

**CENTRO DE PAULA SOUZA
ETEC PROF. CARMELINO CORRÊA JÚNIOR
ENSINO MÉDIO COM HABILITAÇÃO
PROFISSIONAL
EM TÉCNICO EM QUÍMICA**

Anna Lívia Fernandes Campos
Beatriz da Cunha Marques
Mayara Pessoa Resende
Esthefany Fernanda Assumpcao Rosa

**CLORETO DE POTÁSSIO NA
ADUBAÇÃO DO CAFÉ**

**FRANCA
2025**

Anna Livia Fernandes Campos
Beatriz da Cunha Marques
Mayara Pessoa Resende
Esthefany Fernanda Assumpcao Rosa

CLORETO DE POTÁSSIO NA
ADUBAÇÃO DO CAFÉ

Trabalho de Conclusão de curso, apresentando ao Curso Técnico em Química Integrado ao Ensino Médio da Etec Prof. Carmelino Corrêa Júnior, orientado, Pelo Prof. Joana Darc Felix De Sousa como requisito parcial para obtenção do título de Técnico em Química.

FRANCA
2025

Anna Livia Fernandes Campos
Beatriz da Cunha Marques
Mayara Pessoa Resende
Esthefany Fernanda Assumpcao Rosa

CLORETO DE POTÁSSIO NA
ADUBAÇÃO DO CAFÉ

Orientador (a): _____

Nome: Prof. JOANA DARC FELIX DE SOUSA

Instituição: ETEC Prof. Carmelino Corrêa Júnior

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	05
2 METODOLOGIA.....	09
2.1 MATERIAIS E METODOS.....	18
2.2 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	21
4 CONCLUSAO.....	25
5 REFERENCIAL TEORICO.....	27

Franca, 11/11/2025

RESUMO

CAMPOS, Anna Lívia Fernandes; **RESENDE**, Mayara Pessoa; **MARQUES**, Beatriz da Cunha; **ROSA**, Esthefany Fernanda Assumpcao. **Adubação do café.** Trabalho de Conclusão de Curso Apresentado para Obtenção do Título de Técnico em Química Integrado ao Ensino Médio. ETEC Prof. Carmelino Corrêa Júnior, Franca/SP, 2025.

O potássio é um nutriente essencial no desenvolvimento fisiológico e bioquímico das plantas, desempenhando papel fundamental na regulação do potencial osmótico celular e na ativação de aproximadamente 60 enzimas envolvidas nos processos metabólicos e catabólicos. No cafeeiro conilon (*Coffea canephora*), a exigência por esse elemento aumenta progressivamente com o envelhecimento da planta, atingindo seu pico durante a fase de frutificação. Diante disso, este estudo teve como objetivo avaliar a produtividade do cafeeiro conilon em função da aplicação de diferentes doses e fontes de fertilizantes potássicos, convencionais (Cloreto de Potássio – KCl) e revestidos por polímeros (Kincoat-K), analisando também o comportamento do potássio no solo quanto à lixiviação. O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental do Incaper, em Sooretama – ES, em delineamento de blocos ao acaso, com três repetições e nove tratamentos, incluindo duas fontes de potássio e quatro dosagens para cada uma, além de uma testemunha. Foram utilizados clones comerciais (02, 120, 143 e 201), amplamente cultivados no Espírito Santo, em espaçamento de 3 x 1 metros, e conduzidos sob sistema de fertirrigação. Os resultados demonstraram que o tipo de fertilizante, revestido ou não por polímero, não influenciou significativamente a produtividade, indicando que o revestimento não alterou de forma expressiva a liberação do nutriente para a planta. Contudo, verificou-se que doses superiores a 104 g planta⁻¹ de KCl provocaram queda na produtividade, associada ao desequilíbrio nutricional decorrente do excesso de potássio, o qual interfere na absorção de

outros elementos essenciais, como magnésio, manganês, ferro, zinco e cálcio. Em contrapartida, a fertirrigação proporcionou ganhos expressivos na produção, com aumento de até 100% em relação aos tratamentos sem irrigação e 25% em comparação com a irrigação convencional. A uniformidade da aplicação de água manteve-se satisfatória, com coeficiente de uniformidade de 90%, o que demonstra a eficiência do sistema empregado. Observou-se ainda que, em solos argilosos, as perdas de potássio por lixiviação foram limitadas, mesmo sob condições de elevada pluviosidade, o que reforça a importância das características físicas do solo no manejo da adubação. Os resultados apontam que o uso racional de fertilizantes potássicos é essencial para garantir produtividade elevada, sustentabilidade e equilíbrio nutricional das plantas. Conclui-se que a adubação equilibrada, aliada a práticas adequadas de irrigação e manejo do solo, é determinante para o aproveitamento eficiente do potássio e para o desempenho produtivo do cafeeiro conilon.

Palavras-chave: Café conilon; Fertirrigação; Potássio; Polímeros; Produtividade; Lixiviação.

ABSTRACT

CAMPOS, Anna Livia Fernandes; **RESENDE**, Mayara Pessoa; **MARQUES**, Beatriz da Cunha; **ROSA**, Esthefany Fernanda Assumpcao. Completion of Course Work Presented for Obtaining the Title of Technician in Chemistry Integrated to High School. ETEC Prof. Carmelino Corrêa Júnior, Franca/SP, 2025.

Potassium is an essential nutrient in the physiological and biochemical development of plants, playing a fundamental role in regulating cellular osmotic potential and activating approximately 60 enzymes involved in metabolic and catabolic processes. In conilon coffee (*Coffea canephora*), the requirement for this element increases progressively with the aging of the plant, reaching its peak during the fruiting phase. Therefore, this study aimed to evaluate the productivity of conilon coffee as a function of the application of different doses and sources of potassium fertilizers, conventional (Potassium Chloride – KCl) and polymer-coated (Kincoat-K), also analyzing the behavior of potassium in the soil regarding leaching. The experiment was conducted at the Incaper Experimental Farm, in Sooretama – ES, in a randomized block design, with three replications and nine treatments, including two potassium sources and four dosages for each, in addition to a control. Commercial clones (02, 120, 143, and 201), widely cultivated in Espírito Santo, were used in a 3 x 1 meter spacing and grown under a fertigation system. The results showed that the type

