

INFLUÊNCIA DA QUALIDADE DA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO NA DISPERSÃO DA ARGILA DE LATOSSOLOS⁽¹⁾

Onofre Barroca de Almeida Neto⁽²⁾, Antonio Teixeira de Matos⁽³⁾, Walter Antônio Pereira Abrahão⁽⁴⁾, Liovando Marciano da Costa⁽⁵⁾ & Alfredo Duarte⁽⁶⁾

RESUMO

O fenômeno de dispersão da argila do solo pode ser provocado pela qualidade da água de irrigação. Objetivou-se estudar o efeito da irrigação com água com diferentes condutividades elétricas (CE), combinadas com diferentes valores de Relação de Adsorção de Sódio (RAS), na dispersão da argila de solos, de diferentes mineralogias, do Estado de Minas Gerais. As amostras foram coletadas no horizonte B de solos das cidades de Viçosa, Belo Horizonte e Barroso, classificados como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico típico (LVA), Latossolo Vermelho perférrico típico (LV) e Latossolo Vermelho distroférico típico (LVd) destacados, respectivamente, pela presença de argilominerais caulinita, hematita e gibbsita. Os tratamentos corresponderam à percolação, nos três solos, de soluções de NaCl e CaCl₂ preparadas de forma a se obter seis diferentes valores de CE (20; 50; 100; 200; 400 e 800 mS m⁻¹) e cinco de RAS (0, 5, 10, 20 e 40 mmol_c L⁻¹), em três repetições, dispostos em um delineamento em blocos casualizados. A aplicação das soluções foi feita em permeâmetros de coluna vertical e carga constante. A solução foi aplicada até o momento em que a CE do efluente se aproximou daquela da solução aplicada ($C/C_0 = 1,0$). Para avaliar o efeito das soluções aplicadas na estrutura do solo, foram quantificados os teores de argila dispersa em água (ADA). Os valores de ADA nas amostras de solo submetido à percolação das diferentes soluções salino-sódicas (ADA-S) foram relacionados com a CE e a RAS da solução percolada, ajustando-se superfícies de resposta com este fim. O comportamento dos solos foi diferenciado, no que se refere à dispersividade da argila, o que estava associado à

⁽¹⁾ Parte da Tese de Doutorado do primeiro autor apresenta à Universidade Federal de Viçosa – UFV. Recebido para publicação em outubro de 2008 e aprovado em outubro de 2009.

⁽²⁾ Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais, Campus Rio Pomba. Av. Dr. José Sebastião da Paixão s/n, Lindo Valle, CEP 36180-000 Rio Pomba (MG). E-mail: onofre_net@cefetp.edu.br

⁽³⁾ Professor do Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Viçosa – UFV. Av. Peter Henry Rolfs s/n, CEP 36570-000 Viçosa (MG). E-mail: atmatos@ufv.br

⁽⁴⁾ Professor do Departamento de Solos, UFV. E-mail: wabrahamo@ufv.br

⁽⁵⁾ Professor do Departamento de Solos, UFV. E-mail: liovandomc@yahoo.com.br

⁽⁶⁾ Professor do Departamento de Química, UFV. E-mail: alfredoduarte@ufv.br

mineralogia, mas, também, ao grau de intemperismo do solo. O LVA apresentou comportamento não dispersivo em todos os tratamentos e, no geral, todas as soluções de percolação, notadamente as de maiores CE, independentemente dos valores de RAS, proporcionaram diminuição no teor de argila dispersa (ADA-S) nos solos LV e LVd.

Termos de indexação: física do solo, estrutura do solo, agregação.

SUMMARY: IRRIGATION WATER QUALITY INFLUENCE ON CLAY DISPERSIVE BEHAVIOR OF OXISOLS

The phenomenon of dispersion of soil clay can be caused by the quality of irrigation water. This study investigated the effect of irrigation water with different electric conductivities (EC), combined with different Sodium Adsorption Relation (SAR) values on clay dispersion in soil commonly found in the state of Minas Gerais, with different mineralogies. The samples were collected from the B horizon of three soils (Oxisols) in Viçosa, Belo Horizonte and Barroso, respectively, with high levels of the clay minerals kaolinite, hematite, and gibbsite, and are classified as Yellow-Red Latosol, Red Latosol and dystroferric Red Latosol. The physical, chemical, and mineralogical properties of the soils were characterized. The treatments corresponded to percolation, through the three soils, of NaCl and CaCl₂ solutions with six different EC values (20; 50; 100; 200; 400, and 800 mS m⁻¹) and five SAR values (0, 5, 10, 20, and 40 mmol_c L⁻¹), in a randomized block design with three replications. The solutions were applied in vertical column and constant load permeameters. The solution was applied until the EC of the effluent approached that in the applied solution (C/C₀ = 1.0). To evaluate the effect of the solutions applied to the soil structure, the contents of clay dispersed in water (CDW) were quantified. The values of CDW in the soil materials percolated with the different sodic-saline solutions (CDW-S) were related to EC and SAR of the percolated solution. The soil behavior was distinct regarding clay dispersion, which was ascribed to its mineralogy as well as to the degree of weathering. The Yellow-Red Latosol showed a non-dispersive pattern in all treatments. In general, all percolation solutions, especially those with highest EC, regardless of the SAR value, indicated reduced dispersed clay (CDW-S) in the Red Latosol and dystroferric Red Latosol.

Index terms: soil physics, soil structure, agregacion.

INTRODUÇÃO

A tendência da fração coloidal de dispersar-se, colocando-se em suspensão na água, é um fenômeno que pode ocorrer naturalmente ou por ação antrópica. No entanto, a resposta do solo à ação de forças desagregantes depende, em grande parte, de suas características químicas, físicas e mineralógicas. Assim, o tipo e a quantidade de minerais de argila, bem como a sua composição química, regem importantes fenômenos físico-químicos que ocorrem nos solos. De acordo com Vitorino (2001), a necessidade de identificar e caracterizar os fatores que atuam na formação e estabilidade dos agregados do solo e, por conseguinte, na sua influência na floculação da argila, tem sido reconhecida por diversos autores, em diferentes épocas.

A dispersão de argila do solo pode ser provocada pela qualidade da água aplicada no solo, seja por precipitação pluvial natural, seja por irrigação ou

fertirrigação. Segundo McBride (1994), a aplicação de água pode alterar as relações entre os diversos cátions do solo, dependendo de sua constituição química. Para Veloso (1991), a alta concentração de Na⁺ no solo e o tipo de água aplicada podem trazer eventuais deteriorações na sua estrutura, alterando o sistema de poros e contribuindo para alterações na infiltração e condutividade hidráulica desse meio poroso.

