoterma de Langmuir é o de maior eficiência quando comparado com outras isotermas (Corrêa *et al.*, 2011). Em Latossolos argilosos do Cerrado brasileiro, quando avaliada sua CMAP o solo é capaz de adsorver mais de 2 mg cm^{-3} de fósforo, o que corresponde a 4.000 kg ha^{-1} de P, ou 9.200 kg ha^{-1} de P_2O_5 , isso quando o fertilizante é incorporado na camada de 0 a 20 cm de profundidade. Cerca de metade dessa quantidade pode ser imobilizada (P não-lábil) em até um mês de interação com o solo (Novais & Smyth, 1999). Em um Latossolo Vermelho Distrófico sob vegetação de cerrado em Rio Verde – GO, ao analisar a CMAP para as camadas de 0-20 e 20- 40 cm foram obtidos os valores de $3.610,11 \text{ } \mu\text{g g solo}^{-1}$ e $5.555,56 \text{ } \mu\text{g g solo}^{-1}$ respectivamente (Moura *et al.*, 2015). Considerando estes valores, são necessárias altas doses de fertilizantes fosfatados, visando suprir ambos - a demanda da planta e a fixação do nutriente que ocorrerá no solo.

Dessa forma, torna-se evidente que, em Latossolos do Cerrado, a elevada capacidade de adsorção de P impõe um desafio significativo à fertilização fosfatada. Para garantir a disponibilidade do nutriente às plantas, é necessário não apenas suprir suas exigências nutricionais, mas também considerar as perdas por fixação no solo, especialmente nas fases iniciais após a aplicação do fertilizante. Nesse contexto, o sistema de cultivo exerce papel determinante na dinâmica do nutriente, uma vez que práticas como o plantio direto, com acúmulo de matéria orgânica na superfície, podem bloquear parcialmente os sítios de adsorção específica nas argilas oxídicas, atenuando o efeito dreno do solo. Por outro lado, em sistemas convencionais, o revolvimento do solo pode expor novas superfícies reativas, intensificando a fixação do nutriente. Assim, o manejo eficiente do P requer não apenas a escolha de doses e fontes apropriadas, mas a adoção de sistemas de cultivo que favoreçam a manutenção da disponibilidade do nutriente ao longo do tempo.

2.3 Potássio (K)

Além do P, é de suma importância entender a relevância do potássio (K), que é o segundo nutriente requerido em maiores quantidades pelas culturas, igualando-se até mesmo às quantidades de nitrogênio (Brady, 1989; Raij, 2011). O K é essencial para o desenvolvimento de plantas, sua produtividade e maturação de grãos. Atua em processos, como a síntese de proteínas, carboidratos e ATP; regulação osmótica, abertura e fechamento de estômatos; aumentando resistência de plantas a pragas e doenças (Ernani; Almeida; Santos, 2007), bem como transporte de foto assimilados e água, envolvido no metabolismo do nitrogênio e

resistência a estresses hídricos (Krauss, 2005), além de ser ativador ou influenciador de sistemas enzimáticos na planta.

É evidente a grande importância do K, contudo, mesmo sendo o íon mais abundante nas células vegetais, ele não é constituinte de nenhuma estrutura ou molécula orgânica, pois, não é metabolizado na planta e forma ligações com moléculas orgânicas de fácil reversibilidade. Ele apresenta alta mobilidade, em qualquer concentração, seja na célula, tecido vegetal, e vasos condutores. Desse modo podendo ser facilmente remobilizado para as folhas mais jovens (xilema e floema) (Marschner, 1995; Taiz & Zeiger, 2004). A alta mobilidade intracelular é observada devido se tratar de um cátion livre ou adsorvido (Meurer, 2006).

A disponibilidade de K às plantas depende principalmente do processo de difusão no solo, pois é a sua principal forma de absorção pelas plantas (Malavolta, 1980), uma vez que a quantidade que chega até as raízes por fluxo de massa é muito menor do que a taxa de absorção (Rosolem *et al.*, 2003). Desse modo, a concentração desse íon na solução e a capacidade de adsorção de K são os principais atributos químicos que influenciam a sua taxa de difusão (Phillips & Burton, 2005), assim como, seu equilíbrio dinâmico com os cátions do complexo de troca (Bull, 1986; Alleoni *et al.*, 2009).

Quando avaliamos o teor total de potássio, levamos em conta todas as formas que o nutriente está presente no solo, dentre eles: i. *K estrutural*, que como o próprio nome diz é aquele no qual o nutriente faz parte da estrutura dos minerais, primários ou secundários. Nesse contexto, para que se torne disponível às plantas, depende do processo de intemperismo. É válido destacar que é a forma onde está a maior parte do nutriente no solo, contudo é a de menor disponibilidade; ii. *K trocável*, é aquele que está ligado às cargas negativas nas superfícies dos colóides (adsorção eletrostática), representando a reserva imediata para o K retirado da solução do solo disponível às plantas; iii. *K não-trocável*, é constituído pela parte estrutural que se dissolve mais facilmente em meio ácido, somando-se com o fixado nas entre-camadas dos argilominerais do tipo 2:1. Em solos com predomínio de minerais 1:1 essa forma de K se assemelha ao trocável, podendo ultrapassá-lo quando predomínio 2:1, evidenciando aporte valioso do elemento; iv. *K na solução* é a forma disponível para absorção imediata pelas plantas, porém que representa menos de 3% do total do elemento presente no solo (Ernani *et al.*, 2007).

