

## DINÂMICA DE POTÁSSIO NOS SOLOS DE CERRADO APÓS A APLICAÇÃO DE DIFERENTES FONTES EM COLUNAS DE ELUIÇÃO

Wilker Alves Morais<sup>1</sup>, Fernando Rodrigues Cabral Filho<sup>2</sup>, Gustavo Vieira da Silva<sup>3</sup>, Oswaldo Palma Lopes Sobrinho<sup>4</sup>, Carlos Ribeiro Rodrigues<sup>5</sup>, Gustavo Castoldi<sup>6</sup>

**RESUMO:** Solos com baixa fertilidade natural aliados ao alto consumo de potássio na agricultura, acarretam na procura pela utilização de diferentes fontes (minerais e orgânicas). Ocorrendo uma variação na dinâmica do potássio no solo, o que pode gerar perdas. Partindo da hipótese de que as fontes de potássio aplicadas no solo arenoso possui maior potencial de perda de nutrientes no perfil do solo do Cerrado e que há diferenças na dinâmica e teores das bases dependendo da fonte utilizada, objetivou-se evidenciar o comportamento do íon potássio presente nas fontes cloreto de potássio, vinhaça e Poly4 ao longo do perfil superficial de um Latossolo argiloso e um Neossolo. O experimento foi conduzido nos laboratórios de Hidráulica e Irrigação e Química do Solo, pertencentes ao Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, Goiás, Brasil. Foram utilizados Latossolo Vermelho distroférico, de textura argilosa e, um Neossolo Quartzarenico Ortico típico. Foram utilizadas colunas de PVC rígido, sendo aplicadas os fertilizantes: cloreto de potássio, Poly4 e vinhaça. Foram coletadas amostras de efluente de 30 ml para determinação de potássio e sódio. Utilizou-se o programa computacional DISP para cálculo dos parâmetros de transporte de solutos no solo: fator de retardamento, coeficiente dispersivo-difusivo e curva de eluição. O íon potássio foi retido com maior intensidade no Latossolo Vermelho distroférico, mostrando maior interação com o solo argiloso e teve maior lixiviação no Neossolo Quartzarenico. A fonte vinhaça demonstrou uma menor lixiviação de potássio quando comparada com as fontes cloreto de potássio e Poly4.

**PALAVRAS-CHAVE:** cloreto de potássio, Poly4, vinhaça

<sup>1</sup> Pós-Doutorando em Ciências Agrárias - Agronomia, Instituto Federal Goiano, campus Rio Verde, Fone: (64) 3620-5600, E-mail: wilker.alves.morais@gmail.com.

<sup>2</sup> Doutorando em Ciências Agrárias - Agronomia, Instituto Federal Goiano, campus Rio Verde, Fone: (64) 3620-5600, E-mail: fernandorcfilho@hotmail.com.

<sup>3</sup> Mestrando em Ciências Agrárias - Agronomia, Instituto Federal Goiano, campus Rio Verde, Fone: (64) 3620-5600, E-mail: gustavovieira620@gmail.com.

<sup>4</sup> Doutorando em Ciências Agrárias - Agronomia, Instituto Federal Goiano, campus Rio Verde, Fone: (64) 3620-5600, E-mail: oswaldo-palma@hotmail.com.

<sup>5</sup> Pós-Doutorado em Ciências Agrárias - Agronomia, Instituto Federal Goiano, campus Rio Verde, Fone: (64) 3620-5600, E-mail: carlosrrodrigues@gmail.com.

<sup>6</sup> Doutorando em Agricultura, Instituto Federal Goiano, campus Rio Verde, Fone: (64) 3620-5600, E-mail: gustavo.castoldi@ifgoiano.edu.br.

