

POTÁSSIO E DISPERSÃO ESPONTÂNEA DE ARGILA EM DOIS SOLOS DO ESTADO DO PARANÁ

Marita Di Loreto y Sampaio¹, Thadeu Rodrigues de Melo¹, Adônis Moreira²

¹Universidade Estadual de Londrina, UEL - Londrina, Paraná, Brasil. PR 445, km 380; ²Embrapa Soja, Rodovia João Carlos Strass, s/nº, Acesso Orlando Amaral, Distrito Warta, Caixa Postal 231, 86001-970, Paraná, Brasil.
marita_diloreto@hotmail.com; thadeurodrigues@hotmail.com; adonismoreira66@gmail.com

Uma das principais práticas responsáveis pelo desempenho da agricultura paranaense é o fornecimento de nutrientes, como o potássio (K). Entretanto, o K quando aplicado em altas doses pode induzir a dispersão espontânea das partículas dos solos, sobretudo da fração argila. O estudo teve como objetivo avaliar a relação entre a aplicação de fertilizante potássico e a dispersão espontânea da fração argila em dois Latossolos (Latosolo Vermelho Amarelo e Latossolo Vermelho) fertilizados com três concentrações potássicas: 0, 200 e 400 kg ha⁻¹ de K₂O. Analisou-se teor de argila espontânea dispersa em água (AEDA, %), capacidade de troca de cátions (CTC), saturação por bases (V%), carbono (%), saturação por cálcio e magnésio (Ca e Mg), fósforo (P) disponível, K⁺, Al³⁺ e H⁺+Al³⁺ trocável. Foi realizada análise de componentes principais (ACP) e notou-se aumento na AEDA com a aplicação de K₂O para ambos os solos na camada de 0-10 cm. Não foi possível constatar aumento no teor de AEDA na camada de 10-20 cm. Conclui-se que há aumento no AEDA com o incremento das concentrações de K nos dois Latossolos, porém a intensidade varia com o tipo de solo.

Palavras-chave: colóides, adubação potássica, degradação estrutural

Potassium and spontaneous clay dispersion in two soils of Paraná State. One of the main practices responsible for the performance of agricultural Paraná State is the nutrients such as potassium (K). However, K when applied in high rates can induce the spontaneous dispersion of the particles, especially the clay fraction. The objective of this study was to evaluate the relationship between the K fertilizer application and the spontaneous dispersion of the clay fraction in two Oxisols fertilized with three K rates: 0, 200 and 400 kg ha⁻¹ K₂O. Content of spontaneous clay dispersed in water (SCDW, %), cation exchange capacity (CEC), base saturation (V%), carbon (%), calcium and magnesium saturation (Ca and Mg), phosphorus (P), K⁺, Al³⁺ and H⁺+Al³⁺ were evaluated. Principal components analysis (PCA) was carried out with the aid of software R. An increase in SCDW was observed due to the application of K₂O to both soils in the 0-10 cm depth, but it was not possible to verify increase in SCDW content in the 10-20 cm depth. It was concluded that there is an increase in SCDW as the K⁺ concentrations increases in Oxisols, but the intensity varies on the type of soil.

Key words: colloids, potassium fertilization, structural degradation

Introdução

O potássio (K) representa 2,6% dos elementos químicos que constituem a crosta terrestre (Souza e Lameiras, 2012), sendo a silvita (KCl, com teor de 52,4% de K) e carnalita (KCl.MgCl₂.H₂O, com teor de 14,1% de K) os principais minerais (Nascimento e Lápido-Loureiro, 2009). Na indústria, o K é utilizado como componentes de cerâmicas, fertilizantes, produtos químicos e farmacêuticos, sendo que 95% da produção mundial é destinada para a de fertilizantes, principalmente, na forma de cloreto e sulfato (Roberts, 2005; Souza e Lameiras, 2012).

Na agricultura, um dos principais fatores que garante o bom desempenho da agricultura na condições tropicais e subtropicais é a correção da acidez e o fornecimento de nutrientes no solo (Lápido-Loureiro et al., 2009). Dentre os nutrientes exigidos pelas culturas, o potássio (K⁺) e o nitrogênio (N) são comumente os mais extraídos pelas plantas. No caso do K, o Brasil é o quarto maior consumidor (Nascimento e Lápido-Loureiro, 2009) e o valor médio de consumo é na ordem de 38 kg Mg⁻¹ de grãos para culturas anuais, como a soja [*Glycine max* (L.) Merrill]. A utilização do elemento é elevada, visto apresentar baixos níveis devido ao elevado grau de intemperismo, o que demanda elevadas doses do nutriente (Pauletti et al., 2019).

