

RESISTÊNCIA AO SALPICO PROVOCADO POR IMPACTO DE GOTAS DE CHUVA SIMULADA EM LATOSSOLOS E SUA RELAÇÃO COM CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS E MINERALÓGICAS¹

MARX LEANDRO NAVES SILVA²
NILTON CURI³

JOÃO JOSÉ GRANATE DE SÁ E MELO MARQUES⁴
LUIZ ANTÔNIO LIMA⁵
MOZART MARTINS FERREIRA³
JOSÉ MARIA LIMA³

RESUMO – Objetivou-se com este estudo avaliar a desagregação de partículas do solo e sua dependência da energia cinética gerada da queda de gotas de chuva simulada sobre a superfície de latossolos fase cerrado, com textura semelhante e mineralogia e composição química diferenciadas. Amostras indeformadas e deformadas da camada de 0-20cm de solos classificados como Latossolo Vermelho-Escuro (LE) e Latossolo Vermelho-Amarelo (LV) foram submetidas a chuvas simuladas com intensidade média de 61,5mm.h⁻¹, com gotas de 2,74mm de diâmetro. A técnica envolveu a determinação da quantidade de partículas salpicadas do solo exposto ao

impacto das gotas. O salpicamento dos latossolos estudados apresentou dependência da energia cinética das gotas de chuva. A quantidade de partículas salpicadas da superfície do solo aumentou exponencialmente com acréscimos na energia cinética. O Latossolo Vermelho-Escuro apresentou as maiores taxas de salpicamento devido, principalmente, à sua menor coerência entre partículas e menor tamanho de agregados, condições reflexas dos seus maiores teores de gibbsita e de óxidos de ferro, impondo, por este aspecto, maior necessidade de mantê-lo com cobertura, especialmente no verão (maior erosividade das chuvas na região).

TERMOS PARA INDEXAÇÃO: Latossolos, cerrado, impacto de gotas de chuva simulada, salpicamento.

RESISTANCE TO SPLASH PROMOTED BY SIMULATED RAINDROPS IN LATOSOLS AND ITS RELATIONSHIP WITH CHEMICAL AND MINERALOGICAL CHARACTERISTICS

ABSTRACT – This study aimed to evaluate the desaggregation of soil particles and its dependence of kinetics energy generated from the impact of simulated rain on the surface of cerrado phase of latosols, with similar texture and differential mineralogy and chemistry. Undisturbed and disturbed samples of the 0-20cm layer of soils classified as Dark-Red Latosol (LE) and Red-Yellow Latosol (LV) were submitted to simulated rains having average intensity of 61.5mm.h⁻¹, with drops of 2.74mm of diameter. The technics involved the determination of the quantity of splashed soil

particles, exposed to drops impact. The splash of studied latosols presented dependence of kinetics energy of raindrops. The quantity of splashed particles from soil surface exponentially increased with increments in kinetics energy. The Dark-Red Latosol presented higher ratios of splash due, mainly, to its smaller coherence among particles and smaller aggregates size, reflections of its higher amounts of gibbsite and iron oxides, imposing, by this aspect, higher need of maintaining it with cover, specially in the summer (the greatest rains erosivity in the region).

INDEX TERMS: Latosols, cerrado vegetation, impact of drops of simulated rain, splash.

INTRODUÇÃO

A primeira fase da erosão hídrica é a desagregação do solo superficial pelo impacto direto das gotas de chuva

(Foster al., 1985). Para avaliar a erosão provocada pelo impacto das gotas de chuva sobre a superfície do solo, há grande variedade de métodos. Em laboratório, costuma-se expor quantidades conhecidas de solo à ação de mini-

1. Parte da dissertação apresentada à UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS (UFLA), pelo primeiro autor, para obtenção do grau de Mestre em Solos e Nutrição de Plantas.

2. Eng. Agr., Msc., Pesquisador da EMBRAPA/CNPS, Rua Jardim Botânico, 1024, 22460-000, Rio de Janeiro-RJ.

3. Professor do Departamento de Ciência do Solo da UFLA, Cx. P. 37, 37200-000, Lavras-MG.

4. Aluno do Curso de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas (UFLA).

5. Professor do Departamento de Engenharia da UFLA.

simulador de chuva, com pressão, tamanho de gota e intensidade controlados, podendo-se assim estudar os efeitos da desagregação de partículas do solo (Bertoni e Lombardi Neto, 1990).