## **POTASSIUM DYNAMICS IN CERRADO SOILS AFTER THE APPLICATION OF DIFFERENT SOURCES IN ELUTION COLUMNS**

**ABSTRACT:** Soils with low natural fertility combined with high consumption of potassium in agriculture, lead to the demand for the use of different sources (minerals and organic). There is a variation in the dynamics of potash in the soil, which can generate losses. Starting from the hypothesis that the potassium sources applied in the sandy soil have greater potential for loss of nutrients in the Cerrado soil profile and that there are differences in the dynamics and contents of the bases depending on the source used, the objective was to show the behavior of the potassium ion present in potassium chloride, vinasse and Poly4 sources along the surface profile of a clayey Oxisol and a Neossol. The experiment was conducted in the Hydraulics and Irrigation and Soil Chemistry laboratories, belonging to the Federal Goiano Institute - Rio Verde Campus, Goiás, Brazil. Dystrophic Red Latosol, with a clayey texture and a typical Orsico Quartzarenico Neossolo were used. Rigid PVC columns were used and fertilizers were applied: potassium chloride, Poly4 and vinasse. Effluent samples of 30 ml were collected to determine potassium and sodium. The computer program DISP was used to calculate the parameters of solute transport in the soil: delay factor, dispersive-diffusive coefficient and elution curve. The potassium ion was retained with greater intensity in the dystrophic Red Latosol, showing greater interaction with the clayey soil and had greater leaching in the Quartzarenic Neossol. The vinasse source showed less potassium leaching when compared to the potassium chloride and Poly4 sources.

**KEYWORDS:** potassium chloride, Poly4, stillage

### **INTRODUÇÃO**

A região Centro-Oeste no Brasil é a principal região produtora de grãos do país, segundo o levantamento da Companhia Nacional de Abastecimento, na safra 2018/2019 foram produzidas 242 milhões de toneladas de grãos no país, sendo, a região Centro-Oeste, responsável pela produção de 111 milhões de toneladas (CONAB, 2020).

Contudo, os solos desta região geralmente são altamente intemperizados, com predominância de Latossolos com baixa fertilidade natural, o que demanda a utilização de altas quantidades e doses de fertilizantes, principalmente a adubação fosfatada e potássica, fazendo com que os mesmos sejam importante componente no custo de produção (SILVA et al., 2016).

Normalmente os teores naturais do íon potássio ( $K^+$ ) encontrados nos solos tropicais (Latosolos e Neossolos) são considerados baixos ( $< 1,5 \text{ mmolc dm}^{-3}$ ) (BENITES et al., 2010).

O potássio é o segundo nutriente mais absorvido pelas plantas (VILELA et al., 2004; PARENTE et al., 2016), sendo essencial na ativação de diversas enzimas no metabolismo das plantas, abertura e fechamento estomático, respiração, transpiração, fotossíntese, formação de carboidratos, controle de turgidez do tecido, dentre outras funções (TAIZ et al., 2017).

Partindo da hipótese de que as fontes de potássio aplicadas no solo arenoso possui maior potencial de perda de nutrientes no perfil do solo do Cerrado e que há diferenças na dinâmica e teores dos nutrientes dependendo da fonte utilizada, objetivou-se evidenciar o comportamento do íon potássio presente nas fontes cloreto de potássio, vinhaça e Poly4 ao longo do perfil superficial de um Latossolo argiloso e um Neossolo.

## MATERIAL E MÉTODOS

### *Instalação do experimento*

O experimento foi conduzido nos laboratórios de Hidráulica e Irrigação e Química do Solo, pertencentes ao Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, Goiás, Brasil. Foram utilizados dois tipos de solos, o primeiro (Solo A) foi coletado em área de fazenda pertencente ao Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, Goiás, classificado como Latossolo Vermelho distroférico (LVdf), de textura argilosa segundo o Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (SANTOS et al., 2018) e, com classificação correlata na Soil Taxonomy (USDA, 1999) Oxisols e, na WRB/FAO (2015) Ferralsols. O segundo solo (Solo B), foi classificado como Neossolo Quartzarenico Ortico típico (NQo), segundo o Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (SANTOS et al., 2018) e, com classificação correlata na Soil Taxonomy (1999) Entisols (Quartzipsamments) e, na WRB/FAO (2015) Arenosols.

Foram coletadas amostras deformadas de cada solo nas camadas de 0,0-0,2 m de profundidade. Inicialmente foram determinados os parâmetros físicos e químicos dos solos, conforme metodologias descritas por Teixeira et al. (2017) (Embrapa) (Tabela 1), para posterior preenchimento das colunas de solo.