Em condições edafoclimáticas distintas, a disponibilidade do K para as plantas varia em função da quantidade de minerais primários e secundários no perfil do solo e da ciclagem do nutriente são as principais fontes (Werle et al., 2008), ou seja, a disponibilidade depende das formas de K disponível no sistema e da quantidade armazenada em cada uma dessas formas.

Por ser um cátion monovalente, o K pode induzir a dispersão espontânea das partículas do solo quando presente em excesso, devido ao aumento da espessura da dupla camada difusa (Arienzo et al., 2012; Mahanta et al., 2014). Dentre essas partículas, as da fração argila recebem maior atenção, pois nelas os fenômenos de superfície são intensificados em razão da maior área superficial específica. Essa característica faz com que elas sejam a fração mais sensível às variações físico-químicas do meio e, por isso, se dispersam e são transportadas com maior facilidade (Wang e Keller, 2009; Machado et al., 2017).

Quando dispersa, a fração argila pode degradar a estrutura do solo pelo entupimento dos macroporos e aumento da densidade (Paradelo et al., 2013), além de facilitar o transporte de metais pesados, fosfatos e pesticidas a corpos d'água (Martin et al., 2015). Apesar dos potenciais danos, pouco se conhece sobre como a adubação potássica utilizada em lavouras anuais, como a soja, pode induzir a dispersão espontânea da fração argila. Nesse sentido, a hipótese do presente estudo, que dependendo do teor de argila e matéria orgânica, que o aumento da concentração de K⁺ decorrente de altas doses aplicada, aumenta a dispersão espontânea da fração argila do solo.

O estudo teve como objetivo avaliar a relação entre a aplicação de altas doses de fertilizante potássico (KCl) e a dispersão espontânea da fração argila de dois Latossolos (LVe e LVAd) com diferentes classes texturais e teores de carbono orgânico (CO).

Material e Métodos

A classe dos Latossolos é a principal encontrada no Estado do Paraná, sendo distribuído em 31% do território nacional (Lima et al., 2012). Assim, foram escolhidos dois latossolos (Embrapa, 2006) representativos: Latossolo Vermelho Amarelo distrófico (LVAd) e Latossolo Vermelho eutroférico (LVe), localizados respectivamente nos municípios de Ponta Grossa (25°5'40" LS, 50°9'48" LO e altitude média de 956 m) e de Londrina (23°11'44" LS, 51°10'35" LW, e altitude média de 585 m) que apresentavam os seguintes atributos químicos antes da aplicação dos tratamentos: LVAd – pH = 5,0, C = 25,2 g kg⁻¹, P (Mehlich 1) = 8,1 mg dm⁻³, K = 0,5 cmol_c dm⁻³, Ca²⁺ = 3,3 cmol_c dm⁻³, Mg²⁺ = 2,1 cmol_c dm⁻³, S-SO₄²⁻ = 10,7 mg dm⁻³, Al³⁺ = 0,6 cmol_c dm⁻³, H+Al = 5,4 cmol_c dm⁻³ e CTC = 11,3 cmol_c dm⁻³ e LVe – pH = 4,8, C = 14,1 g kg⁻¹, P (Mehlich 1) = 20,2 mg dm⁻³, K⁺ = 0,7 cmol_c dm⁻³, Ca²⁺ = 4,2 cmol_c dm⁻³, Mg²⁺ = 1,2 cmol_c dm⁻³, S-SO₄²⁻ = 16,6 mg dm⁻³, Al³⁺ = 0,1 cmol_c dm⁻³, H+Al = 5,3 cmol_c dm⁻³ e CTC = 11,6 cmol_c dm⁻³.

O clima de Ponta Grossa é caracterizado como quente e temperado (Cfb, segundo Köppen), cuja temperatura média é de 17,5 °C e pluviosidade total anual de 1495 mm, enquanto em Londrina possui o subtropical úmido (Cfa, conforme a classificação de

Köppen), com temperaturas média de 21°C e precipitação média anual de 1635 mm.

O delineamento experimental utilizado foi blocos ao acaso, sendo os tratamentos três concentrações de óxido de potássio (K₂O): 0, 200 e 400 kg ha⁻¹ com nove repetições aplicados a lanço antes do plantio da soja em sistema de plantio direto (SPD) consolidado com 10 anos de sucessão soja-trigo. A fonte de K utilizada foi o KCl (60% de K₂O). Os solos foram coletados 20 subamostras em duas profundidades, 0-10 cm e 10-20 cm após a colheita, os quais apresentaram as seguintes características granulométricas (Tabela 1) e realizadas de acordo com Embrapa (1997).

