

**ENERGIA CINÉTICA DE GOTAS DE CHUVA
SIMULADA E ENERGIA ULTRA-SÔNICA NA
DESAGREGAÇÃO DE UM CAMBISSOLO**

BRUNO TEIXEIRA RIBEIRO

2006

BRUNO TEIXEIRA RIBEIRO

**ENERGIA CINÉTICA DE GOTAS DE CHUVA SIMULADA E ENERGIA
ULTRA-SÔNICA NA DESAGREGAÇÃO DE UM CAMBISSOLO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de “Mestre”.

Orientador

Prof. Dr. José Maria de Lima

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL
2006

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca Central da UFLA**

Ribeiro, Bruno Teixeira

Energia cinética de gotas de chuva simulada e energia ultra-sônica na
desagregação de um Cambissolo / Bruno Teixeira Ribeiro. -- Lavras : UFLA,
2006.

65 p. : il.

Orientador: José Maria de Lima
Dissertação (Mestrado) – UFLA.
Bibliografia.

1. Ultra-som. 2. Erosão hídrica. 3. Agregação. 4. Salpico. 5. Salpicamento. I.
Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD-551.578
-631.45

BRUNO TEIXEIRA RIBEIRO

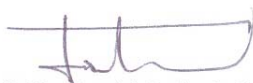
**ENERGIA CINÉTICA DE GOTAS DE CHUVA SIMULADA E ENERGIA
ULTRA-SÔNICA NA DESAGREGAÇÃO DE UM CAMBISSOLO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de “Mestre”.

APROVADA em 22 de fevereiro de 2006

Prof. Dr. Geraldo César de Oliveira UFG

Prof. Dr. Carlos Rogério de Mello UFLA



Prof. Dr. José Maria de Lima
UFLA
(Orientador)

LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL

A Deus,

*Por ter me dado inteligência, saúde e forças
para vencer mais esta etapa de minha vida.*

OFEREÇO

*Aos meus pais, Carlos & Beatriz, pelo
amor, carinho e apoio em toda minha
vida.*

*Aos meus avós, em especial, ao vô
Tião, pelo companheirismo,
cumplicidade, amizade e
ensinamentos.*

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Ao Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras, pela oportunidade de realização do curso e deste trabalho.

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

Ao professor Ph.D. José Maria de Lima, pela orientação, amizade, confiança e ensinamentos transmitidos desde a iniciação científica.

À professora Janice Guedes de Carvalho (DCS/UFLA), pela primeira oportunidade de ingressar no meio científico.

Aos professores Dr. Marx Leandro Naves Silva (DCS/UFLA) e Ph.D. Nilton Curi (DCS/UFLA), pelos ensinamentos, orientação, sugestões e disposição em todos os momentos.

Aos professores Dr. Geraldo César de Oliveira (UFG) e Dr. Carlos Rogério de Mello (DEG/UFLA), membros da banca examinadora e amigos, pelas críticas e sugestões apresentadas para o enriquecimento deste trabalho.

Ao professor Dr. Vicente Gualberto (DCS/UFLA), pela amizade, admiração e ensinamentos.

A todos os professores do Departamento de Ciência do Solo, pelo convívio, amizade e conhecimentos transmitidos.

Ao meu pai, Carlos Antônio Ribeiro, pelo apoio, inteligência e preocupação na montagem dos experimentos.

Ao meu tio Delanne Ribeiro, pelo carinho, cumplicidade, momentos de alegria e descontração sempre marcantes e apoio durante toda a realização deste trabalho.

Ao meu tio Adalberto Ribeiro, pela amizade e experiência adquirida ao estagiar pela primeira vez no Departamento.

A Adriana, pelo sentimento de amor, amizade e apoio desde que nos conhecemos.

A todos os amigos, em especial ao Rafael, Thiago (Bentinho), Leandro (Leco), meu primo Rodrigo (Niquinho), Enio, Everaldo, Neila, Letícia e a toda turma do “Everaldo”, pela amizade e momentos de descontração e alegria sempre marcantes.

A todos os amigos do Lavras Tênis Clube e à turma do futevôlei, pela amizade e salutar convívio.

A todos os funcionários e amigos do “Xerox da Cantina”, em especial a Cíntia, Flávio e Rodrigo (Niquinho), pela amizade, paciência e cordialidade.

A todos os funcionários e amigos do Departamento de Ciência do Solo, em especial ao Pezão, Roberto, Joyce, João Gualberto, Humberto, Vitor, Manoel, Roberta, Cristina, João Bosco, João Batista, Maria Alice, Dulce, Leninha, Ritinha, Márcia, Eliana e Émerson, pela amizade e ajuda sempre que foi necessário.

Aos graduandos e amigos Jéferson Garcia Lima e Pedro Luiz Terra Lima, pela ajuda nas análises laboratoriais.

Aos alunos de Iniciação Científica Ciro Augusto de Souza Magalhães e Luiz Gustavo Fernandes Julião, pela ajuda, dedicação e responsabilidade na condução deste trabalho.

A todos colegas de graduação e pós-graduação, pela saudável amizade, momentos de estudo e de descontração.

E a todos aqueles que diretamente ou indiretamente, contribuíram para realização deste trabalho.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	i
ABSTRACT.....	ii
1 INTRODUÇÃO.....	01
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	03
2.1 O processo de erosão hídrica do solo.....	03
2.2 Erodibilidade do solo e salpicamento.....	04
2.3 Erosividade.....	06
2.3.1 Principais características da chuva.....	07
2.3.1.1 Tamanho da gota.....	07
2.3.1.2 Intensidade de precipitação.....	08
2.3.2 Energia, intensidade da chuva e desagregação do solo.....	08
2.4 Energia ultra-sônica.....	09
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	11
3.1 Coleta de amostras de solo.....	11
3.2 Ensaio de simulação de chuva.....	11
3.2.1 Simulador de chuva.....	11
3.2.2 Simulação de chuva.....	14
3.2.3 Caracterização da chuva simulada.....	16
3.2.4 Chuvas aplicadas.....	17
3.2.5 Realização do ensaio.....	18
3.2.6 Análise estatística.....	19
3.3 Ensaio com ultra-som.....	19
3.3.1 Ensaio de desagregação.....	19
3.3.1.1 Preparo das amostras e realização do ensaio.....	23

3.3.1.2 Análise estatística.....	23
3.3.2 Relação entre energia ultra-sônica e energia cinética da chuva.....	23
3.3.3 Análise de estabilidade de agregados com ultra-som.....	25
3.3.3.1 Análise estatística.....	27
3.4 Caracterização física, química e mineralógica do solo.....	27
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	29
4.1 Caracterização física, química e mineralógica do solo.....	29
4.2 Caracterização da chuva simulada.....	33
4.2.1 Velocidade terminal da gota.....	33
4.2.2 Energia cinética da chuva.....	34
4.3 Efeito da energia cinética da chuva e energia ultra-sônica na desagregação do solo.....	35
4.4 Efeito da inclinação da amostra na desagregação do solo pelo impacto das gotas de chuva simulada.....	39
4.5 Relação entre energia cinética da chuva e energia ultra-sônica.....	41
4.6 Textura do solo e do material salpicado.....	46
4.7 Estabilidade de agregados expressa pela energia ultra-sônica.....	49
5 CONCLUSÕES.....	52
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	53
ANEXOS.....	62

RESUMO

RIBEIRO, Bruno Teixeira. **Energia cinética de gotas de chuva simulada e energia ultra-sônica na desagregação de um Cambissolo**. 2006. 65p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.*

A erosão hídrica do solo é a principal causa da degradação de áreas agrícolas em todo o mundo. A desagregação do solo pelo impacto das gotas de chuva, seguida do salpico de partículas, constitui a primeira fase da erosão hídrica e é responsável pela maior parte do processo erosivo. Com este trabalho objetivou-se quantificar a desagregação de um CAMBISSOLO HÁPLICO Tb distrófico típico (CXbd) por meio da energia cinética de gotas de chuva simulada e energia ultra-sônica em amostras indeformadas dos horizontes A, Bi e C; relacionar essas duas formas de energia; e avaliar o ângulo de incidência das gotas de chuva simulada sobre a quantidade de sedimentos produzida pelo salpicamento de partículas. Amostras foram submetidas a cinco chuvas simuladas com intensidade de 150 mm h^{-1} , com tempos de duração de 5, 8, 11, 16 e 21 minutos, correspondentes aos tempos de retorno de 5, 10, 20, 50 e 100 anos, para a região de Lavras, MG. Nesse ensaio, as amostras permaneceram em uma inclinação de 0 e 20%. No ensaio com ultra-som, as amostras, submersas em água, foram submetidas à sonificação durante 1, 5, 10, 20 e 30 s, correspondendo aos níveis de 0,13, 0,66, 1,32, 2,63 e $3,95 \text{ J mL}^{-1}$. As amostras dos horizontes A, Bi e C apresentaram respostas semelhantes, quando submetidas a ambos os tipos de energia, energia cinética de gotas de chuva simulada e energia ultra-sônica. A amostra do horizonte C apresentou maiores quantidades de sedimentos, comparado com os horizontes A e Bi, que não diferiram entre si. O ângulo de incidência das gotas de chuva simulada com a superfície das amostras não teve efeito sobre a quantidade de sedimentos produzida. O material salpicado teve maiores quantidades de areia e menores quantidades de argila e silte que a amostra original. O ultra-som parece simular adequadamente o fenômeno de desagregação do solo causado pelo impacto de gotas de chuva simulada.