**Tabela 1.** Características físico-químicas do Latossolo Vermelho distroférico (LVdf) e Neossolo Quartzarenico Ortico típico (NQo), na camada 0,0-0,2 m

Solo	Ca	Mg	Al	H+Al	K	K	P	CaCl <sub>2</sub>
	----- cmolc dm <sup>-3</sup> -----				--- mg dm <sup>-3</sup> ---			pH
LVdf	2,00	0,80	0,05	6,9	0,08	31	1,8	4,76
NQo	1,71	0,64	0,04	1,64	0,03	10	21,38	5,1
Solo	Textura (%)			M.O. <sup>a</sup>	CTC <sup>b</sup>	SB <sup>c</sup>	V% <sup>d</sup>	m% <sup>e</sup>
	Argila	Silte	Areia	g dm <sup>-3</sup>	--- cmolc dm <sup>-3</sup> ---		Sat. Bases	Sat. Al
LVdf	60	10	30	44,4	9,8	2,9	29	1,7

NQo	11	2	87	14,5	4,02	2,38	59,2	1,7
-----	----	---	----	------	------	------	------	-----

P (Fósforo) e K (Potássio): Melich 1; Ca (Cálcio), Mg (magnésio) e Al (Alumínio): KCl 1 mol L<sup>-1</sup>; M.O. (Matéria orgânica): Método colorimétrico.

<sup>a</sup>Matéria orgânica; <sup>b</sup>Capacidade de troca cationica; <sup>c</sup>soma de bases; <sup>d</sup>saturação de bases; <sup>e</sup>saturação de alumínio.

Foram aplicados nestes solos, as fontes de potássio: Cloreto de potássio (CP) (colunas 2 e 3), Poly4 (PL) (colunas 4 e 5) e Vinhaça (VC) (colunas 6 e 7), sendo, duas repetições (duas colunas de solo), além, de um tratamento apenas com água deionizada. Todas as fontes foram diluídas a uma concentração de 2,7 g de potássio por litro.

O preenchimento das colunas foi realizado de forma a manter a densidade do solo o mais próximo do encontrado a campo, conforme Tabela 2.

**Tabela 2.** Valores médios das características das colunas preenchidas com Latossolo Vermelho distroférico (LVdf) e Neossolo Quartzarenico Ortico típico (NQo)

Coluna <sup>a</sup>	Solo (g)	Ds <sup>b</sup> (g cm <sup>-3</sup> )
1A	929,50	1,15
1B	1274,07	1,58
2A	949,45	1,18
2B	1304,46	1,62
3A	959,03	1,19
3B	1242,40	1,54
4A	946,67	1,18
4B	1289,99	1,60
5A	948,13	1,18
5B	1280,12	1,59
6A	954,93	1,19
6B	1321,92	1,64
7A	929,40	1,15
7B	1326,77	1,65

<sup>a</sup>1: Água deionizada; 2 e 3: Cloreto de potássio; 4 e 5: Poly4; 6 e 7: Vinhaça. A: Latossolo; B: Neossolo.

<sup>b</sup>Ds – densidade do solo.

As amostras dos diferentes solos foram levadas ao laboratório, destorroadas, peneiradas em uma malha de 2 mm e preparadas utilizando-se a metodologia TFSA (terra fina seca ao ar). Foram utilizadas colunas de policloreto de vinil (PVC) rígido com as dimensões de 0,25 m de altura e 0,07 m de diâmetro. Sendo estas preenchidas até a altura de 0,2 m, resultando em um volume de solo de 805,28 cm<sup>3</sup>.

#### Fontes de potássio

A vinhaça utilizada no experimento foi coletada na usina Raízen – Unidade Jataí. A coleta foi realizada na unidade de saída, após passagem pela produção e sistema de resfriamento, mas antes de ser destinada aos canais de transporte no campo, o que evitou contaminação ou adição de partículas de solo, com a concentração de 27 g L<sup>-1</sup> de potássio

O cloreto de potássio utilizado foi o granulado vermelho, com teor de potássio de 60% e o Poly4 (Polihalito), 14% de potássio.

#### Curva de eluição

Antes de iniciar o teste, as colunas de solo foram lentamente saturadas com água deionizada pelo processo de capilaridade, utilizando-se um recipiente plástico. Para tanto, as colunas foram dispostas de forma inclinada, com água destilada até 2/3 da altura, permanecendo

em repouso por 48 horas para completar a saturação por capilaridade. Após esse período, as colunas foram fixadas em um suporte metálico, sendo instalado acima delas o reservatório de efluente contendo água destilada, em seguida, iniciou-se o teste com a lavagem do solo por um período de 4 horas para retirada dos nutrientes presentes no mesmo. Substituiu-se o fornecimento de água destilada pelas fontes de potássio, iniciando a partir desse ponto a coleta manual dos volumes da solução após percorrer a coluna de solo e a cronometragem do tempo.