of fertilizer, whether coated or not with polymer, did not significantly influence productivity, indicating that the coating did not significantly alter the release of nutrients to the plant. However, it was found that doses higher than 104 g plant⁻¹ of KCl caused a decrease in productivity, associated with nutritional imbalance resulting from excess potassium, which interferes with the absorption of other essential elements, such as magnesium, manganese, iron, zinc, and calcium. In contrast, fertigation provided significant gains in production, with increases of up to 100% compared to treatments without irrigation and 25% compared to conventional irrigation. The uniformity of water application remained satisfactory, with a uniformity coefficient of 90%, demonstrating the efficiency of the system used. It was also observed that, in clay soils, potassium losses due to leaching were limited, even under conditions of high rainfall, reinforcing the importance of soil physical characteristics in fertilization management. The results indicate that the rational use of potassium fertilizers is essential to guarantee high productivity, sustainability, and nutritional balance of plants. It is concluded that balanced fertilization, combined with appropriate irrigation and soil management practices, is crucial for the efficient use of potassium and for the productive performance of conilon coffee plants.

Keywords: Conilon coffee; Fertigation; Potassium; Polymers; Productivity; Leaching.

METODOLOGIA

O potássio tem um papel significativo na manutenção do potencial osmótico celular e também está envolvido na ativação de cerca de 60 enzimas que são fundamentais no metabolismo e catabolismo das plantas. À medida que o cafeeiro conilon envelhece, sua necessidade por esse nutriente aumenta, sendo especialmente elevada durante a etapa de frutificação. Este elemento é o terceiro mais acumulado pelo conilon. O objetivo deste estudo foi analisar a produção do cafeeiro conilon em relação à quantidade de fertilizantes potássicos, tanto os revestidos por polímeros quanto os que não são revestidos, que também são conhecidos como convencionais.

Nesse cenário, a produção de café conilon tem uma posição significativa na trajetória do estado do Espírito Santo, especialmente por sua relevância econômica. Nos últimos vinte anos, o setor produtivo do café conilon passou por várias transformações, com a principal sendo o avanço tecnológico nas plantações, especialmente nas áreas de aprimoramento genético, gestão das plantações e melhorias nos processos de irrigação, nutrição das plantas, colheita, tratamento pós-colheita e beneficiamento.

O potássio desempenha uma função crucial na regulação do potencial osmótico das células, além de estar envolvido na ativação de cerca de 60 enzimas relacionadas ao metabolismo e catabolismo das plantas.

Uma parte significativa dos nutrientes que são aplicados ao solo através de fertilizantes se torna rapidamente indisponível para as plantas de café. O potássio é um nutriente que se retém de forma inadequada no solo, o que o torna suscetível à lixiviação.

De maneira geral, os revestimentos dos fertilizantes com polímeros têm como objetivo minimizar as perdas de nutrientes que ocorrem por lixiviação, volatilização e adsorção, podendo levar à diminuição da quantidade a ser aplicada.

Tratamento	Produtividade sc ha ⁻¹	
	Cloreto de potássio	Kincoat-K
Testemunha	75,07a	75,07a
26 g planta ⁻¹	75,49a	85,85a
52 g planta ⁻¹	74,74a	77,17a
104 g planta ⁻¹	90,73a	91,66a
208 g planta ⁻¹	78,00a	80,93a
CV(%)	14,43	12,79

Tukey 5% de probabilidade

Médias que compartilham a mesma letra na linha não apresentam diferenças significativas entre si conforme o teste de Tukey a um nível de 5% de probabilidade.

Pesquisas vinculadas a esse tipo de fertilizante mostram resultados variados, dependendo da cultura em questão. Na soja, Luchese et al. (2012) concluíram que o uso de KCl coberto com polímero foi uma opção eficaz para melhorar a eficiência da aplicação de potássio. Por outro lado, no feijão, os achados de Rodrigues et al. (2013) indicaram que o KCl revestido por polímeros teve efeito residual equivalente ao KCl tradicional, apresentando resultados semelhantes nos níveis foliares de potássio.

Assim como a escassez, o excesso desse nutriente pode ser prejudicial para as plantas, reduzindo sua produtividade, pois pode afetar a absorção de outros elementos, como magnésio, manganês, zinco, ferro e cálcio (Claessen, 1997). Dessa forma, a redução na produção, tanto em doses menores quanto maiores, pode ser atribuída a um excesso de potássio no solo, que provavelmente resultou em um desequilíbrio nutricional nas plantas, afetando assim a produtividade dos cafezais.

O potássio desempenha importante papel na regulação do potencial osmótico das células, além de participar na ativação de aproximadamente 60 enzimas atuantes no metabolismo e ou catabolismo das plantas. A exigência do cafeeiro conilon em relação a esse nutriente aumenta com a idade, sendo particularmente intensa quando a planta atinge a fase de produção. O potássio é o terceiro nutriente mais acumulado pelo conilon. Objetivou-se com este trabalho avaliar a produtividade de cafeeiro conilon em função da dose de fertilizantes potássicos revestidos por polímeros e não revestidos, também podendo ser chamados de convencionais. O experimento foi implantado na Fazenda Experimental do Incaper em Sooretama-ES, conduzido em delineamento de blocos ao acaso (DBC) com 3 repetições. Foram testados 9 tratamentos sendo duas fontes de potássio e 4 dosagens para cada fonte, mais uma testemunha. As fontes de potássio utilizadas foram Cloreto de Potássio (não revestido por polímero) e Kincoat-K (revestido por polímeros). O fato do fertilizante potássico ser revestido por polímeros não influenciou significativamente a produtividade do cafeeiro conilon. O fornecimento de ambas as fontes de potássio testadas auxilia de maneira positiva na produtividade de cafeeiro conilon. O fornecimento de doses superiores a 104 g planta⁻¹ de KCl foi prejudicial para o cafeeiro conilon, impactando negativamente a produtividade. Os clones 02, 120, 143 e 201 não apresentam grandes exigências nutricionais de potássio. O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental do Incaper (Instituto Capixaba de Pesquisa Assistência Técnica e Extensão Rural) em Sooretama-ES, com espaçamento de 3 metros entre linhas e 1 metro entre plantas, os genótipos.