Tabela 1. Análise granulométrica dos solos dos municípios de Londrina (L) - Latossolo Vermelho eutroférico (LVE) e de Ponta Grossa - Latossolo Vermelho Amarelo distrófico (LVAd) coletados nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm

Local	Granulometria (g kg ⁻¹)		
	Argila	Silte	Areia
	0-10 cm		
Londrina	680	110	210
Ponta Grossa	580	80	340
	10-20 cm		
Londrina	680	120	200
Ponta Grossa	570	100	330

Os solos foram peneirados em malha de 2 mm. Posteriormente, foram avaliados os teores de argila espontânea dispersa em água (AEDA) conforme descrito em Rengasamy (2002), CTC(ΣK^+ , Ca²⁺, Mg²⁺, H+Al), saturação por bases [V% = (ΣK^+ , Ca²⁺, Mg²⁺/CTC)×100], K trocável (K⁺), cálcio trocável (Ca²⁺), magnésio trocável (Mg²⁺) e alumínio trocável (Al³⁺), carbono orgânico total (COT) e acidez potencial (H+Al) de acordo com metodologias descritas em Embrapa (1997) e Donagema et al. (2011). Posteriormente, os teores de K, Ca e Mg trocável foram convertidos em saturação por Ca²⁺ e Mg²⁺ na CTC pela seguinte equação descrita em Eckert (1987) e Moreira et al. (2005).

$$\text{Saturação por K, Ca ou Mg (\%)} = \frac{\text{K, Ca ou Mg (cmol}_c \text{ dm}^{-3})}{\text{CTC}} \times 100$$

A análise de componentes principais (ACP) foi realizada com base na matriz de correlação dos dados, com auxílio do software R (Abdi e Beaton, 2017). O número de componentes plotados foi definido pelo

critério de Kaiser, em que aqueles com variância maior que um foram utilizados. As doses de K₂O dentro de cada tipo de solo foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Resultados e Discussão

Os dois solos apresentaram teores baixos de AEDA no tratamento sem aplicação de K, e variaram de 0,25 a 0,29 g kg⁻¹ de argila no LVE de 0,23 a 0,63 g kg⁻¹ de argila no LVAd (Figura 1). Esses valores são condizentes com a elevada estabilidade estrutural desses solos e corroboram os resultados de Reichert et al. (2009) com solos mais imteperizados, sobretudo dos microagregados (Reatto et al., 2008; Brossard et al., 2012), material oriundo da interação de minerais de caulinita e sesquióxidos metálicos com a matéria orgânica do solo.

Mesmo que os dois tipos de solos apresentem características mineralógicas distintas, os resultados de AEDA estão de acordo com Amezketa et al. (2003), que estudando 36 solos ílíticos da Espanha, observaram que os valores de AEDA variaram de 0 a 10 g kg⁻¹ de argila, e estão de acordo com a afirmativa da importância da influência da mineralogia sobre a microagregação e dispersão espontânea da fração argila. Adicionalmente, a baixa saturação por cátions monovalentes (K⁺ e Na⁺) pode favorecer a floculação e formação de microagregados, uma vez que a presença desses dois cátions em excesso eleva a espessura da porção difusa da dupla camada elétrica, intensificando as forças repulsivas entre as partículas de argila (Mahanta et al., 2014).

Plaza et al. (2015) ao estudar o efeito da matéria orgânica (MO) e dos cátions trocáveis (K⁺, Na⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺) no potencial zeta de um solo do Sul da Espanha, constataram intensificação no desbalanço de cargas das partículas quando o íon Na⁺ foi utilizado, em comparação ao Ca²⁺ (bivalente). Carducci et al. (2016), nas condições dos trópicos avaliaram um Latossolo Vermelho distrófico (LVd) sob diferentes manejos de solo (sistema de plantio direto, pastagem e vegetação nativa) e notaram que o teor de argila dispersa foi homogêneo entre as duas profundidades avaliadas (5-10 e 10-20 cm), o mesmo observado no presente trabalho para o mesmo tipo de solo, fato esse não observado no LVAd, que apresentou aumento no teor de AEDA (%) no perfil.

