

TIPOS DE DISPERSANTES, FORMAS DE AGITAÇÃO E SUA RELAÇÕES COM A ERODIBILIDADE DE SOLOS COM ALTOS TEORES DE ÓXIDOS DE FERRO¹

LUCIA FERREIRA²

NILTON CURT³

MOZART MARTINS FERREIRA³

JOSÉ MARIA DE LIMA³

MARX LEANDRO NAVES SILVA³

ANTONIO CARLOS TADEU VITORINO⁴

RESUMO – Solos com altos teores de óxidos de ferro têm sido relacionados na literatura como sendo altamente resistentes à erosão. Além disso, a dificuldade de se conseguir, rotineiramente, um mecanismo adequado de dispersá-los tem sido marcante. Os modelos para estimativa indireta da erodibilidade de solos têm tomado por base resultados de distribuição de partículas por tamanho, com o uso de dispersantes químicos, notadamente o NaOH. Nesse sentido, com este estudo teve-se por objetivo estudar tipos de dispersante, formas de agitação de solos com altos teores de óxidos de ferro e sua relação com a erodibilidade. Os solos selecionados foram Latossolo Vermelho distroférrico (LVdf) e Nitossolo

Vermelho eutroférrico (NVef). A dispersão (tanto rápida quanto lenta) das frações silte + areia muito fina com água promove resultados menos variáveis que a dispersão com NaOH, o que mostra o potencial do emprego da granulometria do material de solo disperso com água em estudos de erodibilidade e previsão de perdas de solo. O Nitossolo apresenta índice de erodibilidade de 0,019 t ha h (ha MJ mm)⁻¹ e para o Latossolo esse índice é de 0,001 t ha h (ha MJ mm)⁻¹, enquadrando-se nas classes moderada e baixa de erodibilidade, respectivamente. Os atributos mineralógicos, químicos, físicos, morfológicos e micromorfológicos, no seu conjunto, ajudam a explicar a erodibilidade diferencial dos solos estudados.

TERMOS PARA INDEXAÇÃO: Erodibilidade, erosão, mineralogia do solo, micromorfologia do solo.

TYPES OF DISPERSANTS, FORMS OF SHAKING AND THEIR RELATIONSHIPS WITH ERODIBILITY OF SOILS WITH HIGH AMOUNTS OF IRON OXIDES

ABSTRACT – Soils with high amounts of iron oxides have been related in the literature as being highly resistant to erosion. Besides, the difficulty of routinely getting, an appropriate mechanism of dispersing them has been remarkable. The models for indirect estimation of the erodibility of soils have been taking for base, results of particle-size- distribution with the use of chemical dispersants, notably NaOH. In this sense, this

study had the objective of studying dispersant types, forms of shaking of soils with high amounts of iron oxides and their relationships with the erodibility. The selected soils were dystroferic Red Latosol (Oxisol) and eutroferic Red Nitosol (Alfisol). The fast and slow dispersion of the silt + very fine sand fractions with water promotes less variable results than the dispersion with NaOH, what shows the potential of

1. Extraído da dissertação de Mestrado da primeira autora, apresentada à UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS/UFLA, Caixa Postal 37 – 37200.000 – Lavras, MG, Curso de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas.

2. Engenheira Agrícola, M.Sc.

3. Engenheiro Agrônomo, D.Sc., Professor do Departamento de Ciência do Solo/UFLA, bolsista do CNPq.

4. Engenheiro Agrônomo, M.Sc., Professor do Departamento de Ciências Agrárias da UFMS. Caixa Postal 533 – 79804.970 – Dourados, MS.

the employment of the dispersion of the soil material with water in erodibility studies and in prediction of soil losses through hydric erosion. The Nitosol presents an erodibility index of $0.019 \text{ t ha h (ha MJ mm)}^{-1}$ and for the Latosol this index is $0.001 \text{ t ha h (ha MJ mm)}^{-1}$,

framing these soils into moderated and low classes of erodibility, respectively. The mineralogical, chemical, physical, morphological and micromorphological attributes, as a whole, help to explain the differential erodibility of the studied soils.

INDEX TERMS: Erodibility, erosion, soil mineralogy, soil micromorphology.

INTRODUÇÃO

As propriedades químicas, físicas e biológicas do solo que afetam a erodibilidade podem ser agrupadas em três classes (Smith & Wischmeier, 1962), ou seja, aquelas que afetam a velocidade de infiltração da água e aquelas que influenciam a resistência do solo à desagregação e ao transporte pela chuva e enxurrada combinadas.

A erodibilidade tende a aumentar com o incremento do teor de silte mais areia muito fina e a diminuir com o aumento do conteúdo de areia com diâmetro maior que 0,1 mm e de argila (Wischmeier *et al.*, 1971). A relação da erodibilidade com a textura mostra que geralmente o solo se torna menos suscetível à erosão quando decresce o teor de silte (Wischmeier & Mannering, 1969; Obi, 1982; Igwe *et al.*, 1995).

De acordo com Lima *et al.* (1990), os teores de silte e areia muito fina, obtidos da análise granulométrica com dispersão total (NaOH), estão entre os principais parâmetros responsáveis pela erodibilidade dos solos; entretanto, quando a dispersão do solo é realizada somente em água, os agregados, de elevada estabilidade, podem permanecer no tamanho das frações silte e areia muito fina, permitindo dúvidas sobre os resultados da granulometria com dispersão total na predição do seu comportamento diante da erosão.