Os volumes coletados foram de 30 ml, definidos em função do volume total de poros (assumida em termos gerais em torno de 50%) e da quantidade necessária para serem realizadas as análises dos componentes químicos. Dessa forma, cada frasco representou aproximadamente 0,05 volumes de poros (em relação ao volume total da coluna preenchida com solo), proporcionando um bom refinamento para elaboração das curvas de eluição. O volume total de efluente coletado variou de 1,80 a 3,60 número de volume de poros (NVP) (Equação 1).

$$NVP = \frac{V_e}{V_p} \quad (1)$$

em que:

$NVP$  – número de volume de poros, adimensional;

$V_e$  – volume de efluente coletado,  $m^3$ ;

$V_p$  – volume de poros da coluna,  $m^3$ .

$$V_p = PT \times V \quad (2)$$

em que:

$V_p$  – volume de poros,  $m^3$ ;

$PT$  – porosidade total,  $m^3 m^{-3}$ ;

$V$  – volume de solo da coluna,  $m^3$ .

$$q = \frac{Q}{A} = \frac{V_e}{V_t} \quad (3)$$

em que:

$q$  – fluxo,  $cm h^{-1}$ ;

$Q$  – vazão,  $cm^3 h^{-1}$ ;

$A$  – área da seção transversal da coluna,  $cm^2$ ;

$V_e$  – Volume total de efluente,  $cm^3$ ;

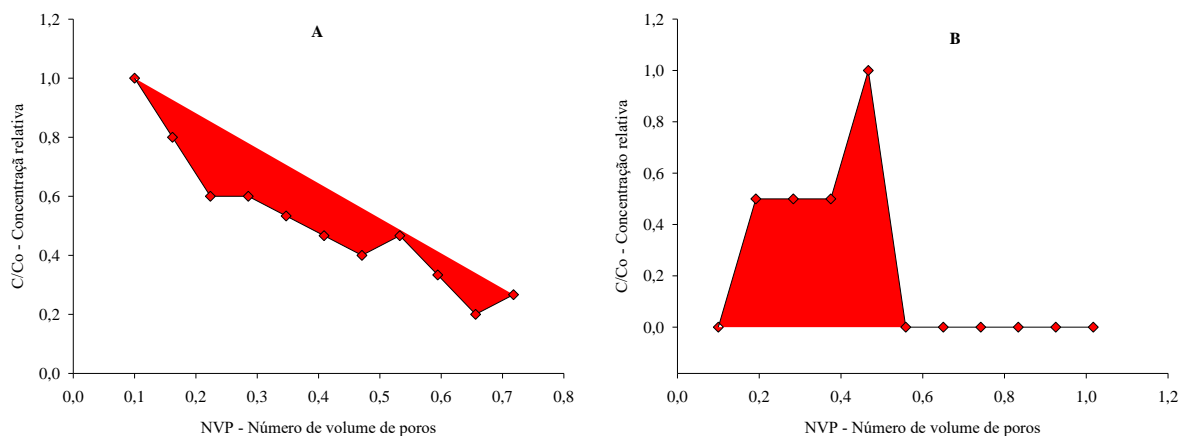
$T$  – Intervalo de tempo para coletar o volume  $V_e$ .

Após a coleta, as amostras foram submetidas a análises em laboratório, utilizando o fotometro de chama para determinação do potássio (K), no Laboratório de Química do Solo, do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, Goiás.