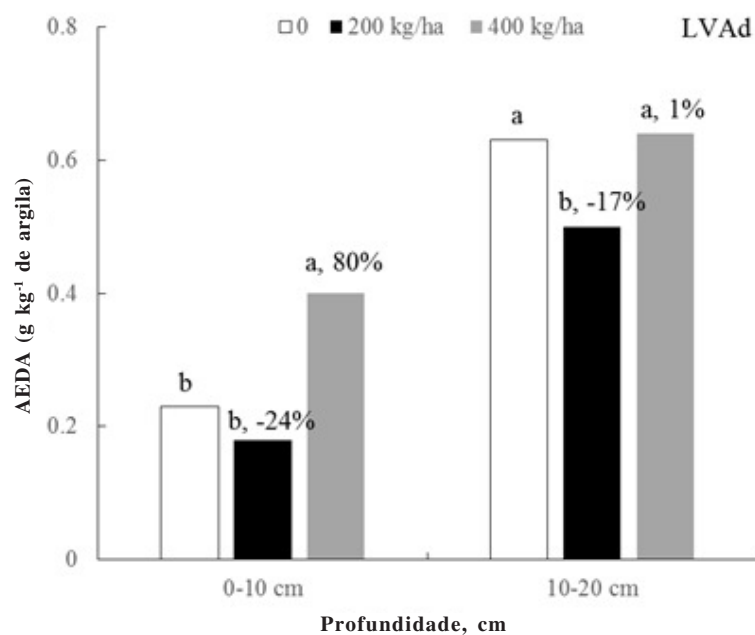
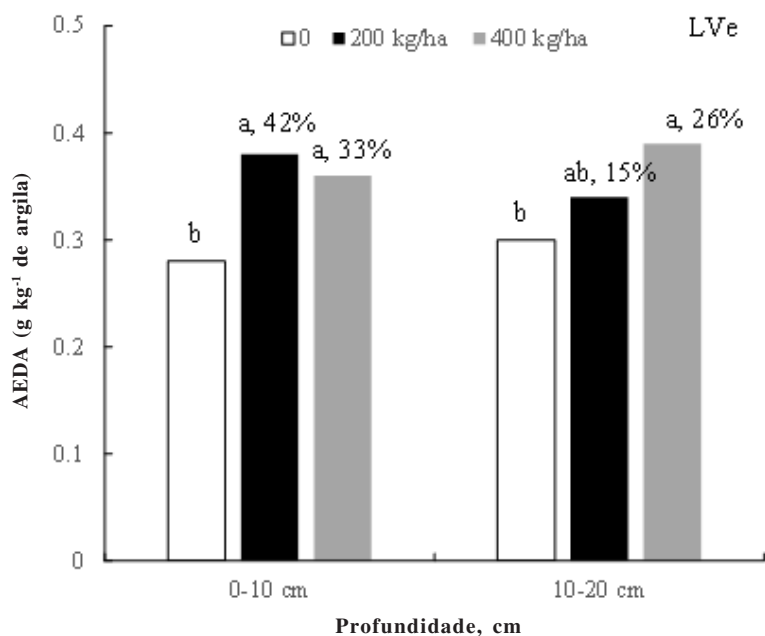


Figura 1. Teor de argila espontânea dispersa em água (AEDA) em função das concentrações de K₂O (0, 200 e 400 kg ha⁻¹) em dois solos paranaenses [Londrina – Latossolo Vermelho eutroférico, LVe e de Ponta Grossa – Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, LVAd] coletados em duas profundidades (0-10 e 10-20 cm). Valores em porcentagem indicam a alteração relativa ao controle (sem aplicação de K₂O). Médias seguidas por letras distintas diferem entre si a 5% pelo teste de Tukey.

Houve aumento na AEDA com a aplicação de K₂O no LVe, chegando a 42% na camada de 0-10 cm e a 26% na de 10-20 cm. Com relação ao LVAd, observou-se aumento de até 80% no teor de AEDA na camada de 0-10 cm, mas não foi possível constatar aumento no teor de AEDA na camada de 10-20 cm (Figura 1). Devido a mobilidade do K⁺ no perfil do solo (Werle et al., 2008), e cabe destacar, que essa variação na AEDA dentro dos dois tipos de solos e profundidades estudadas esteve intimamente associada aos teores desse elemento no solo (Figuras 1 e 2).

Marchuk et al. (2012), avaliando o efeito dos cátions trocáveis na estrutura de um solo, observaram que, quando em excesso, o K⁺ pode levar ao aumento na dispersão das partículas, com reflexos negativos sobre a estrutura. Para os dados do presente estudo, as variações de 6,6 a 9,3% e de 5,4 a 11,2 % na camada de 0-10 cm e de 6,5 a 7,5 % e 5,8 a 6,7 % na camada de 10-20 cm para os solos localizados nos municípios de Londrina e Ponta Grossa, respectivamente, indicaram que mesmo na ausência de aplicação de K, a saturação do nutriente na CTC foi alta (Figura 2). Esses resultados corroboram Pauletti et al. (2019), que indicam que valores acima de 3,0% de saturação, a concentração desse elemento já pode ser interpretada como muito alta.