A estrutura granular, quando compactada à maciça, laminar e em blocos, causa uma menor erodibilidade (Wischmeier *et al.*, 1971; El-Swaify & Dangler, 1977). Em Latossolos, os pequenos agregados granulares apresentam formato aproximado de esfera, com um mínimo de área exposta por unidade de volume, proporcionando baixa coerência entre eles e facilitando a ação da água no arraste das partículas. As argilas silicatadas (caulinitas), em placas, por outro lado, tendem a apresentar um arranjo face a face, com formato em blocos, conferindo ao solo uma maior coesão, menor permeabilidade (Resende *et al.*, 1999), e conseqüentemente, afetando a erodibilidade.

A erodibilidade do solo representa sua suscetibilidade natural à erosão (Wischmeier *et al.*, 1971). É um dos fatores que mais desperta interesse na pesquisa de

erosão por ser influenciado pelos atributos intrínsecos do solo, variando, assim, de solo para solo. Bruce-Okine & Lal (1975) encontraram maiores valores de erodibilidade em solos com argilominerais do tipo 2:1 expansivos (esmectitas) do que naqueles com argilominerais do tipo 1:1 (caulinitas) e óxidos de ferro e de alumínio. El-Swaify & Dangler (1977) desenvolveram modelos para estimativa da erodibilidade, distinguindo os solos em sete classes mineralógicas diferentes, segundo a erodibilidade.

Alguns autores têm relatado em suas experiências altas correlações dos compostos de ferro, alumínio e silício com a erodibilidade, entre os quais pode-se citar Römken *et al.* (1977). Desenvolvendo um modelo para estimar a erodibilidade para alguns solos do Brasil, Denardin (1990) constatou que a inclusão do teor de óxidos de alumínio extraídos pelo ataque sulfúrico elevou o coeficiente de determinação da relação, melhorando a capacidade preditiva do modelo.

A matéria orgânica tem efeito na estruturação e formação dos agregados do solo, reduzindo a erodibilidade (Troeh *et al.*, 1980). Vários autores demonstram em seus trabalhos uma alta correlação da erodibilidade com o teor de matéria orgânica (Wischmeier & Mannering, 1969; Wischmeier *et al.*, 1971; Denardin, 1990). A erodibilidade do solo tende a diminuir apreciavelmente com o aumento do teor de matéria orgânica (Wischmeier *et al.*, 1971). No entanto, em solos que apresentam elevada porcentagem de argila, pequenas variações no teor de matéria orgânica não influenciam a erodibilidade (Wischmeier & Mannering, 1969; Troeh *et al.*, 1980).

Ferreira *et al.* (1999b) relatam, com base em estudos que envolveram micromorfologia, que Latossolos caulínicos desenvolvem macroestrutura do tipo em blocos, conseqüência do ajuste face a face das placas de caulinita, enquanto Latossolos gibbsínicos revelam macroestrutura do tipo granular, em conseqüência da ausência do ajuste anterior. Ferreira *et al.* (1999a) relacionaram atributos mineralógicos com propriedades físicas de Latossolos, concluindo que os Latossolos caulínicos apresentaram menor permeabilidade, quando compara-

dos com os gibbsíticos, fato que influencia o comportamento do solo em termos de macroestrutura, quanto à erodibilidade.

Chartres (1987) ressalta a importância da micromorfologia do solo no estudo da porosidade e permeabilidade, as quais influenciam a erodibilidade, e Romashkevich (1962), citado por Brewer (1976), relacionou a macro e microestrutura com a erodibilidade do solo.

Com base no exposto, com este estudo objetivou-se avaliar tipos de dispersante, formas de agitação de solos ricos em óxidos de ferro e suas relações com a erodibilidade.

MATERIAL E MÉTODOS

Os solos estudados, com altos teores de óxidos de ferro, foram Latossolo Vermelho distroférico (LVdf) e Nitossolo Vermelho eutroférico (NVef), conforme EMBRAPA (1999), localizados nos municípios de Lavras e Perdões, respectivamente, no sul de Minas Gerais. A região caracteriza-se pelo clima do tipo Cwb (temperado suave – mesotérmico), segundo a classificação de Köppen.

Amostras compostas, sempre que a metodologia permitisse, foram coletadas dos horizontes A (0 – 20 cm) e B (80 – 100 e 40 – 60 cm, respectivamente para o LV e NV), sendo tratadas e processadas de acordo com o tipo de análise a serem submetidas.

Todas as análises físicas foram realizadas com cinco repetições, exceto no estudo de dispersão, no qual foram utilizadas trinta repetições.

A análise granulométrica dos solos foi realizada pelo método da pipeta (Day, 1965), empregando-se NaOH 0,1 mol L⁻¹ como dispersante químico e agitação rápida (12.000 rpm) durante 10 minutos. O mesmo procedimento foi feito para o fracionamento da terra fina em água, sendo as frações que englobam partículas e/ou agregados maiores que 0,1 mm separadas por peneiramento (malha de 0,105 mm), e as frações de tamanho menor por sedimentação, segundo a lei de Stokes. A fração areia (2,0 a 0,053 mm) foi subdividida em seis classes: areia muito grossa (2,0 a 1,0 mm), areia grossa (1,0 a 0,5 mm), areia média (0,5 a 0,25 mm), areia fina (0,25 a 0,105 mm), areia muito fina (0,105 a 0,074 mm) e areia muitíssimo fina (0,074 a 0,053 mm).

A densidade do solo (Ds) foi determinada em amostras com estrutura indeformada, segundo Blake & Hartge (1986a), e a densidade de partículas (Dp) pelo método do balão volumétrico, descrito por Blake & Hartge (1986b). O volume total de poros (VTP) foi deter-

minado conforme Danielson & Sutherland (1986). A distribuição de poros por tamanho foi determinada em amostras com estrutura indeformada em mesa de tensão, utilizando-se unidade de sucção com 60 cm de altura de coluna de água (Grohmann, 1960).