Para que as plantas possam ter uma ótima condição de crescimento é necessária uma dose de potássio em torno de 20 – 50 g kg⁻¹ da massa das partes vegetativas secas, entretanto, quantidades superiores podem ser absorvidas de acordo com a necessidade, esse consumo além dos teores necessários é denominado consumo de luxo (Meurer, 2006). A correta adubação potássica é fundamental, isso porque doses insuficientes de adubo podem acarretar em

esgotamento das reservas do solo, ao mesmo tempo que aplicações excessivas podem intensificar as perdas, mesmo em solos com média e alta CTC (Ernani *et al.*, 2007). Aplicações de K no solo também conseguem causar desequilíbrio dos nutrientes, pois pode elevar a lixiviação de cálcio e magnésio das cargas das argilas devido ao aumento de sua atividade no meio (Ernani *et al.*, 2007). A aplicação de fertilizantes potássicos, especialmente o cloreto de potássio (KCl), pode aumentar a salinidade do solo devido ao seu elevado índice salino de 116,3%. Logo, problemas na germinação, emergência e redução na população de plantas ocorrem devido este aumento na concentração de sais solúveis na solução do solo (Malavolta & Usherwood, 1982; Rajj, 2011). Por isso, torna-se necessário realizar o estudo adequado das análises de solo, bem como a interpretação correta dos teores de K no solo (Quadro 2)

Quadro 2 - Classes de interpretação da disponibilidade para o potássio (Mehlich-1).

Características	Classificação				
	Muito baixo	Baixo	Médio	Bom	Muito bom
	----- (mg/dm ³) -----				
	Potássio disponível (K)				
	≤ 15	16 - 40	41 - 70	71 - 120	> 120

Fonte: (ALVAREZ V., V. H *et al.*, 1999).

Segundo Brady e Weil (2013), a saída do íon potássio do sistema ocorre principalmente por três mecanismos: pela erosão do solo, pela lixiviação para camadas mais profundas e pela remoção pela colheita. Processos que podem ser agravados pelo uso excessivo de fertilizantes potássicos e pela incidência de chuvas intensas. Solos bem drenados e de baixa capacidade de troca de cátions, como a maioria dos solos do cerrado brasileiro, apresentam maior lixiviação de potássio devido sua reduzida capacidade de reter de cátions, o que reduz a retenção também desse nutriente nas cargas dos minerais, facilitando sua perda camadas mais profundas (Raij, 1991); (Caixeta *et al.*, 2015). Segundo compreensão da série liotrópica o K⁺ apresenta menor energia de retenção que o Ca²⁺ e Mg²⁺, uma vez que possui menor valência associada a um maior raio iônico hidratado

A forma de manejar o solo e os tratos culturais são fatores cruciais para mitigar as perdas do nutriente e aumentar sua disponibilidade para as plantas. Em seu estudo Bertol *et al.* (2007), comparou as perdas de K por erosão entre dois sistemas de cultivo e inferiu maiores teores do nutriente na água e sedimentos de enxurradas em áreas de SPD, devido as aplicações superficiais da adubação, obtendo-se um elevado gradiente de concentração comparado entre a

superfície com camadas mais profundas. Já no sistema convencional este teor é homogêneo, logo, isso pode reduzir a perda de K por escoamento superficial. Apesar dessa vantagem aparente do sistema convencional na distribuição de K, ele apresentou desvantagens significativas, com perdas de água 2,3 vezes maiores e perdas de sedimentos 8,6 vezes superiores em comparação ao SPD.

Cassol et al. (2002) em seu trabalho, avaliaram as perdas de solo e água em diferentes sistemas de manejo em um Latossolo Vermelho, destacando a eficiência do plantio direto na redução dessas perdas. Segundo os autores a presença da palhada na superfície do solo resulta na proteção contra o impacto das gotas de chuva, e minimiza o arraste de partículas. Além disso, o sistema promove melhoria na estrutura do solo, aumento da infiltração de água e redução do escoamento superficial, o que contribui para um menor carreamento de nutrientes dissolvidos.

3 OBJETIVO

O objetivo com a realização deste trabalho foi avaliar as alterações nos teores e distribuição de fósforo (P) e potássio (K) em Latossolo na região do Triângulo Mineiro, MG, e assim, compreender as interações dos sistemas de cultivo na dinâmica desses nutrientes no solo.

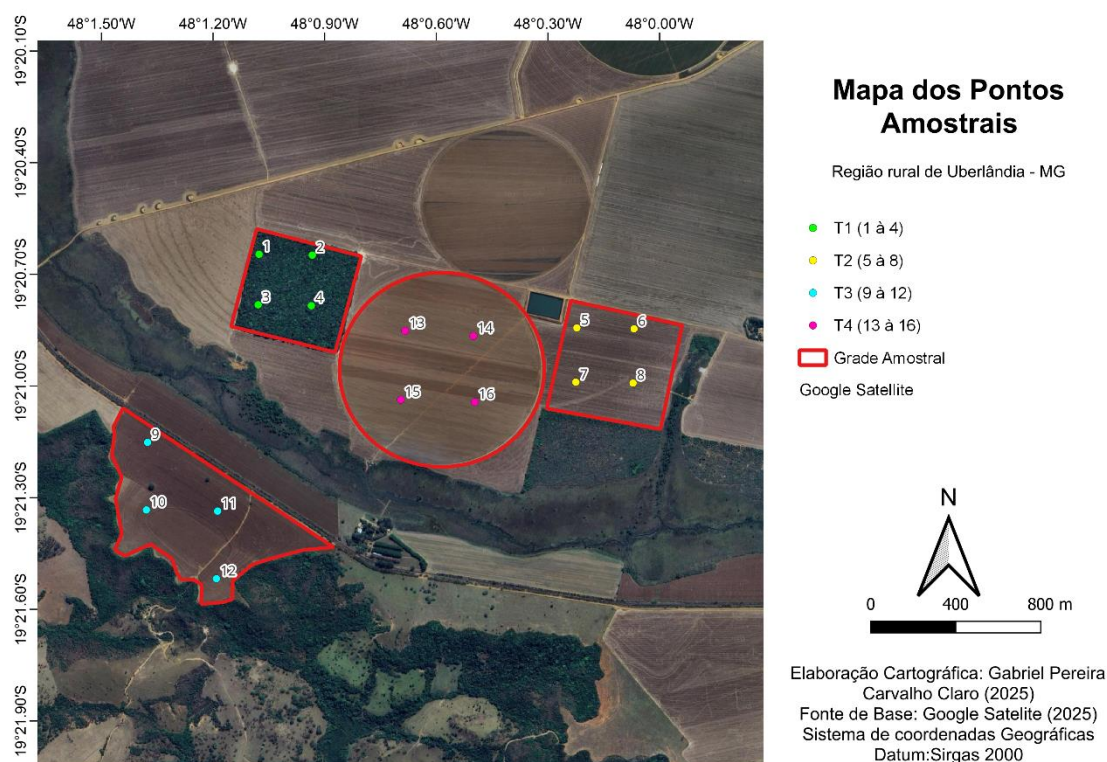
4 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em uma propriedade agrícola na região rural de Uberlândia - MG, em área de Latossolo com distintos usos. Conforme informações do Climate-Data.org (2025), utilizando a classificação climática de Köppen e Geiger o clima da região é classificado como Aw, apresentando temperatura média anual de 22,3 °C e nível de precipitação anual de 1342 mm.