Estudos de relações quantitativas entre deslocamentos de partículas do solo e características físicas da chuva (intensidade, tamanho de gota, velocidade de impacto e duração), concluíram que, para as durações de 15, 30 e 90 minutos testadas, o aumento na quantidade de material deslocado foi constante, mas variou com a classe de solo e tamanho de gota de chuva (Rose, 1960).

A taxa média de salpico obtida por Reichert (1988) foi significativa e positivamente correlacionada com a quantidade de agregados pequenos (0,25 a 1,0mm) e muito pequenos (< 0,25mm), e negativamente com a quantidade de agregados médios (1,0 a 2,0mm) e grandes (2,0 a 4,76mm), evidenciando que a superfície de um solo com agregados pulverizados é mais susceptível ao deslocamento por salpico.

A queda da razão de perda por impacto de gota é um resultado do selamento superficial (Ellison, 1944 e McIntyre, 1958). Trabalhando em amostras de agregados de quatro solos, Gabriels e Moldenhauer (1978) concluíram que a quantidade de material menor que 2 micra trazida pela enxurrada era de duas a quatro vezes maior que aquela da erosão devida ao salpico.

Reichert e Cabeda (1992) demonstraram que a taxa média de salpico foi significativamente correlacionada, de forma negativa, com argila, carbono orgânico, óxidos de ferro amorfo e óxidos de ferro e alumínio cristalinos, e de forma positiva com areia.

Estudando perdas de solo por impacto de gotas de chuva em amostras de solo com diversas texturas, Epstein e Grant (1967) observaram que solos apresentando menor quantidade de argila e maior de areia tinham maior quantidade de partículas deslocadas por impacto, presumivelmente devido à menor coerência entre partículas. Vilar (1987), citado por Pereira (1989), num extensivo trabalho de revisão de literatura, concluiu que o salpico do solo varia com o tipo de mineral de argila presente.

Bruce-Okine e Lal (1975) estudaram a resistência dos agregados de vários solos tropicais ao impacto de gotas originadas de um mini-simulador de chuva e concluíram que a diferença encontrada não podia ser atribuída apenas ao conteúdo de argila, mas também à natureza dos minerais constituintes. Assim, foram constatadas diferenças de comportamento entre solos com argilas do tipo 2:1 expansivas e solos com caulinita (tipo 1:1), óxidos de ferro e de alumínio, sendo os primeiros menos resistentes ao impacto da gota de chuva.

Lima (1987) estudou o salpicamento em Latossolo

Vermelho-Amarelo e Latossolo Vermelho-Escuro, cujas gotas de chuva originaram-se de um simulador. Ele constatou uma maior redução no volume de solo acondicionado em cilindros para o Latossolo Vermelho-Escuro, em função, provavelmente, da sua maior porcentagem de frações menores, favorecendo o empacotamento.

Com base nestas informações, este estudo teve como objetivos avaliar a desagregação das partículas de solo (salpico) em amostras deformadas e indeformadas e sua dependência da energia cinética gerada no impacto das gotas de chuva simulada em latossolos sob cerrado, com textura semelhante e mineralogia e química diferenciais.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizados os dois solos dominantes na paisagem da região de Lavras (MG), classificados como Latossolo Vermelho-Escuro (LE) e Latossolo Vermelho-Amarelo (LV), fase cerrado, formados a partir do produto de alteração do gnaisse granítico mesocrático e leucocrático, respectivamente.

Para atender aos objetivos do estudo, após as descrições morfológicas de campo, segundo critérios propostos por Lemos e Santos (1982) e EMBRAPA (1988), foram coletadas amostras deformadas (d) e indeformadas (i) da camada de 0-20cm. As amostras deformadas dos solos foram passadas em peneiras de malha de 2mm. No tocante às amostras com estrutura indeformada, estas foram coletadas com amostrador de Uhlund.

