

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE AGRONOMIA**

ANA KARINNE COSTA E SILVA

**MOBILIDADE DE K DE FERTILIZANTE ORGANOMINERAL E MINERAL EM
SOLOS DE TEXTURA CONTRASTANTE**

**UBERLÂNDIA - MG
2019**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE AGRONOMIA**

ANA KARINNE COSTA E SILVA

**MOBILIDADE DE K DE FERTILIZANTE ORGANOMINERAL E MINERAL EM
SOLOS DE TEXTURA CONTRASTANTE**

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 Dr.^a Mayara Cristiana
Stanger

**UBERLÂNDIA - MG
2019**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE AGRONOMIA**

ANA KARINNE COSTA E SILVA

**MOBILIDADE DE K DE FERTILIZANTE ORGANOMINERAL E MINERAL EM
SOLOS DE TEXTURA CONTRASTANTE**

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

Aprovado pela Banca Examinadora em 22 de novembro de 2019

Prof. Dr. Reginaldo de Camargo
Membro da Banca

Eng. Agr. Solange Celestino Costa
Membro da Banca

Prof.^a Dr.^a Mayara Cristiana Stanger
Orientadora

**UBERLÂNDIA - MG
2019**

AGRADECIMENTOS

A DEUS, pela vida, saúde e força.

À minha família, meu pai, minha mãe e ao meu querido irmão, que me direcionaram colaborando de forma crucial na minha formação ao longo da vida.

Aos meus orientadores e coorientadores durante essa longa jornada, Mayara Cristiana Stanger, Raphael Passaglia Azevedo, Regina Maria Quintão Lana e Reginaldo de Camargo.

Especialmente ao companheirismo do meu querido amado Alan Oliveira Prado.

As minhas amigas que me deram a oportuna chance de conviver com elas, Beatriz Larissa, Daniela Valiati, Gabriela Santana, Morgana Fracásio, Solange Celestino e Suélen Soares.

À Universidade Federal de Uberlândia, seu corpo docente, direção, administração, colegas e as pessoas que convivi nesse espaço durante minha formação acadêmica.

E a todos que direta ou indiretamente contribuíram e fizeram parte da minha formação, muito obrigada!

Agradeço

RESUMO

O potássio (K) é o macronutriente em maior quantidade nas plantas, contudo no solo apresenta alta mobilidade, o que possui relação especialmente com a textura do solo, capacidade de troca de cátions e concentração do elemento na solução do solo. O elemento presente na solução do solo movimenta-se verticalmente no perfil, sendo levado pela água de drenagem sendo facilmente lixiviado para camadas superficiais. Com isso, o objetivo do trabalho foi avaliar a mobilidade de potássio proveniente de fontes organomineral e mineral, em um Latossolo Vermelho distrófico (LVd) e em um Neossolo Quartzarênico órtico típico (RQo), por meio de colunas de lixiviação. O experimento foi realizado em condições controladas, no Instituto de Ciências Agrárias, na Universidade Federal de Uberlândia, em Uberlândia, MG. O experimento foi conduzido de janeiro a junho de 2018 em ambiente controlado no Laboratório de Análise de Solos – LABAS da Universidade Federal de Uberlândia – UFU. O experimento foi realizado com colunas de 30 cm, e amostras de solo das profundidades de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20 e 20 a 30 cm. O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado com três tratamentos e cinco repetições para os dois solos, totalizando 30 unidades experimentais. Os tratamentos constaram de três fontes (organomineral, mineral e testemunha), e dois tipos de solo (Latosolo Vermelho distrófico e Neossolo Quartzarênico órtico típico). Os fertilizantes foram aplicados superficialmente nas doses estabelecidas. A quantidade de água destilada em cada recipiente variou de acordo com o tipo de solo, com base no volume de poro de cada um, sendo para o solo arenoso era aplicado 490 ml e para o solo argiloso 535 ml, a água era colocada com intervalo de um dia e o lixiviado retirado no dia seguinte da aplicação da água, totalizando dez percolações em cada coluna nesse estudo. Em cada aplicação, o volume de solução percolada foi determinado, assim como as quantidades de K contidas nessa solução. Após a desmontagem das colunas de solo, foram determinados os teores de K trocável nas diferentes profundidades. As fontes de fertilizantes tiveram comportamento distinto, independente do solo utilizado. O fator tipo de solo exerce grande influência, pois afeta a capacidade de reter e disponibilizar nutrientes. Solos arenosos possuem um maior poder de lixiviação de K do que solos argilosos. O fertilizante organomineral teve uma liberação mais lenta, quando comparado com o fertilizante mineral.

PALAVRAS-CHAVE: Lixiviação; Potássio; Solos; Colunas.

ABSTRACT

Potassium (K) is the largest macronutrient in plants, but the soil has high mobility, which is especially related to soil texture, cation exchange capacity and element concentration in the soil solution. The element present in the soil solution moves vertically in the profile, being carried by the drainage water and being facial leached to surface layers. Thus, the objective of this work was to evaluate the potassium mobility from organomineral and mineral sources in a dystrophic Red Latosol (LVd) and a typical Ortio Quartzarenic Latosol (RQo) by leaching columns. The experiment was carried out under controlled conditions at the Institute of Agricultural Sciences at the Federal University of Uberlândia, Uberlândia, MG. The experiment was conducted from January to June 2018 in a controlled environment at the Soil Analysis Laboratory - LABAS at the Federal University of Uberlândia - UFU. The experiment was carried out with 30 cm columns and soil samples from 0 to 5, 5 to 10, 10 to 20 and 20 to 30 cm depths. The experimental design was completely randomized with three treatments and five replications for both soils, totaling 30 experimental units. The treatments consisted of three sources (organomineral, mineral and control), and two soil types (Dystrophic Red Latosol and typical Ortio Quartzarenic Neossol). The fertilizers were applied superficially in the established doses. The amount of distilled water in each container varied according to the type of soil, based on the pore volume of each one. For the sandy soil 490 ml was applied and for the clay soil 535 ml the water was placed at intervals one day and the leachate taken the next day after water application, totaling ten percolations in each column in this study. In each application, the volume of percolated solution was determined as well as the amounts of K contained in that solution. After dismantling the soil columns, the exchangeable K contents at different depths were determined. Fertilizer sources had different behavior, regardless of the soil used. The soil type factor has a great influence because it affects the ability to retain and make nutrients available. Sandy soils have a higher K leaching power than clay soils. Organomineral fertilizer had a slower release when compared to mineral fertilizer.

KEYWORDS: Leaching; Potassium; Soils; Columns.

Sumário

1	INTRODUÇÃO	8
2	REVISÃO DE LITERATURA	10
2.1	O potássio na planta	10
2.2	O potássio no solo e sua disponibilidade às plantas.....	11
2.3	Importância adubação potássica	12
2.4	Mobilidade e lixiviação do K no solo.....	13
2.5	Fontes minerais e organominerais potássicas	15
3	MATERIAL E MÉTODOS	17
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	19
5	CONCLUSÃO	26
6	REFERÊNCIAS	27

1 INTRODUÇÃO

O potássio (K) é o macronutriente em maior quantidade nas plantas, movimenta-se principalmente através da difusão. O íon K^+ é a forma como plantas conseguem absorver o potássio no solo e a sua quantidade para o desenvolvimento das plantas depende da espécie em cultivo e dos estádios de crescimento da mesma (MEURER, 2006; PRADO, 2008; FAGAN et al., 2016). Esse nutriente não possui função estrutural e não participa da composição, porém atua como catalisador em diversas reações nas plantas (BIDWELL, 1974).

Está presente no solo principalmente nas formas de K da solução, K trocável, K não trocável e K estrutural. O incremento de potássio para as plantas ocorre a partir da solução e da forma trocável que se caracteriza pelo cátion retido nas cargas dos colóides do solo. Essa forma se mantém em interação lenta com as formas de K não trocável e K estrutural dos minerais (SPARKS; HUANG, 1985).

Apesar da maioria dos solos conter milhares de quilos de potássio, geralmente cerca de 20 toneladas ha^{-1} ou mais, apenas uma pequena porcentagem está disponível para as plantas durante o período de desenvolvimento, provavelmente apenas 2 % (LOPES; 1998).

O K contribui na redução de incidência de doenças e pragas e também promove um aumento da atividade fotossintética que por consequência aumenta o tamanho da folha e permite um maior deslocamento de fotoassimilados para os grãos (PERRENOUD, 1990; CAKMAK, 2005; PRABHU et al., 2007).

A mobilidade dos íons no solo nas regiões fertilizadas pode influenciar na disponibilidade de nutrientes e as perdas por lixiviação (NEVES; ERNANI; SIMONETI, 2009). A mobilidade vertical no solo é influenciado pelo atributos presente em cada solo, como teor de água, tamanho e distribuição dos poros, quantidade de água que percola no perfil, que implica na intensidade das chuvas e a capacidade de retenção de água pelo solo (BASSOI; CARVALHO, 1992; BUSTOS et al., 1996; KELLY; GREEN; SELKER, 1997; DIEROLF; ARYA; YOST, 1997) e também pela concentração iônica da solução do solo, o pH, CTC, reações de dissolução/precipitação, as trocas iônicas entre os nutriente que estão na solução com aqueles da fase sólida durante a percolação e o poder tampão de cada nutriente (SANZONOWICZ; MIELNICZUK, 1985; NIELSEN; TH. VAN GENUCHTEN; BIGGAR, 1986; CHAVES; LIBARDI, 1995; AKINREMI; CHO, 1991; ERNANI; BARBER, 1993; BUSTOS et al., 1996; ERNANI; DIAS; FLORE, 2002; OLIVEIRA; ROSOLEM; TRIGUEIRO, 2004; NEVES; ERNANI; SIMONETI, 2009).

A lixiviação do potássio pode aumentar consideravelmente com a adição de outros fertilizantes, tendo como consequência o deslocamento do K das cargas negativas pelos cátions adicionados e diminui com a elevação do pH, com a disponibilização de cargas negativas (ERNANI; BARBER, 1993; ERNANI et al., 2003; ERNANI et al., 2004; MANTOVANI, 2005).