Infiltração refere-se à passagem da água pela camada superficial do solo, expressa como taxa. Além da qualidade da água, a infiltração é alterada pelas características físicas do solo, como a textura e o tipo de minerais de argila predominantes, e por suas características químicas, incluindo-se os teores de cátions trocáveis (Ayers & Westcot, 1991).

Água com salinidade inferior a 0,5 dS m⁻¹ e particularmente abaixo de 0,2 dS m⁻¹ tende a lixiviar os sais e minerais solúveis, incluindo os de Ca, reduzindo sua influência positiva sobre a estabilidade

dos agregados e a estrutura do solo. As partículas finas de um solo assim dispersado obstruem o seu espaço poroso, reduzindo acentuadamente a infiltração da água. Além da diminuição consequente da quantidade de água disponível para as culturas, formam-se crostas superficiais que levam a problemas de germinação e emergência de plântulas (Ayers & Westcot., 1991; Bagarello et al., 2006).

As diretrizes utilizadas para avaliar a qualidade da água de irrigação, sugeridas por Ayers & Westcot (1999), referem-se, sobretudo, aos efeitos ocorridos, em longo prazo, na produtividade das culturas, nas condições de solo e no manejo agrícola, decorrentes da aplicação de água de qualidade inferior. As principais variáveis avaliadas foram: salinidade da água, tendo em vista que ela afeta a disponibilidade de água para a cultura; relação de adsorção de sódio (RAS), variável que, juntamente com a salinidade da água, influencia a taxa de infiltração da água no solo e a toxicidade por íons específicos, como Na^+ e Cl^- , que podem alterar a produtividade das culturas mais sensíveis. Essas variáveis também foram utilizadas por Hussain & Al-saati (1999), para avaliar a qualidade da água residual a ser utilizada na agricultura, acrescido da determinação do carbonato de sódio residual - CSR.

Como a Ciência do Solo teve maior desenvolvimento inicialmente nas regiões de clima temperado, a maior parte dos trabalhos realizados aplica-se aos solos daquelas regiões, os quais apresentam predomínio de cargas negativas permanentes (Raij, 1986). Porém, em condições tropicais úmidas, os processos de pedogênese, notadamente os que estão associados ao fenômeno do intemperismo-lixiviação, são intensos, por meio dos quais são removidas sílica e bases trocáveis do perfil do solo, resultando na dominância de argilas de mineralogia diferente das encontradas nos solos de regiões de clima temperado (Lima, 1992). A caulinita, gibbsita, goethita e hematita destacam-se como minerais predominantes em solos mais intemperizados, como os Latossolos e Argissolos brasileiros. Esses quatro minerais de argila podem, no entanto, apresentar comportamento diferenciado, de acordo com as condições de seu ambiente de formação (Rodrigues Neto, 1996).

Os Latossolos apresentam sua fração ativa predominantemente dominada por colóides com carga elétrica variável e, por serem os solos predominantes no território brasileiro, têm sido mais estudados ao longo dos anos. Mesmo assim, nota-se carência de estudos específicos a respeito das suas propriedades físico-químicas associadas à constituição mineralógica. Neste contexto, situa-se o fenômeno da dispersão (Lima, 1992).

Apesar da reconhecida menor susceptibilidade de solos de maior grau de intemperismo aos riscos de dispersão de argila, este fenômeno é sempre citado como potencial impacto negativo quando neles são aplicadas águas residuárias, visando-se seu aproveitamento agrícola.

Objetivou-se, estudar o efeito da utilização de águas de irrigação, com diferentes concentrações iônicas (CEa – salinidade) combinadas com diferentes valores de RAS, na dispersão da argila de solos com diferentes mineralogias, representativos em termos de área de distribuição, do Estado de Minas Gerais.

MATERIAL E MÉTODOS

As amostras foram coletadas no horizonte B de solos, encontrados nos municípios de Viçosa, Belo Horizonte e Barroso, os quais apresentam destaque dos minerais caulinita, hematita e gibbsita, respectivamente. Os conhecimentos de outros estudos de solos correlacionáveis e próximos das áreas de coleta, e com o mesmo material de origem permite afirmar acerca do destaque de alguns minerais da argila. Santana (1973) encontrou 76 % de caulinita no LVA, Embrapa (1988) encontrou 63,6 % de Fe_2O_3 no LV do município de Itabirito, e Melo (1998) encontrou 57,3 % de gibbsita no LV.

Após a coleta, as amostras foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira de 2 mm para a caracterização física (Quadro 1), química e mineralógica. As análises físicas compreenderam a determinação da textura (Ruiz, 2005), densidade do solo e de partícula e argila dispersa em água (Embrapa, 1997).

Quadro 1. Caracterização física de amostras dos solos

Solo	Fração				ADA ⁽¹⁾	Classe textural	Densidade	
	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila			Solo	Partículas
	%						— kg dm ⁻³ —	
LVA ⁽²⁾	12	8	5	75	1	Muito argilosa	0,95	2,65
LV ⁽³⁾	32	5	17	46	21	Argila	1,32	3,30
LVd ⁽⁴⁾	19	8	29	44	34	Argila	1,02	2,70

⁽¹⁾ Argila dispersa em água. ⁽²⁾ LVA – Viçosa. ⁽³⁾ LV - Belo HorizontE. ⁽⁴⁾ LVd – Barroso.

As análises químicas (Quadro 2) incluíram a medição do pH em H₂O e a quantificação das concentrações de cátions trocáveis (Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ e Na⁺), acidez trocável (Al³⁺), acidez potencial (H + Al), teor de matéria orgânica e P remanescente (Embrapa, 1997). O Ca trocável, acrescido de parte do não trocável, foi quantificado após a utilização dos extratores Mehlich-1 e HCl 1 mol L⁻¹, a quente. A dosagem espectrofotométrica de K e Na foram feitas por fotometria de chama, as de Ca e Mg por absorção atômica (Apha, 1995), as de Fe por colorimetria e as de acidez trocável e potencial por titulometria (Embrapa, 1997).

O PCZ dos solos foi estimado de acordo com a equação (Gjorup, 1992):

$$PCZ = (2 \text{ pH}_{KCl} - \text{pH}_{H_2O})$$

A análise mineralógica (Figura 1) da fração argila foi feita por difração de raios X (Whitting & Allardice, 1986).