Utilizados para plantio são amplamente utilizados em lavouras comerciais no Espírito Santo, sendo eles os clones 02, 120, 143 e 201. Todas as plantas foram oriundas de propagação assexuada, ou seja, mudas clonais e cada parcela foi composta por três plantas de cada clone, totalizando 12 plantas úteis por parcela. Os dados de produtividade foram obtidos a partir da quantidade em quilogramas por parcela de café maduro "in natura", convertido em sacas por hectare (sc ha⁻¹) de café beneficiado. O experimento foi conduzido em delineamento de blocos ao acaso (DBC) com 3 repetições. Foram testados 9 tratamentos sendo duas fontes de potássio e 4 dosagens

para cada fonte, mais uma testemunha. As fontes de potássio utilizadas foram Cloreto de Potássio (não revestido por polímero) e Kincoat-K (revestido por polímeros). Os fornecimento dos fertilizantes foi realizado uma vez ao ano, no mês de agosto. Os dados de produtividade foram coletados em quilogramas de café maduro, dois anos após a implantação do experimento e foram submetidos a análise estatística de variância (ANOVA), regressão entre os dados quantitativos (dose do fertilizante) e teste Tukey a 5% entre os dados qualitativos (tipo do fertilizante), com o auxílio do software estatístico Sisvar (Pereira et al... 2005). A recomendação deve ser feita com base no teor de potássio no solo e a expectativa para produção e vegetação.

Para a cultura do café, trabalhamos com cerca de 120 mg/dm³ de potássio no solo ou de 0,30 a 0,35 cmolc/dm³ no solo. Para calcular a dose recomendada para a cultura considerando a vegetação e produção, utilizamos a seguinte fórmula:

$$K \text{ (kg/ha)} = (\text{produção} \times 3) + (\text{vegetação} \times 2,9).$$

Para o cálculo de adubação consideramos:

$$\text{Adubação} = \text{Nível de segurança solo} + \text{Adubação para produção e vegetação}$$

O potássio é um nutriente essencial para o crescimento e desenvolvimento saudáveis das plantas de café. Ele é um nutriente que é essencial para a maturação e qualidade dos grãos, porque o potássio está envolvido com o metabolismo e transporte dos carboidratos para as partes da planta em desenvolvimento, como os ramos, folhas e frutos. Assim, quando o café tem níveis adequados de potássio disponíveis no solo, a produtividade das lavouras acaba sendo favorecida. No artigo Efeito da aplicação de nitrato de potássio sobre o rendimento de frutos de cafeeiros, Jose B. Matiello e Márcio L. Carvalho destacaram que houve um aumento de até 13% no rendimento e no tamanho dos grãos das plantas que foram tratadas com aplicações de potássio no café. O cafeeiro Conilon, principalmente os genótipos selecionados via melhoramento genético tem elevado potencial produtivo e, conseqüentemente, alta exigência nutricional. Por isso, os nutrientes devem ser fornecidos em quantidades e momentos adequados, conforme o estágio fenológico das plantas, características do solo, característica do fertilizante e dinâmica do

nutriente no solo. Dentre os macronutrientes, nitrogênio e potássio são considerados móveis no solo (Malavolta, 1980; Novais et al., 2007), portanto, seu fornecimento na cova ou sulco de plantio é pouco eficiente, visto que as plantas recém transplantadas não conseguirão absorver esses nutrientes antes que parte deles sejam lixiviados no solo (perdidos da zona radicular).

Por outro lado, o fósforo é pouco móvel no solo, especialmente em solos argilosos (Novais et al., 2007), e, por isso, seu fornecimento na cova ou sulco de plantio é a mais adequada na fase de formação da lavoura, apesar de também ser fornecido em superfície durante a fase de formação. Quanto ao cálcio (Ca) e magnésio (Mg), esses nutrientes são geralmente fornecidos por meio do calcário e, por isso, sua aplicação deve ser realizada durante o preparo em área total e, ou na cova ou sulco de plantio. Porém, assim como o fósforo, eles também podem ser fornecidos em superfície durante a fase de crescimento inicial. Nesta fase também deve ser considerado a aplicação de micronutrientes, quando se opta por fontes pouco móveis, e o fornecimento de matéria orgânica ao solo.

O aumento de produtividade no cafeeiro, a busca por tecnologias que auxiliem nesse processo é fundamental. Sendo o conhecimento das principais demandas nutricionais do cafeeiro fator determinante para o alcance de altas produtividades. Entretanto, para entender a exigência nutricional do cafeeiro nas suas diferentes fases, é importante antes, conhecer o seu ciclo de desenvolvimento. O cafeeiro apresenta um ciclo fenológico com uma sucessão de fases vegetativas e reprodutivas, que ocorrem em aproximadamente 2 anos. Divididas em seis fases distintas, sendo duas vegetativas e quatro reprodutivas, esquematizadas conforme tabela abaixo (CAMARGO; CAMARGO, 2001).

Tabela 1. Vegetação e frutificação do cafeeiro arábica, abrangendo seis fases fenológicas no período de dois anos.

Ano 1											
Período vegetativo											
Set.	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai	Jun.	Jul.	Ago.
Vegetação e formação das gemas florais						Indução e maturação das gemas florais					

Ano 2													
Período reprodutivo													
Set.	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai	Jun.	Jul.	Ago.		
Florada, chumbinho e expansão dos frutos				Granação dos frutos			maturação dos frutos			Repouso, senescência dos ramos			
Período reprodutivo (novo período vegetativo)										Autopoda			

Fonte: adaptado de Camargo e Camargo (2001).

Estudos relacionados a esses tipos de fertilizantes apresentam resultados distintos, a depender da cultura trabalhada. Na cultura da soja, (Luchese et al. (2012)), concluíram que a utilização de KCl recoberto por polímero foi uma alternativa para aumentar a eficiência da adubação potássica. Enquanto em feijoeiro os resultados obtidos por (Rodrigues et al. (2013)), demonstraram que o KCl revestido por polímeros teve o mesmo efeito residual que KCl convencional, pois proporcionou resultados semelhantes para teores foliares de K. Quando nos referimos ao efeito das doses na produtividade, percebe-se que com o acréscimo das dosagens de ambos os adubos, houve também o aumento da produtividade. Sendo que a dose de 104 g planta⁻¹ apresentou maior produtividade tanto na utilização de Kincoat-K quanto na de Cloreto de Potássio.

De acordo com a Figura 1, constata-se que a dosagem KCl acima de 104 g planta⁻¹ tende a diminuir a produtividade dos cafeeiros.