Distintos usos do solo e sistemas de cultivo foram considerados como tratamentos, o que derivou em quatro tratamentos, sendo: T1. cerrado nativo (CN); T2. Cultivo de grãos em sistema plantio direto (SPD); T3. Cultivo grãos em sistema plantio convencional (SPC); T4. Cultivo de grãos em sistema irrigado (SI). É válido ressaltar que nesta propriedade, a área de vegetação nativa (T1) permanece preservada, conforme evolução do desmatamento observada pelo site Mapbiomas (2021) e em visita à área. Exeto pelo T1, em todos os tratamentos é realizada sucessão de cultivo de grãos - soja e milho.

Com a utilização do *Software* QGIS 3.28.10 as áreas foram demarcadas e quatro pontos de coleta foram definidos para realizar as repetições em cada sistema de cultivo, de modo a estabelecer a distribuição das parcelas experimentais no campo, cada uma delimitada em conformidade com a homogeneidade das características de solo e relevo (Figura 1). A coleta de solo foi realizada no mês de outubro de 2022. As amostras de solo foram retiradas nas profundidades de 0 – 10, 10 – 20, 20 – 30, 30 – 40, 40 – 50 e 50 – 60 cm, submetidas a secagem ao ar e peneiradas em malha de 2 mm, posteriormente determinou-se o teor de P e K disponíveis extraídos por solução ácida Mehlich-1.

Figura 1 – Localização da área do estudo no município de Uberlândia, com os pontos amostrais georreferenciados. Pontos 1, 2, 3 e 4 - Cerrado Nativo (T1); Pontos 5, 6, 7 e 8 – Sistema plantio direto (T2); Pontos 9, 10, 11 e 12 Sistema plantio Convencional (T3); Pontos 13, 14, 15 e 16 - Pivô de Irrigação (T4). Mapa produzido com Google Earth e Qgis.



Fonte: Autor, 2025.

4.1 Determinação do teor de fósforo e potássio por Mehlich-1

As determinações dos teores disponíveis de P e K foram realizadas no laboratório de análises de solo (LABAS) da Universidade Federal de Uberlândia, respeitando as normas descritas no manual de métodos de análise de solo descrito por Teixeira et al. (2017), porém, com adaptações seguindo mesmas proporções entre amostra de solos e reagentes.

A) Extração e P e K

Com o uso de cachimbo o volume $5,0 \text{ cm}^3$ de terra fina seca ao ar (TFSA) foram colocados em frasco de polietileno de 100 ml e adicionados 50 ml de extrator Mehlich-1. As amostras foram então agitadas por 15 min em agitador circular horizontal a 200 rpm e deixadas em repouso por aproximadamente 16 h.

B) Determinação de P

Com o auxílio de pipeta foram tomados 5,0 ml do sobrenadante e adicionados 5,0 ml de reagente de trabalho (RT). Após 30 min, foi realizada a leitura no espectrofotômetro de absorção molecular, utilizando o comprimento de onda de 725 nm.

C) Soluções

- Mehlich-1 (0,05 mol/L de HCl^+ 0,0125 mol/L de H_2SO_4)

Foi adicionado 43 ml de HCl P.A., $d = 1,19$, mais 6,9 ml de H_2SO_4 , P.A., $d = 1,84$, em um recipiente de 10 L, onde foi completado o volume com água destilada e por fim homogeneizado a solução.

- Reagente de trabalho (RT), para 10 ml de solução de leitura

Em um balão volumétrico de 1000 ml, foi adicionado 200 ml de solução 725 mais 1,6 g de ácido ascórbico (vitamina C). O volume do balão foi completado com água destilada e homogeneizado a solução.

- Solução 725

Em balão volumétrico de 1000 ml, foi adicionado 1 g de subcarbonato de bismuto, e em seguida, 138 ml de H_2SO_4 , concentrado. Em copo separado, foi dissolvido em água 20 g de molibdato de amônio P.A. depois sendo adicionado ao balão contendo subcarbonato de bismuto e H_2SO_4 , posteriormente foi completado o volume do balão com água destilada, por fim foi homogeneizado a solução (Braga e Defelipo, 1974). Esta solução foi guardada em frasco escuro bem vedado.

- Solução-padrão de 1.000 mg/L de P:

Com o apoio de balança de precisão foi pesado 4,3903 g de KH_2PO_4 , posteriormente dissolvidos em água destilada e completados para 1.000 ml, em balão volumétrico.

- Solução-padrão de 8,0 mg/L de P:

Foi retirada uma alíquota de 4,0 ml da solução-padrão de 1.000 mg/L, em balão volumétrico de 500 ml, foi completado com água destilada

D) Curva de calibração do espectrofotômetro de absorção molecular para leitura de P em extratos de Mehlich-1 na relação solo: extrator 1:10

Tabela 1 - Curva de calibração do espectrofotômetro de absorção molecular para leitura de P em extratos de Mehlich-1 na relação solo: extrator 1:10 (Tabela 1).