Os tratamentos foram constituídos pelo fatorial de três solos e seis soluções de percolação com CE igual a 20; 50; 100; 200; 400; e 800 mS m⁻¹ e cinco RAS de 0, 5, 10, 20 e 40 mmol_c L⁻¹, com três repetições, dispostos em blocos casualizados.

Quadro 2. Caracterização química de amostras dos solos

Solo	pH		PCZe	P	K	Na	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	(t)	(T)	V	m	ISNa	P rem	MO
	H ₂ O	KCl																
					—mg dm ⁻³ —			cmol _c dm ⁻³					%		mg L ⁻¹	dag kg ⁻¹		
LVA	4,80	4,19	3,58	2,0	50	12,4	0,16	0,16	0,65	12,6	0,50	1,15	13,10	3,8	56,5	4,69	6,7	0,50
LV	4,92	4,22	3,52	2,3	58	13,4	0,25	0,17	0,55	12,0	0,63	1,18	12,63	5,0	46,6	4,94	8,1	2,38
LVd	5,44	4,56	3,68	1,3	34	1,4	3,71	0,56	0,25	12,9	4,37	4,62	17,27	25,3	5,4	0,13	7,5	1,44

pH em água, KCl e CaCl₂: relação 1:2,5; PCZ_e: ponto de carga zero estimado (PCZ = 2 pH_{KCl}: pH_{H₂O}); P: Na: K: Extrator Mehlich-1; Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺: extrator KCl 1 mol L⁻¹; H + Al: extrator acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹ pH 7,0; SB: soma de bases trocáveis; CTC (t): capacidade de troca catiônica efetiva; CTC (T): capacidade de troca catiônica; V: índice de saturação por bases; m: índice de saturação por alumínio; ISNa: índice de saturação por sódio; Mat. org. (MO) = pH 7,0 C.Org. x 1,724; Walkley-Black; P-rem: fósforo Remanescente.

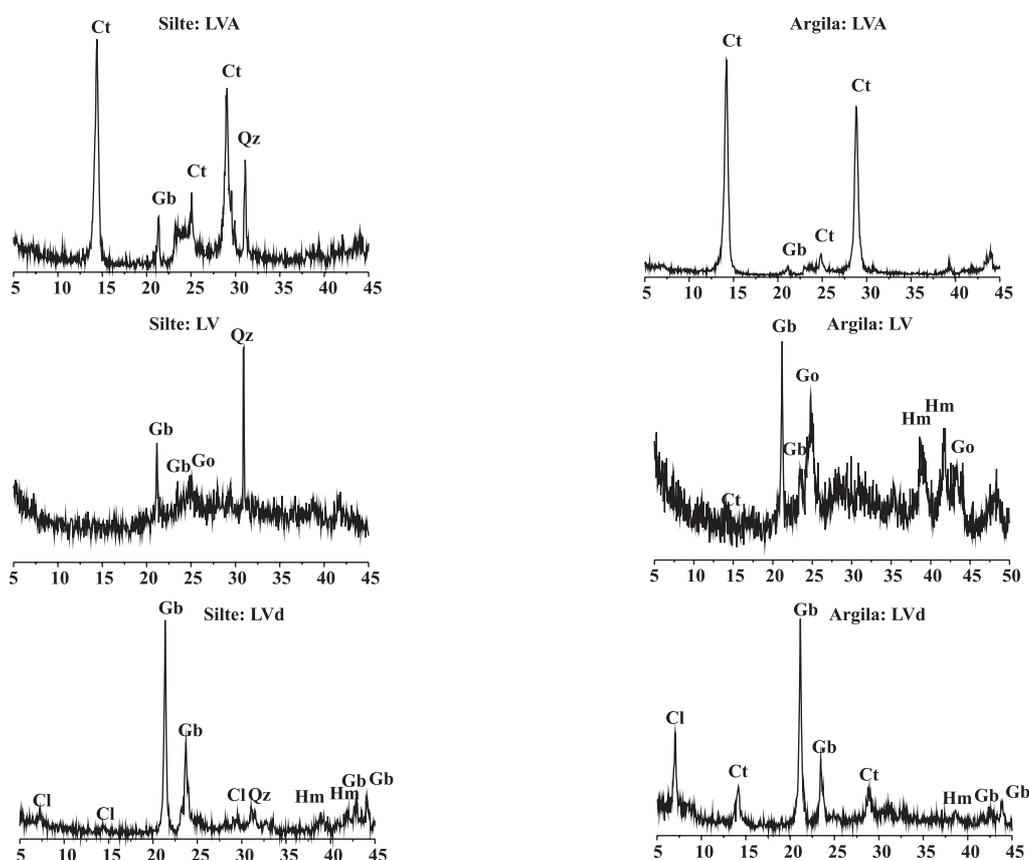


Figura 1 Análise mineralógica: difratogramas de raios X das frações silte e argila obtidos nas amostras dos solos LVA, LV e LVd, sendo: Gb: gibbsita, Hm: hematita, Go: goethita, Ct: caulinita, Qz: quartzo e Cl: clorita.

As colunas foram confeccionadas com tubos de PVC de 5 cm de diâmetro (diâmetro interno igual a 4,78 cm) por 20 cm de comprimento, fechados na parte inferior com tela plástica de alta permeabilidade (sombrite), forrada com um disco de lã-de-vidro. O solo foi acondicionado cuidadosamente, homogeneizando-se sua distribuição para evitar a formação de camadas de compactação diferenciada, até uma altura de 10 cm, tentando-se restabelecer semelhante densidade do solo medida em amostras indeformadas. Na parte superior da coluna, foi colocado outro disco de lã-de-vidro, para evitar a ocorrência de distúrbios na superfície do solo quando da aplicação das soluções (Quadro 3).

As soluções utilizadas para o ajuste da relação Na:Ca (soluções saturantes) foram preparadas com os sais NaCl e CaCl₂, na concentração previamente estabelecida, para que pudessem alcançar os valores de RAS e CE desejados. As colunas foram colocadas para saturar dentro de bandejas plásticas contendo a solução saturante, conforme o tratamento, até uma altura correspondente a dois terços da altura da amostra de solo (7 cm), e assim permaneceram por, no mínimo, 48 h, conforme método adaptado de Freire et al. (2003), com as quais foram, posteriormente, montados os permeômetros de coluna vertical e carga constante (Ferreira, 1999).