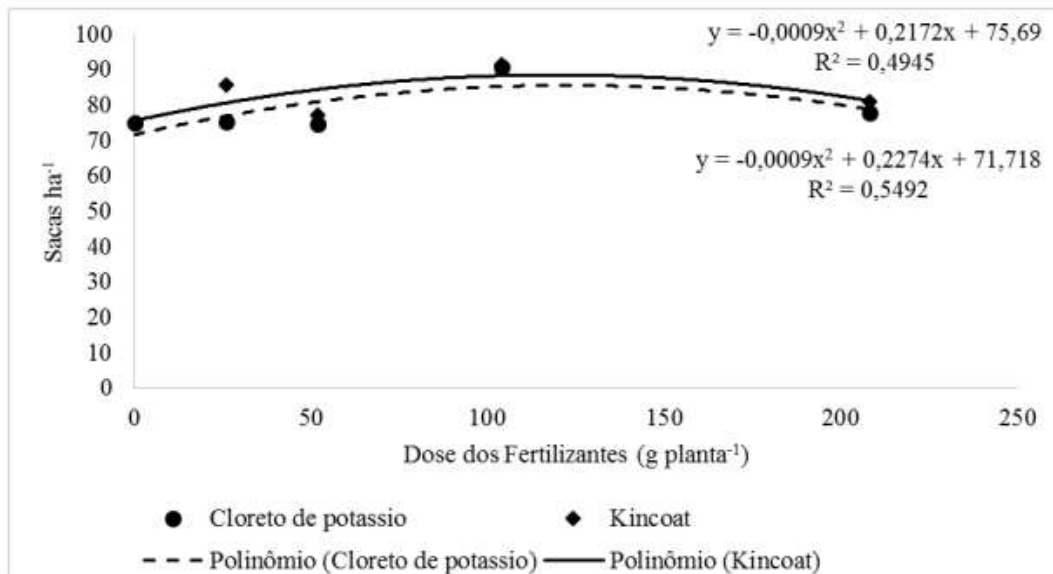


Figura 1. Produtividade média de cafeeiro conilon (*Coffea canephora*) submetidos a diferentes dosagens de fertilizantes potássicos.

Os principais fertilizantes potássicos utilizados na agricultura são cloreto de potássio (KCl), sulfato de potássio (K₂SO₄) e nitrato de potássio (KNO₃). Dentre essas fontes, o cloreto de potássio representa cerca de 95% do potássio total utilizado na agricultura (GRANJEIRO e CECÍLIO FILHO, 2006). Entretanto, o efeito deletério do Cl⁻, oriundo do KCl, sobre a qualidade do café, é conhecido e relatado em diversas literaturas. Os resultados de pesquisa são inegáveis, mas a aura negativa que se criou em torno do KCl é tão prejudicial quanto parece ser sua utilização, sustentada por diversos elos da cadeia produtiva. É explícita, por outro lado, a falta de consistência da premissa que imputa aos clorretos negativos em “todos os casos”, uma vez que são encontrados, nos concursos de qualidade, diversos cafés de excelência que receberam adubação exclusiva com KCl. O objetivo do presente trabalho foi determinar a produtividade e a granulometria dos grãos do café conilon decorrentes da aplicação de diferentes fontes minerais de potássio (K), com acréscimo ou não de bioprotetor cúprico.

Os níveis de adubação nitrogenada e potássica afetaram a incidência de cercosporiose nos frutos de cafeeiro de acordo com a análise de deviance. O nível de adubação de 30% do recomendado para lavouras cafeeiras de sequeiro diferenciou-se dos demais tratamentos, favorecendo maior incidência da doença nos frutos, em média, 3,59% superior em relação aos outros tratamentos (Tabela 3). Um dos possíveis fatores que pode ter contribuído para

esse resultado é a deficiência de potássio nos cafeeiros que receberam adubação com base apenas em 30% do que seria recomendado para uma lavoura não irrigada. Enquanto que nesse nível de adubação as plantas foram adubadas com 117,8 Kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N e 90,0 Kg ha⁻¹ ano⁻¹ de K₂O (Tabela 2), na recomendação de Guimarães et al. (1999), esses valores seriam de 392,6 Kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N e 300 Kg ha⁻¹ ano⁻¹ de K₂O. O nível de adubação de 30% da recomendação é insuficiente para a planta em termos de resistência à patógenos, trazendo um desequilíbrio nutricional e conseqüentemente favorecendo a incidência da doença.

Tabela 2. Quantidade de N e K₂O (Kg ha⁻¹ ano⁻¹) aplicada em cada tratamento.

Níveis de adubação*	2014/2015		2015/2016	
	N	K ₂ O	N	K ₂ O
30%	88,5	67,5	117,8	90,0
80%	235,9	180,0	314,2	239,9
130%	383,4	292,5	510,6	390,0
180%	530,8	405,0	707,0	540,0
230%	678,3	517,5	903,5	690,0

Tabela 3. Incidência de cercosporiose nos frutos de cafeeiros sob diferentes níveis de nitrogênio e potássio na fertirrigação

Níveis de adubação (%)	Cercosporiose nos frutos (%)
30	6,07 b
80	1,72 a
130	2,83 a
180	2,95 a
230	2,41 a

Esses adubos possuem alto teor de matéria orgânica e minerais, sendo essa união entre os fertilizantes orgânicos com os fertilizantes minerais bastante vantajosa para o solo e para nutrição das plantas, pois a matéria orgânica presente no fertilizante orgânico proporciona inúmeros benefícios tais como equilíbrio ao solo, retenção dos nutrientes minerais contra a lixiviação pela água das chuvas, retenção e complexação de poluentes, retenção de umidade, estruturação e consistência do solo, na temperatura, manutenção de biodiversidade, CTC e atividade microbiana. Já os fertilizantes minerais atuam na recomposição dos macronutrientes essenciais para o desenvolvimento das plantas (Almeida et al., 2020)