A metodologia envolveu a simulação de chuvas com intensidade média de 61,5mm.h⁻¹, com gotas de 2,74mm de diâmetro. Para isso, utilizou-se um reservatório com base de 25X25cm, com 64 agulhas (PrecisionGlide 25X7) dispostas no fundo em malha quadriculada (Figura 1).

O simulador foi colocado a 0,5; 1,5 e 3,0m de altura (Z) sobre amostras de solo deformadas e indeformadas, dispostas em cilindros de 72mm de diâmetro e 80mm de altura, pré-saturadas por 24 horas. O salpicamento foi determinado recolhendo-se as partículas em papel de filtro após 30 minutos de chuva. Esta metodologia foi baseada em trabalho de Ellison (1944), com modificações propostas por Lima et al. (1993). A técnica envolveu a determinação da quantidade de partículas salpicadas do solo exposto ao impacto das gotas de chuva simulada, para diferentes valores de energia cinética das gotas. Para cálculo de velocidade e tempo de queda, as seguintes equações são apresentadas (Lima et al., 1993):

$$V = (gC^{-1})^{1/2} \cdot \tanh[T(gC)^{1/2}] \text{ e } T = \operatorname{arccosh}[\exp(ZC)].(gC)^{-1/2}$$

Onde: V é a velocidade de impacto (m.s⁻¹), Z é a

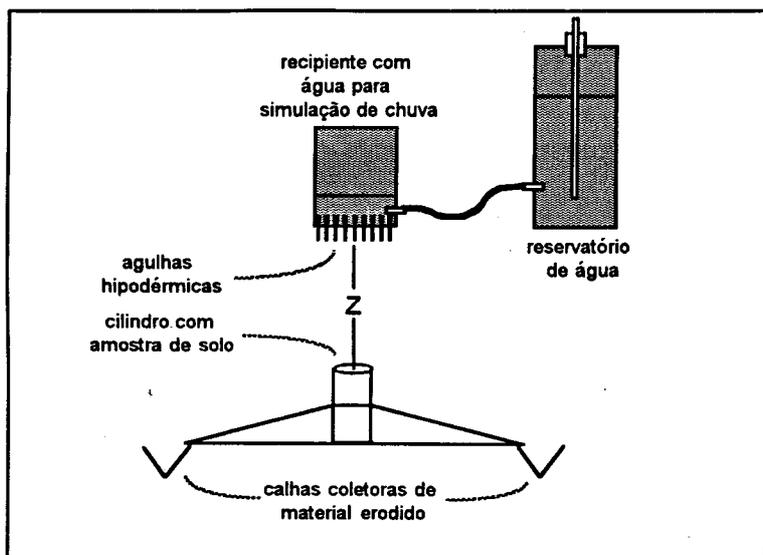


Figura 1. Representação esquemática do mini-simulador de chuva empregado no trabalho.

altura de queda das gotas de chuva simulada (m); g é a aceleração da gravidade ($9,81 \text{ m.s}^{-2}$), T é o tempo de queda da gota (s) e C é o coeficiente que expressa a ação do atrito da gota com o ar (m^{-1}). Este coeficiente pode ser determinado, segundo Hills (1988), como:

$$C = (0,804 - 0,264D + 0,066D^2 - 0,004D^3) \cdot (1,109D)^{-1}$$

Onde: D é o diâmetro da gota (mm).

Os valores de energia cinética foram calculados como:

$$EC = mv^2 \cdot 2^{-1}$$

Onde: EC é energia cinética (J); m é massa da gota (kg) e V é a velocidade de impacto da gota (m.s^{-1}). Os valores de energia cinética obtidos foram transformados para $\text{MJ.ha}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$.

O método de cálculo está descrito, com pormenores, em Silva (1994). Os valores apresentados nas Figuras 2 a 5 foram retirados das equações mostradas no Quadro 3.

Na fração argila desferrificada foram quantificadas caulinita e gibbsita, através da análise térmica diferencial (ATD). Os teores de carbono orgânico e óxidos de ferro (Fe_2O_3) extraídos pelo ataque sulfúrico foram determinados segundo EMBRAPA (1979). A extração dos óxidos de ferro livres totais foi feita utilizando-se ditionito-citrato-bicarbonato de sódio (DCB), segundo Mehra e Jackson (1960).