As soluções foram aplicadas nas colunas utilizando-se o sistema "frasco de Mariotte", para manutenção de carga hidráulica constante (Ferreira, 1999), constituindo uma lâmina de 1 cm sobre a superfície do solo, até o momento em que a CE da solução de saída tornou-se próxima à da solução aplicada. Posteriormente, as colunas de solo foram mantidas nos recipientes com as soluções de saturação por, no mínimo, mais 24 h, para garantir o equilíbrio entre a solução da coluna de solo e a de saturação e percolação (adaptado de Freire et al., 2003).

Por fim, as amostras foram retiradas das colunas dos permeômetros, colocadas para secar ao ar, destorroadas e passadas em peneira de 2 mm, analisando-se a argila dispersa em água, segundo método citado anteriormente.

O mesmo procedimento foi realizado utilizando-se água destilada e água da chuva como solução de saturação e percolação (Quadro 4).

Quadro 4. Características da água destilada e da água de chuva usadas como soluções de saturação e de percolação

Tipo de água	RAS	CE
	mmol _c L ⁻¹	mS m ⁻¹
Destilada	0	3,0
Chuva	0	4,0

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Avaliando-se os solos submetidos à percolação de água destilada (ADA-A) e água de chuva (ADA-C), considerando-se, principalmente, a aplicação da água de chuva como condição natural de dispersão no meio, verificou-se que o LVA é um solo que praticamente não apresenta argila dispersa sob quaisquer condições químicas da água nele aplicada (Quadro 5). Os solos LV e LVd diferentemente apresentam valores relevantes de ADA-A e de ADA-C, embora, em grande parte das vezes, em condição de menor dispersão que a observada no solo natural, não submetido à percolação de águas salino-sódicas.

Segundo Ayers & Westcot (1991) e Bagarello et al. (2006), água de salinidade inferior a 50 mS m⁻¹ e particularmente abaixo de 20 mS m⁻¹, como a água de chuva, tende a lixiviar os sais e minerais solúveis, incluindo os de Ca, reduzindo sua influência positiva sobre a estabilidade dos agregados e a estrutura do solo. As partículas finas de um solo assim disperso podem obstruir os espaços porosos, reduzindo, acentuadamente, a condutividade hidráulica do meio.

A menor dispersividade do LVA, quando nele foi aplicada água destilada ou água de chuva, pode estar relacionada, pelo menos em parte, ao tipo de cátion presente em grande concentração no complexo de troca deste solo. O LVA foi, dentre os solos estudados, o que apresentou maior saturação do complexo de troca com Al³⁺ (56,5 %) (Quadro 2). O Al, por ser um cátion trivalente, possibilita maior redução na espessura da dupla camada difusa dos colóides do solo, concorrendo para a manutenção dessas partículas mais próximas

Quadro 3. Características gerais dos permeômetros e das colunas de solo

Solo	Volume da coluna	Massa de solo	Porosidade total	Volume de poros	Macroporosidade
	cm ³	g	cm ³ cm ⁻³	cm ³	cm ³ cm ⁻³
LVA	179,35	181,75	0,640	114,78	0,30
LV	179,35	264,45	0,600	107,61	0,21
LVd	179,35	198,50	0,622	111,56	0,35

Quadro 5. Argila dispersa em água (ADA) em amostras de solo retiradas das colunas após percolação de água destilada, água de chuva e diferentes soluções salino-sódicas, com diferentes valores de condutividade elétrica (CE) e Relação de Adsorção de Sódio (RAS)

	LVA	LV	LVd	ADA, %		
Água destilada	1,0	20,0	38,0			
Água da chuva	1,0	22,7	36,3			
RAS (mmol _c L ⁻¹) ^{1/2}		CE = 20 mS m ⁻¹		CE = 200 mS m ⁻¹		
0	1,0	16,5	32,5	1,0	1,0	30,7
5	1,0	22,0	40,0	1,0	1,0	38,0
10	1,0	26,0	34,7	1,0	1,0	40,5
20	1,0	22,3	32,0	1,0	3,3	42,0
40	1,0	20,3	30,3	1,0	13,0	26,0
		CE = 50 mS m ⁻¹		CE = 400 mS m ⁻¹		
0	1,0	1,0	35,0	1,0	1,0	21,7
5	1,0	13,0	40,0	1,0	1,0	23,7
10	1,0	23,0	42,7	1,0	1,0	24,0
20	1,0	23,0	37,3	1,0	2,3	24,7
40	1,0	24,7	41,7	1,0	3,3	26,3
		CE = 100 mS m ⁻¹		CE = 800 mS m ⁻¹		
0	1,0	2,0	39,7	1,0	2,0	1,7
5	1,0	4,0	40,0	1,0	1,3	3,3
10	1,0	12,0	39,7	1,0	2,0	10,0
20	1,0	17,0	36,7	1,0	1,7	22,5
40	1,0	20,7	39,0	1,0	1,0	25,0

umas das outras e, por consequência, menor dispersão em meio líquido.

Comparando-se os valores de ADA, obtidos com a aplicação das outras soluções salino-sódicas (ADA-S) com os obtidos com a percolação de água destilada (ADA-A) e a de chuva (ADA-C), verifica-se que o valor de ADA-S praticamente não variou, indicando influência praticamente nula da condição salina e, ou, sódica da solução na dispersão da argila no LVA. Acredita-se que, embora a aplicação de soluções com diferentes concentrações de Na e Ca tenha proporcionado o deslocamento de parte do Al³⁺ do complexo de troca do LVA, essas mudanças não foram suficientes para provocar dispersão da argila do solo. Os resultados obtidos são indicativos que dificilmente ocorrerá dispersão química dessa classe de solo, em vista da forte agregação formada, indicando menores riscos de alteração na permeabilidade desses solos pela aplicação de águas sódicas.

No caso do LV, é verificada tendência de redução nos valores de ADA-S quando a solução percolada apresentou valores de CE maiores que 20 mS m⁻¹ e valores de RAS baixos. Para manutenção de condições de baixa ADA-S, os valores da RAS poderiam até aumentar desde que a CE da solução também aumentasse. Valores de ADA-S tornaram-se desprezíveis, sob quaisquer condições de RAS, quando a solução apresentou CE superior a 200 mS m⁻¹.

O LVd, ao contrário, foi o solo que se mostrou mais dispersível. Os valores de ADA-S obtidos neste solo podem ser considerados altos, mesmo quando se apli-

cou água com salinidade relativamente alta e RAS baixa. Condições de menor dispersividade da argila do solo ocorreram apenas quando foram utilizadas soluções de percolação com CE maior que 200 mS m⁻¹, tendo sido obtida redução significativa nos valores de ADA-S com a aplicação de solução de percolação de 400 e 800 mS m⁻¹. Água de percolação com CE 800 mS m⁻¹ e RAS de 0 a 5 (mmol_c L⁻¹)^{1/2} proporcionaram valores de ADA-S semelhantes aos obtidos nos outros solos avaliados.