A estabilidade de agregados foi determinada mediante tamizamento em água após pré-umedecimento lento, segundo Oliveira *et al.* (1983) e Kemper & Rosenau (1986). O diâmetro médio geométrico (DMG) dos agregados foi calculado segundo Kemper & Chepil (1965). A permeabilidade foi avaliada em laboratório, partindo-se de amostras com estrutura indeformada, coletadas com amostrador de Uhland, e utilizando-se permeômetro adaptado (Lima *et al.*, 1990).

Na terra fina seca ao ar (TFSA), foram feitas análises de óxidos “totais” (SiO₂, Al₂O₃, e Fe₂O₃), extraídos pelo ataque sulfúrico, segundo EMBRAPA (1997). Também foram feitas determinações de Fe₂O₃ extraídos pelo ditionito-citrato-bicarbonato de sódio (DCB), segundo Mehra & Jackson (1960), e pelo oxalato de amônio (OA), segundo Schwertmann (1964), ambos na fração argila, objetivando-se obter os teores de óxidos livres totais e óxidos menos cristalinos, respectivamente. O complexo sortivo e carbono orgânico foram determinados segundo EMBRAPA (1997). Todas as análises na fração argila foram feitas com quatro repetições e os valores foram corrigidos para terra fina seca em estufa (TFSE).

A quantificação de caulinita e gibbsita foi feita na fração argila desferrificada, por meio de análise térmica diferencial (ATD).

Os atributos morfológicos abordados neste trabalho basearam-se na descrição geral e morfológica dos perfis de solo, segundo recomendações de Lemos & Santos (1982).

Para o estudo da micromorfologia, amostras indeformadas dos solos foram coletadas com auxílio de caixas de Kubiena para confecção de lâminas delgadas com dimensões de 10,0 x 6,5 x 5,0 cm. Foi empregado o método proposto por Jongerius & Heintzberger (1963), sendo utilizada resina de poliéster na impregnação. As lâminas foram descritas com o auxílio de microscópio petrográfico Zeiss, empregando-se terminologia proposta por Brewer (1976), Fitzpatrick & Eswaran (1984) e Brewer & Sleeman (1988). A adaptação dos termos para o português foi baseada em Lima *et al.* (1985). As fotomicrografias das lâminas delgadas foram obtidas com câmara fotográfica Zeiss MC 63A, acoplada ao microscópio. A quantificação de algumas feições micromorfológicas foi realizada pelo método de contagem de pontos, descrito por Brewer (1976).

A erodibilidade dos solos com B textural (NV) e Latossolo (LV) foi estimada pelos modelos propostos por Marques *et al.* (1997) e Silva *et al.* (2000), respectivamente.

As perdas de solo por erosão foram estimadas com base na Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS), mantendo-se os fatores C e P iguais a 1 (solo descoberto e sem prática de conservação), considerando-se o comprimento de rampa de 22 m para ambos os solos estudados e grau de declive de 5% para o LV e 22% para o NV, conforme medição no campo. Utilizou-se a erosividade média anual da região de 6483 MJ mm (ha h ano)⁻¹ (Val *et al.*, 1986).

Os dados resultantes da dispersão (em água e em NaOH), nas agitações rápida e lenta, foram submetidos ao teste de média (teste T), e pelo coeficiente de variação (CV) foi avaliada a variabilidade ocorrida nos dados. Para tal, foram utilizados os dados médios de 30 repetições, para cada tipo de dispersante e forma de agitação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Comparando-se as formas de agitação (Quadro 1), verifica-se pelos teores de argila estatisticamente iguais ou superiores aos obtidos na agitação rápida, a superioridade da agitação lenta (valores entre parênteses) em promover maior dispersão no material dos dois solos. O maior atrito entre os agregados e partículas, ao

contrário da agitação rápida, em que a suspensão do solo é violentamente agitada, havendo concentração da energia de dispersão junto à hélice, torna o método de agitação lenta mais eficiente (Grohmann & Rajj, 1977). A menor desagregação do material proporcionada pela agitação rápida conduz a teores mais elevados das frações de maior tamanho.

Pelos valores mais elevados dos teores de argila dispersa em água sob agitação lenta em relação à agitação rápida no horizonte A dos solos estudados, infere-se que os teores mais elevados de matéria orgânica nesse horizonte (Quadro 5) foram menos eficazes em manter as partículas primárias unidas sob esse mecanismo de dispersão.

A dispersão do material de solo em água, representada pelos valores entre parênteses no Quadro 2, ocasionou distribuição de partículas por tamanho diferente daquela ocorrida em NaOH, independente do tipo de agitação ter sido rápida ou lenta. A dispersão em NaOH apresentou valores maiores do que em água para a fração argila nos dois solos, provavelmente em consequência do efeito dispersivo combinado do Na e do pH da suspensão (Seta & Karathanasis, 1996). Sabe-se que a adição de Na a amostras de solos promove a expansão da dupla camada difusa em torno das partículas de argila, de tal forma que as forças repulsivas geradas são fortes o suficiente para superar as forças de atração (forças de van der Waals) e manter as argilas dispersas.

QUADRO 1 – Valores médios da distribuição por tamanho de partículas e/ou agregados dispersos com NaOH e com água nas agitações rápida e lenta¹.