P ⁽¹⁾	SP ⁽²⁾	H ₂ O	M-1 (2X) ⁽³⁾	RT ⁽⁴⁾	Vfinal (ml)
mg/L			ml		
0	0	2,5	2,5	5,0	10,0
0,4	0,5	2,0	2,5	5,0	10,0
0,8	1,0	1,5	2,5	5,0	10,0
1,2	1,5	1,0	2,5	5,0	10,0
1,6	2,0	0,5	2,5	5,0	10,0
2,0	2,5	0,0	2,5	5,0	10,0

⁽¹⁾ Concentração da solução de leitura; ⁽²⁾ Solução padrão contendo 8,0 mg/L de P; ⁽³⁾ Extrator Mehlich-1 com o dobro da concentração; ⁽⁴⁾ Reagente de trabalho para 10 mL de solução de leitura: 1,6 g de Vitamina Ce 200 ml de solução 725 para 1 L (Braga & Defelipo, 1974)

E) Cálculo

$$P = [(L - b) / a] \cdot d \cdot 10$$

Em que:

P – Concentração de fósforo disponível no solo, em mg kg⁻¹.

L – Leitura da amostra, em absorbância.

a – coeficiente angular da reta dos padrões (intercepto).

b – coeficiente linear da reta dos padrões.

d – fator de diluição do extrato de Mehlich (se não for necessária a diluição, considerar d = 1).

Valor 10 – fator que leva em consideração a diluição solo: extrator.

F) Determinação de K

Com o auxílio de pipeta foi coletado 10 ml do sobrenadante, e colocado em um becker e realizado a leitura diretamente no extrato, avaliado utilizado um espectrofotômetro de emissão em chama. Posteriormente feita a passagem de solução contendo detergente diluído e água destilada antes e após a leitura das amostras para limpar o equipamento.

G) Soluções

- Mehlich-1 (descrito anteriormente para fósforo)
- Solução-padrão de 1.000 mg/L de K:

Por meio de balança analítica foi pesado 1,9066 g de KCl, posteriormente dissolvido em água destilada e completado para 1.000 ml em balão volumétrico.

- Solução-padrão de 40,0 mg/L de K:

Foi retirada uma alíquota de 20,0 ml da solução-padrão de 1.000 mg/L de K e completada, em balão volumétrico de 500 ml, com água destilada.

H) Curva de calibração do fotômetro de chama para leitura de K em extratos de Mehlich-1 na relação solo: extrator 1:10 (Tabela 2).

Tabela 2 - Curva de calibração do fotômetro de chama para leitura de K em extratos de Mehlich-1 na relação solo: extrator 1:10

K ⁽¹⁾	SP ⁽²⁾	H ₂ O	M-1 (2X) ⁽³⁾	V _{final} (ml)
mg/L		-----ml-----		
0	0	5,0	5,0	10,0
4,0	1,0	4,0	5,0	10,0
8,0	2,0	3,0	5,0	10,0
12	3,0	2,0	5,0	10,0
16	4,0	1,0	5,0	10,0
20	5,0	0,0	5,0	10,0

⁽¹⁾Concentração de K na solução de leitura; ⁽²⁾Solução padrão contendo 40,0 mg/L de K; ⁽³⁾Extrator Mehlich-1 com o dobro da concentração.

E) Cálculo

$$K = [(L - b) / a] . d . 390$$

Em que:

L – Leitura da amostra (para sódio ou potássio).

a – coeficiente angular da reta de padrões (intercepto).

b – coeficiente linear da reta de padrões.

d – fator de correção que considera a diluição do extrato de leitura.

4.2 Análise estatística

Para avaliar os resultados foi adotado o delineamento inteiramente casualizado (DIC) em esquema fatorial considerando quatro tratamentos (uso do solo), seis profundidades com quatro repetições. Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Para análise de dados foi utilizado o programa SISVAR.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os teores médios de fósforo trocável nos diferentes sistemas de cultivo e profundidades estão apresentados na Tabela 3. A análise da disponibilidade de fósforo revelou variações significativas apenas na camada de 0–10 cm de profundidade. Nessa camada superficial, o sistema plantio direto (SPD) apresentou os maiores teores médios, seguido pelo sistema irrigado, enquanto o sistema de preparo convencional (SPC) e o Cerrado nativo exibiram os menores valores. Esses resultados indicam que o manejo do solo exerce influência predominante sobre a disponibilidade de fósforo nas camadas superficiais, refletindo a interação entre práticas agrícolas e dinâmica do nutriente no solo.

Tabela 3 - Média de P_2O_5 (mg/dm^3) disponível no solo provenientes de quatro tratamentos em seis profundidades.

Tratamento	Profundidade (cm)						TOTAL
	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	
SPD	23,53 Aa	2,74 Ab	0,84 Ab	0,44 Ab	0,19 Ab	0,13 Ab	4,64
Cerrado Nativo	1,06 Ca	0,57Aa	0,27 Aa	0,14 Aa	0,46 Aa	0,19 Aa	0,44
Irrigado	16,19 ABa	2,63 Ab	1,28 Ab	0,54 Ab	0,44 Ab	0,41 Ab	3,58
SPC	14,98 Ba	3,15 Ab	2,49 Ab	0,40 Ab	0,46 Ab	0,22 Ab	3,61
TOTAL	13,94	2,27	1,22	0,38	0,38	0,23	
CV	140,46%						

Letras distintas maiúsculas na coluna e minúscula nas linhas, diferem pelo teste de Tukey a 5% de significância.

O sistema plantio direto resulta em um menor revolvimento, levando ao acúmulo de nutrientes disponíveis às culturas nas camadas mais superficiais, especialmente de elementos com movimentação reduzida no perfil como o P (Sá, 1993; Tokura *et al.*, 2002). Em seu estudo Guareschi *et al.*, (2012) observaram que uma área de SPD com mais de 20 anos de implantação apresentou maiores teores de Prem em comparação com outra de cerrado nativo. Concluindo que o aumento no teor de Prem no SPD ocorre em função ao seu tempo de implantação e, incremento de carbono e matéria orgânica no mesmo. Esse maior aporte de carbono é resultado da ciclagem de resíduos vegetais que a tempos ocorre no mesmo, o que contribuiu com a redução da adsorção de P pela interação dos sítios de ligação com substâncias húmicas da matéria orgânica.