Vários autores (Frenkel et al., 1978; Rengasamy, 1983; Scheafer, 1994; Rodrigues Neto, 1996; Freire, 2001; Corrêa et al., 2003) observaram influência da mineralogia do solo na dispersão e floculação das argilas, mostrando sua alta significância sobre estes fenômenos. Rodrigues Neto (1996), avaliando 22 diferentes classes de solo, verificou que a mineralogia do solo esteve fortemente associada à magnitude do fenômeno de dispersão.

Neste estudo, o LVA, caulínico, mostrou-se menos dispersível que o LV, hematítico, e o LVd gibbsítico, entretanto, outras variáveis que não as mineralógicas deverão ser consideradas, incluindo-se entre elas a textura e, principalmente, o grau de intemperismo, ou o grau de desenvolvimento da estrutura do solo. Os resultados obtidos contrariam as expectativas de baixa dispersão da argila em solos gibbsíticos, uma vez que, conforme Ferreira et al. (1999), a gibbsita é considerada o mineral com maior responsabilidade na estabilidade dos agregados em Latossolo Vermelho e Latossolo Vermelho-Amarelo. Oliveira et al. (2005)

estudaram quatro Oxisolos brasileiros e observaram que a maioria dos Oxisolos gibbsíticos apresentou maior estabilidade dos agregados, quando comparados com os Oxisolos caulíníticos (Latossolo Amarelo e Latossolo Vermelho-Amarelo rico em Fe).

Outro resultado que, de certa forma, também contrariou o que está apresentado na literatura foi o fato de o solo caulínítico (LVA) apresentar menor ADA-A, ADA-C e ADA-S que o solo hematítico (LV). Oxisolos caulíníticos têm, geralmente, menor proporção de agregados estáveis em água que oxisolos com predominância de oxi-hidróxidos de Fe e Al (Ferreira et al., 1999; Schaefer, 2001). Segundo Rodrigues Neto (1996), apesar de os fenômenos físico-químicos de diminuição de cargas positivas e aumento de cargas negativas do solo favorecerem a repulsão entre partículas, constituindo as causas da dispersão, para que esta se manifeste, é necessário que a estabilidade dos agregados seja baixa o suficiente, característica comum nos solos mais caulíníticos. O mesmo autor, estudando material de solo coletado no horizontes B de 22 solos brasileiros, com ampla variabilidade mineralógica, concluiu que os solos caulíníticos e com menores teores de Fe mostraram-se os mais susceptíveis à dispersão da argila.

Avaliando-se, entretanto, os valores de pH e PCZ dos solos (Quadro 2), verifica-se que o solo que apresentou maior equilíbrio de cargas elétricas foi o LVA, seguido do LV e do LVd. Quando o pH do solo está próximo do pH do PCZ, as cargas positivas e negativas igualam-se, tornando muito fracas as forças de repulsão eletrostática, principalmente quando a concentração de cátions trivalentes trocáveis ou de eletrólitos é alta, o que tende a proporcionar diminuição do potencial elétrico, por permanecerem muitos íons na camada de Stern (Gillman, 1974). Como o solo que possui pH mais próximo do pH do PCZ é eletricamente mais equilibrado e, com isso, apresenta força menor de repulsão entre partículas coloidais, o LVA, por este critério, deveria mesmo apresentar menor quantidade de argila dispersa, vindo, em sequência, o LV e o LVd. Aparentemente, o fator balanço de cargas elétricas no solo foi mais importante na dispersão da argila do que a mineralogia.

Feita a análise de variância dos dados (Quadro 6), verificou-se que todos os fatores (RAS, CE e classe de

solo) e suas interações foram significativas a 0,1 % na variável dependente ADA.

Com base na análise de variância, pode-se verificar que tanto a RAS quanto a CE, a classe de solo e todas as interações entre essas variáveis foram de alta significância na dispersão da argila nos solos estudados, confirmando que ela depende da qualidade da água e da mineralogia e, ou, condição estrutural do solo.

Na aplicação de águas residuárias, de diferentes fontes e características bem variadas, em solos agrícolas, têm sido estudados os efeitos sobre as propriedades físicas e químicas do solo. Há relatos que demonstram que as aplicações controladas dessas águas têm trazido benefícios ao solo, mas, também há relatos de malefícios que foram causados, como a dispersão da argila do solo, indicando a importância da qualidade da água utilizada no controle das qualidades dos solos. Para Ayers & Westcot (1991), tanto a RAS como a CE da água aplicada têm forte influência na dispersão da argila do solo e, por isso, devem ser analisadas conjuntamente para que se possa tirar conclusões sobre o risco de diminuição da permeabilidade do solo. Freire (2001), trabalhando com nove solos do Estado de Pernambuco, verificou que, de forma geral, a ADA aumentou com o incremento da RAS da solução de trabalho, sem apresentar diferenças marcantes com relação à CE.

As superfícies de resposta de valores de ADA-S em função das variáveis independentes RAS, CE e a interação RAS-CE, ajustadas para cada solo, estão apresentadas no quadro 6. O não ajuste de equação para o solo LVA deve-se ao fato de que, neste solo, a ADA-S foi pouco influenciada pela RAS e CE da água adicionada, tendo sido obtida uma ADA-S média de 1 % para qualquer condição química da água adicionada.

A ADA-S nos solos LV e LVd foi influenciada pelos fatores RAS e CE da água adicionada a eles, bem como a interação entre as duas variáveis independentes.

Nas figuras 2 e 3, estão apresentados cortes nas superfícies correspondentes aos solos LV e LVd, os únicos em que o ajuste de equações foi possível.

Em relação à condição natural (ADA-A de 20,0 % ADA-C de 22,7 %) do solo LV, observou-se diminuição da ADA-S quando foram aumentados os valores de

Quadro 6. Superfície de resposta relacionando a argila dispersa em água nas amostras de solo (ADA-S, em percentagem) com a condutividade elétrica (CE, em mS m⁻¹) e a Relação de Adsorção de Sódio [RAS (mmol_c L⁻¹)^{1/2}] da solução de percolação

Solo	Equação	R ²
LVA	ADA = 1	-
LV	ADA-S = 13,18 + 0,71** RAS - 7,4x10 ^{-3**} CE - 8,7x10 ^{-3**} RAS ² + 0,73 × 10 ^{-6**} CE ² - 0,48 × 10 ^{-4**} RAS CE	0,79
LVd	ADA-S = 37,16 + 0,43* RAS - 4,3x10 ^{-3*} CE - 0,01267* RAS ² + 0,8 × 10 ^{-4*} RAS CE	0,72

* e **: significativos a 5 e 1%, respectivamente, pelo teste t.