Solo	Prof.	Classe de tamanho (mm)					
		Areia	Silte + Areia muito fina	Argila	Areia	Silte + Areia muito fina	Argila
	Dispersão com NaOH.....		Dispersão com água.....		
cm....	-----g kg ⁻¹ -----					
LV	0 – 20	120 (150)*	240 (130)*	640 (720)*	360 (270)*	440 (280)*	190 (450)*
	80 – 100	110 (110)	120 (60)*	770 (830)*	420 (330)*	540 (630)*	40 (40)
NV	0 – 20	230 (210)*	200 (160)*	570 (630)*	340 (280)*	430 (310)*	230 (410)*
	40 – 60	140 (140)	140 (90)*	720 (770)*	290 (270)	670(690)	40 (40)

¹Os valores entre parênteses correspondem às médias da dispersão com agitação lenta.

* Diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade pelo teste T.

A dispersão é também favorecida pelo aumento do pH da suspensão, o qual gera cargas negativas, alterando o balanço de cargas, principalmente em solos cuja fração argila é rica em Fe, Al, caulinita ou matéria orgânica (Seta & Karathanasis, 1996).

Por outro lado, na dispersão em água, os maiores valores ocorreram nas frações areia e silte + areia muito fina, fato que evidencia o comportamento funcional da argila, a qual permanece, em grande parte, nas últimas frações, corroborando registros de Resende (1985) e observações de Lima *et al.* (1990) e Silva *et al.* (1995).

Como o valor do coeficiente de variação foi cerca de três vezes menor para a dispersão lenta em água em comparação ao NaOH no que se refere às frações silte + areia muito fina (Quadro 3), as quais influenciam em muito a erodibilidade do solo (Ferreira, 1992), Marques *et al.*

(1997) e Silva *et al.* (2000), essa metodologia mostra-se com bom potencial de emprego na avaliação indireta da mesma.

Considerando o DMG (Quadro 4) como representativo do índice de agregação do solo (Kemper & Chepil, 1965), as dimensões médias dos agregados representadas por esse índice, nas diferentes profundidades dos dois solos estudados, são maiores que 2 mm. Esses valores são superiores aos mencionados por Mazurack & Mosher (1970) e Egashira *et al.* (1983), sendo também indicativos de agregados muito estáveis e resistentes à erosão. Martins Filho (1999), trabalhando com Latossolos, também encontrou uma relação inversa entre diâmetro médio geométrico dos agregados e erodibilidade entre-sulcos.

QUADRO 2 – Valores médios da distribuição por tamanho de partículas e/ou agregados dispersos com NaOH e com água¹.

Solo	Profundidade	Classe de tamanho (mm)					
		Areia	Silte + Areia muito fina	Argila	Areia	Silte + Areia muito fina	Argila
cm.....Agitação rápida.....		Agitação lenta.....		
		-----g kg ⁻¹ -----					
LV	0 – 20	120 (360)	240 (440)	640 (190)	150 (270)	130 (280)	720 (450)
	80 – 100	110 (420)	120 (540)	770 (40)	110 (330)	60 (630)	830 (40)
NV	0 – 20	230 (340)	200 (430)	570 (230)	210 (280)	160 (310)	630 (410)
	40 – 60	140 (290)	140 (670)	720 (40)	140 (270)	90 (690)	770 (40)

¹Os valores entre parênteses correspondem às médias da dispersão com água.

Todos os resultados apresentaram diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade pelo teste T.

QUADRO 3 – Valores do Coeficiente de Variação (C.V.) na dispersão com NaOH e com água, na agitação rápida e lenta, das frações areia (2-0,1 mm), silte mais areia muito fina (SAMF) e argila no Latossolo Vermelho (LV) e Nitossolo Vermelho (NV).

Solo	Prof.	Agitação rápida						Agitação lenta					
		Areia		SAMF		Argila		Areia		SAMF		Argila	
		NaOH	Água	NaOH	Água	NaOH	Água	NaOH	Água	NaOH	Água	NaOH	Água
	--cm--	-----%-----											
LV	0 – 20	7,70	16,73	13,96	8,32	6,38	17,67	7,69	29,59	24,22	7,79	2,98	11,21
	80 – 100	5,67	17,42	27,32	13,36	4,39	13,51	6,53	13,35	78,64	6,34	4,86	17,56

NV	0 – 20	3,75	20,27	10,51	8,85	3,73	18,16	3,18	11,64	6,43	6,90	1,41	8,19
	40 – 60	6,52	28,02	11,69	11,20	2,23	13,65	8,52	5,65	46,66	2,31	4,25	17,92

Com relação aos constituintes mineralógicos (Quadro 5), observa-se um enriquecimento relativo de óxidos de ferro e de alumínio no LV, resultantes da atuação do processo de latolização, com conseqüente remoção de sílica, quando comparado com o NV.

Os teores de óxidos de ferro livres totais (DCB) também são maiores no LV. Esses valores, segundo Barberis *et al.* (1991) e Colombo & Torrent (1991), aliados aos maiores teores de gibbsita, bem como à maior relação Gb/(Gb+Ct) (Quadro 5), segundo Resende (1985) e Ferreira *et al.* (1999b), são os principais responsáveis pela formação de uma estrutura granular de grande estabilidade, induzindo maior permeabilidade (Quadro 4) nesse tipo de solo, fato esse que contribui para diminuir o deflúvio superficial pela maior infiltração de água.

Estudando horizontes A e B de Latossolo Roxo e Terra Roxa Estruturada, Carolino de Sá *et al.* (1999) também concluíram que os agregados do horizonte B do Latossolo foram mais sensíveis à ação do impacto das gotas de chuva, tendo isso sido relacionado com o maior teor de gibbsita desse solo, concordando com Silva *et al.* (1995).

O Nitossolo, que apresenta uma estrutura em blocos subangulares bem definida, reflexo de uma mineralogia caulínica (Ferreira *et al.*, 1999b), tende a ser mais sujeito à erosão laminar. Sendo assim, o peneiramento em água estaria simulando as forças de desagregação deste solo.