Por último, foi utilizado o programa computacional DISP-1.1 para cálculo dos parâmetros de transporte de solutos no solo em deslocamento de fluidos miscíveis (BORGES JÚNIOR & FERREIRA, 2006). Assim, foi possível obter o fator de retardamento (R), o coeficiente dispersivo-difusivo (D) e o número de Peclet (P), cujos parâmetros de entrada são: número de observações (valores observados de concentração relativa -  $C/C_0$ , em função do número de volume de poros - NVP), umidade de saturação (decimal), densidade do solo ( $\text{g cm}^{-3}$ ), fluxo ( $\text{cm h}^{-1}$ ), comprimento da coluna de solo (cm) e concentração inicial do soluto no solo e na solução aplicada ( $\text{g L}^{-1}$ ).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1, encontram-se os dados observados com relação a concentração relativa ( $C/C_0$ ) de potássio (K) no Latossolo Vermelho distroférico (LVdf) e Neossolo Quartzarenico Ortico típico (NQo), quando se aplicada apenas água deionizada. Estes dados foram utilizados nas correções das  $C/C_0$  de K, oriundos das fontes cloreto de potássio (CP), Poly4 (PL) e vinhaça (VC), para confecção das curvas de eluição apresentada na Figuras 2.



**Figura 1.** Concentração relativa de potássio ( $C/C_0$ ) (1A e 1B) em função do número de volume de poros (NVP) no Latossolo Vermelho distroférico (LVdf) (1A) e Neossolo Quartzarenico Ortico típico (NQo) (1B), quando aplicada a água deionizada.

Estes dados evidenciam uma diferenciação quanto ao comportamento dos íons nos diferentes solos, em que, a  $C/C_0$  do K não zerou no LVdf (Figura 1A), enquanto, no NQo, sua  $C/C_0$  foi zerada na solução do solo aos 0,56 número de volumes de poros (NVP) (Figura 1B).

Tamanho dos agregados, textura do solo e o tipo do mineral de argila, são fatores que influenciam no transporte destas bases no solo (MIRANDA et al., 2005). Sendo que, solos de Cerrado altamente intemperizados de textura média e argilosa, como LVdf em estudo,

apresentam grande afinidade com as bases do solo (K) (RAIJ, 1986), o que pode reduzir ou retardar a lixiviação das mesmas, como observado na Figura 1.

Os valores médios dos parâmetros para o íon K simulados pelo programa DISP-1.1 são apresentados na Tabela 3, tais como fator de retardamento (R), coeficiente dispersivo-difusivo (D), número de Peclet (P) e coeficiente de determinação ( $R^2$ ). No LVdf a fonte CP apresentou o maior valor de P, enquanto a fonte VC apresentou os maiores valores de R e D. Para o NQo a fonte VC apresentou o maior valor de P, enquanto a fonte PL apresentou os maiores valores de R e D.

**Tabela 3.** Valores do número de Peclet (P), fator de retardamento (R) e coeficiente dispersivo-difusivo (D) do íon potássio no Latossolo Vermelho distroférico (LVdf) e Neossolo Quartzarenico Ortico típico (NQo), para as fontes cloreto de potássio, Poly4 e vinhaça

Solo	Parâmetros	Cloreto de potássio	Poly4	Vinhaça
LVdf	P	2,300	0,310	0,040
	R	0,575	1,538	12,953
	D ( $\text{cm}^2 \text{h}^{-1}$ )	22,157	231,750	1205,000
	$R^2$	0,875	0,730	0,850
NQo	P	0,890	0,290	2,45
	R	0,431	0,668	0,443
	D ( $\text{cm}^2 \text{h}^{-1}$ )	83,191	253,080	29,876
	$R^2$	0,808	0,670	0,726

LVdf: Latossolo Vermelho distroférico; NQo: Neossolo Quartzarenico Ortico típico.

P: Número de Peclet; R: Fator de retardamento; D: Coeficiente dispersivo-difusivo;  $R^2$ : Coeficiente de determinação.