* Comitê Orientador: José Maria de Lima – DCS/UFLA (Orientador) e Carlos Rogério de Mello – DEG/UFLA.

ABSTRACT

RIBEIRO, Bruno Teixeira. **Simulated raindrop and ultrasonic energy on the aggregate disruption and splash erosion of a Cambisol**. 2006. 65p. Dissertation (Master Program in Soil and Nutrition of Plants) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.*

Water erosion of soil is the main cause of land degradation over the world. Aggregate disruption of soils due to impact of the raindrops, followed by the splash of soil particles, is the first phase of the water erosion. This work aimed to quantify aggregate disruption of a typic dystrophic HAPLIC CAMBISOL (CXbd) by the kinetic energy of simulated raindrops and ultrasonic energy; to compare both forms of energy; and to evaluate the effect of colliding angle of raindrops on the amount of splash. Undisturbed samples of A, Bi and C horizons were submitted to simulated raindrops, at 150 mm h⁻¹, during 5, 8, 11, 16 and 21 minutes, corresponding to the return periods of 5, 10, 20, 50 and 100 years, at Lavras, MG. The samples were placed at 0% and 20% slopes. For the ultrasonic test, the samples were immersed in water and submitted to ultrasonic energy during 1, 5, 10, 20 and 30 seconds, corresponding to 0.13, 0.66, 1.32, 2.63 and 3.95 J mL⁻¹ energy levels. Both raindrop and ultrasonic energy showed the same pattern of disruptive effect on all three horizon material. The C horizon material had larger amounts of splashed sediment, as compared to A and Bi horizon, which did not differ from each other. The splashed material had more sand particles and less silt and clay particles than the original samples. The colliding angle of raindrops did not affect the amount of splash. Finally, the use of ultra-sound seems to simulate adequately the phenomenon of aggregate disruption caused by the raindrops.

* Guidance Committee: José Maria de Lima – DCS/UFLA (Major Professor) and Carlos Rogério de Mello – DEG/UFLA.

1 INTRODUÇÃO

O solo sustenta a produtividade biológica, mantém a qualidade ambiental e é indispensável à sobrevivência humana, animal e vegetal (Doran & Parkin, 1994). A exploração de forma racional mantém a sustentabilidade desse recurso natural. Conhecer os fatores de degradação, entre eles a erosão e os agentes envolvidos no processo erosivo, é um importante passo no sentido do uso mais racional do solo.

O aumento da população leva à maior demanda por alimentos e matérias-primas, com a exploração cada vez mais intensiva do recurso solo. A erosão hídrica do solo é a principal causa da degradação de áreas agrícolas, principalmente em regiões tropicais, como no Brasil. Segundo Hudson (1995), em regiões de clima temperado, apenas 5% das chuvas são erosivas, ao passo que em condições tropicais, 40% das chuvas contribuem para a erosão do solo. Entre os solos mais susceptíveis à erosão, os Cambissolos são destacados em razão da pouca espessura do perfil e, muitas vezes, da posição que ocupam na paisagem.

Os Cambissolos ocupam uma expressiva área no sul de Minas Gerais (Amaral, 1993; Motta et al., 2001), sendo os solos com maior incidência de voçorocas (Silva et al., 1993). Segundo Resende et al. (1988), os Cambissolos têm se constituído em sistemas muito instáveis devido à pouca profundidade, elevados teores de silte e baixa estabilidade estrutural.

Estudos sobre erosão do solo têm sido conduzidos no Brasil sob condições de campo e de laboratório. No primeiro caso, tem sido realizada a avaliação de perdas de solo em parcelas-padrão sob condições de chuva natural e simulada, o que proporciona uma visão real do processo erosivo. No entanto, tais estudos requerem muito tempo e mão-de-obra, principalmente quando envolvem o uso de simuladores de grande porte. Sob condições laboratoriais, a

erosão do solo tem sido avaliada indiretamente, considerando-se atributos do solo relacionados com a erodibilidade. Entre esses atributos, a estabilidade de agregados tem merecido grande destaque na literatura.

Conduziu-se este trabalho com os seguintes objetivos: i) quantificar a desagregação de amostras indeformadas provenientes dos horizontes A, Bi e C de um CAMBISSOLO HÁPLICO Tb distrófico típico (CXbd) mediante energia cinética de gotas de chuva simulada; ii) quantificar a desagregação dessas amostras com aplicação de energia ultra-sônica; iii) relacionar essas duas formas de energia; e iv) avaliar o ângulo de incidência das gotas de chuva simulada sobre a quantidade de sedimentos produzida pelo salpicamento de partículas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 O processo de erosão hídrica do solo

A erosão hídrica é o processo de desagregação, transporte e deposição das partículas do solo em razão do impacto das gotas de chuva e do escoamento superficial (Lal & Elliot, 1994). A desagregação do solo pelo impacto das gotas de chuva, seguida do salpicamento (*splash erosion*), é responsável pela maior parte do processo erosivo. O impacto da gota de chuva tem energia cinética 256 vezes maior que a energia do escoamento superficial (Hudson, 1995). Guy et al. (1987) sugerem que 85% dos sedimentos da erosão hídrica têm origem no impacto das gotas de chuva e 15% são atribuídos ao escoamento superficial.

O impacto da gota de chuva promove desagregação e salpicamento das partículas mediante a destruição de agregados, quando a energia que une as partículas e agregados menores é menor do que a energia imposta pelas gotas e pelo escoamento superficial. Essa energia do agente erosivo constitui-se em força de cisalhamento resultante, inicialmente, do impacto das gotas de chuva com a superfície do solo (Al-Durrah & Bradford, 1982). O decorrente salpicamento ocorre em várias direções, podendo atingir mais de 0,6 m em altura e distâncias superiores a 1,5 m (Schwab et al., 1993). Legout et al. (2005) observaram que a quantidade de partículas salpicadas do solo decresce exponencialmente com a distância a partir do ponto de impacto das gotas de chuva.

O impacto das gotas e o salpicamento de partículas causam o selamento superficial, fato observado principalmente em Cambissolos e contribui para reduzir a infiltração de água, intensificando o problema da erosão. A intensidade de precipitação, diâmetro de gotas, energia cinética da chuva e as características do solo são fatores que afetam o selamento superficial (Bradford & Huang, 1992). Esse fenômeno pode ser atribuído a dois mecanismos: desintegração

física dos agregados; dispersão físico-química e movimento de partículas de argila a 0,1-0,5 mm de profundidade, causando entupimento dos poros (Agassi et al., 1981; McIntyre, 1958). Al-Durrah & Bradford (1982), estudando os mecanismos envolvidos no salpicamento das partículas, verificaram que o impacto das gotas de chuva não tem nenhum efeito compressivo na superfície do solo. Isso porque a força do impacto da gota na superfície do solo é transformada em tensão cisalhante. O selamento é resultado da quebra dos agregados e reorientação das partículas de forma mais compacta.

A relação entre o selamento superficial e a erosão não é simples, podendo atuar de duas maneiras opostas: o selamento aumenta a resistência ao cisalhamento da superfície do solo, reduzindo a desagregação (Bradford et al., 1987) e diminui a capacidade de infiltração de água no solo, aumentando o escoamento superficial (Moore & Singer, 1990).

2.2 Erodibilidade do solo e salpicamento

O termo erodibilidade refere-se à susceptibilidade do solo à desagregação e transporte por agentes erosivos. A resposta de um determinado solo ao processo erosivo é influenciada por características como textura, estabilidade estrutural, matéria orgânica, mineralogia e constituintes químicos. Algumas dessas características podem ser alteradas pelo uso agrícola, práticas de manejo e sistemas de plantio, modificando, conseqüentemente, a erodibilidade do solo (Lal & Elliot, 1994).