No LV, os grãos constituídos principalmente de quartzo (Quadro 6) estão parcial ou totalmente envolvidos num plasma poroso-aglutínico (Figuras 1A e 1B). Dessa forma, houve o desenvolvimento de microestrutura com diâmetro médio variando de 46 a 187 μm , com predomínio de poros compostos, o que é concordante com sua macroestrutura granular (observada no campo), estando em conformidade com o modelo que implica no desenvolvimento dessa macroestrutura, com pequenos grânulos soltos, proposto por Ferreira *et al.* (1999b).

No NV, a distribuição dos grãos, também predominantemente de quartzo, está envolvida num plasma denso, contínuo, com menor tendência ao desenvolvimento de microestrutura (Figuras 1C e 1D). Esses aspectos são consonantes com a macroestrutura em blocos subangulares e prismática (observada em campo) desse solo.

QUADRO 4 – Estabilidade de agregados em água e diâmetro médio geométrico (DMG) e permeabilidade (PERM) nos solos estudados.

Solo	Prof.	Classe de tamanho de agregados (mm)						DMG	PERM
		7,96 -2	2 -1	1 - 0,5	0,5 - 0,25	0,25 - 0,1	<0,1		
	---cm---	-----%-----						---mm---	---mm h ⁻¹ ---
LV	0 – 20	90,8	2,7	2,1	1,6	1,5	1,3	3,63	103
	80 – 100	81,8	5,4	4,1	3,8	3,7	1,2	3,01	201
NV	0 – 20	94,6	1,0	0,9	0,5	0,3	2,7	3,87	59
	40 – 60	85,8	5,8	3,7	2,2	1,6	0,9	3,28	99

QUADRO 5 – Atributos mineralógicos e químicos dos solos estudados.

Solo	Prof.	Ct	Gb	Gb/(Gb+Ct)	SiO ₂ AS	Al ₂ O ₃ AS	Fe ₂ O ₃			MO
							AS	DCB	OA	
	--cm--	-----g kg ⁻¹ -----		----- g kg ⁻¹ -----						
LV	0 - 20	160	310	0,66	153	262	237	198	4,0	31
	80 - 100	230	400	0,63	137	304	236	206	3,7	15

NV	0 - 20	290	220	0,43	197	230	185	189	4,4	31
	40 - 60	300	280	0,48	227	252	205	180	3,9	11

Ct: caulinita, Gb: gibbsita; AS: ataque sulfúrico; DCB: ditionito-citrato-bicarbonato; OA: oxalato de amônio; MO: matéria orgânica.

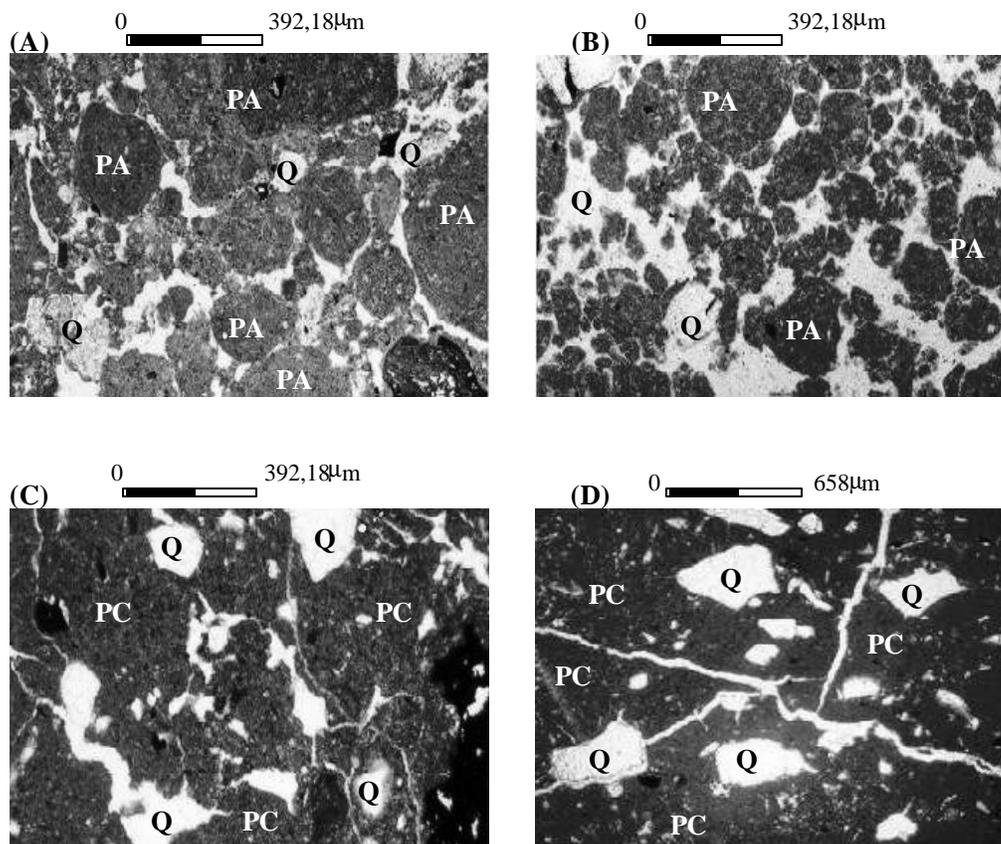


FIGURA 1 – Aspectos da microestrutura dos horizontes A moderado (A) e Bw (B) do Latossolo Vermelho distroférrico, mostrando grãos de quartzo (Q) e plasma aglutinado (PA) e dos horizontes A moderado (C) e Bt (D) do Nitossolo Vermelho eutroférrico, mostrando grãos de quartzo (Q) e plasma mais denso, mais contínuo (PC).