Na análise de componentes principais (ACP), os dois primeiros componentes explicaram 42% e 25% da variabilidade total, respectivamente. Assim, foi possível sintetizar 67% da variabilidade dos resultados com a análise. Em relação ao primeiro componente (42%), a AEDA esteve diretamente relacionada com o aumento do P, COT, H+Al e inversamente relacionada com o aumento do K⁺, pH, Ca²⁺, Mg²⁺ e V%. Já no segundo componente (25%), a AEDA esteve diretamente relacionada ao P, C,

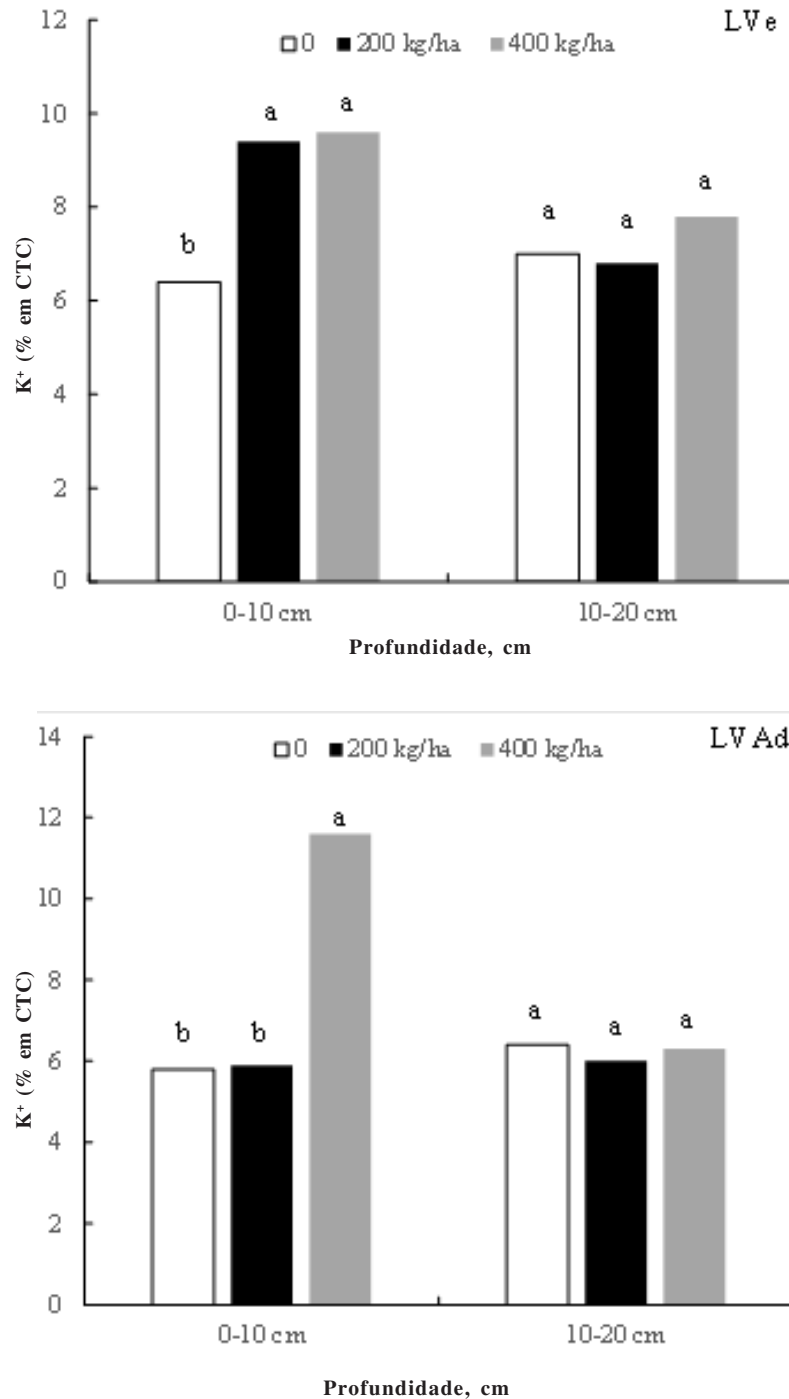


Figura 2. Teor de K trocável em função das concentrações de K_2O (0, 200 e 400 kg ha^{-1}) em dois solos paranaenses [Londrina – Latossolo Vermelho eutroférrico (LVe) e de Ponta Grossa – Latossolo Vermelho Amarelo distrófico, LVAd] coletados em duas profundidades (0-10 e 10-20 cm). Valores em porcentagem indicam a alteração relativa ao controle (sem aplicação de K_2O). Médias seguidas por letras distintas diferem entre si a 5% pelo teste de Tukey.

porcentagem de K^+ , pH, porcentagem de Ca^{2+} e V% e inversamente relacionada a porcentagem de Mg^{2+} , Al^{3+} e $H+Al$ (Figura 3).