Por outro lado, sistemas de cultivo como SPC e áreas de cultivo irrigado apresentam solos com preparo mais intensivo do solo, o que tende a resultar em maiores revolvimentos.

Esse revolvimento constante aumenta a superfície de contato das formas solúveis de P com horizontes subsuperficiais, assim, favorecendo a transformação de formas lábeis para formas não lábeis, resultando em maior adsorção (Novais *et al.*, 1985; Fink, 2015).

Em um estudo avaliando a distribuição de fósforo no solo comparando um SPD de 14 anos e um SPC e seus manejos das adubações, Nunes *et al.*, (2011), avaliaram que os teores nas camadas até 10 cm no SPD apresentam-se muito superiores aos encontrados no SPC. Além disso, ao avaliar a distribuição de fósforo até 50 cm de profundidade, o estudo concluiu que os teores de P nas camadas abaixo de 20 cm no SPC e abaixo de 10 cm no SPD foram semelhantes, tanto entre os diferentes tratamentos quanto ao longo da profundidade. Aferindo que os teores de P também se assemelharam aos encontrados em uma área de cerrado nativo. Esses resultados estão em concordância com as observações do presente estudo, que também evidenciam uma redução nos teores de fósforo à medida que a profundidade aumenta, independentemente do sistema de cultivo utilizado.

Observa-se maior acúmulo de fósforo nas camadas superficiais do solo sob sistema SPD em comparação ao SPC. Esse comportamento está associado, em grande parte, à manutenção da cobertura vegetal e à ausência de revolvimento do solo no SPD, que favorecem a deposição e a ciclagem de resíduos orgânicos na superfície. É importante destacar que a matéria orgânica exerce papel fundamental na dinâmica do fósforo, contribuindo para sua retenção e disponibilização nas camadas superficiais, além de atuar no bloqueio de sítios de adsorção específicos. Assim, o maior aporte de matéria orgânica no SPD tende a promover o aumento do teor de fósforo disponível na superfície, em contraste com o SPC, onde o revolvimento intensifica a exposição de novas superfícies reativas e favorece a imobilização do nutriente em profundidade.

Os teores médios de K trocável nos distintos sistemas de cultivo e profundidades estão na Tabela 4. Ao ser considerada a disponibilidade de K nos diferentes sistemas de manejo observam-se variações significativas entre as profundidades avaliadas. Os teores de K foram determinados entre as camadas de 0-10 cm à 50-60 cm, desse modo permitindo avaliar a mobilidade do nutriente em função do sistema de manejo vigente.

Tabela 4 - Média de K₂O (mg/dm³) disponível no solo provenientes de quatro tratamentos em seis profundidades

Tratamentos	Profundidade (cm)						TOTAL
	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	
SPD	98,34	46,98	33,02	27,54	26,04	29,53	43.57B
Cerrado Nativo	41	33,02	19,56	13,58	14,24	10,09	20.97C
Irrigado	117,78	95,34	86,87	70,91	69,92	67,42	84.71A
SPC	64,93	41	32,02	17,57	8,59	11,58	30.22C
TOTAL	80.51a	54.08b	42.87bc	32.40c	29.70c	29.65c	
CV	33,41%						

Letras distintas maiúsculas na coluna e minúscula nas linhas, diferem pelo teste de Tucky a 5% de significância.

Nas camadas de 0–10 e 10–20 cm, observaram-se diferenças estatisticamente significativas nos teores de K entre os sistemas de manejo avaliados (Tabela 4). Os maiores valores médios foram registrados no sistema irrigado (84,71 mg dm⁻³), seguido pelo sistema de plantio direto (SPD), com 43,57 mg dm⁻³. O maior acúmulo do nutriente no SPD, em comparação ao SPC, pode ser atribuído ao aporte contínuo de resíduos vegetais sobre o solo e à ausência de revolvimento, o que reduz as perdas por lixiviação e erosão (Cassol et al., 2002). De forma semelhante, Artuso et al. (2021), ao avaliar o perfil de solo em área sob SPD, observou elevada heterogeneidade entre as camadas, com teores superficiais de K acima dos níveis recomendados e deficiência nas profundidades superiores a 12 cm, indicando acentuada estratificação do nutriente.

Para o K, mesmo em áreas de Cerrado nativo, era esperado o acúmulo nas camadas superficiais do solo. Isso se deve à alta mobilidade do nutriente nas plantas e à sua predominância na forma iônica no interior dos tecidos vegetais, especialmente nos vacúolos e nas células da epiderme. O K participa ativamente da regulação osmótica e está associado ao funcionamento dos estômatos, sendo facilmente translocado e redistribuído. Durante o processo de senescência e queda de folhas, uma parte significativa do potássio é lixiviada da superfície foliar por meio da lavagem pela chuva e depositada diretamente sobre o solo. Dessa forma, mesmo sem aporte antrópico de fertilizantes, ocorre o retorno cíclico do nutriente à superfície do solo, contribuindo para os maiores teores de K nas camadas superficiais.

Sistema irrigado, por sua vez, demonstrou elevada disponibilidade de K nessa camada, possivelmente devido à aplicação contínua de fertilizantes em resposta ao maior número de operações ao longo do ano (três safras) e à presença de umidade constante, que favorece a percolação ascendente do nutriente e sua maior concentração nas camadas mais superficiais.

Em seu estudo Coelho et al. (2002), verificou que a fertirrigação contribui no aumento da disponibilidade de K no perfil do solo. Enquanto Zanini (1991) concluiu que a distribuição de potássio no solo está ligada à distribuição de água no mesmo.