Dessa forma, a produtividade das plantas está diretamente relacionada com a disponibilidade do nutriente no solo, pois, quando o solo possui alta capacidade de suprimento do nutriente e a demanda da planta por alta, a absorção da mesma também será alta. De outro lado, mesmo sendo alta a demanda da planta, se a capacidade do solo for baixa, a taxa de absorção também será baixa (BALDWIN et al., 1973; TINKER; NYE, 2000).

É possível perceber que verificar a mobilidade dos nutrientes em diferentes tipos de solo e textura, é uma prática necessária e imprescindível para evitar e reconhecer o potencial de lixiviação, a fim de manejar as doses e as fontes utilizadas. Assim o objetivo do trabalho foi avaliar a mobilidade de potássio proveniente de fontes organomineral e mineral, em um Latossolo Vermelho distrófico (LVd) e em um Neossolo Quartzarênico órtico típico (RQo), por meio de colunas de lixiviação.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 O potássio na planta

O potássio (K) é o macronutriente em maior quantidade nas plantas, movimenta-se principalmente através da difusão e sua absorção é favorecida por regiões radiculares pilosas, podendo ser afetada por fatores como a concentração no solo, umidade do solo, idade da planta. O íon K^+ é a forma como plantas conseguem absorver o potássio no solo e a sua quantidade para o desenvolvimento das plantas depende da espécie em cultivo e dos estádios de crescimento da mesma (MEURER, 2006; PRADO, 2008; FAGAN et al., 2016).

Entre os macronutrientes mais exigidos pelas plantas ocupa a segunda posição estando atrás apenas do nitrogênio (KINPARA, 2003). Aproximadamente 95% da produção mundial de K é utilizado como fertilizante, desses 90% na forma de KCl (OLIVEIRA, 2017). O Brasil possui grande dependência externa de potássio, sendo que em 2007 cerca de 92% do que foi consumido de K foi proveniente de exportação (ECHER, 2008).

Esse nutriente não possui função estrutural e não participa da composição, porém atua como catalisador em diversas reações nas plantas (BIDWELL, 1974). É responsável na atuação da síntese e translocação de carboidratos, proteínas e adenosina trifosfato (ATP); participa da regulação osmótica, na abertura e fechamento dos estômatos, influencia diretamente na resistência da planta a pragas e doenças, e ainda atua na ativação de vários sistemas enzimáticos, muitos associados à fotossíntese e respiração (KELLER, 2010; KODUR et al., 2010; FAGAN et al., 2016; KARIMI, 2017).

Plantas em solos com quantidades adequadas de K tem maior eficiência no uso da água, contribuindo nas reações metabólicas e na orientação das folhas, absorvendo mais luz. Por participar da abertura e fechamento dos estômatos também implica na taxa de fotossíntese pois quando há déficit de K a abertura não ocorre regularmente, minimizando a entrada de CO_2 . Outras alterações que podem ocorrer com a deficiência de K é a diminuição do metabolismo da planta, aumentando o acúmulo de carboidratos solúveis e redução do nível de amido (K ativa amido sintetase) e acúmulo de compostos (N-solúvel). Também pode ser verificado danos na síntese proteica, sendo que o K provavelmente ativa a redutase do nitrato sendo necessário na síntese dessa enzima. A queda dessa síntese proteica resulta num aumento do acúmulo de putrescina, composto nitrogenado tóxico às plantas, que ocasiona um sintoma comum nas plantas deficientes de K que é a necrose das margens das folhas (PRADO, 2008).

2.2 O potássio no solo e sua disponibilidade às plantas

O potássio está presente no solo principalmente nas formas de K da solução, K trocável, K não trocável e K estrutural. O incremento de potássio para as plantas ocorre a partir da solução e da forma trocável que se caracteriza pelo cátion retido nas cargas dos colóides do solo. Essa forma se mantém em interação lenta com as formas de K não trocável e K estrutural dos minerais (SPARKS; HUANG, 1985).

Apesar da maioria dos solos conter milhares de quilos de potássio, geralmente cerca de 20 toneladas ha^{-1} ou mais, apenas uma pequena porcentagem está disponível para as plantas durante o período de desenvolvimento, provavelmente apenas 2 % (LOPES; 1998).

A disponibilidade do K e sua capacidade de suprimento dependem da presença de minerais primários e secundários que contém esse nutriente, da aplicação de fertilizantes e da capacidade de troca catiônica (CTC), além da contribuição da ciclagem dos nutrientes pelas plantas, no qual esses se caracterizam como os principais aspectos que contribuem para a movimentação e dinâmica do potássio no solo (ROSOLEM et al., 1988; REBELLATTO; 2013).

As formas do potássio no solo são afetadas por reações de equilíbrio químico que se movimentam em função do gradiente gerado pela diminuição da sua disponibilidade, principalmente para a forma trocável. Contudo, outras formas de K, incluindo K liberado pelo resto das culturas e o K não trocável podem migrar para a solução do solo, contribuindo para nutrição da planta. Com isso, para se manejar o potássio é necessário considerar sua disponibilidade e suas diferentes formas de K no solo às plantas e suas influência na dinâmica do K no perfil do solo (ROSOLEM et al., 1993; CALONEGO et al., 2005; KAMINSKI et al., 2007; GARCIA et al., 2008; REBELLATTO, 2013).

O potássio quando aplicado de forma insuficiente pode levar ao esgotamento das reservas dos mesmos (OBORN et al., 2005). Contudo, sua aplicação excessiva pode intensificar as perdas por lixiviação, mesmo em solos com alta capacidade de troca catiônica (ERNANI et al., 2007; ROSOLEM et al., 2010).

O cultivo de plantas com grande capacidade de extrair K e a adição de fertilizantes potássicos pode influir diretamente na relação entre as reservas de potássio no solo e sua disponibilidade, acarretando alterações dos minerais potássicos no solo (SIMONSSON et al., 2009).

Em solos arenosos, a exportação de produtos agrícolas e lixiviação de K contribuem na redução do teor do nutriente no solo, resultando em uma possível deficiência

(MENGEL; KIRKBY, 2001; RENGEL; DAMON, 2008).

A solução do solo desempenha um papel imprescindível na disponibilidade de K às plantas, pois proporciona a fonte imediata e o caminho para sua absorção pelas raízes das plantas. O potássio quando presente na solução do solo, está imediatamente disponível, embora seu teor seja relativamente baixo representando apenas 5% do total da demanda das culturas, ou somente 0,1 a 0,2% do K total do solo. Essa forma é rapidamente restabelecida pelo potássio trocável e também por parte da forma não trocável, embora essa última contribua lentamente na disponibilidade de potássio a planta. Assim, embora em pequenas quantidades no solo em relação ao K total, essas duas reservas são as principais contribuintes para o K absorvido pelas plantas (MCLEAN; WATSON, 1995; REBELLATTO, 2013).

2.3 Importância adubação potássica

O potássio é um cátion inorgânico muito presente nos tecidos vegetais, podendo estar presente em até 6% da matéria seca de forma livre. Ainda contribui na redução de incidência de doenças e pragas (PERRENOUD, 1990; PRABHU et al., 2007). O potássio também promove um aumento da atividade fotossintética que por consequência aumenta o tamanho da folha e permite um maior deslocamento de fotoassimilados para os grãos (CAKMAK, 2005).

Contudo, os solos brasileiros, no geral, apresentam carência de K. Um dos motivos é que a forma solúvel, utilizada pela planta, é facilmente lixiviada no perfil do solo. Isso, explica o contexto que uma rocha matriz rica não garante o suprimento abundante. Em solos originalmente sob Cerrado, ou a sujeitos a muita chuva, a carência do potássio é comum (KINPARA, 2003).

O potássio ainda possui grande impacto na qualidade da cultura, inclusive aumentando o peso de sementes e o número de sementes por espiga no milho, melhorando o teor de óleos e proteínas da soja, aumentando a quantidade de açúcar na cana e na beterraba, melhorando a resistência da fibra do algodão, e melhorando o estande e a longevidade das forrageiras (LOPES, 1998).

Assim, a produtividade das plantas está diretamente relacionada com a disponibilidade do nutriente no solo, pois, quando o solo possui alta capacidade de suprimento do nutriente e a demanda da planta por alta, a absorção da mesma também será alta. De outro lado, mesmo sendo alta a demanda da planta, se a capacidade do solo for baixa, a taxa de absorção também será baixa (BALDWIN et al., 1973; TINKER; NYE,

2000).

Em solos com maiores teores de argila geralmente a dose de K necessária para atingir o rendimento será maior, sendo que solos com maior poder tampão necessitam de adições maiores desse nutriente para atender a demanda da planta (WIETHOLTER, 2007). Tanto em solos que necessitam de altas ou baixas doses de K, a fonte mais empregada é o KCl (cerca de 96 %) (ANDA, 2008). Contudo, as doses de K₂O na semeadura requerem cuidados, pois o potássio quando em excesso provoca efeito negativo a germinação e até a arquitetura da raiz, devido seus efeitos salinos. Em regiões áridas esse efeito é mais proeminente, pois há uma maior concentração de sais na solução do solo que danificam os processos e estruturas da semente (CHUEIRI et al., 2004).

O potássio ainda requer grandes cuidados em relação a concentração de K na solução e o excesso de água, devido ser um nutriente com alta capacidade de lixiviação (MIELNICZUK, 2005), pois o enriquecimento da solução do solo pode resultar em uma aumento da lixiviação do K, com o aumento da disponibilidade de água, independente da textura do solo, necessitando de uma manejo adequado (WERLE et al., 2008).

2.4 Mobilidade e lixiviação do K no solo

O fluxo do K no solo ocorre pelo gradiente de concentração formado pela absorção pelas plantas que resulta nesse processo cinético de movimento físico do íon (BALDWIN; NYE; TINKER, 1973). Já no perfil do solo, o K depende do tipo de solo para sua mobilidade, e na maior parte dos casos ocorre limitações (WIETHOLTER, 2007).