CE e diminuídos os de RAS, podendo-se dizer que ocorreu floculação do solo. Segundo Rodrigues Neto (1996), espera-se que solos mais ricos em óxidos e hidróxidos e, portanto, com maior quantidade de cargas superficiais positivas estabeleçam interações fortes com a caulinita, por meio da neutralização de cargas, possibilitando a formação de agregados mais estáveis. Atuando de forma inversa, a matéria orgânica, encontrada em maior quantidade no LV, pode atuar favorecendo a dispersão da argila do solo, já que aumenta a densidade de cargas negativas no solo, o que pode provocar dispersão da argila do solo.

Verifica-se (Figura 2), que se a CE da água aplicada for alta (superior a 150 mS m^{-1}), a dispersão da argila do solo pode ser considerada baixa (menor que 15 %), independente do valor da RAS. Por outro lado, a dispersão passa a ser muito alta (superior a 25 %) quando o valor da RAS for maior que $18 (\text{mmol}_c \text{ L}^{-1})^{1/2}$.

Para facilitar a avaliação dos riscos da disposição de águas salino-sódicas no LV, no que se refere aos riscos de dispersão da argila, traçou-se, na figura 2, a curva de argila dispersa obtida nesse solo na sua condição natural. Verifica-se que apenas no caso de aplicação de águas de CE muito baixa e RAS muito alta haveria prejuízo à estrutura do solo.

Águas residuárias aplicadas no solo têm, geralmente, CE maior que 150 mS m^{-1} , como é o caso da água residuária da lavagem e despulpa de frutos do cafeeiro, de criatórios de animais, vinhaça, etc. (Matos, 2003). Com base nos resultados obtidos neste trabalho, pode-se inferir que a aplicação dessas águas como fertirrigação, em cultivos agrícolas, não deve trazer problemas de dispersão da argila no LV. Camargo et al. (1988) verificaram redução nos teores de argila dispersa em solos que receberam vinhaça, comentando que o aumento da concentração salina no solo, promovida pela vinhaça, reduziu a espessura da dupla camada difusa, com conseqüente

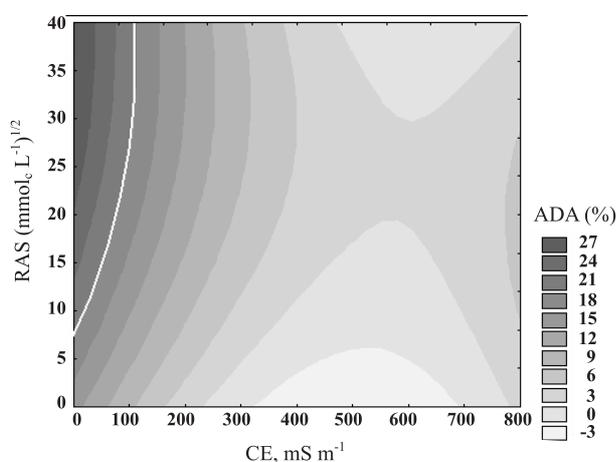


Figura 2. ADA-S em função da RAS e da CE da solução de saturação e de percolação no solo LV (hematítico), apresentando, como detalhe, curva de ADA-A obtida em amostra natural.

aproximação das partículas do solo. A maior atividade microbológica em solos que receberam vinhaça pode também, como verificado por Lopes et al. (1986), ter influenciado na redução da dispersão de argila, devido à produção de mucilagem, que favorece a agregação do solo.

De forma muito diferente do que foi observado em relação ao LV e, principalmente, ao LVA, o LVd mostrou-se altamente sensível à qualidade da água, no que se refere à dispersão da argila. Nesses solos, para que a dispersão fique dentro do mesmo nível considerado baixo, utilizado na discussão dos resultados obtidos para o LV, que foi de 15 %, a água deveria apresentar CE maior que 600 mS m^{-1} , ainda assim, a RAS deverá ser inferior a $10 (\text{mmol}_c \text{ L}^{-1})^{1/2}$ (Figuras 2 e 3).

No solo LVd, observou-se aumento crescente nos valores de ADA-S, quando foi mantido constante a CE e aumentado o valor da RAS, exceto no último tratamento, no qual os valores não seguiram esta tendência. Os maiores valores de ADA-S foram encontrados em amostras de solo que foram submetidas à percolação de soluções com CE baixa e RAS alta, sendo o maior valor encontrado para RAS de $10 (\text{mmol}_c \text{ L}^{-1})^{1/2}$ e CE de 20 mS m^{-1} . Já os menores valores foram obtidos quando a solução de percolação apresentou CE alta e RAS baixa ou quando foram altos os valores para ambas as variáveis. Mantendo-se constante o valor da RAS e elevando-se a CE da solução de percolação, observou-se diminuição na dispersão da argila do LVd.

Da mesma forma como foi feito para o LV, traçou-se a curva de argila dispersa obtida nesse solo na sua condição natural (Figura 3). Verifica-se que água de baixa CE, sob qualquer condição de RAS, como as normalmente aplicadas em áreas irrigadas, pode proporcionar aumento na ADA do solo e, conseqüentemente, prejuízo às características físico-hídricas do meio. Água com baixo valor de CE e RAS, quando aplicada ao LVd, foi, da mesma forma, deletéria à estrutura do solo, o que faz supor que água de chuva e de irrigação possam causar problemas físicos a esta classe de solo, ao menos até a profundidade do perfil em que seja proporcionado desequilíbrio eletrolítico capaz de causar distúrbios físico-químicos detectáveis, como dispersão da argila do solo.

Rodrigues Neto (1996) encontrou resultados de dispersividade de solo muito diferente dos encontrados neste trabalho. Esse autor verificou que a mineralogia mais gibbsítica do solo mostrou-se relacionada com maiores valores de grau de floculação e concluiu que, aparentemente, a presença de gibbsita inibiu a dispersão da argila do solo.