O Brasil se destaca como o principal país no que diz respeito à produção e exportação de café no mundo. Na safra de 2018/2019, as exportações brasileiras corresponderam a 30,6% do total global (ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DO CAFÉ, 2020). Para alcançar elevados níveis de produtividade, a agricultura cafeeira no Brasil utiliza doses significativas de fertilizantes, combinadas com um manejo eficaz de pragas e doenças e práticas de melhoramento genético. O potássio (K) é o segundo nutriente mais necessário para a planta do café, superado apenas pelo nitrogênio (MATIELLO et al., 2010), sendo o nutriente mais exportado pelas frutas, principalmente localizado na casca. O K desempenha um papel vital na regulação de diversos complexos enzimáticos, na fosforilação oxidativa, na movimentação de carboidratos, e sua falta pode levar à diminuição da fotossíntese. Adicionalmente, esse nutriente afeta a eficiência do uso de fósforo e água pelas plantas, além de contribuir para o desenvolvimento da parede celular e a resistência a certas pragas e doenças (CARVALHO et al., 2013). No cultivo do café, especificamente, o K está ligado ao aumento na produtividade e à qualidade da bebida (MANCUSO et al., 2014; VINECKY et al., 2016). Aplicações de K nas lavouras geram um efeito residual que melhora a química do solo. Contudo, a disponibilidade de K no solo diminui rapidamente em períodos de intensa demanda desse nutriente pelas culturas (LACERDA et al., 2015). Portanto, é comum que doses altas desse nutriente sejam aplicadas mesmo quando os níveis no solo estão adequados, o que pode resultar em perda de K. As perdas de potássio por lixiviação são mais acentuadas em regiões com altas chuvas, em solos arenosos e com baixa capacidade de troca catiônica (CTC). Entretanto, a adição de K ao perfil do solo, oriunda de fontes solúveis, pode causar perdas desse nutriente por lixiviação também em solos argilosos e com alta CTC (WERLE; GARCIA; ROSOLEM, 2008; MONACO et al., 2009; DUARTE; PEREIRA; KORNDÖRFER, 2013). A perda de K via lixiviação diminui a eficácia da adubação potássica e gera consequências econômicas (ALBUQUERQUE et al., 2011) e ecológicas. Portanto, o propósito deste estudo foi investigar as perdas de potássio por lixiviação em um Latossolo cultivado com café arábica visando alta produtividade.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na Fazenda Laje, situada em Viçosa, Minas Gerais, com coordenadas geográficas 20°41' S e 42°48' O. O solo foi classificado como um Latossolo Vermelho-Amarelo, cultivado com café (*Coffea arabica* L.) sob um sistema de terraces tipo patamar. O clima da região é classificado como Cwa, de acordo com a classificação internacional de Köppen (1931) (clima temperado úmido, com inverno seco e verão quente). Um delineamento em blocos casualizados em esquema fatorial (3 x 2) + 1 foi utilizado, com três doses de K₂O: 200, 400, e 600. kg ha⁻¹; duas modalidades de fertilização: aplicação única e aplicação fracionada, juntamente com um tratamento controle sem fertilização, com quatro repetições, resultando em um total de 28 parcelas. Cada parcela experimental foi formada por 18 plantas (três linhas de plantio, com seis plantas por linha), considerando as duas plantas centrais como a área útil e as outras como bordaduras. O cloreto de potássio foi utilizado como fonte de K₂O. As aplicações foram feitas na projeção das copas das plantas, com as doses sendo aplicadas de uma vez ou em aplicações fracionadas de 100 kg ha⁻¹. A fertilização de manutenção também incluiu 150 kg ha⁻¹ de nitrogênio por meio da ureia. Em cada parcela, foi instalado um extrator de solução do solo a 1,0 m de profundidade, situado entre as duas plantas da área útil. Em cada extrator de solução, foi aplicada uma tensão de -10 kPa, utilizando uma bomba de vácuo. A tensão empregada corresponde à tensão de capacidade de campo do solo em análise. As coletas foram sempre realizadas após chuvas, no máximo 24 horas depois, com o auxílio de uma seringa e um tubo de polietileno. Após a coleta, as soluções foram transferidas para recipientes plásticos e mantidas em refrigeradores até que a análise da concentração de potássio fosse realizada. Os teores de K na solução foram determinados por meio de fotometria de chama. As coletas para determinar os níveis iniciais de potássio na solução do solo começaram antes das primeiras aplicações de fertilizantes. Para avaliar o potencial mátrico da água no solo, três tensiômetros foram instalados em cada parcela, posicionados a 0,6 m do extrator de solução, nas profundidades de 0,90, 1,00 e 1,10 m. Cada tensiômetro foi conectado a um manômetro de mercúrio através de um tubo de polietileno, mostrando alta sensibilidade. As leituras foram feitas a cada três dias ou após a

ocorrência de chuvas. Dessa maneira, foi possível calcular o potencial total da água em cada profundidade e o gradiente de potencial total entre as profundidades de 0,90 e 1,10 m, conforme Libardi (2005). Amostras de solo indeformadas foram coletadas a 1,00 m de profundidade para medir a condutividade hidráulica do solo saturado (K_0). A condutividade hidráulica do solo não saturado (K_θ) foi obtida indiretamente através da curva de retenção de água no solo ajustada pelo modelo de Van Genuchten (1980), usando a condutividade hidráulica do solo saturado (K_0) e a umidade do solo a 1,0 m de profundidade, conforme o modelo matemático proposto por Mualem (1976). Para determinar a curva de retenção de água, amostras indeformadas de solo (1 m de profundidade) foram levadas para a mesa de tensão onde a umidade de equilíbrio foi medida nas tensões de 2, 4, 6 e 8 kPa. Em seguida, amostras de solo indeformadas (1 m de profundidade) foram levadas ao extrator de Richards para determinar a umidade de equilíbrio nas tensões de 10, 30, 50, 100, 500, 1000 e 1500 kPa. A modelagem desses dados foi realizada com o software Soil Water Retention Curve – SWRC. Para calcular o fluxo de água vertical no solo, utilizou-se a equação de Darcy-Buckingham. O fluxo de potássio foi estimado a partir do produto do fluxo de água no solo pela concentração de potássio na solução do solo. Para estimar o balanço hídrico no solo, um pluviômetro foi instalado na área experimental para correlacionar a dinâmica do fluxo de água no solo com a precipitação ao longo do tempo. A caracterização química do solo foi realizada em cada parcela nas camadas de 0-0,2 m, 0,2-0,4 m e 0,4-0,6 m (Tabela 1), enquanto a caracterização física foi determinada em cada parcela, em intervalos de 0,10 m até 1,2 m de profundidade. A textura do solo não apresentou variações que pudessem afetar o processo de drenagem interna do solo ao longo do perfil, com todas as amostras classificadas na classe textural como Argila (>50% de argila) (EMBRAPA, 1979).