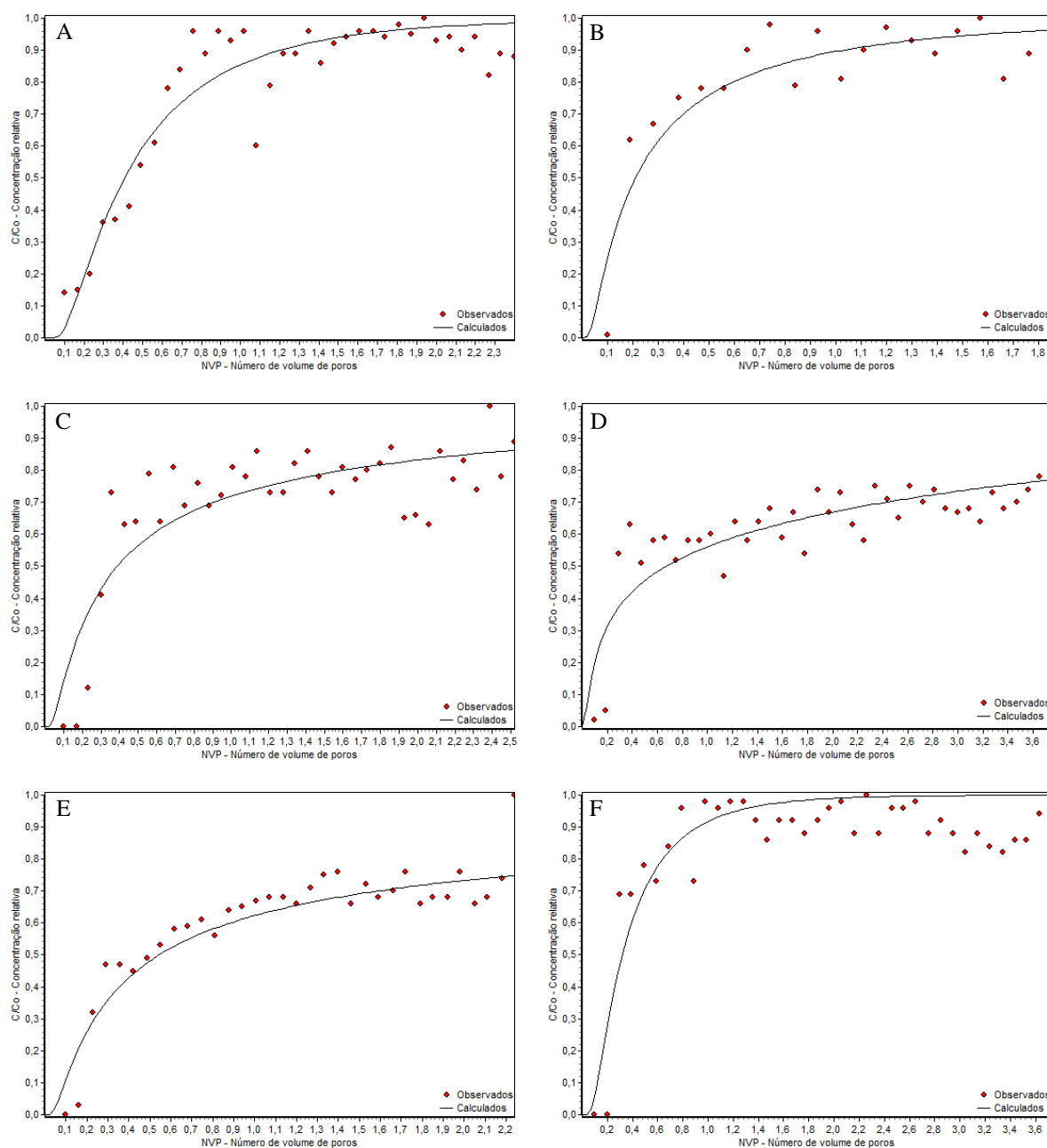
Nota-se, com base nos valores de D, que o íon K no LVdf apresentou a maior mobilidade quando oriundo da fonte VC, devido a presença de outras bases (Na, Ca e Mg) na fonte que podem competir pelo sítio de troca, ocasionando o deslocamento para a solução do solo. Enquanto para o NQo a maior mobilidade foi observada na fonte PL.

Foi observado efeito acentuado do movimento de dispersão na fonte VC quando aplicada no LVdf, ao analisar o P, onde, valores inferiores a 0,4 evidenciam maior efeito de dispersão e, valores acima de 5 da difusão (RIBEIRO, 2011). Contudo, quando analisado o R, ocorreu uma maior interação entre as fases líquida e sólida, quando se comparada as demais fontes, o que pode ser explicado pela maior carga orgânica da VC, servindo de sítio de troca para o K.

O íon K apresentou maiores valores de R no LVdf quando comparado ao NQo e, os menores valores de D, exceto para a fonte VC, corroborando com Lelis Neto et al. (2017) que observaram o mesmo comportamento do K oriundo da fonte vinhaça, quando aplicada em solo arenoso e argiloso. Evidenciando uma maior interação do íon com o solo argiloso. Quando se compara os valores de R e D no LVdf em relação aos obtidos no NQo (Tabela 3), observa-se redução de 25, 57 e 97% nos valores de R para as fontes CP, PL e VC e, um aumento de 276 e 9% no D para as fontes CP e PL no NQo, respectivamente.