A análise granulométrica do solo foi realizada pelo método da pipeta (Day, 1965), empregando-se NaOH 0,1N como dispersante químico e agitação rápida (12000rpm) durante 10 minutos. A densidade do solo (D_s)

foi determinada em amostras com estrutura indeformada, coletadas com amostrador de Uhland (Blake e Hartge, 1986a) e a densidade de partículas (D_p) foi determinada pelo método do balão volumétrico, descrito por Blake e Hartge (1986b).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O Latossolo Vermelho-Escuro apresentou maiores teores de gibbsita e de óxidos de ferro (Quadro 1), favorecendo uma estrutura mais granular e de tamanho menor (Quadro 2), o que está de acordo com Lima et al. (1990). Estes aspectos influenciaram uma menor coerência entre partículas. Por outro lado, o Latossolo Vermelho-Amarelo apresentou maior relação caulinita/gibbsita (Quadro 1) e menores teores de óxidos de ferro (Quadro 1), favorecendo uma estrutura com tendência para blocos subangulares (Quadro 2), influenciando uma maior

coerência entre os agregados e/ou partículas (Lima, 1987 e Ferreira, 1988).

As maiores diferenças químicas entre os dois solos são os teores de Fe_2O_3 determinados pelo ataque sulfúrico e DCB (Quadro 1). O Latossolo Vermelho-Escuro apresentou valores bem superiores em relação ao Latossolo Vermelho-Amarelo. Essa diferença é um reflexo do teor de ferro na rocha de origem, gnaisse granítico mesocrático e leucocrático, respectivamente, confirmando os dados de Lima (1987) e de Marques Júnior, Curi e Lima (1992).

A densidade do solo é menor no Latossolo Vermelho-Escuro e a densidade de partículas é maior (Quadro 2), reflexo dos seus maiores teores de gibbsita e de óxidos de ferro do ataque sulfúrico e DCB (Quadro 1) em relação ao Latossolo Vermelho-Amarelo. Os teores de argila, silte e areia (Quadro 2) foram semelhantes e ambos os latossolos apresentaram textura muito argilosa.

As equações de quantidades de solo salpicado em função de energia cinética (Quadro 3) mostraram que os danos causados à superfície do solo aumentam exponencialmente com acréscimos na energia cinética. As maiores quantidades de solo salpicado foram observadas nas amostras indeformadas em comparação às deformadas, tanto para o Latossolo Vermelho-Escuro (Figura 2) como para o Latossolo Vermelho-Amarelo (Figura 3).

Um aspecto importante a ser comentado é que o impacto das gotas de chuva promove uma desagregação das partículas na superfície do solo, obstruindo os poros,

QUADRO 1. Teores de caulinita e gibbsita na fração argila desferificada, óxidos de ferro (ataque sulfúrico e DCB) e matéria orgânica (MO) dos solos estudados.

SOLO	Fração Argila		Ct/Gb	Fe ₂ O ₃		MO ¹
	Caulinita (Ct)	Gibbsita (Gb)		Ataque sulfúrico	DCB	
	----- % -----			----- % -----		
LE	27	78	0,35	12,5	6,5	3,3
LV	30	37	0,81	5,1	4,0	4,8

1. MO: % C orgânico. 1,724

QUADRO 2. Densidade do solo (Ds), densidade de partículas (Dp), estrutura e composição granulométrica dos solos estudados.

SOLO	Ds	Dp	Estrutura ¹	Consistência ²	Argila	Silte	Areia
	----- g. cm ³ -----				----- % -----		
LE	0,99	2,57	f, mpp, gr	ld, mfv, pl, pg	72	10	18
LV	1,20	2,53	m, me, bsa	ld, fv, lpl, l, pg	72	11	17

1. f: fraca; mpp: muito pequena e pequena; gr: granular; m: moderada; me: média; bsa: blocos subangulares.

2. ld: ligeiramente duro; mfv: muito friável; pl: plástico; pg: pegajoso; fv: friável; lpl: ligeiramente plástico; lpg: ligeiramente pegajoso

QUADRO 3. Equações de quantidades de solo salpicado, obtidas em função da energia cinética das gotas (EC).