A mobilidade dos íons no solo nas regiões fertilizadas pode influenciar na disponibilidade de nutrientes e as perdas por lixiviação (NEVES; ERNANI; SIMONETI, 2009). A mobilidade vertical no solo é influenciado pelo atributos presente em cada solo, como teor de água, tamanho e distribuição dos poros, quantidade de água que percola no perfil, que implica na intensidade das chuvas e a capacidade de retenção de água pelo solo (BASSOI; CARVALHO, 1992; BUSTOS et al., 1996; KELLY; GREEN; SELKER, 1997; DIEROLF; ARYA; YOST, 1997) e também pela concentração iônica da solução do solo, o pH, CTC, reações de dissolução/precipitação, as trocas iônicas entre os nutriente que estão na solução com aqueles da fase sólida durante a percolação e o poder tampão de cada nutriente (SANZONOWICZ; MIELNICZUK, 1985; NIELSEN; TH. VAN GENUCHTEN; BIGGAR, 1986; CHAVES; LIBARDI, 1995; AKINREMI; CHO, 1991; ERNANI; BARBER, 1993; BUSTOS et al., 1996; ERNANI; DIAS; FLORE, 2002; OLIVEIRA; ROSOLEM; TRIGUEIRO, 2004; NEVES; ERNANI; SIMONETI, 2009).

O nitrogênio (N) é um bom exemplo de nutriente com alta mobilidade no solo, isso resulta num volume de solo explorado pelas raízes em um menor tempo, porém há grandes perdas por lixiviação (AULAKH et al., 2000; ERNANI; SANGOI; RAMPAZZO, 2002; SANGOI et al., 2003). O fósforo (P) é um exemplo de baixa mobilidade, o que implica numa lixiviação muito baixa, porém quando são aplicados superficialmente, não conseguem descer e alcançar a região de maior concentração das raízes (SOPRANO; ALVAREZ, 1989; ERNANI; STECKLING; BAYER, 2001; SAARIJARVI et al., 2004). O potássio se encontra no meio termo, não se movimentando numa taxa superior à de N, porém muito inferior à do P (ERNANI et al., 2007).

A lixiviação do potássio consiste no movimento vertical dos íons no perfil do solo para profundidades abaixo daquelas exploradas pelas raízes. Tal processo é um fenômeno importante em solos com baixa CTC, especialmente em áreas com alto índice de precipitações. Assim, recomenda-se que fertilizantes potássicos deverão ser aplicados em duas ou mais vezes durante o ciclo das culturas como é realizado para o N, a fim de diminuir tal fenômeno e garantir a eficiência da adubação. Quando a precipitação pluvial anual ocorre bem distribuída e em solos com média a alta CTC Efetiva, a lixiviação se apresenta como um grande problema (ERNANI; ALMEIDA; SANTOS, 2007).

A lixiviação do potássio pode aumentar consideravelmente com a adição de outros fertilizantes, tendo como consequência o deslocamento do K das cargas negativas pelos cátions adicionados e diminui com a elevação do pH, com a disponibilização de cargas negativas (ERNANI; BARBER, 1993; ERNANI et al., 2003; ERNANI et al., 2004; MANTOVANI, 2005).

Existem diversos relatos sobre a movimentação, lixiviação e dinâmica do K no solo. A percolação do K em solos paulistas e catarinenses foi maior em solos que não houve aplicação de calcário, ocasionado pela menor retenção eletrostática do nutriente nos menores valores de pH, decorrente da menor capacidade de troca de cátions (CHAVES; LIBARDI, 1995; ERNANI et al., 2003). Em Latossolo Vermelho Distroférico uma chuva de 50mm pode não ser suficiente para deslocar o nutriente em profundidades abaixo de 8 cm (ROSOLEM et al., 2006). Em Cambissolo Húmico e Nitossolo Vermelho, o nutriente atinge grandes profundidades sem perdas altas por lixiviação (ERNANI et al., 2007).

Werle, Garcia e Rosolem (2008) observaram a dinâmica do K em função do teor de argila e do nutriente no solo e perceberam que a adubação potássica aumenta a quantidade de K percoladas. Neves, Ernani e Simonete (2009) avaliaram o gradiente de concentração de K em cinco tipos de solo, com diferentes doses de KCl e determinaram que a

movimentação vertical do íon se dá de forma rápida.

A perda por lixiviação no geral depende das condições de água, da dose do elemento aplicado, textura do solo e CTC, mostrando a importância da escolha da fonte e do manejo a ser aplicado no solo (ROSOLEM et al., 2006). Garcia et al. (2015) verificaram que o processo de lixiviação de potássio foi menor quando se utilizou fertilizante organomineral como fonte de K, comparado ao fertilizante mineral, especialmente para aplicação em altas doses.

Assim, verificar a mobilidade dos nutrientes em diferentes tipos de solo e textura, é uma prática necessária e imprescindível para evitar e reconhecer o potencial de lixiviação, a fim de manejar as doses e as fontes utilizadas.

2.5 Fontes minerais e organominerais potássicas

Os solos brasileiros apresentam baixos teores de K, muitas vezes insuficientes. Isso leva ao progressivo aumento de fertilizantes potássicos nos últimos anos (NACHTIGALL; RAIJ, 2005). O K se tornou no Brasil o principal macronutriente consumido desde começo dos anos 90 (OLIVEIRA et al., 2005), sendo as principais fontes no mercado o cloreto de potássio (KCl) e o sulfato de potássio (K_2SO_4) (CQFS-RS/SC, 2004).

Existem em legislação uma garantia mínima de K_2O presentes na solução de fertilizante, sendo 50% para o KCl e 48% para o K_2SO_4 (BRASIL, 2018). A maior proporção do KCl dispõe maior densidade econômica por tonelada, segurando menores custos no transporte e manuseio por unidade de K_2O equivalente (KINPARA, 2003).

O K, na forma de KCl, possui alta mobilidade química e física por movimentação em solução e por erosão (BERTOL et al., 2007), sendo ainda mais afetada em solos arenosos e de textura média (ROSOLEM; CALONEGO; FOLONI, 2005).

A grande dependência de importação tem causado efeito considerável na balança comercial brasileira (TEIXEIRA, 2013). Associado aos solos brasileiros serem ácidos e pobres nutricionalmente, e receberem quantidades menores de fertilizantes do que o recomendado (OLIVEIRA et al., 2005), uma solução que tem surgido é a utilização de resíduos orgânicos (TEIXEIRA, 2013).

Para fertilizantes organominerais, a legislação diz que é um produto resultante da mistura física ou combinação de fertilizantes minerais e orgânicos, e precisa apresentar garantia mínima de 8% de carbono orgânico, 30% de umidade máxima, 80 mmol.kg⁻¹ de CTC e macronutrientes primários (10%), secundários (5%) e micronutrientes (4%)

(BRASIL, 2009).

A aplicação de fertilizante organomineral ao solo é realizada nos dias de hoje de duas maneiras: com um formulado organomineral ou uma mistura de fertilizante mineral com orgânico (TEJADA; BENITEZ; GONZALEZ, 2005). O incremento de fertilizantes minerais aos resíduos orgânicos diminui o impacto ambiental da atividade agrícola, aumenta a fertilidade do solo e reduz o uso de fertilizantes minerais, gerando vários ganhos ao produtor (TEIXEIRA, 2013).

3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em condições controladas, no Instituto de Ciências Agrárias, na Universidade Federal de Uberlândia, em Uberlândia, MG, situado nas coordenadas 18° 55' 8" de latitude S; 48° 16' 37" de longitude W, com altitude média de 863 m, no ano de 2018. Utilizou-se porções de solo, classificado como Latossolo Vermelho distrófico (LVd) e Neossolo Quartzarênico órtico típico (RQo) (EMBRAPA, 2013).

A coleta do solo foi realizada no município de Uberlândia, localizado na região do Triângulo Mineiro, em amostragem simples, sendo o local para a coleta do solo arenoso a Fazenda Experimental do Glória, e para o solo argiloso a região do Pau Furado, coletado na profundidade de 0–40 cm. Após as coletas, foram levadas ao Laboratório de Análise de Solos – LABAS da Universidade Federal de Uberlândia – UFU, onde foram secas ao ar, destorroadas, passadas em peneira, homogeneizadas e analisadas quimicamente e fisicamente.

Tabela 1. Caracterização química dos solos utilizados no estudo.

Solo	pH	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	CTC	V	M.O.
		mg dm ³			cmol _c dm ⁻³				%	
LVd	5,3	0,3	0,07	1,8	0,3	0,1	1,6	3,77	58	0,7
RQo	4,6	1,2	0,06	0,1	0,1	0,5	2,2	2,46	11	1,1

pH (H₂O); P e K = (HCl 0,05 mol L⁻¹ + H₂SO₄ 0,0125 mol L⁻¹); Ca, Mg e Al = (KCl 1 mol L⁻¹); H+Al = acidez potencial (solução tampão SMP a pH 7,5); CTC = a pH 7,0; V = saturação por bases; M.O. = método colorimétrico.

Tabela 2. Caracterização física dos solos utilizados no estudo.

Solo	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila
	g kg ⁻¹			
LVd	297	250	54	400
RQo	600	222	68	110

Análise textural pelo Método da Pipeta (EMBRAPA, 1999).

O experimento foi conduzido de janeiro a junho de 2018 em ambiente controlado no Laboratório de Análise de Solos – LABAS da Universidade Federal de Uberlândia – UFU. O experimento foi realizado com colunas de 30 cm, e amostras de solo das profundidades de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20 e 20 a 30 cm. O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado com três tratamentos e cinco repetições para os dois solos, totalizando 30 unidades experimentais. Os tratamentos constaram de três fontes

(organomineral, mineral e testemunha), e dois tipos de solo (Latosolo Vermelho distrófico e Neossolo Quartzarênico órtico típico).

Para a montagem das colunas foram utilizados canos de PVC com aproximadamente 71,5 mm de diâmetro e 10 cm de altura. Os anéis foram unidos com fita adesiva, e ao fundo das colunas foram vedadas com material impermeável. O solo foi colocado nos canos manualmente, à densidade de $1,2 \text{ g cm}^{-3}$ para o solo argiloso e de $1,5 \text{ g cm}^{-3}$ para o solo arenoso, correspondente à do solo no campo, sendo acomodada nas colunas, após fez-se irrigações sequenciais em colunas de teste para determinar a capacidade de campo até que não houvesse redução de volume da terra dentro das colunas. Ambos fertilizantes foram colocados em saquinhos com tecido permeável, que atuava também no impacto da gota, e assim distribuía a água destilada sobre a superfície da coluna, evitando caminhos preferenciais ao longo da percolação.