A textura do solo é um importante atributo relacionado à erodibilidade. Solos arenosos têm menores taxas de escoamento superficial; por outro lado, esses são mais facilmente desagregados. Entretanto, sedimentos desses solos são mais dificilmente transportados pela água do que sedimentos de solos siltsos. Os solos siltsos tendem a ser mais erodíveis, isso porque suas partículas são facilmente desagregadas e transportadas (Lal & Elliot, 1994). Os solos muito

argilosos, como os Latossolos gibsíticos, tendem a formar estrutura granular com elevada estabilidade intra-agregados, alta porosidade e elevada permeabilidade (Ferreira et al., 1999). Entretanto, a estrutura granular pode conferir menor coerência entre os agregados do solo, facilitando a desagregação, conforme observado por Silva et al. (1995). Os autores estudaram o salpicamento provocado pelo impacto de gotas de chuva simulada em um Latossolo Vermelho-Amarelo e um Latossolo Vermelho-Escuro e encontraram maiores taxas de salpicamento nesse último, o que foi atribuído aos seus maiores teores de gibsita e óxidos de ferro.

Legout et al. (2005), avaliando o salpicamento provocado por impacto de gotas de chuva simulada em solos com diferentes texturas, encontraram maior salpicamento em solos arenosos, seguido dos siltosos e argilosos. Dufranc et al. (2004) e Reichert et al. (1993) encontraram efeito negativo da fração areia na estabilidade de agregados. Reichert & Cabeda (1992) demonstraram que a quantidade de material salpicado diminuiu com o aumento do conteúdo de argila, óxidos de ferro amorfo e óxidos de ferro e alumínio cristalinos.

A matéria orgânica do solo é outro atributo com grande influência na formação e estabilização dos agregados. Essa influência se dá por meio de ligações de compostos orgânicos com a superfície de argilominerais e óxidos (Tisdall & Oades, 1982). Neufeldt et al. (1999) verificaram em dois Latossolos que o principal agente de agregação foi a interação entre a parte mineral do solo com polissacarídeos. O efeito da matéria orgânica na maior estabilidade de agregados do solo também foi observado por Boix-Fayos et al. (2001), D'Andréa et al. (2002), Lima et al. (2003) e Sá (2002). Solos com agregados mais estáveis são mais resistentes à desagregação pelo impacto das gotas de chuva (Albuquerque et al., 2000).

A umidade antecedente do solo também afeta a desagregação e o salpicamento de partículas; entretanto, o seu efeito parece não estar devidamente

estabelecido. Segundo Truman et al. (1990), o aumento no teor de umidade do solo aumenta a resistência dos agregados ao impacto das gotas de chuva. Entretanto, de acordo com Vilela (1995), teores de umidade próximos à capacidade de campo induzem a um salpicamento máximo. Já Reichert & Cabeda (1992) verificaram que a umidade inicial do solo não afeta significativamente a taxa de salpico.

Os Cambissolos, por serem solos pouco desenvolvidos do ponto de vista genético, apresentam maiores teores de silte e menor estabilidade de agregados, principalmente no horizonte B incipiente e no material do horizonte C. Teores mais elevados de silte e a estrutura pouco desenvolvida são causas da menor macroporosidade e reduzida capacidade de infiltração de água (Resende, 1985; Resende et al., 1995). Esses solos são notadamente propensos ao salpicamento de partículas, selamento superficial e erosão.

2.3 Erosividade

O termo erosividade representa o potencial da chuva em causar erosão e é expresso por meio de índices que têm, como principais aplicações, o entendimento do processo erosivo e o desenvolvimento de práticas conservacionistas (Hudson, 1995). O índice mais utilizado tem sido o EI_{30} (Wischmeier & Smith, 1978), que consiste no produto da energia cinética total da chuva pela sua intensidade máxima em trinta minutos. A erosividade da chuva tem sido avaliada satisfatoriamente por esse índice para várias regiões do Brasil (Carvalho et al., 2005; Morais et al., 1991; Val et al., 1986) e correlacionada linearmente com perdas de solo (Silva, 2003; Silva et al., 1997).

A energia cinética da chuva é considerada o principal fator responsável pela desagregação do solo (Wischmeier & Smith, 1958) e é dependente das características da chuva (Lal & Elliot, 1994). Segundo Amorim et al. (2001), é importante conhecer o valor da energia cinética da chuva responsável pela

desagregação do solo, pois essa energia tem correlação com o desprendimento das partículas do solo, independentemente se a chuva é natural ou simulada.

Segundo De Maria (1994), chuvas menores que 10 mm, com intensidade máxima em 15 minutos menor do que $24,0 \text{ mm h}^{-1}$ e com energia cinética total abaixo de $3,6 \text{ MJ ha}^{-1}$, não são erosivas. Diferentes critérios têm sido propostos na conceituação de chuvas erosivas, como podem ser encontrados no trabalho de Carvalho et al. (2004).

2.3.1 Principais características da chuva

2.3.1.1 Tamanho da gota

O tamanho das gotas e a distribuição temporal das chuvas são as principais características relacionadas diretamente com a energia cinética da chuva, a qual caracteriza seu potencial erosivo.

O método mais antigo e conhecido para determinação do tamanho de gotas é o método da *farinha de trigo* (Hudson, 1964). Esse método consiste basicamente na relação entre o peso de nódulos formados pelo impacto das gotas na farinha quando secos e o diâmetro das gotas.

Em alguns trabalhos em que a distribuição do tamanho de gotas é avaliada tem sido demonstrado que o tamanho médio com maior frequência de ocorrência está entre 2 e 3 mm. Lal (1998) verificou que o tamanho médio das gotas com maior frequência de ocorrência na Nigéria está entre 2,25 e 2,50 mm. Jayawardena & Rezaur (2000) relatam que o tamanho médio predominante em Hong Kong foi de 2,23 mm. Segundo os mesmos autores, em chuvas de intensidades menores que 20 mm h^{-1} , as gotas são menores que 2,25 mm. Em chuvas de altas intensidades, as gotas são maiores que 2,25 mm, sendo próximas a 3 mm para intensidades em torno de 60 mm h^{-1} e maiores que 3,25 mm para chuvas com intensidade superiores a 90 mm h^{-1} . No Brasil, Roth et al. (1985),

avaliando o tamanho de gotas de chuva para o norte do Paraná, relataram que o tamanho médio das gotas de chuvas convectivas é de 4,53 mm, sendo de 2,44 mm para chuvas frontais, tendo encontrado o tamanho médio de 2,93 mm.

2.3.1.2 Intensidade de precipitação

A intensidade representa a taxa de variação da lâmina com o tempo. Esse parâmetro está diretamente relacionado com a energia cinética da chuva e, conseqüentemente, com o potencial erosivo da chuva (Hudson, 1995; Roth et al., 1985; Wagner & Massambani, 1988).

Wischmeier & Smith (1958) propuseram uma equação de energia cinética relacionada com a intensidade de precipitação (Equação 1), a qual foi convertida para o Sistema Internacional de Unidades, de acordo com Foster et al. (1981). Essa equação tem sido amplamente utilizada, apesar de ter sido obtida para padrões de chuva dos EUA. Wagner & Massambani (1988) realizaram um estudo dos padrões de chuva da região de São Paulo e propuseram uma equação de energia cinética (Equação 2) que, segundo os autores, não diferiu significativamente daquela proposta por Wischmeier & Smith (1958).

$$EC = 0,119 + 0,0873 \log I \quad \text{Eq. 1}$$

$$EC = 0,153 + 0,0645 \log I \quad \text{Eq. 2}$$

em que EC é a energia cinética da chuva, em $\text{MJ ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$; e I é a intensidade de precipitação, em mm h^{-1} .

2.3.2 Energia, intensidade da chuva e desagregação do solo

Mazurak & Mosher (1968), avaliando o efeito de chuva simulada sobre amostras de agregados de diferentes classes de tamanho, observaram uma relação linear entre a intensidade de chuva e a desagregação por impacto de gotas. Kinnell (1976) também relata que a correlação do salpico e a intensidade

da chuva é expressa pelo modelo linear, sendo, portanto, a quantidade de sedimentos salpicados diretamente proporcional à intensidade da chuva.

Sidiras et al. (1984) constataram que a intensidade e duração da chuva foram fatores importantes na desagregação do solo pelo impacto de gotas, avaliada em três sistemas de preparo do solo. Amorim et al. (2001) observaram que a perda de solo aumenta com o incremento da energia cinética da precipitação.

Silva et al. (1995), avaliando a resistência ao salpicamento em Latossolos, observaram que a quantidade de material de solo desagregado aumentou exponencialmente com acréscimos na energia cinética das gotas de chuva.

2.4 Energia ultra-sônica

O emprego da energia ultra-sônica na ciência do solo tem se mostrado bastante eficiente nas determinações em que a dispersão de amostras de solo é necessária, como, por exemplo, para determinação da granulometria e análises mineralógicas (Genrich & Bremner, 1972b; Oliveira et al., 2002; Saly, 1967; Schmidt et al., 1999; Vitorino et al., 2001), em estudos da matéria orgânica do solo (Gregorich et al., 1988; Oorts et al., 2005; Roscoe & Machado, 2002) e na determinação da estabilidade de agregados (Field & Minasny, 1999; Raine & So, 1993, 1994; Sá et al., 2000b).