Os índices de erodibilidade apontam o NV como sendo o solo de menor resistência à erosão (Quadros 7 e 8). Pode-se observar (Quadro 7) que os valores dos índices de erodibilidade foram mais altos quando estimados pelo nomograma modificado, que, por adotar teores de partículas e/ou agregados dispersos em água, promove aumento dos teores de silte + areia muito fina (Quadros 1 e 2). Os menores valores encontrados pelos outros métodos, que se baseiam principalmente na granulometria com dispersão com NaOH, confirmam os resultados obtidos por Lima *et al.* (1990).

O LV apresentou os menores valores de erodibilidade (Quadro 7), valores esses próximos aos encontrados por Hernani *et al.* (1997). A erodibilidade diminui com a profundidade, sendo verificado comportamento contrário do NV pelo nomograma modificado por Lima *et al.* (1990). Pelos dados obtidos neste trabalho, revela-se a mesma tendência encontrada por Lombardi Neto & Bertoni (1975) para essas mesmas classes de solo no Estado de São Paulo.

Embora apresentem a mesma estrutura no horizonte A, os dois solos apresentam erodibilidade (K) diferentes, o que se deve à diferença de permeabilidade

(Quadro 4), a qual no LV é praticamente o dobro daquela da NV.

No tocante às perdas por erosão (Quadro 8), pode-se observar que as diferenças entre o NV e o LV são bem marcantes. Segundo Resende (1985), a quantidade de enxurrada aumenta com o comprimento da encosta e a

velocidade com sua forma. No presente estudo, como foi considerado o mesmo comprimento de rampa (22 m) para os dois solos, as perdas passaram a ser função apenas da velocidade da água em escoamento pela encosta. Com um declive mais acentuado (22%), a velocidade da água é maior no NV do que no LV (declive 5%).

QUADRO 6 – Descrição micromorfológica sintética dos solos estudados.

Solo	Hor./Prof. (cm)	Grãos	Plasma	Poros	Caracteres pedológicos
LV	A 0 – 20	Ocupam cerca de 10% da área da lâmina, sendo 75% de quartzo, 20% de material opaco preto e 5% outros	Ocupa 50% da área da lâmina, com microporos bem individualizados	Ocupam cerca de 40% da área da lâmina.	Observa-se presença de argilãs de tensão, pedotubos e nódulos
	Bw 80 - 100	Ocupam cerca de 10%, sendo 75% de quartzo, 25% de material opaco preto ou nódulos ferruginosos	Ocupa cerca de 60%, sendo predominantemente micropédico	Ocupam cerca de 30%	Observa-se pedotubos, peds e nódulos, com grãos de quartzo.
NV	A 0 – 20	Ocupam 20%, sendo 90% de quartzo, 5% de material opaco preto e 5% de pseudomorfos e grãos alterados e semi-alterados	Ocupa cerca de 45%, sendo predominantemente contínuo	Ocupam cerca de 35%.	Observa-se cutãs na forma de traços de argilãs de deposição (iluviação) e nódulos.
	Bt 80 - 100	Ocupam cerca de 15%, sendo 80% de quartzo e 20% de material opaco preto.	Ocupa cerca de 60%, sendo relativamente mais contínuo que no caso do LV	Ocupam cerca de 25%	Observa-se argilãs de deposição (iluviação), nódulos e pedotubos.

QUADRO 7 – Índices de erodibilidade (K) estimados pelos diferentes métodos.

Solo	Profundidade	Lombardi Neto & Bertoni	Lombardi Neto & Bertoni (modificado)	Nomograma	Nomograma (modificado)
	-----cm-----	-----t.ha.h/ha.MJ.mm-----			
LV	0 – 20	0,008	0,012	0,012	0,057
	80 – 100	0,001	0,008	0,006	0,051
NV	0 – 20	0,011	0,019	0,016	0,063
	40 - 60	0,001	0,016	0,013	0,078

As perdas de solo estimadas com base nas porcentagens de partículas e/ou agregados menores que 0,1 mm dispersos em água (nomograma modificado) foram superiores às das outros métodos. Lima *et al.* (1990) chegaram a resultados semelhantes estudando Latossolos na mesma região e relatam que os valores de

perdas de solos estimados pelo método nomograma modificado podem estar superestimando as perdas de solo, mas, certamente, os valores obtidos pelos métodos convencionais superestimam a resistência desses solos à erosão.

QUADRO 8 – Estimativa de perdas de solo^(1,2).

Solo	Profundidade	Lombardi Neto & Bertoni	Lombardi Neto & Bertoni (modificado)	Nomograma	Nomograma (modificado)
	-----cm-----	-----t.ha.h/haMJ.mm-----			
LV	0 – 20	52 (23)	78 (35)	78 (35)	370 (166)
	80 – 100	6 (3)	52 (23)	39 (19)	331 (150)
NV	0 – 20	71 (300)	123 (519)	104 (449)	408 (1725)
	40 - 60	8 (27)	104 (437)	84 (359)	506 (2139)

⁽¹⁾ Calculada com base na Equação Universal de Perdas de Solo ($A = RKLSCP$), considerando LSCP iguais a 1, a erosividade das chuvas (R) da região (6483 MJ.mm/ha.h.ano) (Val *et al.*, 1986) e os índices de erodibilidade (K) dos solos, então $A = RK$

⁽²⁾ Os valores entre parênteses indicam a estimativa de perda, calculada pela equação $A = RKLS$, considerando a declividade dos solos (LV = 5% e NV = 22%), comprimento de rampa de 22 m e demais parâmetros como acima mencionados.