Após a montagem das colunas, estas foram colocadas sobre uma estrutura de ripas de madeira com grades, onde foram distribuídas as colunas, e abaixo das colunas continham funis onde auxiliavam que o lixiviado chegasse até os potes de coleta. Acima das colunas foi montada uma estrutura que permitisse o gotejamento da água destilada sobre as colunas de solo, com garrafas pets e adaptando as tampas das garrafas para colocar equipo de soro, que permite controlar a vazão.

A quantidade de água destilada em cada recipiente variou de acordo com o tipo de solo, com base no volume de poro de cada um, que foi definida por colunas testes, sendo para o solo arenoso era aplicado 490 ml e para o solo argiloso 535 ml, a água era colocada com intervalo de um dia e o lixiviado retirado no dia seguinte da aplicação da água, totalizando dez percolações em cada coluna nesse estudo.

Após a captação do lixiviado, todas as amostras foram congeladas, em seguida foi feita a leitura do lixiviado no espectrofotômetro de chama, para determinar a quantidade de potássio nas amostras do lixiviado.

Depois desse período, as colunas foram desmontadas, os saquinhos de fertilizantes foram separados, e as porções de solo foram coletadas nas camadas de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20 e 20 a 30 cm de profundidade. Em seguida, o solo foi secado em estufa de circulação de ar a 45°C por dois dias, em seguida foi passado em peneira com 2 mm de malha.

O potássio trocável das amostras de solo foi determinado pelo método da resina trocadora de íons (RAIJ et al., 2001) e Mehlich⁻¹ ($\text{HCl} + \text{H}_2\text{SO}_4$); o potássio não trocável das amostras foi extraído com HNO_3 1,0 a quente (KNUDSEN et al., 1982) e o potássio total foi extraído por digestão com ácido fluorídrico.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com os resultados podemos observar que a percolação do potássio (K) variou de acordo com o solo. A quantidade de K nas soluções percoladas dos tratamentos que receberam o nutriente foi maior no solo arenoso do que no argiloso. Em relação ao solo arenoso podemos observar as maiores perdas nas primeiras percolações, independente da fonte de K utilizada. Os picos máximos de lixiviação ocorreram entre o segundo e o quarto volumes de poros (figura 1).

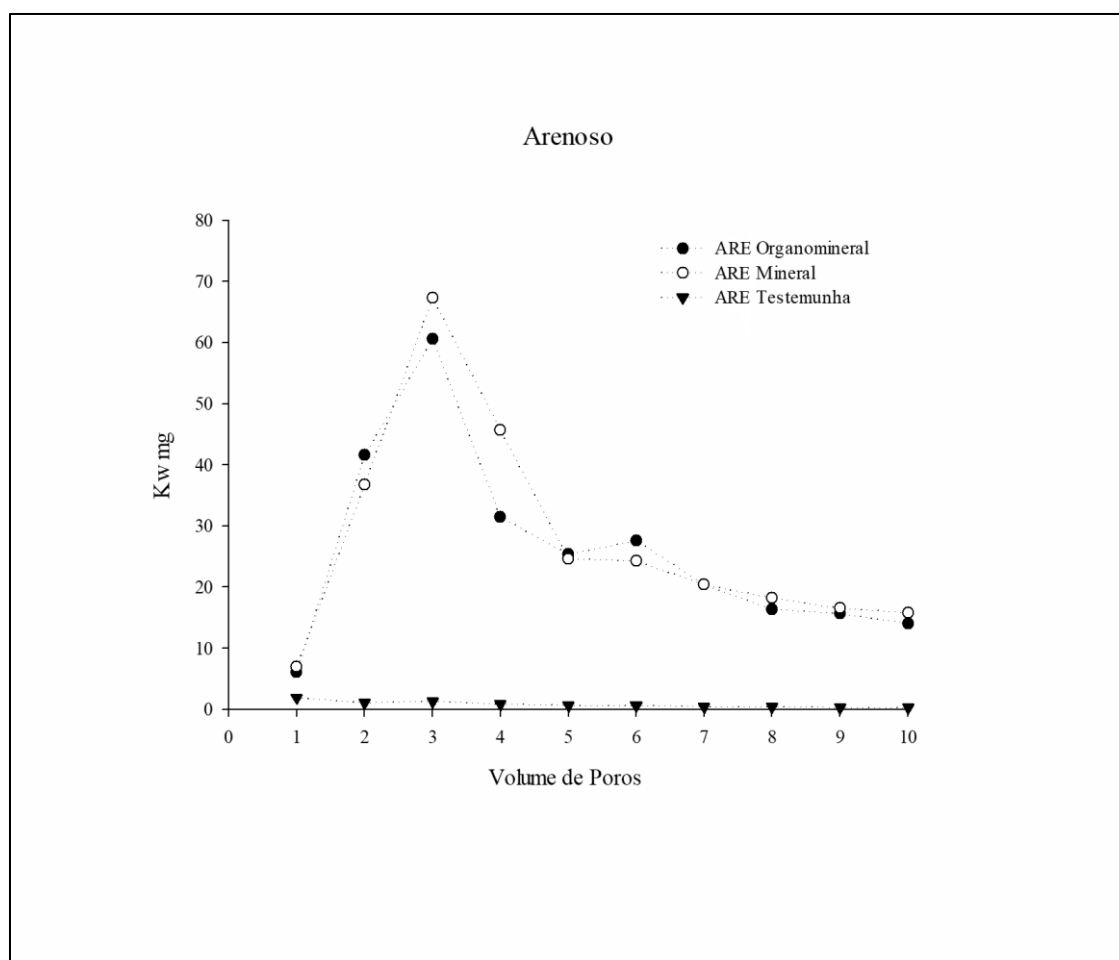


Figura 1. Comportamento da lixiviação de potássio em solo arenoso.

Já no solo argiloso podemos observar-se que as maiores perdas ocorreram entre a segundo e quarto volume de poro, sendo dependente da fonte de K utilizada. Para o fertilizante mineral verificou-se que a máxima lixiviação ocorreu no quarto volume de poro, o que resultou em uma perda de aproximadamente 32 mg L⁻¹. Já o fertilizante organomineral obteve sua máxima lixiviação no terceiro volume de poro, no que resultou em uma perda de aproximadamente 23 mg L⁻¹. Ainda, se observa que o solo argiloso

apresenta uma intensidade de lixiviação menor que o solo arenoso (figura 2).