O adequado agrupamento dos pontos com relação aos dois latossolos e profundidades avaliadas, independente das doses de K_2O aplicadas, revela que a AEDA está predominantemente associada às características dos solos e profundidade. Assim, como houve um adequado agrupamento dos dados para ambas as áreas, independente da concentração aplicada, indica que o tipo de solo e a profundidade são mais influentes na AEDA do que as doses do fertilizante potássico. Esses resultados corroboram Almeida Neto et al. (2010), que não obtiveram mudanças no teor de argila de amostras do horizonte B de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico coletado no município de Viçosa, Estado de Minas Gerais sob influência de soluções com diferentes concentrações e proporções dos íons Na^+ e Ca^{2+} .

Corrêa et al. (2003) avaliaram diferentes tipos de solos coletados em distintas condições edafoclimáticas, como Neossolo flúvico, Luvisolo, Planossolo Nátrico e Vertissolo Cromado, e observou que os Vertissolos foram os que apresentaram maior dispersão de argila, constatando a elevada influência do tipo e das características físicas e químicas dos solos sobre a dispersão de argila.

Além da provável influência da mineralogia dos dois tipos de Latossolo, o atributo químico mais contrastante entre os solos foi o teor de COT (Tabela 2), provavelmente, devido a variação de temperatura e condições hídricas dos locais amostrados, que alteram significativamente a dinâmica da MO no solo (Santos e Camargo, 1999). O P

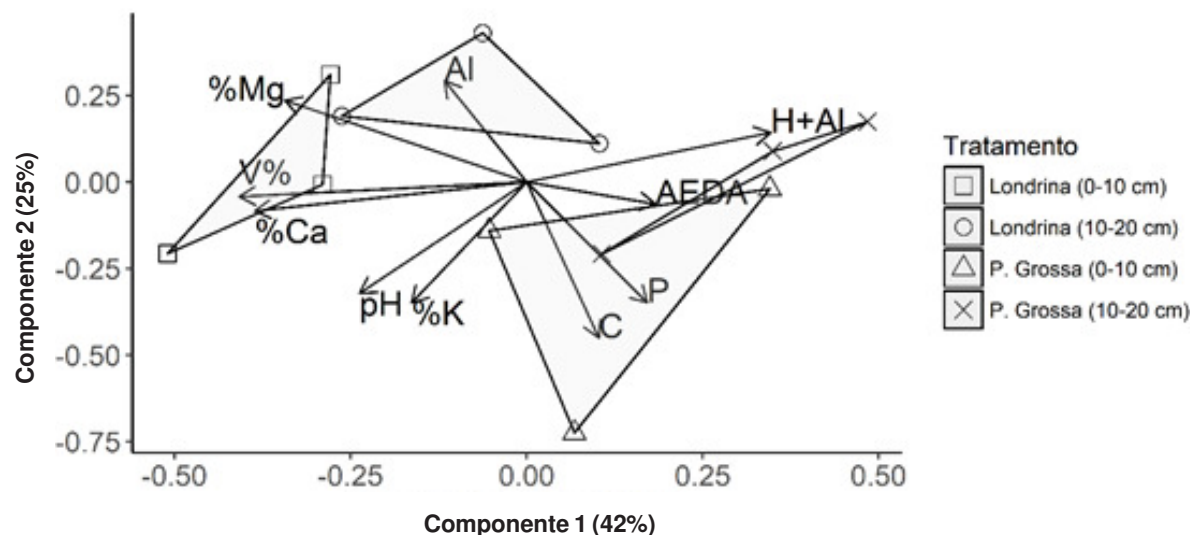


Figura 3. Análise de componentes principais em solos paranaenses nos municípios de Londrina (Latossolo Vermelho eutroférico, LVe) e de Ponta Grossa (Latossolo Vermelho Amarelo distrófico, LVAd) para as variáveis argila espontânea dispersa em água (AEDA, %), capacidade de troca de cátions (CTC), saturação por bases (V%), carbono (%), saturação de cálcio e magnésio (Ca e Mg, %), fósforo (P, mg dm³), potássio (cmol_c dm³), Al³⁺ e H+Al em duas profundidades (0-10 e 10-20 cm) e três concentrações de K₂O aplicadas (0,200 e 400 kg ha⁻¹).