CONCLUSÕES

a) A dispersão (tanto rápida quanto lenta) das frações silte + areia muito fina com água promove resultados menos variáveis que a dispersão com NaOH, o que mostra o potencial do emprego da granulometria do material de solo disperso com água em estudos de erodibilidade e previsão de perdas de solo.

b) O Nitossolo Vermelho eutroférrico apresenta índice de erodibilidade de $0,019 \text{ t ha h (ha MJ mm)}^{-1}$ e para o Latossolo Vermelho distroférrico, esse índice é de $0,001 \text{ t ha h (ha MJ mm)}^{-1}$, enquadrando-se nas classes moderada e baixa de erodibilidade, respectivamente.

AGRADECIMENTOS

Aos pesquisadores Paulo Cardoso de Lima e Mariza Nascimento Duarte (*in memoriam*), Embrapa Solos, pelo auxílio nas análises micromorfológicas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARBERIS, F.; MARSAN, A.; BOERO, V.; ARDUINO, E. Aggregation of soil particles by iron oxides in various size fraction of soil B horizons. *Journal of Soil Science*, Oxford, v.42, n.4, p.535-542, Dec. 1991.
- BLAKE, G.R.; HARTGE, K.H. Bulk density. In: KLUTE, A. (Ed.). *Methods of soil analysis*. 2.ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986a. v.1, p.363-375.
- BLAKE, G.R.; HARTGE, K.H. Bulk density. In: KLUTE, A. (Ed.). *Methods of soil analysis*. 2.ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986b. v.1, p.377-382.
- BREWER, R. *Fabric and mineral analysis of soil*. New York: R.E. Krieger, 1976. 482 p.
- BREWER, R.; SLEEMAN, J.R. *Soil structure and fabric*. Australia: CSIRO, 1988. 173 p.

- BRUCE-OKINE, E.; LAL, R. Soil erodibility as determined by raindrop technique. **Soil Science**, Baltimore, v.119, n.2, p.87-104, Mar. 1975.
- CAROLINO DE SÁ, M.A.; LIMA, J.M.; SILVA, M.L.N.; DIAS JÚNIOR, M.S. Índice de desagregação do solo baseado em energia ultra-sônica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, n.3, p.525-531, Jul./Set. 1999.
- CHARTRES, C.J. The role of micromorphology in studies of soil physical and structural properties: a review. In: RENGASAMY, P. (Ed.). **Soil structure and aggregate stability research**. Australia: Department of Agriculture and Rural Affairs, 1987. p.107-120.
- COLOMBO, C.; TORRENT, J. Relationships between aggregation and iron oxides in Terra Rossa soils from southern Italy. **Catena**, Cremlingen, v.18, n.1, p.51-59, Feb. 1991.
- DANIELSON, R.E.; SUTHERLAND, P.L. Porosity. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis**. 2.ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986. v.1, p.443-461.
- DAY, P.R. Particle fractionation and particle-size analysis. In: BLACK, C.A. (Ed.). **Methods of soil analysis**. Madison: American Society of Agronomy, 1965. v.1, p.545-566.
- DENARDIN, J.E. **Erodibilidade de solo estimada por meio de parâmetros físicos e químicos**. 1990. 81 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiróz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- EGASHIRA, K.; KAETSU, Y.; TAKUMA, K. Aggregate stability as an index of erodibility of Ando soils. **Soil Science and Plant Nutrition**, Oxford, v.29, n.4, p.473-481, Apr. 1983.
- EL-SWAIFY, S.A.; DANGLER, E.W. Erodibilities of selected tropical soils in relation to structural and hydrologic parameters. In: NATIONAL CONFERENCE ON SOIL EROSION, 30., 1976, West Lafayette. **Proceedings...** Ankeny: SWCS, 1977. p.105-110.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solos**. 2.ed. rev. atual. Rio de Janeiro, 1997. 212 p. (EMBRAPA-CNPS. Documentos, 1).
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, 1999. 412 p.
- FERREIRA, L. **Avaliação indireta da erodibilidade em solos com altos teores de ferro e aspectos relacionados à mineralogia e micromorfologia**. 1992. 82 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras.
- FERREIRA, M.M.; FERNANDES, B.; CURTI, N. Influência da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de latossolos da região sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, n.3, p.514-524, Jul./Set. 1999a.
- FERREIRA, M.M.; FERNANDES, B.; CURTI, N. Mineralogia da fração argila e estrutura de latossolos da região sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, n.3, p.507-514, Jul./Set. 1999b.
- FITZPATRICK, N.; ESWARAN, H. **Micromorphology of soils**. London: Chapman & Hall, 1984. 433 p.
- GROHMANN, F. Distribuição do tamanho de poros em três tipos de solo do Estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v.19, n.21, p.319-328, Jul./Set. 1960.
- GROHMANN, F.; van RAIJ, B. Dispersão e pré-tratamento para análise granulométrica de latossolos argilosos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.1, n.1, p.52-53, jan./abr. 1977.
- HERNANI, L.C.; SALTON, J.C.; FABRÍCIO, A.C.; DEDECK, R.; ALVES JÚNIOR, M. Perdas por erosão e rendimentos de soja e de trigo em diferentes sistemas de preparo de um Latossolo Roxo de Dourados (MS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.21, n.4, p.667-676, Out./Dez. 1997.
- IGWE, C.A.; AKAMIGBO, F.O.R.; MBAGWU, J.S.C. Physical properties of soils of Southeastern Nigeria and the role of some aggregating agents in their stability. **Soil Science**, Baltimore, v.160, n.6, p.431-441, dec. 1995.
- JONGERIUS, A.; HEINTZBERGER, G. **The preparation of mammoth-sized thin sections**. Soil survey papers 1. Wageningen: The Soil Survey Institute, 1963. 37p.
- KEMPER, W.D.; CHEPIL, W.S. Size distribution of aggregates. In: BLACK, C.A. (Ed.). **Methods of soil analysis**.