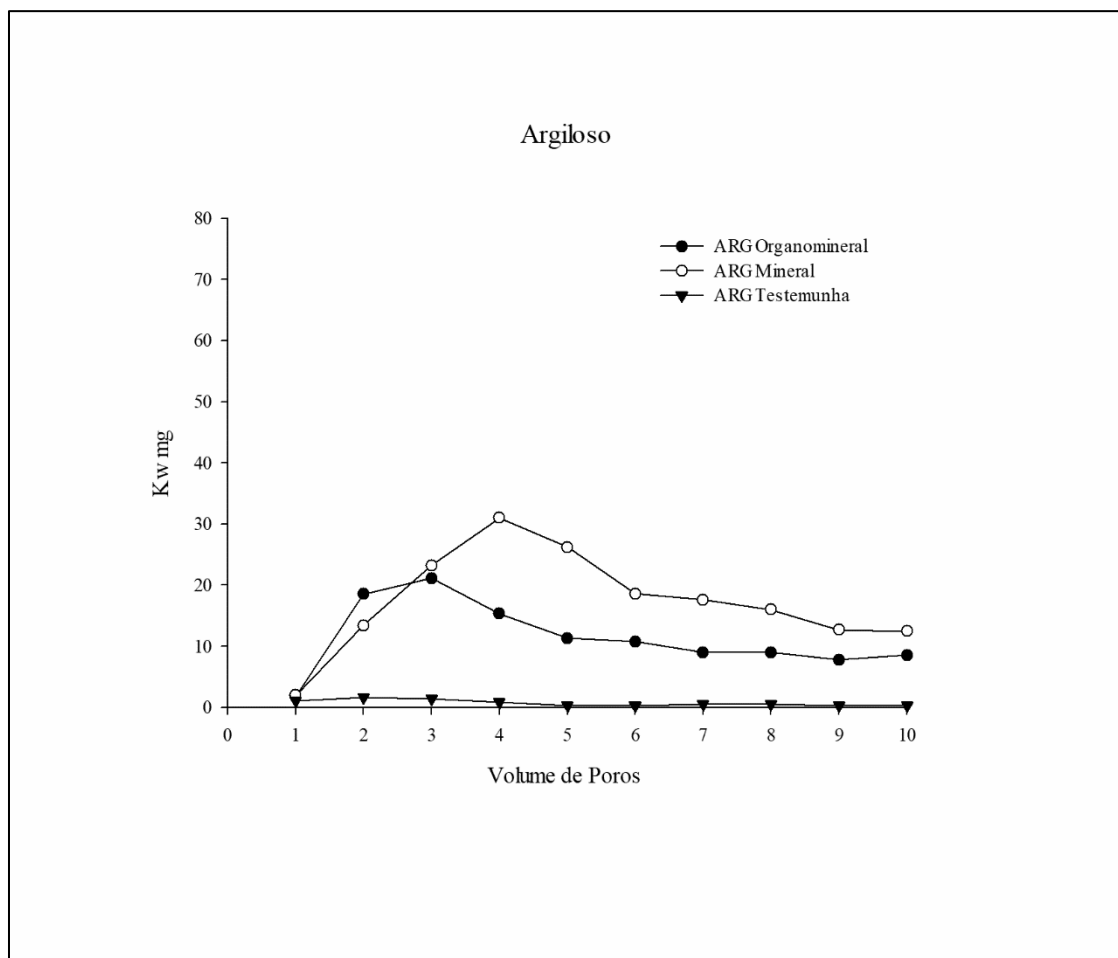


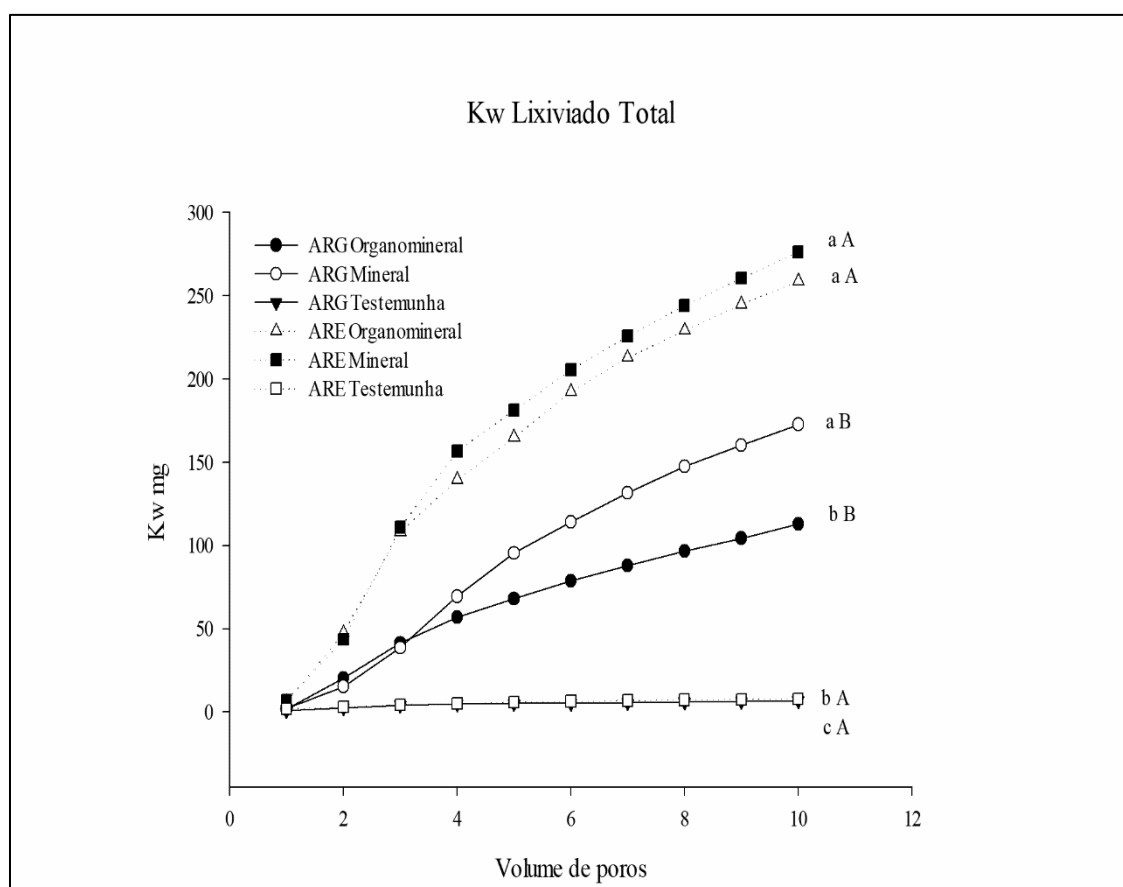
Figura 2. Comportamento da lixiviação de potássio em solo argiloso.

Werle et al. (2008) avaliando a dinâmica do K no perfil do solo em função do teor de argila e do teor do nutriente, verificou-se que quando se empregou as dose de 120 a 180 kg ha⁻¹ de K₂O, o solo mais arenoso resultou em maior intensidade de lixiviação até a quarta aplicação de água, evidenciando á rápida lavagem do nutriente, mesmo em menores quantidades, no solo com menor teor de argila. Já no solo argiloso, essa intensidade de lixiviação tende a ser mais constante, ou seja, apesar das maiores quantidades de K percolado com o passar das aplicações de água, esse tipo de solo inicialmente teve a capacidade de reter maiores quantidades de K, mesmo apresentando teores iniciais superiores.

A adsorção do potássio depende principalmente da natureza da superfície de troca, ou seja, tipo de argila e matéria orgânica, sendo possível explicar o retardamento da lixiviação de K no Latossolo, proporcionado pelo alto teor de argila (NEVES et al., 2009).

Em relação a quantidade de K lixiviado total verificou-se uma variação de acordo

com o solo estudado, independente da fonte utilizada. Para o solo arenoso as perdas acumuladas após 10 percolações de água nos tratamentos com fertilizante organomineral e mineral, foram de 259 mg L⁻¹ e 276 mg L⁻¹, respectivamente, com uma média de 26 mg L⁻¹ e 28 mg L⁻¹ de K lixiviado por percolação. Já no solo argiloso também não houve diferença estatística significativa entre os tratamentos, onde resultou após 10 percolações com água a quantidade acumulada de 113 mg L⁻¹ e 172 mg L⁻¹, para os tratamentos com fertilizante organomineral e mineral, respectivamente (figura 3).



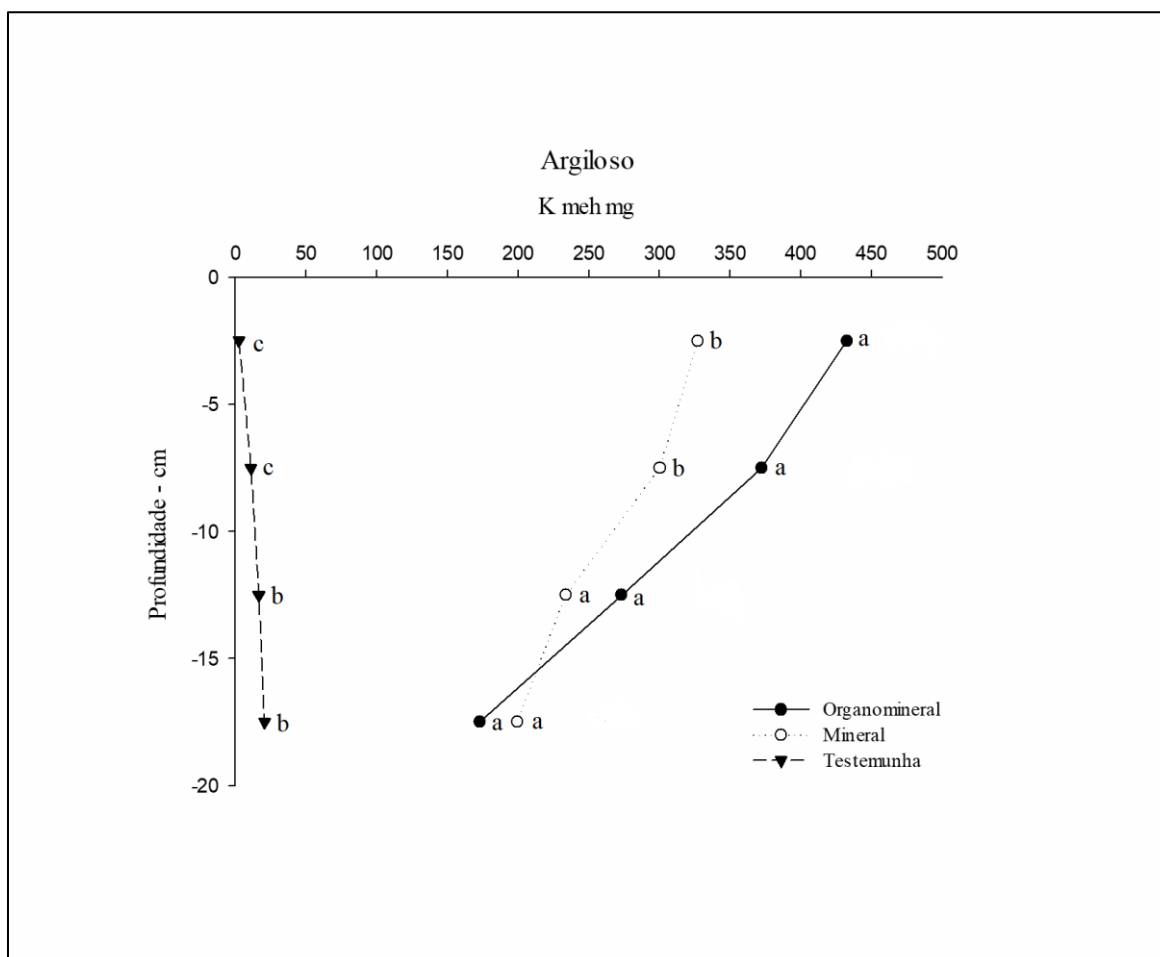
* Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade, letras minúsculas comparam tratamentos dentro de solos e maiúsculas comparam solos de dentro de cada tratamento.

Figura 3. Potássio Lixiviado acumulado.

Considerando-se que a solução que se movimenta verticalmente no solo é uma mistura entre a solução de solo e a água adicionada, a quantidade de K lixiviada é proporcional à concentração inicial do nutriente na solução no solo (Ernani et al., 2003).

Segundo Mielniczuk (1982), para uma mesma quantidade de potássio total, haverá menos potássio (K) na solução, em solos com alta capacidade de troca catiônica (solos argilosos), o que refletirá em menores perdas de potássio por lixiviação, já que este nutriente se movimenta, com facilidade, verticalmente.

O potássio apresentou boa mobilidade vertical, não apresentando diferença estatística entre fontes de fertilizantes empregadas, quando extraído com Mehlich⁻¹ em solo argiloso. Os valores de K extraíveis no tratamento onde não se aplicou nenhum fertilizante (testemunha), permaneceram uniformes ao longo de toda a profundidade da coluna numa média de 12,5 mg kg⁻¹. A adição de 10.000 mg kg⁻¹ de fertilizante organomineral e 10.000 mg kg⁻¹ de fertilizante mineral na superfície do solo, aprofundou o K até a camada de 15 a 20 cm, cujos valores médios nessa profundidade foram 173 mg kg⁻¹ e 199 mg kg⁻¹, respectivamente. Apesar da boa mobilidade vertical, o K aplicado se concentrou principalmente na superfície do solo, no qual após as 10 percolações, os valores médios de K na superfície foram de 432 mg kg⁻¹ e 327 mg kg⁻¹, respectivamente nos tratamentos com fertilizante organomineral e mineral (figura 4).