O princípio pelo qual o ultra-som dispersa as amostras é a cavitação, ou seja, a formação de bolhas de ar no líquido da suspensão, levando à desagregação do solo através das fendas e linhas de fraqueza entre agregados e partículas (Tippkötter, 1994 citado por Sá, 2002).

Uma das vantagens do uso do ultra-som é a mensuração da energia aplicada, possibilitando a comparação entre trabalhos similares. Para isso, é necessária a calibração da potência emitida pelo aparelho, uma vez que a

potência indicada por ele nem sempre é aquela emitida pela ponta da haste (Sá et al., 2000a). Com o uso contínuo do aparelho, há um desgaste da ponta da haste, o que leva a uma redução da potência emitida (Sá et al., 2001). Genrich & Bremner (1972a) relatam que com aproximadamente 10 horas de uso do aparelho ocorre um desgaste da ponta da haste, reduzindo a potência emitida, tornando-se necessário maior tempo de sonificação para dispersão de solos. Esses mesmos autores, avaliando o efeito das condições da haste na dispersão de solos, mostraram que o polimento da haste a cada 30 minutos de uso possibilita o mesmo desempenho de uma haste nova.

A utilização do ultra-som na desagregação do solo e na predição de perdas de solo pode ser bastante promissora, em razão de características como: possibilidade de mensuração dos níveis de energia, rapidez e baixo custo da análise.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Foi estudado um CAMBISSOLO HÁPLICO Tb distrófico típico (CXbd), A moderado, textura argilosa, fase floresta tropical subcaducifólia, relevo ondulado a forte ondulado, originário do produto de alteração do gnaiss granítico leucocrático (Silva, 2003), localizado no câmpus da Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG. A área amostrada tem coordenadas UTM 23K E0501792 e N7652606, altitude média de 913 m e declive de 15%. O clima é do tipo Cwa (Classificação de Köppen), temperado chuvoso (mesotérmico), com inverno seco e verão chuvoso (Antunes, 1986), temperatura média anual de 19,4° C e precipitação média anual de 1529,7 (BRASIL, 1992).

3.1 Coleta de amostras de solo

Foram coletadas amostras deformadas e indeformadas na superfície do solo, a 40 cm e a 100 cm de profundidade, representativas, respectivamente, dos horizontes A, Bi e C. As amostras deformadas destinaram-se à caracterização física, química e mineralógica do solo. As amostras indeformadas foram coletadas com anéis concêntricos de 6,35 cm de diâmetro e 2,5 cm de altura com auxílio do amostrador de Uhland e destinaram-se aos ensaios de simulação de chuva e aplicação de energia ultra-sônica.

3.2 Ensaio de simulação de chuva

3.2.1 Simulador de chuva

O simulador de chuva consistiu de um reservatório formador de gotas de 24 cm de diâmetro e 40 cm de altura, perfurado no centro com agulhas hipodérmicas (Marca Nipro – 20 x 5,5) em uma malha de 12 x 12 cm e espaçadas 1,5 cm uma das outras (Figura 1). O reservatório foi instalado a uma

altura de 4 m, apoiado em um tubo de PVC de 25 cm de diâmetro, fixado à parede por meio de braçadeiras. A finalidade do tubo de PVC foi evitar a influência de correntes de vento na trajetória das gotas. O reservatório formador de gotas foi conectado a um outro reservatório de água na mesma altura, colocado sobre uma base fixa na parede, estabelecendo-se o sistema de vasos comunicantes (sistema de Mariotte). O objetivo foi obter uma carga constante de água dentro do reservatório formador de gotas durante a simulação de chuva.

Na extremidade inferior do tubo foi colocado outro reservatório, apoiado sobre uma mesa, com a finalidade de servir como base para a amostra e reter o material de solo salpicado durante o ensaio. Também foi instalada uma miniestação climatológica (WatchDog™) ligada a um microcomputador para o monitoramento das precipitações.

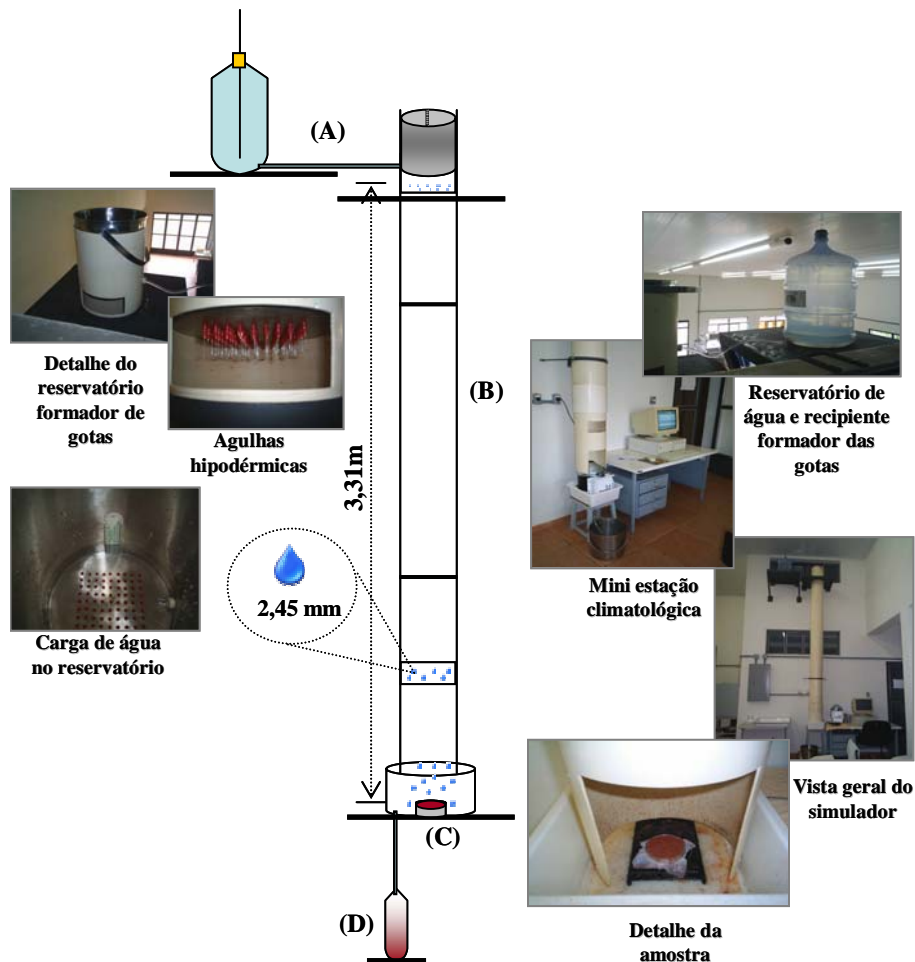


FIGURA 1 Representação esquemática do minissimulador de chuva. (A) Reservatório formador de gotas interligado ao reservatório de água pelo sistema de vasos comunicantes (sistema de Mariotte); (B) Tubo de PVC fixado à parede por meio de braçadeiras; (C) Reservatório para colocação da amostra e coleta da água da chuva e do material salpicado; (D) Garrafa para recolhimento de água e sedimentos.

3.2.2 Simulação de chuva

A simulação de chuvas de diferentes intensidades foi feita variando-se a carga de água no reservatório formador de gotas. A intensidade de precipitação aumentou linearmente com o aumento da carga de água no reservatório (Figura 2). A intensidade de precipitação foi medida pela coleta da água em intervalos de tempo, empregando recipiente com área de recebimento igual à área da superfície da amostra de solo, segundo a equação 3:

$$I = \left[\frac{V/S}{t} \right] \cdot 60 \quad \text{Eq. 3}$$

em que I é a intensidade de precipitação, em mm h^{-1} ; V é o volume de água coletado, em L; S é a área da seção de coleta ($0,003 \text{ m}^2$); e t é o tempo de teste (5 min, correspondente ao tempo de menor duração das chuvas aplicadas).

A intensidade de precipitação foi medida também por meio da miniestação climatológica, onde foram gerados registros de precipitação a cada 1 minuto durante 15 minutos para cada carga de água estabelecida no reservatório (Anexo 7A). O principal objetivo foi o de verificar a continuidade dos valores da intensidade de precipitação ao longo do tempo.