Dentre outros fatores que podem ter contribuído para que ocorresse maior dispersão de argila no LVd estão: menor concentração de Al^{3+} e maior de Mg^{2+} no complexo de troca, maior CTC e maior diferença entre PCZ e pH. Com base nos resultados obtidos neste trabalho, ficou claro que o LVd tem estrutura muito

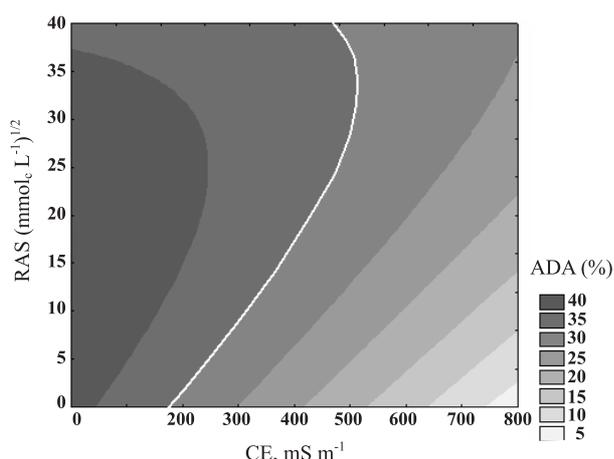


Figura 3. ADA-S em função da RAS e da CE da solução de saturação e de percolação no solo LVd (gibbsítico), apresentando, como detalhe, curva de ADA-A obtida em amostra natural.

instável e deverá ser manejado de forma muito cuidadosa, tendo em vista sua facilidade de entrar em colapso físico, advindo da dispersão da argila e destruição da sua estrutura.

A dispersão de cinco solos de regiões áridas foi estudada por Yousaf et al. (1987), utilizando-se de concentrações eletrolíticas de 0, 1, 4, 10, 30, 50 e 100 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ e RAS de 0, 5, 10, 20 e 40 $(\text{mmol}_c \text{L}^{-1})^{1/2}$. A quantidade de argila dispersa em todas as amostras de solo aumentou com a elevação da RAS e com o decréscimo da concentração de Ca^{2+} ou Mg^{2+} . Esses autores verificaram que o valor da RAS teve efeito dominante sobre a quantidade de argila dispersa, sendo, em geral, maior com o aumento da concentração Mg^{2+} . Para Corrêa et al. (2003), além do Na^+ , que promove elevada percentagem de argila dispersa em água, o Mg aparece como cátion de grande importância nesse fenômeno. Nos solos estudados pelo autor, mesmo sendo a concentração de Na^+ bem menor que a de Ca^{2+} , a argila dispersa mostrou-se bastante elevada, condizente com os altos valores de Mg^{2+} neles contidos. Zhang & Norton (2002) observaram que a concentração crítica de floculação dos solos que eles estudaram foi maior com Mg^{2+} do que com Ca^{2+} , indicando que o Mg^{2+} proporcionou maior dispersão que o Ca^{2+} . Em comparação com os outros solos estudados, o LVd estudado neste trabalho foi o que continha maior concentração de Mg^{2+} (Quadro 2), o que pode ter contribuído na dispersão da argila. Acredita-se que a maior concentração das bases Ca^{2+} e Mg^{2+} no LVd possa também ter contribuído para que esse solo apresentasse maior percentual de argila dispersa em água. Quando em solução, o Mg adquire forma iônica Mg^{2+} , ficando com a mesma densidade de cargas que o Na^+ , pois ambos ficam com dez elétrons em sua estrutura eletrônica; talvez isso possa explicar o comportamento dispersivo do Mg^{2+} .

Gjorup et al. (1990) concluíram que os solos com pequena diferença de seus valores de pH, em relação ao PCZ estimado ($2\text{pH}_{\text{KCl}} - \text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$) na ausência de carbonato de Ca, apresentaram maiores teores de argila dispersa em água, quando se realizou a calagem. Os solos que tinham alto distanciamento do pH em relação ao PCZ, apresentavam alto teor de argila dispersa.

Dentro da proposta de se classificar o risco de dispersão da argila do solo como baixo (até 10 % de aumento no valor da ADA-S em relação ao valor de ADA-C), médio (de 10 a 50 % de aumento no valor da ADA-S em relação ao valor de ADA-C) e alto (> 50 % de aumento no valor da ADA-S em relação ao valor de ADA-C), nenhum dos três solos estudados apresentou alto risco de dispersão. Para o LV prevaleceu o baixo risco de dispersão em todos os tratamentos. O LVd apresentou risco baixo e médio de dispersão até CE de 200 mS m^{-1} , e para $\text{CE} \geq 400 \text{ mS m}^{-1}$ o risco foi baixo com qualquer valor de RAS na solução de percolação.

CONCLUSÕES

1. O comportamento dos solos foi diferenciado em relação à dispersividade da argila, o que foi associado à sua mineralogia, mas também ao grau de intemperização do solo.
2. No geral, todas as soluções de percolação, notadamente as de maiores CE, independente do valor da RAS, proporcionaram diminuição na argila dispersa (ADA-S) dos solos LV e LVd.
3. O LVA não apresentou características dispersantes relacionadas a nenhum tipo de tratamento imposto, podendo-se afirmar que a estrutura do solo não foi afetada pela qualidade da solução nele percolada.
4. No LV, dispersão de argila semelhante à obtida em condições naturais (percolação de água destilada ou água de chuva) somente ocorreu quando a solução de percolação apresentava baixos valores de CE.
5. No LVd, como os níveis de dispersão já eram naturalmente altos, a solução de percolação não proporcionou aumentos significativos nos valores de ADA-S, embora baixos valores de CE na água tenham se mostrado deletérios à estrutura do solo.

AGRADECIMENTOS

Ao Departamento de Engenharia Agrícola e ao Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa. Ao CNPq e à Capes, pela concessão da bolsa, e à FAPEMIG, pelo financiamento da pesquisa.