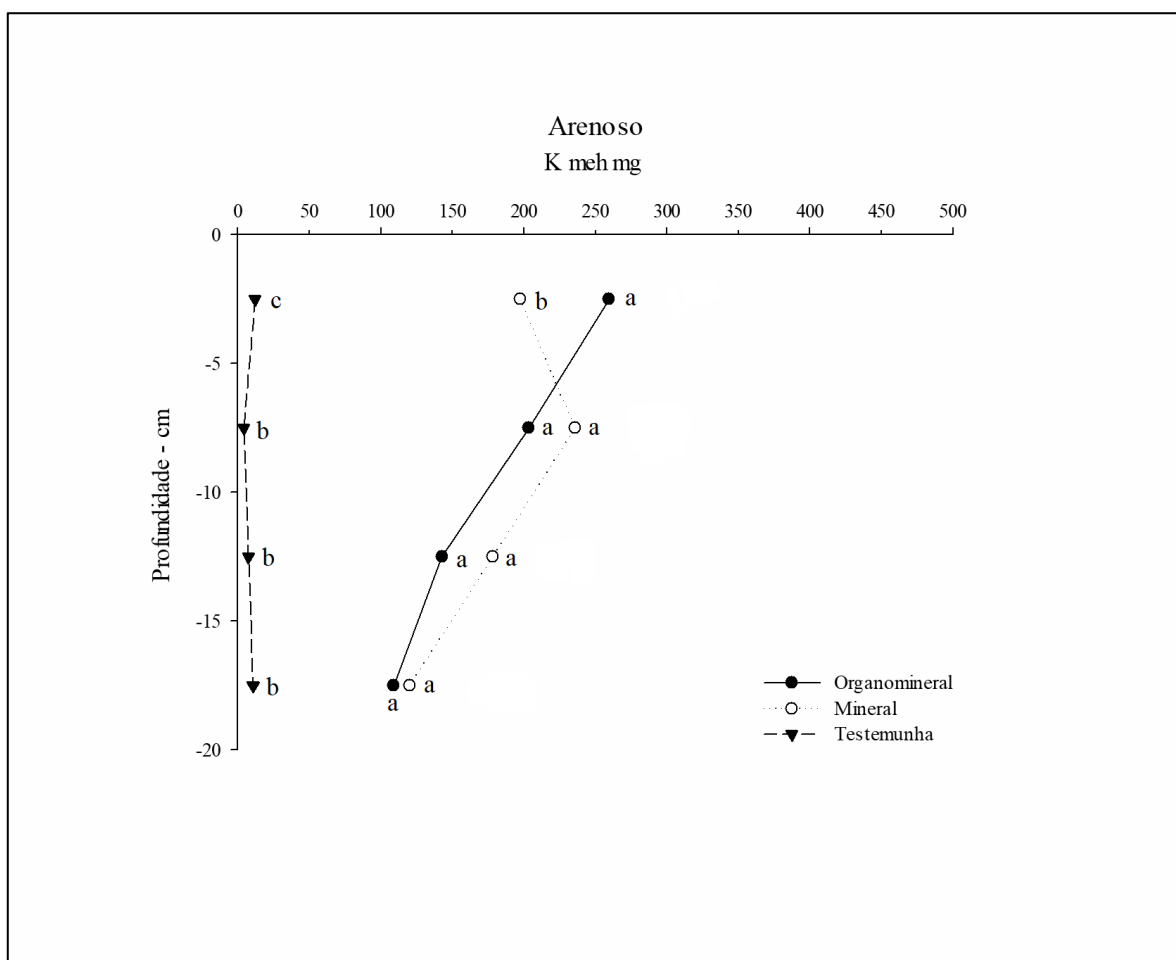


* Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade, letras minúsculas comparam tratamentos dentro de solos.

Figura 4. K do solo das colunas extraído com Mehlich⁻¹ em solo argiloso.

No solo arenoso não foi verificado efeito significativo para o teor de K extraído com solução de Mehlich⁻¹, em função dos fertilizantes empregados. No tratamento onde não se

aplicou nenhuma fonte de potássio, verificou-se que os valores de K permaneceram estáveis ao longo de toda a profundidade, resultando numa média de $8,5 \text{ mg kg}^{-1}$. Com o emprego da dose de $10.000 \text{ mg kg}^{-1}$ do fertilizante organomineral e $10.000 \text{ mg kg}^{-1}$ do fertilizante mineral, na superfície do solo, observou-se que o K se aprofundou até a camada de 10 a 20 cm, obtendo valores médios nestas profundidades de $178,5 \text{ mg kg}^{-1}$ e 183 mg kg^{-1} , respectivamente. O K se concentrou principalmente na superfície do solo, resultando em valores médios de 259 mg kg^{-1} e 197 mg kg^{-1} , respectivamente nos tratamentos em que foi empregado o fertilizante organomineral e mineral, após 10 percolações (figura 5).

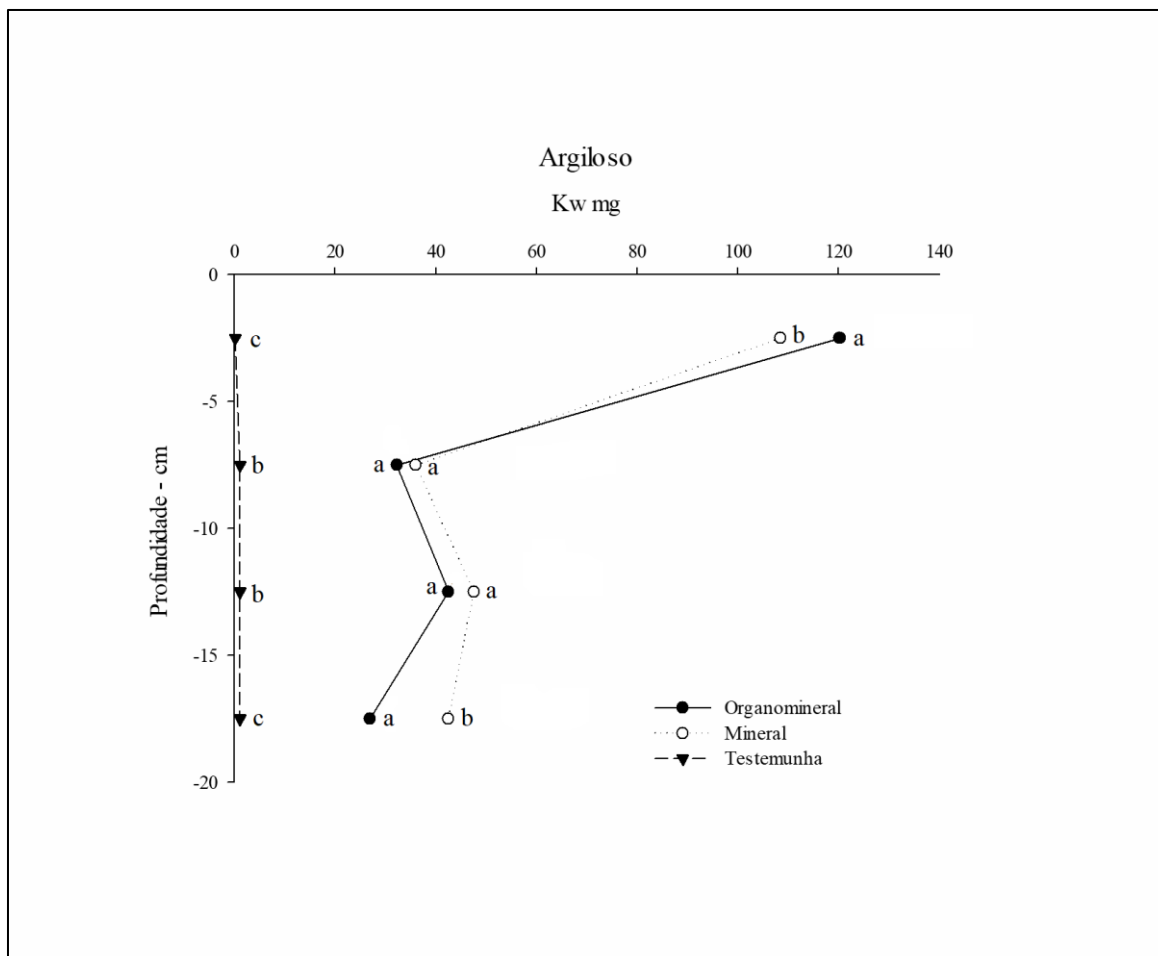


* Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade, letras minúsculas comparam tratamentos dentro de solos.

Figura 5. K do solo das colunas extraído com Mehlich⁻¹ em solo arenoso.

Já quando se utilizou o método de extração a base de água, verificou-se que o K percolou rapidamente da superfície do solo até a camada de 5 a 10 cm, nos dois solos estudados. No solo argiloso não se observou diferença significativa entre os tratamentos. O K se aprofundou até a camada de 15 a 20 cm, obtendo valores médios de 55 mg kg^{-1} e $58,5 \text{ mg kg}^{-1}$, quando se empregou o fertilizante organomineral e mineral, respectivamente. Na