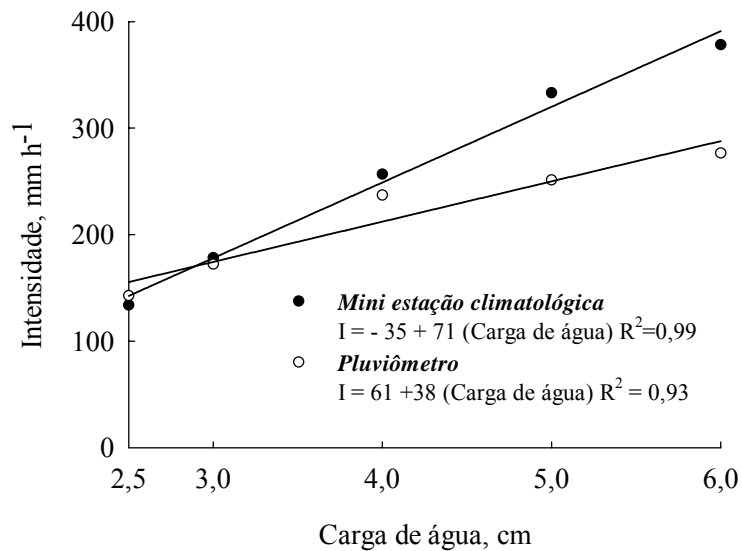


FIGURA 2 Variação da intensidade de precipitação com a carga de água no reservatório formador de gotas medido através do pluviômetro e pela miniestação climatológica.

As curvas obtidas relacionando a carga de água no reservatório formador de gotas e a intensidade de precipitação (Figura 2) foram utilizadas apenas como referência inicial para o ajuste da intensidade de precipitação desejada, uma vez que outros fatores também podem afetar esse ajuste, como, por exemplo, a temperatura da água e a formação de bolhas de ar no interior das agulhas. Para evitar tais problemas, antes de submeter cada amostra à precipitação, foram retiradas eventuais bolhas de ar nas agulhas e medida a intensidade de precipitação.

3.2.3 Caracterização da chuva simulada

A caracterização da chuva simulada envolveu a determinação do tamanho da gota, a altura de queda, o tempo de queda e a velocidade terminal das gotas. Esses parâmetros são necessários para o cálculo da energia cinética da chuva.

Para determinação do tamanho da gota, foi construído um recipiente contendo apenas uma agulha hipodérmica no centro. Foi obtida a massa de 100 gotas coletadas em um determinado intervalo de tempo. Com base no peso de cada gota e considerando a densidade da água igual a 1 g cm^{-3} , obteve-se o volume de cada gota. Considerando a gota como uma esfera perfeita, seu diâmetro foi obtido por meio da equação 4, tendo sido obtido o valor de 2,45 mm.

$$V = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot R^3 \quad \text{Eq. 4}$$

em que V é o volume da gota em cm^3 e R é o raio da gota em cm.

A altura de queda da gota foi de 3,31 m, medido diretamente no local com uso de uma trena. O tempo de queda e a velocidade terminal da gota foram determinados segundo as equações 5 e 6, respectivamente (Lima et al., 1993).

$$T = \text{arccosh}[\exp(Z \cdot C)] \cdot (g \cdot C)^{-1/2} \quad \text{Eq. 5}$$

$$V = \left(\frac{g}{C}\right)^{1/2} \cdot \tanh\left[T(g \cdot C)^{1/2}\right] \quad \text{Eq. 6}$$

em que T é o tempo de queda, em s; Z é a altura de queda da gota de chuva simulada, em m; C é o coeficiente de atrito com o ar, adimensional; g é a aceleração da gravidade ($9,81\text{ m s}^{-2}$); e V é a velocidade de impacto das gotas, em m s^{-1} .

O coeficiente de atrito com o ar (C) foi calculado segundo Hills (1988), citado por Silva et al. (1995), pela equação 7:

$$C = \frac{(0,804 - 0,264D + 0,066D^2 - 0,004D^3)}{1,109D} \quad \text{Eq. 7}$$

em que D é o diâmetro das gotas, em mm.

3.2.4 Chuvas aplicadas

Foram aplicadas chuvas de intensidade de 150 mm h^{-1} variando o tempo de duração em 5, 8, 11, 16 e 21 minutos, correspondentes aos tempos de retorno de 5, 10, 20, 50 e 100 anos, respectivamente. Esses valores foram obtidos pela equação de chuvas intensas obtida para o município de Lavras, MG (Mello et al., 2001). Com base na intensidade e duração da precipitação e nas características da chuva simulada (tamanho da gota, altura de queda, tempo de queda e velocidade terminal da gota – descritas no item anterior), foi calculada, para cada chuva, a energia cinética correspondente, expressa em MJ ha^{-1} (Tabela 1). Os cálculos da energia cinética da chuva são descritos detalhadamente por Silva (1994).

TABELA 1 Energia cinética, tempo de duração e tempo de retorno para chuvas de intensidade de 150 mm h^{-1} para o município de Lavras, MG.

Intensidade ---mm h ⁻¹ ---	TR -anos-	Td --minutos--	Energia Cinética -----MJ ha ⁻¹ -----
150	5	5	2,37
150	10	8	3,79
150	20	11	5,21
150	50	16	7,58
150	100	21	9,95

A escolha da intensidade de precipitação de 150 mm h^{-1} foi pela dificuldade de se obter intensidades menores nas condições em que foi construído o simulador de chuvas.

De acordo com De Maria (1994), chuvas erosivas são aquelas em que, entre outros critérios, a energia cinética total seja superior a $3,6 \text{ MJ ha}^{-1}$. Desta forma, os valores de energia cinética calculados atendem a esse critério, estando apenas um com valor abaixo deste (Tabela 1).

3.2.5 Realização do ensaio

Foram coletadas 90 amostras indeformadas confinadas em anéis, conforme descrição anterior. A quantidade total de amostras corresponde a três profundidades de coleta (horizontes A, Bi e C), cinco níveis de energia cinética da chuva ($2,37, 3,79, 5,21, 7,58$ e $9,95 \text{ MJ ha}^{-1}$), duas inclinações da amostra (0 e 20%) e três repetições. Objetivou-se com a inclinação da amostra verificar se o ângulo de incidência da gota de chuva na superfície do solo tem efeito na quantidade de sedimentos desagregados e salpicados.

Após a coleta, as amostras foram levadas para o laboratório, preparadas e saturadas com água destilada por 24 horas em uma bandeja, mantendo-se o nível de água a $2/3$ da altura da amostra. Essas amostras foram então colocadas na projeção do tubo de PVC, de modo que o centro da amostra coincidissem com o centro do reservatório formador de gotas (Figura 1). As amostras foram apoiadas em uma base com inclinação regulável, sendo então submetidas à precipitação.

Todo o sedimento de solo salpicado, juntamente com a água, foram recolhidos em garrafas de plástico do tipo *Pet* com capacidade de 2L. As garrafas permaneceram em descanso o tempo suficiente para que houvesse a decantação do sedimento. Quando necessário, foram adicionadas algumas gotas de HCl 0,1N, com objetivo de facilitar a floculação das partículas de solo. Após

a decantação, foi descartado o sobrenadante, transferindo-se o sedimento para béckers com capacidade de 250 ml e levado à estufa a 105°C por 48 horas e, então, obtida a massa de sedimentos. Após a obtenção da massa de sedimentos, as amostras de cada horizonte foram misturadas formando uma única amostra e realizada a análise textural do sedimento de solo salpicado, com três repetições (Day, 1965). A quantidade de sedimentos foi então relacionada com a área da amostra, sendo expressa em ton ha⁻¹.

3.2.6 Análise estatística

Os tratamentos seguiram um esquema fatorial do tipo 5x3x2, correspondente a cinco níveis de energia cinética da chuva, três profundidades de coleta (horizonte A, Bi e C) e duas inclinações da amostra, em delineamento inteiramente casualizado, com três repetições. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, testes de médias e ajuste de regressão linear ($y = a + bx$), relacionando quantidade de sedimentos e níveis de energia, utilizando o software SISVAR (Ferreira, 2003).

3.3 Ensaio com Ultra-Som

3.3.1 Ensaio de desagregação

Para o ensaio de desagregação, foram coletadas 45 amostras indeformadas confinadas em anéis, conforme descrição já feita. A quantidade total de amostras corresponde a três profundidades de coleta (horizonte A, Bi e C), cinco níveis de energia ultra-sônica e três repetições.

As sonificações foram realizadas em aparelho marca Misonix, modelo XL2020TM, operando a 20 kHz, no estágio 9 do mostrador (Figura 3). Foi realizada a calibração da potência emitida pelo ultra-som, baseada em técnicas

calorimétricas, conforme descrito por Sá et al. (2001), com algumas modificações.

A potência real aplicada foi calculada pela equação 8:

$$Pc = \left[(m \cdot c_a + C_g) \cdot \left(\frac{\Delta T}{t_s} \right) \right] + H \quad \text{Eq. 8}$$

em que Pc é a potência obtida pela calibração, em watts; m é a massa de água utilizada para sonificação (600g); c_a é o calor específico da água, [4,186J (g°C)⁻¹]; C_g a capacidade térmica do recipiente, em J °C⁻¹; ΔT é a variação de temperatura para cada tempo de 10s; t_s é o tempo de sonificação (10s) e H é a taxa de perda de energia, expressa em J s⁻¹.