Tabela 1. Análise química do solo na área de pesquisa

Camada de profundidade	pH	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H ⁺	Al	SB	Bt	TV	m (m)	- mg dm ⁻³
0-0,25	0,70	10	5,4	15,0	3,9	0,2	0,0	2,3	4,4	4,6	76,6	0,0
0,2-0,46	0,50	78,3	28,5	5,3	1,0	0,4	0,0	1,7	4,3	4,3	6,1	71,2
0,4-0,65	0,73	17,1	93,7	2,3	0,3	0,0	1,9	3,1	3,1	4,9	63,4	

pH na água na proporção de 1:2,5; P e K utilizando extrator Mehlich 1; Ca, Mg e Al com extrator KCl a 1 mol L⁻¹. Os dados foram analisados por meio de variância utilizando o software Statistical Analysis System – SAS. Subsequentemente, modelos de regressão foram criados para observar as perdas de K, levando em conta as quantidades de fertilizantes aplicadas e a drenagem interna em relação à precipitação acumulada.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O Quadro 01 mostra os índices de produtividade em sacas de 60 kg por hectare e a quantidade de café produzido em litros por planta. Nota-se que o tratamento 03 trouxe os melhores resultados em sacas por hectare, em relação aos demais tratamentos que foram irrigados e fertirrigados. Os tratamentos 01, 02 e 04 não apresentam diferença entre eles, enquanto o tratamento 05 mostra uma diferença significativa quando comparado a todos os outros. No Quadro 02, estão os resultados do crescimento vegetativo, que foi avaliado pela quantidade de internódios emitidos após o início dos tratamentos. O tratamento 02 foi o que demonstrou o melhor crescimento vegetativo em comparação com os outros tratamentos, que também apresentaram diferenças entre si. Quadro 01: Índices de produtividade em sacas por hectare e quantidade em litros.

Tratamentos	Produção litros de café da roça /planta	Produtividade em sacas/ ha
03	12,0 A	88 A
01	11,7 A	79 A B
04	11,2 A	75 A B
02	8,7 B	64 B
05	7,5 B	41 C

Os dígitos que aparecem com a mesma letra não apresentam diferenças segundo o teste de Tukey ao nível de 5%.

Quadro 02: Numeros de internódios emitidos após o início dos tratamentos

Tratamentos	Produtivide em sacas/ ha
02	8,67 A
03	8,25 B
04	7,90 C
01	7,40 D
05	5,30 E

Os números seguidos pela mesma letra não diferenciam entre se pelo teste de Tukey a nível de 5%

Relativamente aos resultados das avaliações de consistência na aplicação de água, para definir o Coeficiente de Distribuição (CUD),

Quadro 03 - Valores do Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) por setores para as duas avaliações

Tratamento	Tipo Gotejador	1ª Avaliação		2ª Avaliação	
		CUD	Vazão em L/m/h	CUD	Vazão em L/m/h
01	NAAN Paz 10	90,5	3,3	91,3	3,3
02	NAAN Paz 10	89,5	4,5	89,5	4,5
03	NAAN Paz 10	91,3	4,5	92,0	4,5
04	NAAN Paz 10	89,5	3,9	88,8	3,9
05	-	-	-	-	-

Os dados sobre a uniformidade na aplicação de água, até agora, não mostram qualquer modificação como resultado dos tratamentos de fertirrigação realizados com os diversos produtos testados. A média de uniformidade foi de 90%, com registros de 88,8% como mínimo e 92% como máximo. As médias de vazão nos diferentes setores demonstram variações significativas, variando entre 3,3 e 4,5 L/m/h. No entanto, essas variações não são causadas pelos tratamentos de fertirrigação (produtos) e sim pelo fato de que o sistema não possui gotejadores autocompensantes, o que leva a alterações de vazão em função das diferentes posições e tamanhos dos setores. Independente disso, essas diferenças foram levadas em conta ao se estabelecer o tempo de irrigação. (SOARES et al...)

Levando em conta os resultados iniciais, é possível afirmar que as práticas de fertirrigação alcançaram o dobro de produção se comparadas àquelas que não receberam irrigação e 25% a mais em relação às que foram irrigadas com fertilização convencional. Os melhores resultados no uso da fertirrigação foram verificados com a aplicação do hidran plus na proporção 19:04:19, enquanto o crescimento vegetativo mais elevado (e a produção subsequente) foi registrado com a utilização de fertirrigação com nitratos de cálcio e potássio. Até agora, não se observou impacto da fertirrigação e dos insumos na regularidade da distribuição de água.

A quantidade total de chuva durante a realização do experimento foi de 1352 mm, enquanto a água drenada do solo atingiu 857 mm, representando 63% da

precipitação. Foi observada uma forte correlação entre a chuva e a drenagem interna, evidenciando a eficácia da metodologia aplicada para mensuração do fluxo de água no solo. A análise química do solo na área do experimento mostrou que as aplicações de fertilizantes ao longo dos anos causaram a migração de K para as camadas mais profundas, que demonstraram altos teores de potássio (Tabela 1). (Ernani et al. (2007)) indicaram que a aplicação de KCl na superfície dos solos facilitou a movimentação vertical de K, porém as quantidades que percolaram foram limitadas. O potássio é consideravelmente móvel no solo, especialmente em terrenos arenosos e com baixa Capacidade de Troca Catiônica (CTC) (UCKER et al., 2016), mas a aplicação repetida de altas doses de K pode intensificar a mobilidade e, por isso, aumentar a concentração desse nutriente em profundidades maiores, mesmo em solos argilosos, independentemente da CTC (ROSOLEM et al., 2010).

A maneira de aplicação do fertilizante não afetou as perdas do nutriente (Tabela 2), apesar de o KCl ser uma fonte de potássio altamente solúvel, liberando cerca de 72% do K em 24 horas (BLEY et al., 2017). Isso sugere que, em solos argilosos, a fragmentação das doses de K pode não ser necessária, com o objetivo de diminuir os custos de aplicação do fertilizante, mesmo quando são empregadas doses elevadas e em condições de forte pluviosidade. Contudo, deve-se observar que a profundidade de 1 metro considerada neste estudo não é aplicável a plantações de café em estágios iniciais de crescimento, nem para cultivos com raízes menos profundas.