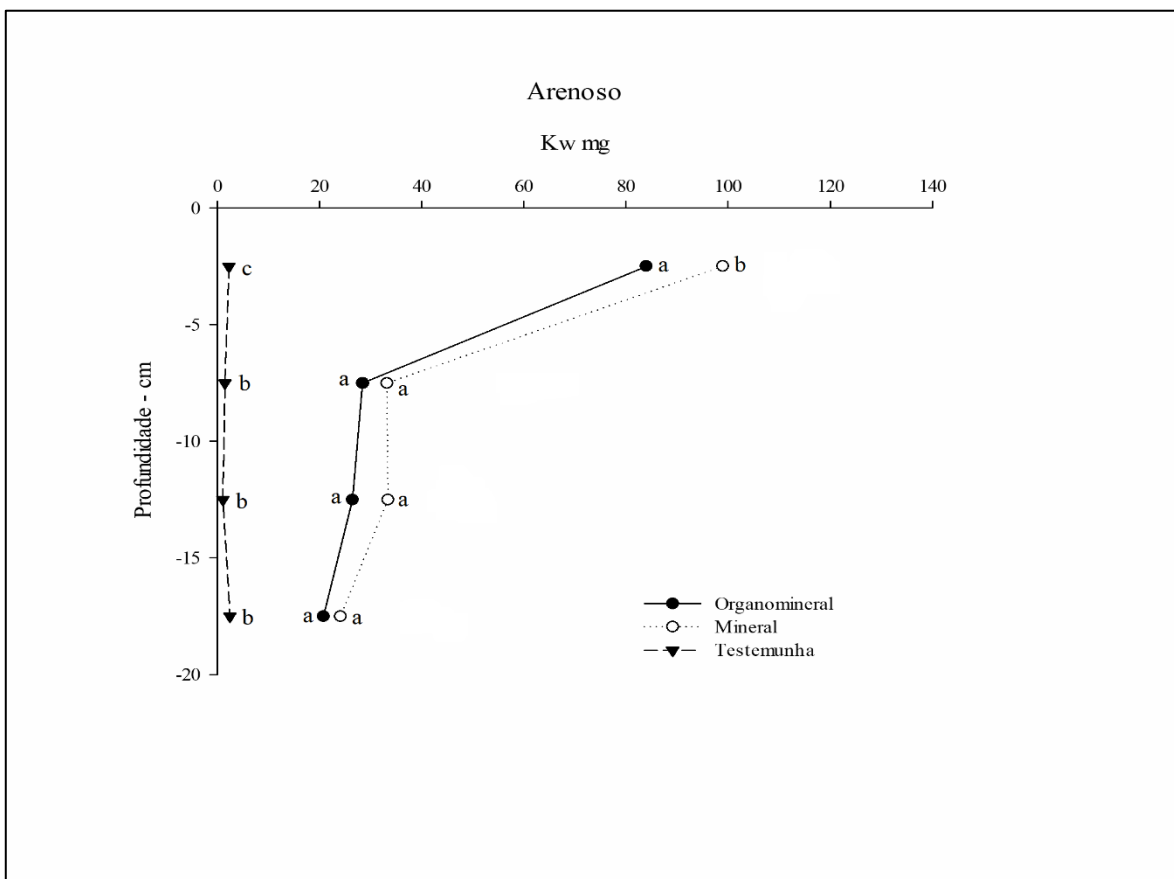
camada mais superficial (0-5 cm) os valores médios para os tratamentos com fertilizante organomineral e mineral, foi de 120 mg kg⁻¹ e 108 mg kg⁻¹, respectivamente (figura 6).



* Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade, letras minúsculas comparam tratamentos dentro de solos.

Figura 6. K do solo das colunas extraído com água em solo argiloso.

No solo arenoso, o K extraído com água alcançou a profundidade de 15 a 20 cm, resultando em valores médios de 40 mg kg⁻¹ e 47,5 mg kg⁻¹, quando se utilizou a dose de 10.000 mg kg⁻¹ e 10.000 mg kg⁻¹ de fertilizante organomineral e mineral, respectivamente. Na camada de 0 a 5 cm, observou-se as maiores concentrações de K, resultando em 84 mg kg⁻¹ quando se utilizou o fertilizante organomineral e 99 mg kg⁻¹ quando se utilizou o mineral (figura 7).



* Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade, letras minúsculas comparam tratamentos dentro de solos.

Figura 7. K do solo das colunas extraído com água em solo arenoso.

A elevação dos valores de K trocável com o aumento da profundidade do solo se deve ao aumento da concentração do nutriente na solução do solo, decorrente da adição do fertilizante potássico. À medida que a solução mais concentrada em K vai se deslocando descendentemente no solo, estabelecem-se novos equilíbrios entre os cátions, e parte do K na solução percolante passa a ocupar algumas das cargas elétricas negativas dos constituintes sólidos do solo, deslocando delas os cátions que as estavam neutralizando (ERNANI; BARBER, 1993).

Inúmeros trabalhos têm mostrado a ocorrência de gradiente de concentração decrescente com o aumento da profundidade do solo após a adição de nutrientes de baixa e média mobilidade sobre a sua superfície (ERNANI ET AL., 2002; CIOTTA Et al., 2002).

Além disso, as duas fontes de fertilizantes tiveram comportamentos bastante similares no decorrer do experimento, demonstrando que o tipo de fertilizante pouco influencia na retenção do nutriente em cada um dos solos. Dessa forma, o componente orgânico no fertilizante organomineral não exerceu a função esperada de aumentar a retenção de potássio (MENDONÇA et al., 2017).

5 CONCLUSÃO

O tipo de solo exerce grande influência, pois afeta a capacidade de reter e disponibilizar nutrientes.

Solos arenosos possuem um maior poder de lixiviação de K do que solos argilosos.

As fontes de fertilizantes tiveram comportamento distinto, independente do solo utilizado.

O fertilizante organomineral teve uma liberação mais lenta, quando comparado com o fertilizante mineral.

6 REFERÊNCIAS

- AKINREMI, O. O.; CHO, C. M. Phosphate transport in calcium-saturated systems: II. Experimental results in a model system. **Soil Science Society of America Journal**, v. 55, n. 5, p. 1282-1287, 1991.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS - ANDA. **Anuário Estatístico do Setor de Fertilizantes**. São Paulo, 2008.
- AULAKH, M.S.; KHERA, T.S.; DORAN, J.W.; SINGH, K. & SINGH, B. Yields and nitrogen dynamics in a rice-wheat system using green manure and inorganic fertilizer. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 64:1867-1876, 2000.
- BALDWIN, J. P.; NYE, P. H.; TINKER, P. B. Uptake of solutes by multiple root systems from soil. III. A model for calculating the solute uptake by a randomly dispersed root system developing in a finite volume of soil. **Plant Soil**, v.38, p.621-635, 1973.
- BASSOI, L. H.; CARVALHO, A. M. D. Lixiviação de macronutrientes em um solo cultivado com milho com e sem irrigação suplementar. **Revista brasileira de ciência do solo**, v. 16, n. 3, p. 283-287, 1992.
- 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**, v. 31, n. 1, p. 133-142, 2007.
- BIDWELL, R. G. S. **Plant physiology Macmillan Publishing Co** New York. 1974.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Instrução Normativa nº 25 de 23 de julho de 2009. Fertilizantes orgânicos. Diário Oficial da União, Brasília 28 de julho de 2009, p. 21. Disponível em: <<http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=recuperarTextoAtoTematicaPortal&codigoTematica=1229186>>. Acesso em: 10 nov. 2019.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Instrução Normativa nº 39 de 8 de agosto de 2018. Fertilizantes minerais. Diário Oficial da União, Brasília 10 de agosto de 2018, p. 49. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/in-39-2018-fert-minerais-versao-publicada-dou-10-8-2018.pdf>>. Acesso em: 10 nov. 2019.
- BUSTOS, A.; ROMAN, R.; CABALLERO, R.; DÍEZ, J.A.; CARTAGENA, M.C.; VALLEJO, A. & CABALLERO, A. Water and solute movement under conventional corn in central Spain. II. Salt leaching. **Soil Science Society of America Journal**, 60:1536-1540, 1996.
- CAKMAK, I. The role of potassium in alleviating detrimental effects of abiotic stresses in plants. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v.168, p.521-530, 2005.
- CALONEGO, J.; FOLONI, J. S. S.; ROSOLEM, C. A. Potassium leaching from plant cover straw at different senescence stages after chemical desiccation. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.99-108, 2005.

CHAVES, L.H.G. & LIBARDI, P.L. Lixiviação de potássio e cálcio mais magnésio influenciada pelo pH. **Revista brasileira de ciência do solo**, v. 19, p. 145-148, 1995

CHUEIRI, A. W; CARDOSO JÚNIOR, O.; REIS JÚNIOR, R. A.; **Técnicas de adubação: manejo do potássio na adubação de semeadura**. 2004.

CIOTTA, M.N.; BAYER, C.; ERNANI, P.R.; FONTOURA, S.M.V. & ALBUQUERQUE, J.A. Acidificação de um Latossolo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 26:1055-1064, 2002.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO, CQFS-RS/SC. Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 2004.

DIEROLF, T. S.; ARYA, L. M.; YOST, R. S. Water and cation movement in an Indonesian Ultisol. **Agronomy journal**, v. 89, n. 4, p. 572-579, 1997.

ECHER, F. R. Fontes de potássio na adubação de cobertura do algodoeiro produtividade, diagnose foliar, qualidade de fibras e análise econômica. 2008.

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., eds. **Fertilidade do Solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. p. 551-594, 2007.

ERNANI, P. R.; BAYER, C.; ALMEIDA, J. A. D.; 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**. Campinas. Vol. 31, n. 2 (mar./abr. 2007), p. 393-402, 2007.

ERNANI, P. R.; BARBER, S. A. Composição de solução do solo e lixiviação de cátions afetadas pela aplicação de cloreto e sulfato de cálcio em um solo ácido. **Revista brasileira de ciência do solo**, v. 17, n. 1, p. 41-46, 1993.

ERNANI, P. R.; BAYER, C.; RIBEIRO, M. F. S. Chemical modifications caused by liming below the limed layer in a predominantly variable charge acid soil. **Comm. Soil Sci. Plant Anal.**, 35:889-901, 2004.

ERNANI, P. R.; STECKLING, C.; BAYER, C. Características químicas de solo e rendimento de massa seca de milho em função do método de aplicação de fosfatos, em dois níveis de acidez. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 4, p. 939-946, 2001.

ERNANI, P.R.; DIAS, J.; FLORE, J.A. Annual additions of potassium to the soil increased apple yield in Brazil. **Communications in soil science and plant analysis**, v. 33, n. 7-8, p. 1291-1304, 2002.

ERNANI, P.R.; MANTOVANI, A.; SCHEIDT, F.R. & NESI, C. Mobilidade de nutrientes em solos ácidos decorrentes da aplicação de cloreto de potássio e calcário. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO**, 29., Ribeirão Preto, 2003. Resumos expandidos. Ribeirão Preto, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. CD-ROM.

2003.

ERNANI, P.R.; SANGOI, L.; RAMPAZZO, C. Lixiviação e imobilização de nitrogênio num Nitossolo em função da forma de aplicação da uréia e da palha de aveia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 26:993-1000, 2002.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. Brasília, 353p., 2013.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**, Brasília, Embrapa Produção de Informação, Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 412p., 1999.

FAGAN, E. B., ONO, E. O., RODRIGUES, J. D., SOARES, L. S., & DOURADO NETO, D. Fisiologia vegetal: metabolismo e nutrição mineral. 2016.