O recipiente utilizado para sonificação foi um béquer de 800 mL inserido em um calorímetro, que consistiu de um pote de plástico com tampa revestido internamente por isopor e papel alumínio. A capacidade térmica do recipiente (C_{rep}) foi determinada adicionando-se 300 g de água destilada (m_1) na temperatura ambiente (T_1). Em seguida, foram adicionados 300 g de água (m_2) na temperatura aproximadamente o dobro da temperatura ambiente (T_2). Sendo assim, a soma das duas massas de água foi a mesma daquela a ser sonificada para cálculo da potência, ou seja, 600 g, conforme equação 8. O calorímetro foi imediatamente fechado e, através de dois orifícios na tampa, foi inserida a ponta da haste do aparelho, ficando 2 cm imersa na água, e o fio do termopar para monitoramento da temperatura. No interior do calorímetro, também ficou inserida uma base suspensa de alumínio a 1 cm do fundo, para sustentação dos anéis contendo as amostras durante a sonificação. Essa base foi fixada em uma coluna que também serve de fixação para a haste do aparelho (Figura 3). Após o equilíbrio de temperatura das duas massas de água, aproximadamente 10

minutos, foi medida a temperatura resultante (T_3) e calculada a capacidade térmica do recipiente pela equação 9:

$$C_{rep} = [m_2 \cdot c_a \cdot (T_2 - T_3) \div (T_3 - T_1)] - (m_1 \cdot c_a) \quad \text{Eq.9}$$

A taxa de perda de energia (H), que representa a quantidade de energia que é perdida do sistema durante a sonificação por dissipação de calor, foi calculada de acordo com a metodologia descrita em Sá et al. (2001), utilizando o mesmo calorímetro e massa de água descrito anteriormente. Segundo Roscoe & Machado (2002), desde que o isolamento do calorímetro seja suficiente para uma estimativa reproduzível da relação entre H e a temperatura, qualquer tipo de recipiente pode ser utilizado.

A potência do aparelho foi de 78,91 watts e a energia aplicada pode ser calculada pela equação 10:

$$E_a = \frac{P_c \cdot t_s}{V} \quad \text{Eq. 10}$$

em que E_a é a energia aplicada, em J mL^{-1} ; P_c é a potência do aparelho; t_s é o tempo de sonificação, em s; e V é o volume de água utilizado, em mL.

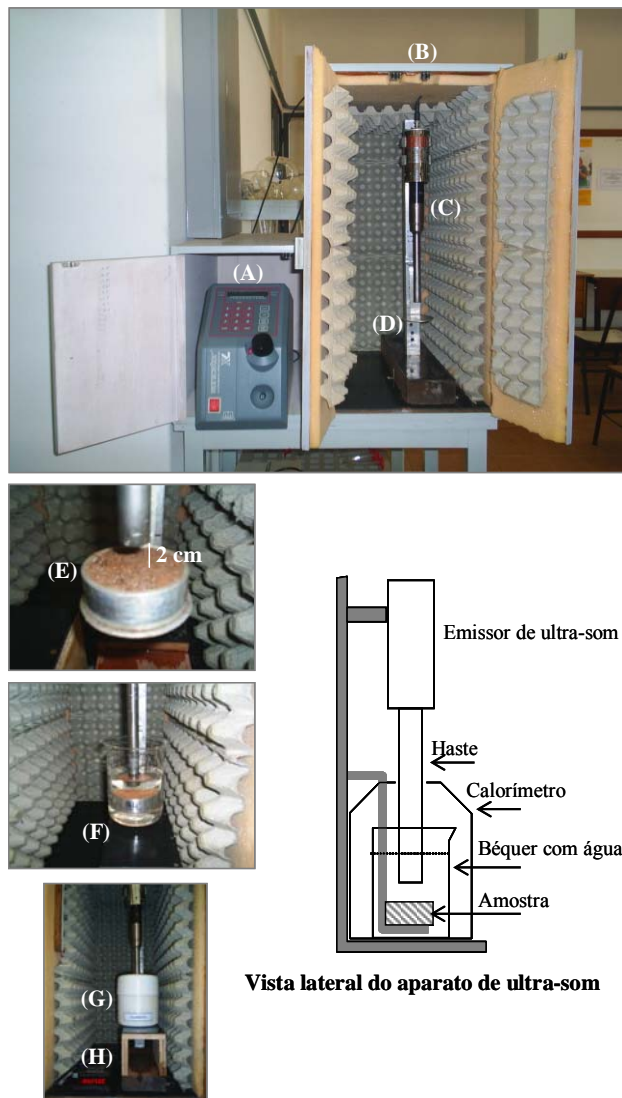


FIGURA 3 Equipamento de ultra-som. (A) Controle de emissão; (B) Caixa para isolamento acústico; (C) Haste do aparelho; (D) Base para amostra; (E) Detalhe da distância da haste à amostra; (F) Detalhe da amostra imersa em água; (G) Calorímetro usado para calibração e sonificação das amostras; (H) Termopar para monitoramento da temperatura durante a calibração.

3.3.1.1 Preparo das amostras e realização do ensaio

Após a coleta, as amostras foram saturadas com água destilada por 24 horas em uma bandeja mantendo-se o nível de água a 2/3 da altura da amostra e posteriormente submetidas à sonificação. As amostras foram colocadas sobre uma base e imersas no béquer com capacidade para 800 mL contendo 600 mL de água; o béquer foi inserido no calorímetro (Figura 3). A ponta da haste do aparelho, de comprimento 17,5 cm e diâmetro 1,9 cm, foi inserida por meio de uma abertura na tampa do calorímetro, ficando 2 cm imersa na água e distante da superfície da amostra em 2 cm. As amostras foram então submetidas aos tempos de sonificação de 1, 5, 10, 20 e 30 s, correspondendo aos níveis de energia de 0,13, 0,66, 1,32, 2,63 e 3,95 J mL⁻¹, respectivamente.

3.3.1.2 Análise estatística

Os tratamentos seguiram um esquema fatorial do tipo 5x3, correspondente a cinco níveis de energia aplicada e três profundidades de coleta (horizonte A, Bi e C), dispostos em delineamento inteiramente casualizado, com três repetições. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, testes de médias e ajuste de regressão linear ($y = a + bx$), relacionando quantidade de sedimentos e níveis de energia ultra-sônica, utilizando o software SISVAR (Ferreira, 2003).

3.3.2 Relação entre energia ultra-sônica e energia cinética da chuva

Com o objetivo de se obter uma relação entre os níveis de energia ultra-sônica (J mL⁻¹) e os níveis de energia cinética da chuva (MJ ha⁻¹), que proporcionaram quantidades equivalentes de sedimentos para os horizontes A, Bi e C, foram obtidos primeiramente curvas de regressão lineares ($y = a + bx$) relacionando essas duas formas de energia com a quantidade de sedimentos.

Em seguida, procedeu-se à transformação dos dados para a forma logarítmica. Obtiveram-se então equações de regressão lineares logaritmizadas relacionando quantidade de sedimentos com as duas formas de energia. Com base no melhor modelo (escolhido em função do maior R^2), substituíram-se valores de energia ultra-sônica ou energia cinética, sendo possível, dessa forma, uma relação entre essas duas formas de energia. A partir dessa relação, foram atribuídos valores de energia cinética da chuva, que foram substituídos nas equações que relacionam a energia cinética da chuva e energia ultra-sônica, para estimativa dessa última. Foi realizada também uma verificação da metodologia, estimando-se a quantidade de sedimentos pelos respectivos modelos lineares, comparando-se os resultados por meio do cálculo do erro da estimativa. Na Figura 4 é mostrada uma representação esquemática do procedimento anteriormente descrito.