Tabela 2. Média dos atributos químicos dos solos dos municípios de Londrina (A: Latossolo Vermelho distrófico) e de Ponta Grossa (B: Latossolo Vermelho-Amarelo) coletados em duas profundidades (0-10 e 10-20 cm) e em três concentrações de K₂O (0, 200 e 400 kg ha⁻¹)

Atributo	Unidade	Londrina (A)		Ponta Grossa (B)	
		0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm
pH (CaCl ₂)		4,8	4,7	4,7	4,6
C	g kg ⁻¹	12,0	15,2	31,0	22,6
P	mg kg ⁻¹	4,3	3,4	40,4	10,1
CTC	cmol _c kg ⁻¹	13,5	14,6	13,3	12,7
H ⁺ +Al ³⁺	cmol _c kg ⁻¹	5,3	6,9	6,7	7,7
V	%	60,4	52,7	49,5	44,2
Al ³⁺	cmol _c kg ⁻¹	1,1	2,3	1,3	1,1
Ca ²⁺	%	34,2	29,7	29,8	25,3
Mg ²⁺	%	17,8	16,1	12,2	12,6

CTC – capacidade de troca de cátions; V – saturação por bases.

disponível variou entre os dois locais (Tabela 2), e ficou dentro das faixas indicadas como adequadas para os solos do Estado do Paraná (Pauletti et al., 2019). Cabe destacar, que esse efeito se deve as moléculas orgânicas que permitem a formação de pontes entre as partículas da fração argila (Lee et al., 2012), favorecendo a formação de agregados (Plaza et al., 2015) e inibindo sua dispersão espontânea do solo.

Observou-se que esse efeito foi mais pronunciado para o Latossolo Amarelo, em que o elevado COT na camada de 0-10 cm parece ter reduzido a AEDA, quando comparado a

camada de 10-20 cm. No caso do LVe, essa constatação não foi verificada possivelmente devido à homogeneidade no COT entre as camadas (Tabela 2). Dentro de cada camada, foi evidente a tendência de aumento da AEDA pelo incremento da dose de K₂O aplicada no Latossolo coletado em Londrina, enquanto essa tendência não foi observada para o coletado em Ponta Grossa (LVAd).

Conclusões

Nos dois Latossolos (LVe e LVAd) do Estado do Paraná, as doses de potássio (K⁺) aumentaram a argila espontânea dispersa em água (AEDA), porém, a intensidade de resposta variou em função da profundidade avaliada (0-10 e 10-20 cm) e dos atributos químicos do solo, principalmente o COT.

Agradecimentos

A equipe de fertilidade e microbiologia do solo da Embrapa Soja, pela condução do experimento e coleta das amostras de solo.