GARCIA, J. C.; BONETI, J. E. B.; AZANIA, C. A. M.; BELUCI, L. R.; VITORINO, R. Fontes de adubação potássica na lixiviação de potássio em Neossolo Quartzarênico. **Revista Eletrônica Thesis**, São Paulo, ano 12, n. 24, p. 76-89, 2015.

GARCIA, R. A.; CRUSCIOL, C. A. C.; CALONEGO, J. C. ROSOLEM, C. A. Potassium cycling in a corn-brachiaria cropping system. **European Journal of Agronomy**, v.28, p.579-585, 2008.

KAMINSKI, J.; BRUNETTO, G.; MOTERLE, D. F.; RHEINHEIMER, D. S. Depleção de formas de potássio do solo afetada por cultivos sucessivos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.1003-1010, 2007.

KARIMI, R. Potassium-induced freezing tolerance is associated with endogenous abscisic acid, polyamines and soluble sugars changes in grapevine. **Scientia Horticulturae**, v. 215, p. 184-194, 2017.

KELLER, M. **The science of grapevines: anatomy and physiology**. Burlington: Academic Press, 2010. 400 p. In: WATANABE, C. Y. Fontes e doses de potássio na videira cv. Niagara Rosada enxertada em dois porta-enxertos. 2018.

KELLY, S. F.; GREEN, J. L.; SELKER, J. S. Fertilizer diffusion in container medium. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 122, n. 1, p. 122-128, 1997.

KINPARA, D. I. **A importância estratégica do potássio para o Brasil**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 27p. 2003.

KNUDSEN, D.; PETERSON, G. A.; PRATT, P. F. **Lithium, sodium and potassium**. In: A. L. Page et al., eds. Methods of soil analysis, Part 2. American Society of Agronomy, Madison. WI. p.225 – 245, 1982.

KODUR, S.; TISDALL, J. M.; TANG, C.; WALKER, R. R. Accumulation of potassium in grapevine rootstocks (Vitis) as affected by dry matter partitioning, root traits and

transpiration. **Australian Journal of Grape and Wine Research**, v. 16, n. 2, p. 273-282, 2010.

LOPES, A. S. **Manual internacional de fertilidade do solo**. Piracicaba: Potafos, p. 79-85, 1998.

MANTOVANI, A. **Lixiviação de nitrogênio num Nitossolo Vermelho em função do pH do solo e da adição de fertilizantes nitrogenados com superfosfato triplo**. Lages, Universidade do Estado de Santa Catarina, 59p., 2005. (Tese de Mestrado).

MCLEAN, E.O. WATSON, M. E. Soil measurements of plant available potassium. In: Munson RD (ed). **Potassium in agriculture**. CSSASSSA, Madison, p. 277–308, 1985.

MENGEL, K.; KIRKBY E. A. Effect of split application of potassium on growth, yield and potassium accumulation by soybean. **Fertility Research**, v.39, p.217–222, 2001.

MENDONÇA, L. B. et al. Efeito de fontes e doses de fertilizantes potássicos na solubilidade e mobilidade de potássio em condições controladas. In: **Embrapa Solos- Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: SEMINÁRIO PIBIC EMBRAPA SOLOS, 2016-2017, Rio de Janeiro. Seminário PIBIC Embrapa Solos 2016/2017. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2017. p. 45-49., 2017.

MEURER, E. J. Potássio. In: FERNANDES, M. S. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa, MG: SBCS, cap. 11, p. 282-295, 2006.

MIELNICKZUK, J. Avaliação da resposta das culturas ao potássio em ensaios de longa duração: Experiências brasileiras. In: YAMADA, T.; MUZZILLI, O. & USHERWOOD, N.R., eds. **Potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba, Instituto da Potassa e Fosfato, p.289-303, 1982.

MIELNICZUK, J. Manejo conservacionista da adubação potássica. In: YAMADA, T.; ROBERTS, T. L. **Potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba, Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. p.165-178. New York, Oxford University Press, 444p., 2005.

NACHTIGALL, G. R.; RAIJ, B. van. Análise e interpretação do potássio no solo. In: YAMADA, T.; ROBERTS, T. L. (Ed.). **Potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba: Instituto da Potassa e Fosfato, p.93-118, 2005.

NEVES, L. S.; ERNANI, P. R.; SIMONETE, M. A. Mobilidade de potássio em solos decorrente da adição de doses de cloreto de potássio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, n. 1, p.25-32, 2009.

NIELSEN, D. R.; TH. VAN GENUCHTEN, M.; BIGGAR, J. W. Water flow and solute transport processes in the unsaturated zone. **Water resources research**, v. 22, n. 9S, p. 89S-108S, 1986.

OBORN, I.; ANDRIST-RANGEL, Y.; ASKEGAARD, M.; GRANT, C. A.; WATSON, C. A.; EDWARDS, A. C. Critical aspects of potassium management in agricultural systems. **Soil Use Management**, v.21, p.102-112, 2005.

OLIVEIRA, L. A. M. Potássio. In: **Sumário Mineral**. Brasília: Departamento nacional de produção Mineral – DNPM, v. 37, p. 144 -147, 2017. Disponível em: <<http://www.anm.gov.br/dnpm/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/sumario-mineral>>. Acesso em: 10 nov. 2019.

OLIVEIRA, R. H.; ROSOLEM, C. A.; TRIGUEIRO, R. M. Importância do fluxo de massa e difusão no suprimento de potássio ao algodoeiro como variável de água e potássio no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, p. 439-445, 2004.

OLIVEIRA, R. P. D., MACHADO, P., de BERNARDI, A. C., & NAUMOV, A. Considerações sobre o uso do solo e a regionalização do balanço de potássio na agricultura brasileira. **Embrapa Pecuária Sudeste-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2005.

PERRENOUD, S. Potassium and plant health. IPI-Research Topics, n.3, 2nd ed. **International Potash Institute**, Basel, p 365, 1990.

PRABHU, A. S.; FAGERIA, N. K.; HUBER, D. M.; RODRIGUES, F.A. Potassium and plant disease. In: Datnoff, L. E.; Elmer, W. H.; Huber, D. M. (eds) Mineral nutrition and plant disease. **The American Phytopathological Society Press**, Saint Paul, p.57–78, 2007.

PRADO, R. M. **Nutrição de plantas**. São Paulo: Editora UNESP, 407 p., 2008. Inclui bibliografia. ISBN 978-85-7139-676-0.

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

REBELLATTO, A. **Agronomic effectiveness of fertilizer at solid and fluid forms made from swine and chicken manures**. 2013. 116 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2013.

RENGEL, Z.; DAMON, P. M. Crops and genotypes differ in efficiency of potassium uptake and use. **Physiology Plant**, v.133, p.624–636, 2008.

ROSOLEM, C. A.; BESSA, A. M.; PEREIRA, H. F. M. Dinâmica do potássio no solo e nutrição potássica da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.28, p.1045-1054, 1993.

ROSOLEM, C. A.; CALONEGO, J. C.; FOLONI, J. S. S. Potassium leaching from millet straw as affected by rainfall and potassium rates. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.36; p.1063-1074, 2005.

ROSOLEM, C. A.; MACHADO, J. R.; RIBEIRO, D. B. O. Formas de potássio no solo e nutrição potássica da soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.2, p.121-125, 1988.

ROSOLEM, C. A.; SANTOS, F. P.; FOLONI, J. S. S.; CALONEGO, J. C. Potássio no solo em consequência da adubação sobre a palha de milho e chuva simulada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n. 6, p. 1033-1040, 2006.

ROSOLEM, C. A.; SGARIBOLDI, T.; GARCIA, R. A.; CALONEGO, J. C. Potassium leaching as affected by soil texture and residual fertilization in tropical soils.

Communication in Soil Science and Plant Analysis, v.41, p.1934-1943, 2010.

SAARIJARVI, K.; VIRKAJARVI, P.; HINONEN-TANSKI, H.; TAIPALINEN, I. N and P leaching and microbial contamination from intensively managed pasture and cut sward on sandy soil in Finland. **Agriculture, ecosystems & environment**, v. 104, n. 3, p. 621-630, 2004.

SANGOI, L.; ERNANI, P.R.; LECH, V.A.; RAMPAZZO, C. Lixiviação de nitrogênio afetada pela forma de aplicação da uréia e manejo dos restos culturais de aveia em dois solos com texturas contrastantes. **Ciência Rural**, 33:65-70, 2003.

SANZONOWICZ, C.; MIELNICZUK, J. Distribuição do potássio no perfil de um solo, influenciado pela planta, fontes e métodos de aplicação de adubos. **Revista brasileira de ciência do solo**, v. 9, 1985.

SIMONSSON, M.; HILLIER, S.; ÖBORN, I. Changes in clay minerals and potassium fixation capacity as a result of release and fixation of potassium in long term field experiments. **Geoderma**, v.151, p.109-120, 2009.

SOPRANO, E.; ALVAREZ V, V.H. Nutrientes lixiviados de colunas de solo tratadas com diferentes sais de cálcio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 13:25-29, 1989.

SPARKS, D. L.; HUANG, P. M. Physical chemistry of soil potassium. In: MUNSON, R. D. (ed.). **Potassium in agriculture**. Madison: American Society of Agronomy, p.201-276, 1985.

TEIXEIRA, W. G. Biodisponibilidade de fósforo e potássio provenientes de fertilizantes mineral e organomineral. 2013.

TEJADA, M.; BENITEZ, C.; GONZALEZ, J. L. Effects of Application of Two Organomineral Fertilizers on Nutrient Leaching Losses and Wheat Crop. **Agronomy Journal**, Madison, v.97, p.960-967, 2005.

TINKER, P. B.; NYE, P. H. **Solute movement in the rhizosphere**. New York, Oxford University Press, 444p., 2000.

WERLE, R.; GARCIA, R. A.; ROSOLEM, C. A. Lixiviação de potássio em função da textura e da disponibilidade do nutriente no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 6, p. 2297-2305, 2008.

WIETHOLTER, S. Bases teóricas e experimentais de fatores relacionados com a disponibilidade de potássio do solo às plantas usando trigo como referência. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 1011-1021, 2007.