SOLO	Amostra	Equações ¹	R ²
LE	Indeformada	Salpico = 29,1 . 21239,8 ^{EC}	0,82
	Deformada	Salpico = 11,7 . 5456,1 ^{EC}	0,94
LV	Indeformada	Salpico = 8,6 . 4305761,8 ^{EC}	0,97
	Deformada	Salpico = 9,4 . 156,0 ^{EC}	0,61

1. Salpico: kg.ha⁻¹.mm⁻¹; EC: MJ.ha⁻¹.mm⁻¹

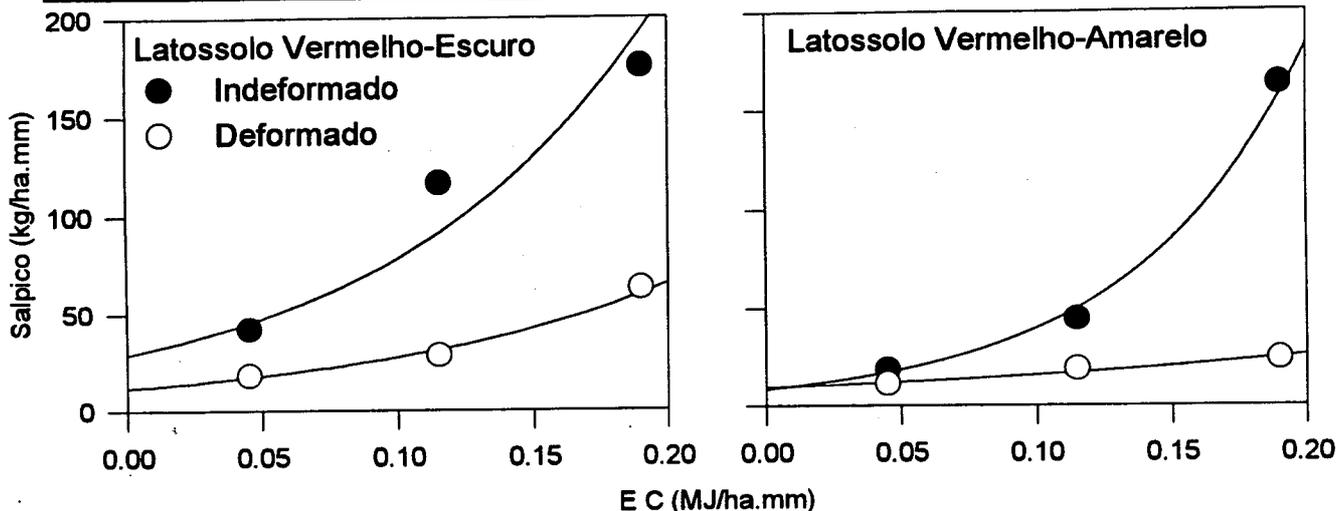


Figura 2. Quantidade de solo salpicado para quatro valores de energia cinética das gotas em amostras indeformadas e deformadas do Latossolo Vermelho-Escuro.

Figura 3. Quantidade de solo salpicado para quatro valores de energia cinética das gotas em amostras indeformadas e deformadas do Latossolo Vermelho-Amarelo.