Isso se deve a diferença de textura entre os dois solos (Tabela 1), já que a areia presente em grande concentração no NQo é um mineral de baixa atividade e, com isso, não apresenta a mesma capacidade de interação da argila com o soluto (CABRAL FILHO, 2018).

Observa-se na Figura 2A e 2B que o limite inferior e superior para as inflexões da curva no LVdf e no NQo para a fonte CP corresponderam a aproximadamente 0,1 e 1,0 NVP e 0,05 e 0,9 NVP, respectivamente, representando uma concentração de K no efluente de 1616 e 11009 mg dm<sup>-3</sup> e 0 e 11211 mg dm<sup>-3</sup>.



**Figura 2.** Curva de eluição da concentração relativa de potássio no Latossolo Vermelho distroférico (LVdf) (A, C e E) e Neossolo Quartzarenico Ortico típico (NQo) (B, D e F), para a fonte cloreto de potássio (A e B), Poly4 (C e D) e vinhaça (E e F).



Para a fonte Poly4 o limite inferior e superior para as inflexões da curva no LVdf e no NQo corresponderam a aproximadamente 0,05 e 0,8 NVP e 0,01 e 0,8 NVP, respectivamente, representando uma concentração de K no efluente de 12 e 5454 mg dm<sup>-3</sup> e 202 e 5656 mg dm<sup>-3</sup> (Figura 2C e 2D). Equanto que para a VC o limite inferior e superior para as inflexões da curva no LVdf e no NQo corresponderam a aproximadamente 0,05 e 0,7 NVP e 0,1 e 0,8 NVP, representando uma concentração de K no efluente de 13 e 2222 mg dm<sup>-3</sup> e 2 e 2989 mg dm<sup>-3</sup> (Figura 2E e 2F), respectivamente.

Conforme os resultados apresentados na Figura 2A, 2B, 2C, 2D, 2E e 2F ocorreu uma maior lixiviação de K no solo arenoso (NQo), independente da fonte utilizada, sendo observadas as maiores e menores concentrações lixiviadas na solução dos solo para a fonte CP e VC, respectivamente.

O maior deslocamento para a direita na curva de eluição do K no LVdf, também para todas as fontes (Figura 2A, 2C e 2E), quando comparado com o NQo (Figura 2B), indicam que o íon potássio foi retido com maior intensidade no solo de textura argilosa (LVdf).

A inclinação acentuada da curva com valores abaixo de 1 NVP (Figura 2B) ressaltam uma baixa interação do íon com o NQo (LELIS NETO et al., 2017), o que segundo Nielsen & Biggar (1962) quando o valor correspondente a  $C/Co = 0,5$  é superior a 1,0 NVP na curva de eluição haverá deslocamento para a direita, obtendo-se um maior R e maior interação solo-soluto.

Rivera et al. (2008) em estudo aplicado a modelagem da dinâmica da água e potássio no solo, concluíram que a distribuição de potássio é afetada pelas propriedades hidráulicas, químicas e texturais do solo. Independentemente do uso do solo Ucker et al. (2016) afirmam que o potássio apresenta rápida movimentação pelo perfil do Neossolo Quartzarênico. Neste estudo, também pode ser afirmado para as diferentes fontes de potássio (Figura 2).

Marchuck & Marchuck (2018) relatam influencia do tipo do solo (mineralogia da argila) no efeito do potássio sobre a dispersão de argilas, estrutura de poros e condutividade hidráulica, sendo, a magnitude deste efeito, dependente da sua concentração na solução aplicada ao solo.

## CONCLUSÕES

O íon potássio foi retido com maior intensidade no Latossolo Vermelho distroférico, mostrando maior interação com o solo argiloso e teve maior lixiviação no Neossolo Quartzarenico. A fonte vinhaça demonstrou uma menor lixiviação de potássio quando comparada com as fontes cloreto de potássio e Poly4.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos colaboradores do laboratório de hidráulica e irrigação e ao grupo de pesquisa AGRICE (Agricultura Irrigada em Área de Cerrado). Os autores também agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG) e ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano - Campus Rio Verde, pelo apoio financeiro e estrutural para a condução deste estudo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BENITES, V. M.; CARVALHO, M.C.S.; RESENDE, A.V.; POLIDORO, J.C.; BERNADI, A.C.C.; OLIVEIRA, F.A. Potássio, cálcio e magnésio. In: PROCHNOW, L.I.; CASARIN, V.; STIPP, S.R. (Eds.). **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes: nutrientes**. Piracicaba, SP: IPNI, 2010. Cap. 3, p. 137-191.