Já os sistemas de preparo convencional (SPC) e o Cerrado nativo apresentaram teores estatisticamente semelhantes e inferiores aos demais, evidenciando que o manejo do solo exerce papel determinante na disponibilidade de K, destacando que o manejo mais conservacionista tende a aumentar sua disponibilidade. Estes resultados podem estar relacionados à maior mobilização do solo e às possíveis perdas do nutriente por erosão. Em estudo Bertol *et al.* (2007), avaliaram maior homogeneidade de K no perfil de um SPC comparado com um SPD, todavia ele apresentou desvantagens significativas, com perdas de água 2,3 vezes maiores e perdas de sedimentos 8,6 vezes superiores em comparação ao SPD.

Nas camadas mais profundas do solo, o sistema irrigado manteve os maiores teores médios de potássio (K) em comparação aos demais tratamentos. Esse resultado evidencia o papel da irrigação na mobilidade do nutriente no perfil do solo, favorecendo sua redistribuição para camadas inferiores. Nesse sistema, a água atua como vetor no transporte de íons, facilitando a lixiviação do potássio da superfície para maiores profundidades, o que contribui para sua disponibilidade ao longo do perfil (Lehmann & Schroth, 2003). Em seu trabalho Mendes et al. (2016), verificaram que a lixiviação do K no solo é influenciada pela lâmina de irrigação, sendo que, quanto maior a lâmina de água aplicada, maior a percolação do íon. No estudo, quando a lâmina foi de 150% da capacidade de campo, atingiu perdas de 3,26% e 43,91% da adubação total para os solos argiloso e arenoso, respectivamente. Souza et al. (1984) ao avaliar um Latossolo Distrófico sob vegetação de cerrado, verificaram que a aplicação de doses crescentes de K_2O resulta em um aumento dos teores de potássio disponível. No entanto, doses elevadas de K_2O (240 e 480 kg/ha) aumentaram a lixiviação do íon, levando à conclusão de que doses equilibradas são necessárias para maior eficiência na adubação. Complementarmente Rosolem *et al.* (2012) demonstraram que, teores iniciais elevados de potássio trocável, oriundos do efeito residual de adubações anteriores, aumentam a disponibilidade do nutriente para as plantas de *Urochloa ruziziensis* e favorecem a produção de matéria seca. Entretanto, a absorção de K pelas plantas mostrou-se mais fortemente associada ao potássio recentemente disponibilizado do que ao estoque residual no solo, destacando a importância da aplicação de doses complementares para sustentar a produtividade.

Diferentemente do sistema irrigado, o SPD e o SPC apresentaram redução gradual do K em profundidade. No SPD, a deposição de material vegetal na superfície e a baixa mobilização do solo contribuem para a retenção do potássio nas camadas mais rasas. Santos *et al.* (2008)

também verificaram maiores teores de K em superfície, concluindo que esse fato está ligado aos restos culturais proveniente da produção de grãos da soja e do milho, e pelos resíduos vegetais plantas de coberturas. Isto garante que ocorra maior ciclagem desse nutriente e liberação em superfície bem como, o maior conteúdo de matéria orgânica e maior capacidade de troca de cátions, que aumentou reterá retenção do nutriente na camada de 0 à 10 cm. Já no SPC, a maior mobilização mecânica do solo pode ter levado à redistribuição do nutriente em menor intensidade quando comparado à irrigação, mas sem promover sua lixiviação para camadas mais profundas. Costa *et al.* (2009), também observou os efeitos do preparo de solo e a da aplicação de adubo a longo prazo, concluindo que independente do manejo, o K tende a se distribuir similarmente com o passar do tempo, formando gradiente a partir da superfície, entretanto devido ao preparo consecutivo do solo no SPC verificasse incorporação do adubo na faixa de revolvimento.

6 CONCLUSÕES

Conclui-se que a profundidade do solo não apresentou relação significativa com o sistema de cultivo na dinâmica do fósforo, evidenciando o caráter pouco móvel desse nutriente e seus baixos teores nas camadas mais profundas.

A irrigação exerceu influência significativa sobre a mobilidade do potássio, promovendo sua redistribuição ao longo do perfil do solo e diferenciando-se dos sistemas de plantio direto e convencional, nos quais o potássio permanece concentrado nas camadas superficiais. Os elevados valores de K nos solos em sistema irrigado demonstram que o uso mais intensivo do solo leva ao aumento na disponibilidade deste nutriente.

Os sistemas de manejo impactam diretamente a dinâmica do potássio no solo, sendo fundamental considerar essas interações para otimizar as estratégias de fertilização e promover o uso mais eficiente deste nutriente no ambiente agrícola.