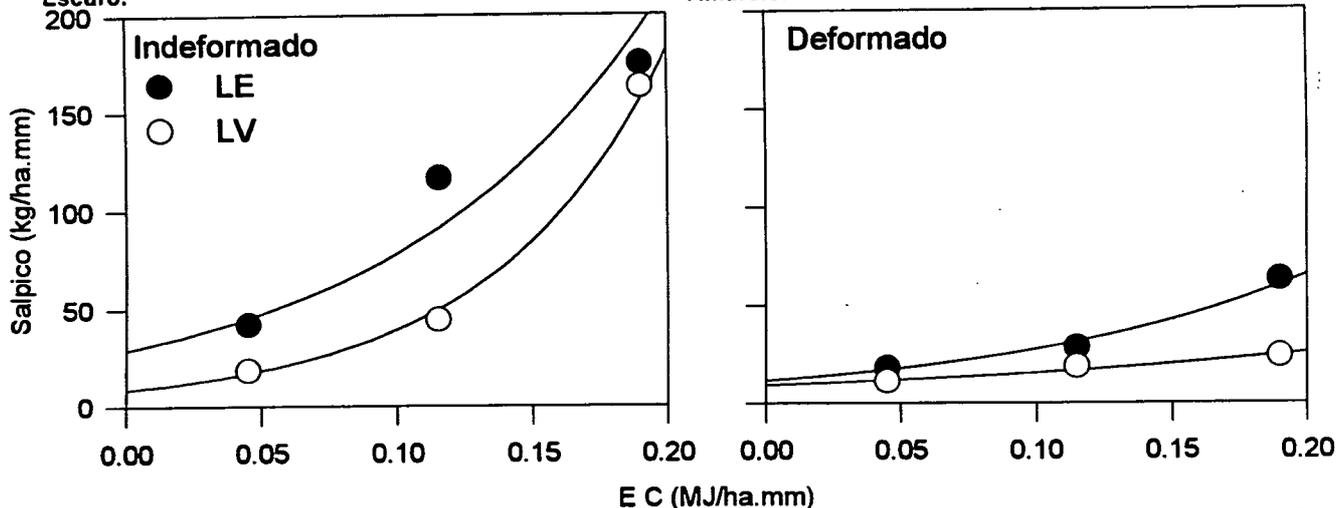


Figura 4. Quantidade de solo salpicado para quatro valores de energia cinética das gotas para Latossolo Vermelho-Escuro (LE) e Latossolo Vermelho-Amarelo (LV) em amostras indeformadas.

Figura 5. Quantidade de solo salpicado para quatro valores de energia cinética das gotas para Latossolo Vermelho-Escuro (LE) e Latossolo Vermelho-Amarelo (LV) em amostras deformadas.

dificultando com isso o processo de infiltração de água. Devido a este fato, a amostra deformada apresentou uma menor quantidade de solo salpicado, tanto para o Latossolo Vermelho-Escuro como para o Latossolo Vermelho-Amarelo. Ellison (1944) e McIntyre (1958) afirmaram que a diminuição no deslocamento de partículas de solo por impacto de gotas de chuva é um resultado do selamento superficial. O acúmulo de água na superfície do solo forma um filme de água entre as partículas, aumentando a adesão entre as mesmas, dificultando o seu deslocamento. Este aspecto é mais intenso em amostras deformadas por apresentarem agregados

menores que 2 mm, proporcionando maior "empacotamento" das partículas e, conseqüentemente, maior selamento superficial.

Nas Figuras 4 e 5 observa-se que o Latossolo Vermelho-Escuro apresentou maior quantidade de solo salpicado em relação ao Latossolo Vermelho-Amarelo, tanto para amostras indeformadas como deformadas. Isto pode ser devido às unidades estruturais do primeiro solo serem de menor tamanho (Quadro 2) e haver menor coerência entre suas partículas (mais arredondadas, conforme observação de campo), reflexos de suas características mineralógicas e químicas. Estes aspectos são consonantes

com os trabalhos de Reichert (1988) e Epstein e Grand (1967), respectivamente. Reichert e Cabeda (1992) encontraram resultados inversos com relação aos óxidos de ferro, possivelmente devido à inclusão em seu trabalho diferentes classes de solos com mineralogia extremamente variável, desde argilominerais 2:1 até óxidos.

CONCLUSÕES

a) O salpicamento dos latossolos estudados apresentou dependência da energia cinética das gotas de chuva. O salpicamento dos solos aumentou exponencialmente com acréscimos na energia cinética.