BORGES JÚNIOR, J. C. F.; FERREIRA, P. A. Equações e programa computacional para cálculo do transporte de solutos do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 3, p. 604-611, 2006.

CABRAL FILHO, F. R.; VIEIRA, G. S.; SILVA, N. F.; CUNHA, E. S.; SANTOS, L. N. S. S.; RODRIGUES, C. R.; CUNHA, F. N.; TEIXEIRA, M. B.; SOARES, F. A. L. Sugarcane vinasse cations dynamics in Cerrado soils, Brazil. **Springer**, n. 1, v. 1, 2018.

CONAB. **Acompanhamento de safra brasileira: grãos, décimo levantamento**, v. 7, n. 10, julho/2020. Companhia Nacional de Abastecimento. – Brasília: Conab 2020. pg.73.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. **World reference base for soil resources 2014**: International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. Update 2015. Rome, 192p., 2015.

LELIS NETO, J. A.; MIRANDA, J. H.; GRIGOLON, B. G.; KAMOGAWA, M. Y.; TEIXEIRA, M. B.; SILVA, N. F. Transporte e adsorção de nitrato e potássio em colunas de solo sob aplicação de vinhaça. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 11, n. 6, p.1797-1803, 2017.

MARCHUK, S.; MARCHUCK, A. Effect of applied potassium concentration on clay dispersion, hydraulic conductivity, pore structure and mineralogy of two contrasting Australian soils. **Soil & Tillage Research**, v. 182, p. 35-44, 2018.

MIRANDA, J. H.; DUARTE, S. N.; LIBARDI, P. L.; FOLEGATTI, M. V. Simulação do deslocamento de potássio em colunas verticais de solo não-saturado. **Engenharia Agrícola**, v. 25, n. 3, p. 677-685, 2005.

NIELSEN, D. R.; BIGGAR, J. W. Miscible displacement: III, Theoretical considerations. **Soil Science Society of America Proceedings**, v. 26, n. 3, p. 216-221, 1962.

PARENTE, T. L.; LAZARINI, E.; CAION, S.; SOUZA, L. G. M.; PIVETTA, R. S.; BOSSOLAN, J. W. Potássio em cobertura no milho e efeito residual na soja em sucessão. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 10, n. 3, p. 193-200, 2016.

RAIJ, B. V. **Simpósio Avançado de Química e Fertilidade do Solo: Propriedades Eletroquímicas de Solos**. Campinas: Fundação Cargill. 1986. p.9-39.

RIBEIRO, D. P. **Efeito da velocidade de escoamento da solução e do comprimento da coluna de solo nos parâmetros de transporte de solutos em solos argiloso e arenoso**. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2011, 66p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola).

RIVERA, R. N. C.; MIRANDA, J. H.; DUARTE, S. N.; BOTREL, T. A. Modelo aplicado à dinâmica da água e do potássio no solo sob irrigação por gotejamento - análise de sensibilidade. **Engenharia Agrícola**, v. 28, n. 3, p. 448-459, 2008.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE P. K. T; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F; COELHO, M. R; ALMEIDA, J. A de; ARAUJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Embrapa; Brasília, DF; 5 Ed. rev. amp; 2018.

SILVA, E. L. **Adubação potássica na cultura da soja cultivada na região de Cerrado maranhense**. Chapadinha-MA, UFMA, 2016. 31 p. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Agronomia).

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 858p.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 3ª edição revista e ampliada. Embrapa, Brasília, DF, 574 p., 2017.

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**, v. 51, n. 9, p. 1548-1556, 2016.

USDA - United States Department of Agriculture Natural Resources Conservation Service. **Soil Taxonomy: A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys**. Second Edition, 863 p., 1999.

VILELA, L.; SOUSA, D. M. G. de.; SILVA, J. E. Adubação potássica. In.: SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. (Eds.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. Cap. 7, p. 169-183.