- sis. Madison: American Society of Agronomy, 1965. part 1, p.499-509.
- KEMPER, W.D.; ROSENAU, R.C. Aggregate stability and size distribution. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis**. Madison: American Society of Agronomy, 1986. v.1, p.425-442.
- LEMOS, R.C.; SANTOS, R.D. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 2.ed. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1982. 45 p.
- LIMA, J.M.; CURTI, N.; RESENDE, M.; SANTANA, D.P. Dispersão do material de solo em água para avaliação indireta da erodibilidade em latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.14, n.1, p.85-90, Jan./Abr. 1990.
- LIMA, P.C.; CURTI, N.; LEPSCH, I.F. Terminologia de micromorfologia do solo. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.10, n.2, p.33-44, Mai./Ago. 1985.
- LOMBARDI NETO, F.; BERTONI, J. **Erodibilidade de solos paulistas**. Campinas: Instituto Agronômico, 1975. 12 p. (INSTITUTO AGRONÔMICO. Boletim técnico, 27).
- MARQUES, J.J.G.S.M.; CURTI, N.; LIMA, J.M.; FERREIRA, M.M.; SILVA, M.L.N.; FERREIRA, D.F. Estimativa da erodibilidade a partir de atributos de solos com horizonte B textural no Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.21, n.3, p.457-465, Jul./Set. 1997.
- MARTINS FILHO, M.V. **Modelagem do processo de erosão entressulcos em Latossolos de Jaboticabal – SP**. 1999. 140 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- MAZURAK, A.P.; MOSHER, P.N. Detachment of soil aggregates by simulated rainfall. **Soil Science Society of American Proceedings**, Madison, v.34, n.5, p.798-800, Set./Out. 1970.
- MEHRA, O.P.; JACKSON, M.L. Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. In: NATIONAL CONFERENCE ON CLAYS AND CLAYS MINERALS, 7. **Proceedings**. New York: Pergamon, 1960. p.317-327.
- OBI, M.E. Runoff and soil loss from na oxisol in south-eastern Nigeria under various management practices. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.5, n.1, p.193-203, Jan./Feb. 1982.
- OLIVEIRA, M.; CURTI, N.; FREIRE, J.C. Influência do cultivo na agregação de um Podzólico Vermelho-Amarelo textura média/argilosa da região de Lavras (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.7, n.3, p.317-322, Set./Dez. 1983.
- RESENDE, M. Aplicação de conhecimentos pedológicos à conservação de solos. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.11, n.128, p.3-18, Ago. 1985.
- RESENDE, M.; CURTI, N.; REZENDE, S.B.; CORRÊA, G.F. **Pedologia**: base para distinção de ambientes. 2. ed. Viçosa: Núcleo de Estudos de Planejamento e Uso da Terra/ Universidade Federal de Viçosa, 1999. 367 p.
- RÖMKENS, M.J.M.; ROTH, C.B.; NELSON, D.W. Erodibility of selected clay subsoils in relation to physical and chemical properties. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.41, n.5, p.954-960, Set./Out. 1977.
- SCHWERTMANN, U. Differenzierung der eisenoxide des bonde durch extraktion mit ammonium-oxalatlösung. **Zeitschrift fuer Pflanzenernahrung-Düngung und Bodenkunde**, Weinheim, v.105, n.3, p.194-202, Jan. 1964.
- SETA, A.K.; KARATHANASIS, A.D. Water-dispersible colloids and factors influencing their dispersibility from soil aggregates. **Geoderma**, Amsterdam, v.74, n.3-4, p.255-266, Dec. 1996.
- SILVA, M.L.N.; CURTI, N.; FERREIRA, M.M.; LIMA, J.M.; FERREIRA, D.F. Proposição de modelos para estimativa da erodibilidade de latossolos brasileiros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.6, p.1207-1220, Jun. 2000.
- SILVA, M.L.N.; CURTI, N.; MARQUES, J.J.G.S.M.; LIMA, L.A.; FERREIRA, M.M.; LIMA, J.M. Resistência ao salpico provocado por impacto de gotas de chuva simulada em latossolos e sua relação com características químicas e mineralógicas. **Ciência e Prática**, Lavras, v.19, n.2, p.176-182, Abr./Jun. 1995.
- SMITH, D.D.; WISCHMEIER, W.H. Rainfall erosion. **Advances in Agronomy**, Orlando, v.14, p.109-148, 1962.
- TROEH, F.R.; HOBBS, J.A.; DANAHUE, R.L. **Soil and water conservation for productivity and environmental protection**. New Jersey: Prentice-Hall, 1980. 718 p.

VAL, L.A.; BAHIA, V.G.; FREIRE, J.C.; DIAS JÚNIOR, M.S. Erosividade das chuvas em Lavras – MG. **Ciência e Prática**, Lavras, v.10, n.2, p.199-209, Mai./Ago. 1986.

WISCHMEIER, W.H.; JOHNSON, C.B.; CROSS, B.V. A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v.26, n.5, p.189-193, Sep./Oct. 1971.

WISCHMEIER, W.H.; MANNERING, J.V. Relation of soil properties to its erodibility. **Soil Science Society of American Proceedings**, Madison, v.33, n.1, p.131-137, Jan./Fev. 1969.