As doses de K₂O mostraram um impacto positivo e direto ($p < 0,1$) na quantidade total de potássio que foi lixiviado (Tabela 2). Nos tratamentos sem aplicação, as perdas totais de K₂O foram de 16 kg ha⁻¹ em um período de 96 dias de experimentação (Figura 2). Observou-se um incremento de 59, 104 e 140% na lixiviação de K₂O para as quantidades de 200, 400 e 600 kg ha⁻¹, respectivamente. Neste contexto, o conteúdo inicial de potássio no solo propiciou a lixiviação do nutriente. De acordo com Werle, Garcia e Rosolem (2008), a ação residual das adubações com potássio aumenta as quantidades de K que percolam, mesmo em solos argilosos. Os autores apontam que a movimentação de K no solo está associada ao nível inicial proveniente das adubações anteriores, não dependendo da textura do solo. Silva Filho e

colaboradores (2019) não detectaram lixiviação de K nas camadas mais profundas (abaixo de 0,4 m) de um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico com textura franco-arenosa (61% de areia), independentemente da quantidade aplicada, embora o solo mostrasse teores iniciais de K muito baixos em todas as camadas analisadas.

Embora o aumento das doses tenha provocado maiores perdas de K, é importante notar que esses valores representam apenas 4,72, 4,15 e 3,74% do fertilizante aplicado (considerando a lixiviação de K₂O do tratamento sem aplicação) nas doses de 200, 400 e 600 kg ha⁻¹ de K₂O, respectivamente. Bley e outros (2017) relataram perdas de K inferiores a 1% do total disponível de K, independentemente da quantidade aplicada em um solo argiloso com 85 mg dm⁻³ de K no início. A lixiviação de K tende a ser maior com o aumento do volume de água (MENDES e outros, 2016). Entretanto, neste estudo, mesmo diante de altos índices de precipitação, a perda de K₂O foi baixa ao longo de todo o experimento, com influência mínima da chuva, não ultrapassando 1 kg ha⁻¹ dia⁻¹.

Foram notados pequenos aumentos na lixiviação de K₂O após chuvas que seguiram períodos de seca (Figura 3). Apesar dos altos níveis iniciais de K no solo, as propriedades de textura e a capacidade de troca catiônica (CTC) foram determinantes para limitar a lixiviação de K, independentemente da quantidade de chuva e do método de aplicação do fertilizante. Mendes e outros (2016) relataram perdas de 3,26 e 7,99% do K aplicado em solo argiloso quando a lâmina de irrigação foi de 150 e 200% da quantidade de água necessária para atingir a umidade no ponto de capacidade de campo, respectivamente. Ao aplicar as mesmas lâminas de água em um solo arenoso, as perdas foram de 43,91 e 57,04% do K aplicado, respectivamente.

CONCLUSÃO

O estudo evidenciou que o potássio é um elemento essencial para o metabolismo, crescimento e produtividade do cafeeiro conilon, apresentando papel determinante na ativação enzimática, na regulação osmótica e na translocação de carboidratos. A análise dos diferentes tratamentos demonstrou que tanto o fertilizante potássico convencional (KCl) quanto o revestido por polímeros (Kincoat-K) contribuíram de forma positiva para o desempenho produtivo das plantas. Entretanto, não foram observadas diferenças significativas entre as duas fontes, o que indica que o uso de revestimento polimérico não promoveu ganhos expressivos na produtividade sob as condições experimentais.

Os resultados revelaram também que a fertirrigação se mostrou uma prática altamente eficiente, favorecendo a absorção dos nutrientes e proporcionando aumento substancial na produção, especialmente quando comparada à irrigação convencional e ao cultivo sem irrigação. As melhores respostas de crescimento vegetativo e produtivo foram obtidas com a aplicação de doses equilibradas de potássio, em torno de $104 \text{ g planta}^{-1}$, sendo que valores superiores resultaram em queda de rendimento devido a possíveis desequilíbrios nutricionais. Esse fato reforça a importância do manejo racional da adubação, evitando tanto a deficiência quanto o excesso do nutriente.

Além disso, as análises sobre a dinâmica do potássio no solo demonstraram que, embora o nutriente apresente mobilidade elevada e suscetibilidade à lixiviação, as perdas foram relativamente baixas em solos argilosos, mesmo sob alta pluviosidade. Isso se deve à maior capacidade de retenção catiônica desses solos, o que minimiza o impacto ambiental e econômico decorrente da perda de nutrientes. Assim, o parcelamento de doses ou o uso de fertilizantes de liberação controlada pode ser vantajoso em ambientes de menor CTC ou com solos arenosos.

Em um contexto mais amplo, o estudo reforça a relevância da adubação potássica no incremento da produtividade e da qualidade do café conilon,

sendo o potássio o segundo nutriente mais exigido pela cultura, atrás apenas do nitrogênio. O fornecimento adequado desse elemento está diretamente relacionado ao vigor da planta, à uniformidade de maturação e ao tamanho dos grãos, refletindo positivamente na qualidade final da bebida. Conclui-se, portanto, que a sustentabilidade da cafeicultura moderna depende da integração entre práticas de manejo nutricional equilibrado, uso eficiente da água, escolha adequada das fontes de fertilizantes e conhecimento aprofundado das características do solo. Tais estratégias garantem não apenas o aumento da produtividade e da qualidade do produto final, mas também a preservação dos recursos naturais e a viabilidade econômica da atividade cafeeira no Espírito Santo e em outras regiões produtoras do Brasil.

REFERENCIAL TEORICO

Adilson Rodrigues SOARES², Everardo Chartuni MANTOVANI³, Alemar Braga RENA⁴, Antônio Alves SOARES⁵, Robson BONOMO⁶. "ESTUDO COMPARATIVO DE FONTES DE NITROGÊNIO E POTÁSSIO EMPREGADOS NA FERTIRRIGAÇÃO DO CAFEIEIRO¹" [Irriga23.PDF](#)

LUCHESE, K. U. de O., LEAL, A. J. F., KANEKO, F. H., VALDERRAMA, M. e SEVERINO, U. A. 2012. "Resposta da cultura da soja a doses de cloreto de potássio, revestido ou não com polímeros", XXXIII Congresso Brasileiro De Ciência Do Solo, dezembro.