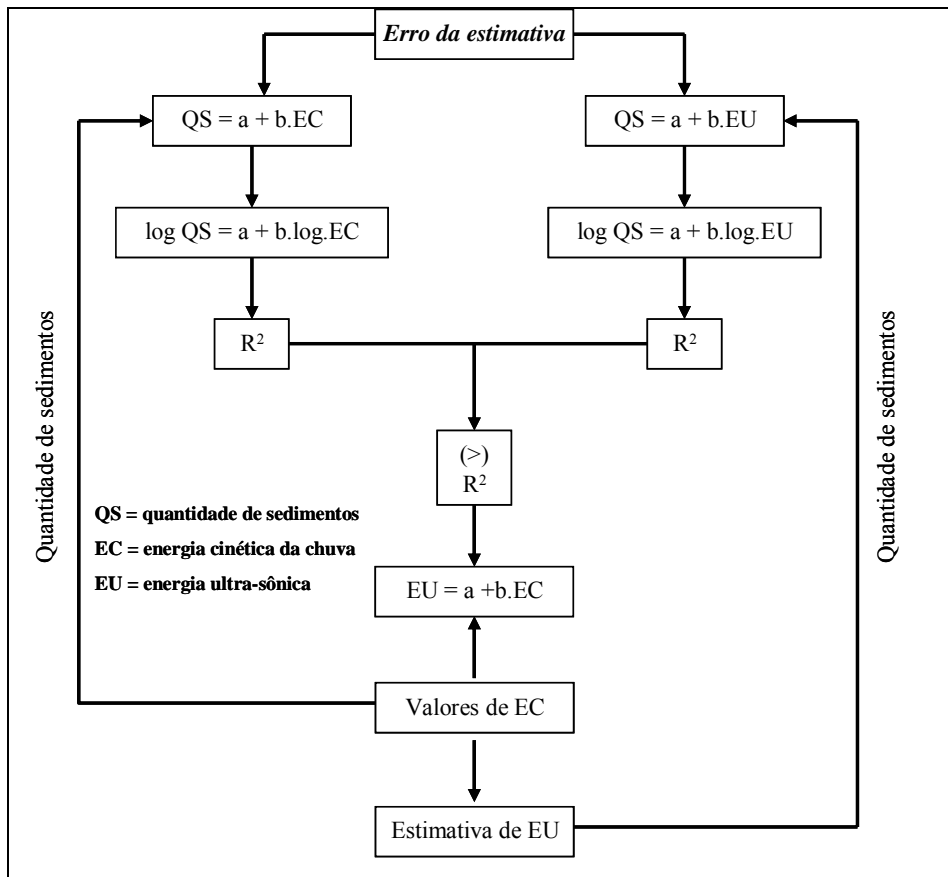


FIGURA 4 Representação esquemática do procedimento adotado para relacionar a energia cinética da chuva e energia ultra-sônica.

3.3.3. Análise de estabilidade de agregados com ultra-som

A análise de estabilidade de agregados com aplicação de energia ultra-sônica foi realizada de acordo com a metodologia proposta por Sá (2002), com algumas modificações, descrita a seguir.

As amostras para essa determinação foram torrões de solo com estrutura natural secos ao ar e passados em peneiras de 7,96 mm e 4,76 mm de malha. Cada amostra consistiu de 5g de agregados (4,76 a 7,96 mm de diâmetro) secos

ao ar, sendo corrigido para secos em estufa. Os agregados foram pré-umedecidos e transferidos para b quer de 250 mL, sendo o volume completado para 200 mL com  gua destilada (rela o solo: gua 1:40). As amostras foram ent o submetidas aos tempos de sonifica o de 0, 15, 30, 60, 120, 180, 240 e 300 s, correspondendo, respectivamente, a 0, 4,7, 9,4, 18,8, 37,6, 56,4, 75,2 e 94,0 J mL⁻¹. Todas as determina es foram realizadas em triplicata.

Ap s cada sonifica o, as amostras foram passadas em peneira de malha 0,053 mm. O material de solo retido na peneira foi seco em estufa por 24 horas a 105 C e pesado. O tempo zero de sonifica o consistiu simplesmente em colocar os agregados no b quer, completar o volume com  gua destilada e passar pela peneira, representando apenas a desagrega o causada pelo manuseio da amostra.

Para cada n vel de energia espec fica aplicada, foi calculado o  ndice de desagrega o, segundo S  et al. (1999), pela equa o 11:

$$ID = \frac{\text{silte} + \text{argila}}{\text{amostra}} \quad \text{Eq. 11}$$

em que *ID*   o  ndice de desagrega o adimensional; part culas e agregados do tamanho de *silte + argila*, obtida pela diferen a entre a massa de agregados antes da sonifica o e o material de solo retido na peneira, em g; *amostra*   a massa de agregados antes da sonifica o, em g.

De acordo com S  (2002), o *ID* ter  seu valor m ximo limitado pelos teores totais de silte + argila, representando o efeito da estabilidade de agregados mais granulometria (part culas mais grosseiras). Dessa forma, o *ID* pode ser normalizado (*IDN*) (equa o 12), representando apenas o efeito da desagrega o.

$$IDN = \frac{ID}{ID_{m\acute{a}ximo}} \quad \text{Eq. 12}$$

3.3.3.1 Análise estatística

Os tratamentos seguiram um esquema fatorial do tipo 8x3, correspondente a oito níveis de energia ultra-sônica e três profundidades de coleta (horizonte A, Bi e C), em delineamento inteiramente casualizado, com três repetições. Os dados foram submetidos à análise de variância e teste de média (Scott-Knott), comparando horizontes em cada nível de energia aplicada ao nível de 5% de probabilidade, utilizando o software SISVAR (Ferreira, 2003).

Foram obtidas curvas de desagregação, conforme Sá et al. (1999), plotando-se no eixo das abcissas (**X**) a energia aplicada e no eixo das ordenadas (**Y**) o índice de desagregação, ajustando-se modelos do tipo $Y = X/(a + bX)$.

3.4 Caracterização física, química e mineralógica do solo

Na fração TFSA, foi realizado a análise granulométrica pelo método da pipeta (Day, 1965; EMBRAPA, 1997), com e sem uso de dispersante químico (NaOH 1 mol L⁻¹). A fração areia foi dividida em: areia muito grossa (2 a 1 mm); areia grossa (1 a 0,5 mm); areia média (0,5 a 0,25 mm); areia fina (0,25 a 0,105 mm) e areia muito fina (0,105 a 0,053 mm). A densidade de partículas foi determinada pelo método do balão volumétrico (Blake & Hartge, 1986). Nessa mesma fração, foram determinados carbono orgânico, complexo sortivo, pH em água (relação solo:solução 1:2,5), pH em KCl e os teores de SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, TiO₂ e P₂O₅ extraídos pelo ataque sulfúrico (EMBRAPA, 1997).

A porosidade total, macro e microporosidade foram determinados segundo EMBRAPA (1997).

Na fração argila, foram determinados os teores de Fe_2O_3 extraídos pelo ditionito-citrato-bicarbonato de sódio (DCB), segundo Mehra & Jackson (1960), e pelo oxalato de amônio (OA), segundo Schwertmann (1964). Os teores de caulinita e gibsita foram determinados na fração argila desferrificada, por meio da análise térmica diferencial (ATD).

A estabilidade de agregados foi também avaliada pelo método do peneiramento úmido. As amostras para essa determinação consistiram de torrões de solo com estrutura natural, que foram secos ao ar por 24 horas e então passados em peneiras de 7,96 mm e 4,76 mm de malha. Para realização das análises, foram utilizados aqueles agregados retidos na peneira de 4,76 mm. Os agregados foram submetidos à saturação por capilaridade por 24 horas e, em seguida, agitados verticalmente por 15 min em jogos de peneira de 2,0; 1,0; 0,5; 0,25 e 0,105 mm, dentro de um recipiente contendo água, conforme sugerido por Yoder (1936). Essa estabilidade foi expressa pelo diâmetro médio geométrico (DMG) dos agregados, calculada pela equação 13.

$$DMG = 10^{\left[\frac{\sum(n \cdot \log d)}{\sum n} \right]} \quad \text{Eq. 13}$$

em que n é a porcentagem de agregados retidos em uma determinada peneira e d é o diâmetro médio de uma determinada faixa de tamanho de agregado, em mm.

Todas as análises de caracterização do solo foram realizadas em triplicata, e aquelas realizadas na fração argila foram corrigidas para terra fina seca em estufa (TFSE).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização física, química e mineralógica do solo

Nas Tabelas 2 e 3 são apresentados os resultados da caracterização física do solo.

TABELA 2 Textura e fracionamento de areia dos horizontes A, Bi e C do CAMBISSOLO HÁPLICO Tb distrófico típico (CXbd) da região de Lavras, MG.

Hor.	Argila	Silte	Areia	Silte/	AMG	AG	AM	AF	AMF
	-----g kg ⁻¹ -----			Argila	-----g kg ⁻¹ -----				
A	405	114	481	0,28	53	106	125	159	38
Bi	457	197	346	0,43	48	80	80	107	31
C	195	356	449	1,83	71	112	85	112	67

AMG: areia muito grossa, AG: areia grossa, AM: areia média, AF: areia fina, AMF: areia muito fina.

TABELA 3 Argila dispersa em água (ADA), índice de floculação (IF), densidade de partículas (D_p), densidade do solo (D_s), diâmetro médio geométrico (DMG), volume total de poros (VTP), macro e microporosidade dos horizontes A, Bi e C do CAMBISSOLO HÁPLICO Tb distrófico típico (CXbd) da região de Lavras, MG.

Horizonte	ADA	IF	D _p	D _s	DMG	VTP	Macro	Micro
	-g kg ⁻¹ -	%	-kg dm ⁻³ -	--mm--	-----%-----			
A	164	60	2,42	1,33	4,83	45,16	13,53	31,63
Bi	310	32	2,54	1,48	4,81	41,70	6,16	35,54
C	114	42	2,53	1,37	1,87	45,97	8,54	37,43

IF (%) = [(Argila total – ADA)/Argila total]x100.

As classes texturais dos horizontes A, Bi e C são, respectivamente, argila-arenosa, argila e franco.