Literatura Citada

- ABDI, H.; BEATON, D. 2017. Principal component and correspondence analysis using R. Switzerland: Springer International Publishing. 110p.
- ALMEIDA NETO, O. B. et al. 2010. Influência da qualidade da água no comportamento dispersivo da argila do Latossolo-Vermelho-Amarelo. *Engenharia na Agricultura* 18:191-197.
- AMEZKETA, E. et al. 2003. Chemical, Spontaneous and mechanical dispersion of clays in arid-zone soils. *Spanish Journal of Agricultural Research* 4:95-107.
- ARIENZO, C. A. et al. 2012. The relative effect of sodium and potassium on soil hydraulic conductivity and implications for winery wastewater management. *Geoderma* 173:303-310.
- BROSSARD, M. et al. 2012. Analysis of an illustrative interaction between structural features and earthworm populations in Brazilian Ferralsols. *Comptes Rendus Geoscience* 344:41-49.
- CARDUCCI, C. A. et al. 2016. Agregates morfometry in Latossol (Oxisol) under diferente soil managements systems. *Semina Ciências Agrárias* 37:37-42.
- CORRÊA, M. M. et al. 2003. Atributos físicos, químicos e mineralógicos de solos da região de Várzea Sousa (PB). *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 27:311-324.
- DONAGEMA, G. K. et al. 2011. Manual de métodos de análises de solos. 2 ed. Rio de Janeiro, Embrapa Solos. 225p.
- ECKERT, D. J. 1987. Soil test interpretations: Basic cations saturations ratios and sufficiency levels. In: Brown, J. R. (Ed.) *Soil testing: sampling, correlation, calibration, and intertreatment*. Madison: CSSA. pp.53-64.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA -EMBRAPA. 1997. Manual de Métodos de Análise de Solo. 2 ed. Rio de Janeiro, RJ, Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 212p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA -EMBRAPA. 2006. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília, DF, Embrapa. 354p.
- LAPIDO-LOUREIRO, F. E.; MELAMED, R.; FIGUEIREDO NETO, J. 2009. Fertilizantes; agroindústria e sustentabilidade. Rio de Janeiro: CETEM. 655p.
- LEE, B. J. et al. 2012. Competition between kaolinite flocculation and stabilization in divalent cation solutions dosed with anionic polycrylamides. *Water Research* 46:5696-5706.
- LIMA V. C.; LIMA, M. R.; MELO, V. F. 2012. Conhecendo os principais solos do Paraná: abordagem para professores do ensino fundamental e médio. Curitiba: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Núcleo Estadual do Paraná. 18p.
- MACHADO W.; MELO, T. R., TAVARES FILHO, J. 2017. Clay dispersion and loss in Oxisol treated with different concentrations of limestone. *Sêmia: Ciências Agrárias* 38:3907-3914.
- MAHANTA, K. K.; MISHNA, G. C.; KANSAL, M. L. 2014. Estimation of eclectic double layer thickness in the presence of two types of ions in soil water. *Applied Clay Science* 87:212-218.
- MARCHUK, A. et al. 2012. Nature of the clay-cation bond affects soil structure as verified by x-ray computed tomography. *Soil Research* 50:638-644.
- MARTIN, M. et al. 2015. Potential phosphorus and arsenic mobilization from Bangladesh soils by particle dispersion. *Science of the Total Environment* 536:973-980.
- MOREIRA, A.; CARVALHO, J. G.; EVANGELISTA, A. R. 2005. Relação cálcio e magnésio na fertilidade de um latossolo vermelho escuro distrófico cultivado com alfafa. *Ciência e Agrotecnologia* 29:786-794.
- NASCIMENTO, M.; LAPIDO-LOUREIRO, F. E. 2009. O potássio na agricultura brasileira: fontes e rotas alternativas. In: Lapido-loureiro, F. E.; Melamed, R.; Figueiredo Neto, J. (eds.). *Fertilizantes; agroindústria e sustentabilidade*. Rio de Janeiro: CETEM. pp.305-335.
- PARADELO, R.; VAN OORT, V.; CHENU, C. 2013. Water-dispersible clay in bare fallow soils after 80 years of continuous fertilizer addition. *Geoderma* 200-20:40-44.

- PAULETTI, V. et al. 2019. Manual de Adubação e Calagem para o Estado do Paraná. Londrina: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Núcleo Estadual Paraná. 289p.
- PLAZA, I. et al. 2015. Implication of zeta potential and surface free energy in the description of agricultural soil quality: effect of different cations and humic acids on degraded soils. *Soil and Tillage Research* 146:146-148.
- REATTO, A. et al. 2008. Variation of the kaolinite and gibbsite content at regional and local scale in Latosols of the Brazilian Central Plateau. *Comptes Rendus Geoscience* 340:741-748.
- REICHERT, J. M. et al. 2009. Variação temporal de propriedades físicas do solo e crescimento radicular de feijoeiro em quatro sistemas de manejo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 44:310-319.
- RENGASAMY, R. 2002. Clay dispersion. In: McKenzie, B. M. (ed.) *Soil Physical Measurement and Interpretation for Land Evaluation*. Conlingwood: CSIRO Publishing. pp.200-210.
- ROBERTS, T. L. 2005. World reserves and productions of potash. In: Yamada, T.; Roberts, T. L. (Eds.). *Potássio na Agricultura Brasileira*. Piracicaba: Potafós. pp.1-20.
- SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. 1999. Fundamentos da matéria orgânica do solo; ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre: Editora Genesis. 491p.
- SOUZA, A. L.; LAMEIRAS, F. S. 2012. Efeito da moagem de alta intensidade e da irradiação gama sobre a liberação de potássio da moscovita. *Engenharia na Agricultura* 20:501-511.
- WANG, P.; KELLER, A. A. 2009. Sorption and desorption of atrazine and diuron onto water dispersible soil primary size fractions. *Water Research* 43:448-456.
- WERLE, R.; GARCIA, R. A.; ROSOLEM, C. A. 2008. Lixiviação de potássio em função da textura e da disponibilidade do nutriente no solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 32:2297-2305.