b) O Latossolo Vermelho-Escuro apresentou as maiores taxas de salpicamento devido, principalmente, à sua menor coerência entre partículas e menor tamanho de agregados, condições reflexas dos seus maiores teores de gibbsita e de óxidos de ferro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. *Conservação do solo*. São Paulo: Ícone, 1990. 355p
- 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. Particle density. In: KLUTE, A., (ed.). *Methods of soil analysis*. 2.ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986b. v.1, p.377-382.
- BRUCE-OKINE, E.; LAL, R. Soil erodibility as determined by raindrop technique. *Soil Science*, Baltimore, v.119, n.2, p.149-157, 1975.
- DAY, P.R. Particle fractionation and particle-size analysis. In: BLACK, C.A. *Methods of soil analysis*. Madison: American Society of Agronomy, 1965. v.1, p.545-566.
- ELLISON, W.D. Studies of raindrop erosion. *Agricultural Engineering*, Saint Joseph, v.25, p.131-136, 1944.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solo. *Definição e notação de horizontes e camadas do solo*. 2.ed. Rev. e atual. Rio de Janeiro, 1988. 54p. (Documento,3)
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solo. *Manual de métodos de análise do solo*. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, 1979. n.p.
- EPSTEIN, E.; GRANT, W.J. Soil losses and crust formation as related to some soil physical properties. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, v.31, p.547-549, 1967.
- FERREIRA, M.M. *Influência da Mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de Latossolos Brasileiros*. Viçosa: UFV, 1988. 79p. (Tese-Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas).
- FOSTER, G.R.; YOUNG, R.A.; RONKENS, M.J.M.; ONSTAD, C.A. Processes of soil erosion by water. In: FOLLETT, R.F. & STEWART, B.A., (ed.). *soil erosion and crop productivity*. Madison: SSSA, 1985. p.137-158.
- GABRIELS, D.; MOLDENHAUER, W.C. Size distribution of eroded material from simulated rainfall: effect over a range of soil texture. *Soil Science Society America Journal*, Madison, v.2, p.954-958, 1978.
- HILLS, D. *Advanced sprinkler irrigation*. Davis: University of California, 1988. (Course Notes).
- LEMOES, R.C.; SANTOS, R.D. *Manual de descrição e coleta de solo no campo*. 2.ed. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1982. 45p.
- LIMA, J.M. *Relação entre erosão, teor de ferro, parâmetros físicos e mineralógicos de solos da região de Lavras (MG)*. Lavras: ESAL, 1987. 86p. (Dissertação-Mestrado em Solos e Nutrição Mineral de Plantas).
- LIMA, J.M.; CURTI, N.; RESENDE, M.; SANTANA, D.P. Dispersão do material de solo em água para avaliação indireta da erodibilidade de Latossolos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.14, n.1, p.85-90, jan./abr. 1990.
- LIMA, L.A.; SILVA, M.L.N.; CURTI, N.; MARQUES, J.J.G.S.M. O salpicamento de latossolos provocado por gotas de chuva. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 24, Goiânia, 1993. *Resumos Expandidos...* Goiânia: SBCS, 1993. v.3, p.161-162.
- McINTYRE, D.S. Permeability measurements on soil crusts formed by raindrop impact. *Soil Science*, Baltimore, v.85, n.4, p.185-189, 1958.
- MARQUES JÚNIOR, J.; CURTI, N.; LIMA, J.M. Evolução diferenciada de Latossolo Vermelho-Amarelo e Latossolo Vermelho-Escuro em função da litologia gnáissica na região de Lavras (MG). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.16, p.235-240, 1992.

- MEHRA, O.P.; JACKSON, M.L. Iron oxide removed from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. *Clays and Clays Minerals*, New York, v.7, p.317-327, 1960.
- PEREIRA, V.P. Perda de solo em Latossolo Vermelho-Escuro, textura argilosa, devido ao impacto de gotas de chuva simulada e a comprimento de rampa. Jaboticabal: UNESP, 1989. 106p. (Tese-Livre Docência em Solos e Nutrição de Plantas).
- REICHERT, J.M. Formação de selo superficial e infiltração de água sob chuva simulada em solos do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, UFRGS, Faculdade de Agronomia, 1988. 165p. (Dissertação-Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).
- REICHERT, J.M.; CABEDA, M.S.V. Salpico de partículas e selamento superficial em solos do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.16, p.389-396, 1992.
- ROSE, C.W. Soil detachment caused by rainfall. *Soil Science*, Madison, v.89, p.28-35, 1960.
- SILVA, M.L.N. Erodibilidade e impacto das gotas de chuva simulada sobre a superfície de latossolos sob cerrado. Lavras: ESAL, 1994. 98p. (Dissertação-Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).