REFERÊNCIAS

- ALLEONI, L. R. F.; MELO, J. W. V.; ROCHA, W. S. D. Eletroquímica, adsorção e troca iônica no solo. In: MELO, V.F. e ALLEONI, L.R.F. **Química e mineralogia do solo: conceitos básicos e aplicações**. Viçosa, SBCS, 2009. p. 70-122
- ARTUSO, D. R. **Estratificação dos teores de potássio no solo de lavouras sob sistema plantio direto**. 2021. 82 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/24220>. Acesso em: 17 mar. 2025.
- ALVAREZ V., V. H.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; CANTARUTTI, R. B.; LOPES, A. S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (ed.). **RECOMENDAÇÕES PARA O USO DE CORRETIVOS E FERTILIZANTES EM MINAS GERAIS: 5ª APROXIMAÇÃO**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 25–32.
- BERTOL, I.; COGO, N. P.; SCHICK, J.; GUDAGNIN, J. C.; AMARAL, A. J. Aspectos financeiros relacionados às perdas de nutrientes por erosão hídrica em diferentes sistemas de manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 31, n. 1, p. 133-142, fev. 2007. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832007000100014>.
- BRADY, N. C.; WEIL, R. R. Ciclagem de nutrientes e Fertilidade do solo In. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 3rd ed. Porto Alegre-RS: BOOKMAN, 2013. p.437-499.
- BRADY, N. C. Suprimento e assimilabilidade de fósforo e potássio. In: BRADY, N.C. **Natureza e propriedade dos solos**. 7.ed. Rio de Janeiro, Freitas Bastos, 1989. p.373 - 413.
- BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Biodiversidade do Cerrado e Pantanal: áreas e ações prioritárias para a conservação**. Brasília: MMA, 2007.
- BULL, L.T. **Influência da relação K/(Ca + Mg) do solo na produção de matéria seca e na absorção de potássio por gramínea e leguminosa forrageiras**. 1986. 107 p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo Piracicaba, 1986.
- CAIXETA, K. F.; FELIX, A. C. A.; SILVA, F. A. C.; BRAGA, M. B.; SILVA, J.; GUEDES, I. M. R. Perda de nutrientes por lixiviação em Latossolo cultivado com diferentes híbridos de meloeiro sob ambiente protegido. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO**, 35., 2015, Natal. *O solo e suas múltiplas funções: anais*. Natal: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2015. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1031276>. Acesso em: 22 abr. 2025.
- CASSOL, E. A.; LEVIEN, R.; ANGHINONI, I.; BADELUCCI, M. P. **Perdas de nutrientes por erosão em diferentes métodos de melhoramento de pastagem nativa no rio grande do sul**. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.26, p.705-712, 2002.
- CLIMATE-DATA.ORG. Clima Uberlândia: Temperatura, Tempo e Dados climatológicos Uberlândia. Disponível em: <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/minas-gerais/uberlandia-2896/>. Acesso em: 21 fev. 2025.

COELHO, E. F.; SILVA, T. S. M.; LIMA, D. M.; SOUSA, V. F. Distribuição de potássio e da condutividade elétrica no solo pela aplicação de diferentes doses de potássio e nitrogênio por fertirrigação em mamoeiro. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**, 31., 2002, Salvador. Anais... Salvador: Unesp, 2002. 1 CD ROM.

CORRÊA, R. M.; NASCIMENTO, C. W. A.; ROCHA, A. T. Adsorção de fósforo em dez solos do Estado de Pernambuco e suas relações com parâmetros físicos e químicos. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 33, n. 1, p. 153-159, 2011.

CORREIA, João Roberto; REATTO, Adriana; SPERA, Silvio Tulio. Solos e suas relações com o uso e o manejo. In: SOUSA, Djalma Martinhão Gomes de; LOBATO, Edson. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília, Df: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. Cap. 1. p. 29-61.

COSTA, S. E. V. G. A.; SOUZA, E. D.; ANGHINONI, I.; FLORES, J. P. C.; ANDRIGUETTI, M. H. Distribuição de potássio e de raízes no solo e crescimento de milho em sistemas de manejo do solo e da adubação em longo prazo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 33, n. 5, p. 1291-1301, out. 2009. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832009000500022>.

ERNANI, P. R.; ALMEIDA, J. A.; SANTOS, F. C. Potássio. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. 1ª ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de ciências do solo, 2007. p.551-594.

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

FINK, J. R. **Sorption and diffusion of phosphorus in soils with different mineralogies under conventional tillage or no-tillage in southern Brazil**. 2015. 126 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/117616>. Acesso em: 22 abr. 2025.

FOLONI, J. S. S.; CALONEGO, J. C.; LIMA, S. L. **Efeito da compactação do solo no desenvolvimento aéreo e radicular de cultivares de milho**. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 38, p. 947-955, 2003.

GUARESCHI, R. F; PEREIRA, M. G; PERIN, A. **Deposição de resíduos vegetais, matéria orgânica leve, estoques de Carbono e Nitrogênio e Fósforo remanescente sob diferentes sistemas de manejo no cerrado Goiano**. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, [S.L.], v. 36, n. 3, p. 909-920, jun. 2012. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832012000300021>.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2019. **Biomass e sistema costeiro-marinho do Brasil: compatível com a escala 1:250.000**. Rio de Janeiro, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. 168 p. (Relatórios metodológicos, v. 45).

KRAUSS, A. Potassium effects on yield quality. In: Y AMADA, T.; ROBERTS, T.L. (Eds.) **Potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, cap. 11. p. 281-299. 2005.

LEHMANN, J.; SCHROTH, G. Nutrient leaching. In: SCHROTH, G.; SINCLAIR, F. L. (ed.). **Trees, crops, and soil fertility: concepts and research methods**. Wallingford, UK: CABI Publishing, 2003. Cap. 7, p. 151-166.

LOBATO, B; CALDAS, J. **Pesquisadores mostram inovações, desafios e oportunidades para a agricultura do Cerrado na Expoabra 2023**. Embrapa, 14 set. 2023. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/83427420/pesquisadores-mostram-inovacoes-desafios-e-oportunidades-para-a-agricultura-do-cerrado-na-expoabra-2023>. Acesso em: 08 out. 2024.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômicas Ceres, 2006. 631 p.

MALAVOLTA, E. **Potássio, magnésio e enxofre nos solos e culturas brasileiras**. 2.ed Piracicaba: Instituto Internacional de Pesquisa da Potassa, 91 p. (Boletim Técnico, 4), 1980.

MALAVOLTA, E.; USHERWOOD, N. R. **Adubos e adubação potássica**. Piracicaba: POTAFOS, 1982. 56 p. (POTAFOS. Boletim Técnico, 3).

MAPBIOMINASBRASIL. MapBiomas Brasil. Disponível em: <https://mapbiomas.org/>. Acesso em: 24 maio 2022.

MARSCHNER, H. Functions of mineral nutrients: macronutrients. In: MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2nd ed. London: Academic Press, 1995. p.231-255.

MENDES, W. C.; ALVES JÚNIOR, J.; CUNHA, P. C. R. da; SILVA, A. R. da; EVANGELISTA, A. W. P.; CASAROLI, D. Potassium leaching in different soils as a function of irrigation depths. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [S.L.], v. 20, n. 11, p. 972-977, nov. 2016. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n11p972-977>.

MEURER, E. J. Potássio. In: FERNANDES, M.S. **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2006. p.281-298.