LITERATURA CITADA

- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA. Standard methods for the examination of water and wastewater. 19.ed. Washington, D.C., 1995. 953p.
- AYERS, R.S. & WESTCOT, D.W. A qualidade da água na agricultura. Campina Grande, Universidade Federal da Paraíba, 1991. 218p.
- AYERS, R.S. & WESTCOT, D.W. A qualidade da água na agricultura. Campina Grande, Universidade Federal da Paraíba, 1999. 153p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 29)
- BAGARELLO, V.; IOVINO, M.; PALAZZOLO, E.; PANNO, M. & REYNOLDS, W.D. Field and laboratory approaches for determination sodicity effects on saturated soil hydraulic conductivity. *Geoderma*, 130:1-13, 2006.
- CAMARGO, O.A.; VALADARES, J.M.A.S.; BERTON, R.S. & TEÓFILO SOBRINHO, J. Características físicas de solo que recebeu vinhaça. *B. Ci. Inst. Agron.*, 14:1-12, 1988.
- CORRÊA, M.M.; KER, J.C.; MENDONÇA, E.S.; RUIZ, H.A. & BASTOS, R.S. Atributos físicos, químicos e mineralógicos de solos da região das Várzeas de Sousa (PB). *R. Bras. Ci. Solo*, 27:311-327, 2003.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solo (SNLCS). In: REUNIÃO DE CLASSIFICAÇÃO, CORRELAÇÃO DE SOLOS E INTERPRETAÇÃO DE APTIDÃO AGRÍCOLA, 3., Rio de Janeiro, 1988. Anais. Rio de Janeiro, 1988. p.1-67.
- FERREIRA, P.A. Drenagem de terras agrícolas. Viçosa, MG, 1999. 187p. (Apostila UFV/DEA)
- FERREIRA, M.M.; FERNANDES, B. & CURI, N. Influência da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de Latossolos da Região Sudeste do Brasil. *R. Bras. Ci. Solo*, 23:515-524, 1999.
- FREIRE, M.B.G.S. Saturação por sódio e qualidade da água de irrigação na degradação de propriedades físicas de solos no Estado de Pernambuco. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2001. 66p. (Tese de Doutorado)
- FREIRE, M.B.G.S.; RUIZ, H.A.; RIBEIRO, M.R.; FERREIRA, P.A.; ALVAREZ V., V.H. & FREIRE, F.J. Estimativa do risco de sodificação de solos de Pernambuco pelo uso de águas salinas. *R. Bras. Eng. Agríc. Amb.*, 7:227-232, 2003.
- FRENKEL, H.; GOERTZEN, J.O. & RHOADES, J.D. Effects of clay type and content, exchangeable sodium percentage, and electrolyte concentration on clay dispersion and soil hydraulic conductivity. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 42:32-39, 1978.
- GJORUP, G.B. Influência da carga permanente de pH e do alumínio trocável no teor de argila dispersa em água. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1992. 41p. (Tese de Mestrado)
- GJORUP, G.B., JUCKSCH, I.; COSTA, L.M. & FONTES, L.E.F. Modificações do pH e dispersão de argila em amostras de diferentes solos álicos. In: CONGRESSO BRASILEIRO E ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA SOBRE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 8., Londrina, 1990. Resumos. Londrina, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1990. p.94.
- HUSSAIN, G. & AL-SAATI, A.J. Wastewater quality and its reuse in agriculture in Saudi Arabia. *Desalination*, 123:241-251, 1999.
- GILLMAN, G.P. The influence of net charge on water dispersible clay and sorbed sulphate. *Austr. J. Soil Res.*, 12:173-176, 1974.
- LIMA, D.M. Influência da mineralogia e da concentração de eletrólitos na dispersão da fração argila de Latossolos. Lavras, Escola Superior de Agricultura de Lavras, 1992. 59p. (Tese de Mestrado)
- LOPES, E.S.; PERON, S.C.; PORTUGAL, E.P.; CAMARGO, O.A. & FREITAS, S.S. Atividade respiratória de solo tratado com vinhaça e herbicida. *Bragantia*, 45:205-210, 1986.
- MATOS, A.T. Disposição de águas residuárias no solo. Viçosa, MG, Associação dos Engenheiros Agrícolas de Minas Gerais, 2003. (Caderno Didático)
- McBRIDE, M.B. Environmental chemistry of soils. Oxford, Oxford University Press, 1994. 406p.
- MELO, V.F. Potássio e magnésio em minerais de solos e relação entre propriedades da caulinita com formas não-trocáveis destes nutrientes. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1998. 205p. (Tese de Doutorado)
- OLIVEIRA, T.S.; COSTA, L.M. & SCHAEFER, C.E. Water-dispersible clay after wetting and drying cycles in four Brazilian Oxisols. *Soil Tillage Res.*, 83:260-269, 2005.
- RAIJ, B.van. Propriedades eletroquímicas de solos. In: SIMPÓSIO AVANÇADO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO, 1., Piracicaba, 1986. Anais. Campinas, Fundação Cargill, 1986. p.9-41.
- RENGASAMY, P. Clay dispersion in relation to changes in the electrolyte composition of dialysed red-brown earths. *J. Soil Sci.*, 34:723-732, 1983.
- RODRIGUES NETO, A. Influência da mineralogia da fração argila sobre propriedades físico-químicas de solos brasileiros. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1996. 144p. (Tese de Mestrado)
- RUIZ, H.A. Incremento da exatidão da análise granulométrica do solo por meio da coleta da suspensão (Silte + Argila). *R. Bras. Ci. Solo*, 29:297-300, 2005.
- SANTANA, D.P. Estudo de solos do Triângulo Mineiro e de Viçosa: I. Mineralogia; II. adsorção de fosfatos. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1973. 56p. (Tese de Mestrado)
- SCHAEFER, C.E.G.R. Soils and Paleosols from Northeastern Roraima, Amazonia: Geomorphology, genesis and lanscape evolution. Reading, University of Reading, 1994. 353p. (Tese de Doutorado)

- SCHAEFER, C.E.G.R. The microstructure of Brazilian Oxisols as long-term biotic constructs. *Austr. J. Soil Res.*, 39:909-926, 2001.
- VELOSO, M.E.C. Efeito de diferentes qualidades de água sobre algumas propriedades físico-químicas de um Brunizem Avermelhado. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1991. (Tese de Mestrado)
- VITORINO, A.C.T. Relação da mineralogia e química do solo com a dispersão da argila e estabilidade de agregados do tamanho de silte. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2001. 79p (Tese de Doutorado)
- WHITTIG, L.D. & ALLARDICE, W.R. X-ray diffraction techniques. In: KUTER, A., ed. *Methods of soil analysis. Physical and mineralogical properties*. 2.ed. Madison, American Society of Agronomy, 1986. Part 1. p.331-362. (Agronomy Series, 9)
- YOUSAF, M.; ALI, O.M. & RHOADES, J.D. Clay dispersion and hydraulic conductivity of some salt-affected and land soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 51:905-907, 1987.
- ZHANG, X.G. & NORTON, L.D. Effect of exchangeable Mg on saturated hydraulic conductivity disaggregation and clay dispersion of disturbed soils. *J. Hydrol.*, 260:164-205, 2002.