RODRIGUES, M. A. de C., BUZETTI, S. MAESTRELO, P. R. LINO, A. C. M. TEIXEIRA FILHO, M. C. M.

GUARESCHI, R. F., e PERIN, A. 2010. "Emprego de fertilizantes revestidos por polímeros nas culturas da soja e milho". Instituto Federal De Educação, Ciência E Tecnologia Goiano — Campus Rio Verde março. 4.

OLIVEIRA, M. V. A. M.: VILLAS BOAS, R. L. 2008. "Uniformidade de distribuição do potássio e do nitrogênio em sistema de irrigação por gotejamento". Revista Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v. 28. n. 1, p. 95-103

TAIZ, L., ZEIGER, E. SANTARÉM, E. R. 2009. Fisiologia vegetal, Artmed.

FERRÃO, R. G., MUNER, J. B. de, FONSECA, A. F. A. da e M. a. G. FERRAO. 2016. Café Conilon. Vitória, ES: Incaper, 2017. <http://localhost:8080/digital/handle/123456789/3114>

Malavolta, E. Elementos de nutrição mineral de plantas. São Paulo, Ceres, 1980. 251p.

Novais, R.F. & Smyth, T.J. & Nunes, F.N. Fósforo. 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. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.471-537.

PEREIRA, J. R.; FERREIRA, G. B.; GONDIM, T. M. S.; SANTOS, J. W.; VALE, D. G. Adubação orgânica com torta de filtro de cana-de-açúcar no algodoeiro semiperene BRS 200 no Cariri Cearense. Resumos...V CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO. Salvador, BA, 2005.

GRANGEIRO, L. C.; CECÍLIO FILHO, A. B. Características de produção de frutos de melancia sem sementes em função de fontes e doses de potássio. Horticultura Brasileira, v. 24, n. 4, p. 451- 454, 2006. Disponível em: 10.1590/S0102- 05362006000400011.

LUCHESE, K. U. de O., LEAL, A. J. F., KANEKO, F. H., VALDERRAMA, M. e SEVERINO, U. A. 2012. “Resposta da cultura da soja a doses de cloreto de potássio, revestido ou não com polímeros”, XXXIII Congresso Brasileiro De Ciência Do Solo, dezembro.

RODRIGUES, M. A. de C., BUZETTI, S. MAESTRELO, P. R. LINO, A. C. M., TEIXEIRA FILHO, M. C. M., ANDREOTTI, M. e GARCIA, C. M. de P. 2013. “Coated Potassium Chloride in Residual Effect on Winter Common Bean Irrigated in Cerrado Region”. Semina: Ciências Agrárias 34 (3): 1011–22. <https://doi.org/10.5433/1679- 0359.2013v34n3p1011>.

ALMEIDA A. A., ALMEIDA F. F., BEGNINI M. L.. Produção de fertilizante organomineral a partir de resíduos orgânicos. Braz. J. of Develop., Curitiba, v. 6, n. 3,p 12424-12432 mar. 2020

MATIELLO, J. B.; SANTINATO, R.; GARCIA, A. W. R.; ALMEIDA, S. R.; FERNANDES, D. R. Cultura de café no Brasil: Manual de recomendações. 3.ed. Rio de Janeiro:MAPA: Procafe, 2010.

CARVALHO, D. O.; POZZA, E. A.; CASELA, C. R.; COSTA, R. V.; POZZA, A. A. A.; CARVALHO, C. O. Adubação nitrogenada e potássica na severidade da antracnose em dois cultivares de milho. Revista Ceres, Viçosa, v.60, n.3, p.380-387, 2013.

MANCUSO, M. A. C.; SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C.; CASTRO, G. S. A. Effect of potassium sources and rates on Arabica coffee yield, nutrition, and Macronutrient export. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.38, n. 38,p.1448-1456, 2014

LACERDA, J. J. J.; RESENDE, A. V.; FURTININETO, A. E.; HICKMANN, C.; CONCEIÇÃO, O. P. Adubação, produtividade e rentabilidade da rotação entre

soja e milho em solo com fertilidade construída. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, DF, v.50, n.9, p.769-778, 2015

ALBUQUERQUE, F. S.; SILVA, E. F. F.; SOUZA, A. E. R.; ROLIM, M. M. Lixiviação de potássio em um cultivo de pimentão sob lâminas de irrigação e doses de potássio. Revista Caatinga, Mossoró, v. 24, n. 3, p. 135-144, 2011.

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

MONACO, P. A.; MATOS, A. T.; MARTINEZ, H. E. P.; FERREIRA, P. A.; RAMOS, M. M. Características químicas do solo após a fertirrigação do cafeeiro com águas residuárias da lavagem e descascamento de seus frutos. Irriga, Botucatu, v. 14, n. 3, p. 348-364, 2009.

DUARTE, I. N.; PEREIRA, H. S.; KORNDÖRFER, G. H. Lixiviação de potássio proveniente do termopotássio. Pesquisa Agropecuária Tropical, Goiânia, v.43, n.2, p.195-200, 2013

EMBRAPA. Manual de Métodos de Análise de Solo. Rio de Janeiro:Embrapa, 1979.

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

UCKER, F. E.; DE-CAMPOS, A. B.; HERNANI, L. C.; MACÊDO, J. R.; MELO, A. S. Movimentação vertical do íon potássio em Neossolos Quartzarênicos sob cultivo com cana-de-açúcar. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, DF, v.51, n.9, p.1548-1556, 2016.

ROSOLEM, C. A.; SGARIBLDI, T.; GARCIA, R. A.; CALONEGO, J. C. Potassium Leaching as Affected by Soil Texture and Residual Fertilization in Tropical Soils. Communications in Soil Science and Plant Analysis, London, v.41, p.1934-1943, 2010.

BLEY, H.; GIANELLO, C.; SANTOS, L. S.; SELAU, L. P. R. Nutrient release, plant nutrition, and potassium leaching from polymer-coated fertilizer. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.41, n.e0160142, p. 1-13, 2017

MENDES, W. C.; ALVES JÚNIOR, J.; CUNHA, P. C. R.; SILVA, A. R.; EVANGELISTA, A. W. P.; CASAROLI, D. Potassium leaching in different soils as a function of irrigation depths. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.20, n.11, p.972-977, 2016.