MOTTA, P. E. F.; CURTI, N.; SIQUEIRA, J. O.; VAN RAIJ, B.; FURTINI NETO, A. E.; LIMA, J. M.. Adsorção e formas de fósforo em latossolos: influência da mineralogia e histórico de uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 26, n. 2, p. 349-359, jun. 2002. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832002000200008>.

MOURA, J. B.; VENTURA, M. V. A.; CABRAL, J. S. R.; AZEVEDO, W. R. Adsorção de Fósforo em Latossolo Vermelho Distrófico sob Vegetação de Cerrado em Rio Verde-Go. **Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science**, [S.L.], v. 4, n. 3, p. 199, 20 dez. 2015. Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science. <http://dx.doi.org/10.21664/2238-8869.2015v4i3.p199-208>.

NOVAIS, R. F. de; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399 p.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J.; NUNES, F. N.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (ed.). **FÓSFORO**. I

n: NOVAIS, R. F.; V, V. H. A.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do Solo**. Viçosa - Mg: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. Cap. 8. p. 471-550.

NUNES, Rafael de Souza; SOUSA, Djalma Martinhão Gomes de; GOEDERT, Wenceslau J.; VIVALDI, Lúcio José. Distribuição de fósforo no solo em razão do sistema de cultivo e manejo da adubação fosfatada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 35, n. 3, p. 877-888, jun. 2011. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832011000300022>.

NÚÑEZ, Jose Ezequiel Villareal; AMARAL SOBRINHO, Nelson Moura Brasil do; MAZUR, Nelson. Conseqüências de diferentes sistemas de preparo do solo sobre distribuição química e perdas de fósforo de um Argissolo. **Bragantia**, [S.L.], v. 62, n. 1, p. 101-109, 2003. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0006-87052003000100013>.

PEREIRA, Marcos Gervasio; LOSS, Arcângelo; BEUTLER, Sidinei Júlio; TORRES, José Luis Rodrigues. Carbono, matéria orgânica leve e fósforo remanescente em diferentes sistemas de manejo do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [S.L.], v. 45, n. 5, p. 508-514, maio 2010. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2010000500010>.

PHILLIPS, I.; BURTON, E. **Nutrient leaching in undisturbed cores of an acidic sandy podosol following simultaneous potassium chloride and di-ammonium phosphate application**. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, v. 73, p. 1385–1314, 2005.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba, Ceres, 1991. 343 p.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e dos nutrientes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2011. 420 p.

ROLIM NETO, F. C.; SCHAEFER, C. E. G. R.; COSTA, L. M.; CORRÊA, M. M.; FERNANDES FILHO, E. I.; IBRAIMO, M. M. Adsorção de fósforo, superfície específica e atributos mineralógicos em solos desenvolvidos de rochas vulcânicas do Alto Paranaíba (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 28, n. 6, p. 953-964, dez. 2004. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832004000600003>.

ROSOLEM, C. A.; MATEUS, G. P.; GODOY, L. J. G.; FELTRAN, J.C. & BRANCALIÃO, S.R. **Morfologia radicular e suprimento de potássio às raízes de milho de acordo com a disponibilidade de água e potássio**. R. Bras. Ci. Solo, 27:875-884, 2003.

ROSOLEM, C. A.; VICENTINI, J. P. T. M. M.; STEINER, Fábio. Suprimento de potássio em função da adubação potássica residual em um Latossolo Vermelho do Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 36, n. 5, p. 1507-1515, nov. 2012. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832012000500015>.

SÁ, J.C.M. **Manejo da fertilidade do solo no plantio direto**. In: FUNDAÇÃO ABC, Castro-Paraná, 1993. 96p.

SANTOS, D. B. M.; SOUSA, D. M. G.; GOEDERT, W. J. **Balanço do potássio em solo do Cerrado no sistema plantio direto**. In: SIMPÓSIO NACIONAL CERRADO, 9.; SIMPÓSIO INTERNACIONAL SAVANAS TROPICAIS, 2., 2008, Brasília, DF. **Anais...** Planaltina, DF:

Embrapa Cerrados, 2008. 1 CD-ROM. Disponível em: <https://www.bdpa.cnptia.embrapa.br>. Acesso em: 18 mar. 2025.

SANTOS, G. A.; DIAS JUNIOR, M. S.; GUIMARÃES, P. T. G.; FURTINI NETO, A. E. Diferentes graus de compactação e fornecimento de fósforo influenciando no crescimento de plantas de milho (*Zea mays* L.) cultivadas em solos distintos. **Ciência e Agrotecnologia**, [S.L.], v. 29, n. 4, p. 740-752, ago. 2005. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-70542005000400005>.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. (ed.). Correção da acidez do solo. In: SOUSA, Djalma, M. G.; LOBATO, E. (ed.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília, Df: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. Cap. 3. p. 81-96.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (ed.). **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 3. ed. Brasília, Df: Embrapa, 2017. 577 p.

TOKURA, A. M.; FURTINI NETO, A. E.; CURI, N.; FAQUIN, V.; KURIHARA, C. H.; ALOVISI, A. A. Formas de fósforo em solo sob plantio direto em razão da profundidade e tempo de cultivo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [S.L.], v. 37, n. 10, p. 1467-1476, out. 2002. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2002001000015>.

ZANINI, J.R. **Distribuição de água e do íon K^+ no solo, aplicados por fertirrigação em gotejamento. II - Teores de K^+ no bulbo molhado**. *ITEM - Irrigação e Tecnologia Moderna*, Brasília, v.46, n.1, p.24-38, 1991.

ZUCARELI, C.; RAMOS JUNIOR, E. U.; BARREIRO, A. P.; NAKAGAWA, J.; CAVARIANI, C. Adubação fosfatada, componentes de produção, produtividade e qualidade fisiológica em sementes de feijão. **Revista Brasileira de Sementes**, [S.L.], v. 28, n. 1, p. 9-15, abr. 2006. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0101-31222006000100002>.