O horizonte Bi apresentou o maior conteúdo de argila (Tabela 2), devido possivelmente a um certo grau de evolução pedogenética e iluviação de argila sem que o incremento de argila total em relação ao horizonte A fosse suficiente para que a relação textural Bi/A atendesse ao requisito de um horizonte B textural. Já o horizonte C apresentou o menor conteúdo de argila e maiores de silte, evidenciando seu pequeno avanço pedogenético. De acordo com Resende et al. (1995), as partículas do tamanho de silte e areia, sob ação do intemperismo, transformam-se em argila, sendo a fração silte um indicador do grau de intemperização e do potencial do solo conter minerais facilmente intemperizáveis.

O resultado do fracionamento de areia (Tabela 2) mostra que o horizonte Bi apresentou menores quantidades de todas as frações comparativamente aos horizontes A e C. O horizonte C apresentou maiores quantidades de areia muito grossa, areia grossa e areia muito fina, enquanto o horizonte A apresentou maiores quantidades de areia média e areia fina.

Embora a relação silte/argila do horizonte Bi seja inferior a 0,6 (Tabela 2), o que atenderia à condição para B Latossólico, a espessura do horizonte Bi, de acordo com observações de campo, é inferior a 50 cm, considerado como insuficiente para classificação do solo como Latossolo.

O horizonte A apresentou o maior índice de floculação (Tabela 3) devido ao seu maior conteúdo de matéria orgânica, que, embora confira maior quantidade de cargas negativas, como pode ser observado pelos valores negativos de Δ pH (Tabela 4), confere maior índice de floculação devido à ação cimentante da matéria orgânica com as partículas do solo.

O horizonte Bi apresentou o maior valor de densidade do solo (Tabela 3), além da menor porosidade total e macroporosidade, em consonância com sua

estrutura em blocos, que leva a um ajuste face a face das partículas do solo.

Pelos resultados do complexo sortivo (Tabela 4), pode-se avaliar, de maneira geral, a fertilidade do horizonte A como média e dos horizontes Bi e C como baixa, com teores de fósforo e potássio muito baixos (CFSEMG, 1999). A maior fertilidade do horizonte A se deve, principalmente, ao seu maior conteúdo de matéria orgânica. Observa-se também um aumento da saturação por alumínio em profundidade.

Na Tabela 5 são apresentados os resultados da análise mineralógica. Observa-se que o valor de K_i do horizonte Bi está abaixo do valor de 2,2, considerado como critério para separação de Cambissolos e Latossolos. Entretanto, conforme já discutido anteriormente, a espessura do horizonte Bi diagnóstico (menor que 50 cm) permite enquadrar o solo na classe de Cambissolos. A relação (K_t/K_t+G_b) mostra que o solo é predominantemente caulínítico, apresentando baixos teores de ferro ($< 5,0\%$) e maior teor de ferro amorfo (Fe_{ox}) no horizonte A, em virtude do seu maior teor de matéria orgânica.

TABELA 4 Caracterização do complexo sortivo dos horizontes A, Bi e C do CAMBISSOLO HÁPLICO Tb distrófico típico (CXbd) da região de Lavras, MG.

Hor.	pH H ₂ O	pH KCl	Δ pH ¹	P ² mg dm ⁻³	K mg dm ⁻³	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H + Al cmolc dm ⁻³	SB ³	t ⁴	T ⁵	V ⁶ %	m ⁷	MO dag kg ⁻¹	P-rem mg L ⁻¹
A	5,7	4,6	-1,1	2,1	28,0	2,0	0,6	0,3	3,6	2,7	3,0	6,3	42,8	9,0	33,0	25,2
Bi	5,1	4,4	-0,7	0,5	11,0	0,7	0,2	0,7	2,7	0,8	1,6	3,6	24,9	44,0	9,3	25,2
C	5,0	4,4	-0,6	0,5	2,0	0,6	0,2	1,1	2,4	0,8	1,9	3,2	24,4	60,3	2,0	37,4

¹ Δ pH = pH (KCl - H₂O); ² P Mehlich-1; ³ S: soma de bases trocáveis; ⁴t: capacidade de troca catiônica efetiva; ⁵T: capacidade de troca catiônica a pH 7,0; ⁶V: índice de saturação por bases; ⁷m: índice de saturação por alumínio; MO: matéria orgânica; P-rem: fósforo remanescente.

TABELA 5 Caracterização mineralógica dos horizontes A, Bi e C do CAMBISSOLO HÁPLICO Tb distrófico típico (CXbd) da região de Lavras, MG.

Horizonte	SiO ₂ ¹	Al ₂ O ₃ ¹	P ₂ O ₅ ¹	TiO ₂ ¹	Fe ₂ O ₃ ¹	Ki	Kr	Kt	Gb	Kt/(Kt+Gb)	Fe _d	Fe _{ox.}	Fe _{ox.)/(Fe_d+Fe_{ox.})}
	-----g kg ⁻¹ -----							----g kg ⁻¹ ----			--g kg ⁻¹ --		
A	149,0	140,9	0,17	7,39	23,6	1,80	1,62	227,9	22,6	0,91	6,4	1,0	0,14
Bi	210,0	214,7	0,05	7,28	30,0	1,66	1,53	280,5	44,3	0,86	8,4	0,5	0,06
C	230,5	220,8	0,05	7,33	27,1	1,77	1,64	133,7	16,4	0,89	5,4	0,1	0,01

¹ Óxidos do ataque sulfúrico; Ki: relação molecular entre SiO₂ e Al₂O₃; Kr: relação molecular entre SiO₂ e a soma de Al₂O₃+Fe₂O₃; Kt: caulinita; Gb: gibsitita; Fe_d: ferro extraído com ditionito-citrato-bicarbonato de sódio; Fe_{ox.}: ferro extraído com oxalato de amônio.

4.2 Caracterização da chuva simulada

4.2.1 Velocidade terminal da gota

Na Figura 5 é mostrado o efeito da altura de queda e do diâmetro da gota na sua velocidade a partir das equações propostas por Lima et al. (1993). Observa-se que a velocidade aumenta com o diâmetro da gota e atinge um valor constante a partir de determinada altura de queda, que é chamado de velocidade terminal. No presente estudo, as gotas produzidas foram de 2,45 mm de diâmetro, caindo de uma altura de 3,31m, com uma velocidade de $6,14 \text{ m s}^{-1}$. A altura não foi suficiente para que as gotas, nesse diâmetro, atingissem a velocidade terminal. Quando se realizam trabalhos envolvendo simulação de chuva, seria desejável que esse critério fosse atingido, podendo representar melhor as condições naturais, entretanto, muitas vezes, por questões técnicas, isso não é possível.

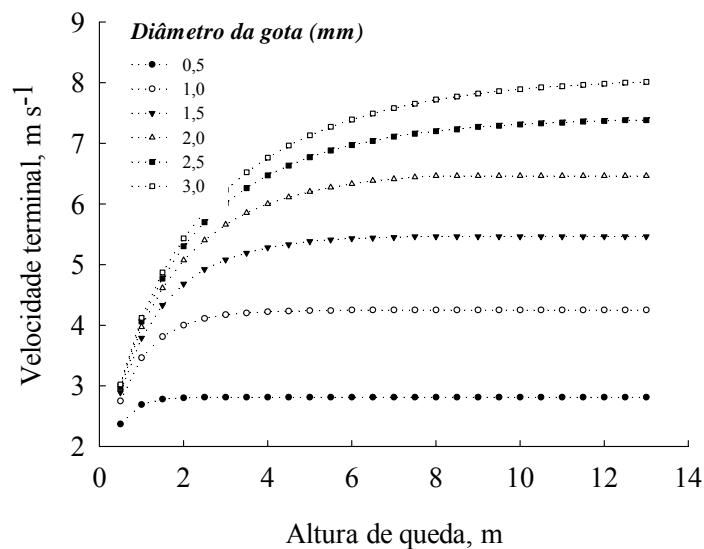


FIGURA 5 Efeito da altura de queda e do diâmetro na velocidade da gota.

4.2.2 Energia cinética da chuva

No presente estudo, foram produzidas cinco chuvas com intensidade de 150 mm h^{-1} , com tempos de duração de 5, 8, 11, 16 e 21 minutos, correspondentes aos tempos de retorno de 5, 10, 20, 50 e 100 anos, de acordo com a equação de chuvas intensas obtida para Lavras, MG, (Mello et al., 2001). Com base na intensidade e duração da precipitação e nas características da chuva simulada (tamanho da gota, altura de queda, tempo de queda e velocidade terminal da gota), foi calculada para cada chuva a energia cinética correspondente, expressa em MJ ha^{-1} . Os cálculos da energia cinética da chuva são descritos detalhadamente por Silva (1994). Os valores de energia cinética calculados foram comparados com aqueles obtidos pelas equações propostas por Wagner & Massambani (1988) e Wischmeier & Smith (1958) (Figura 6).

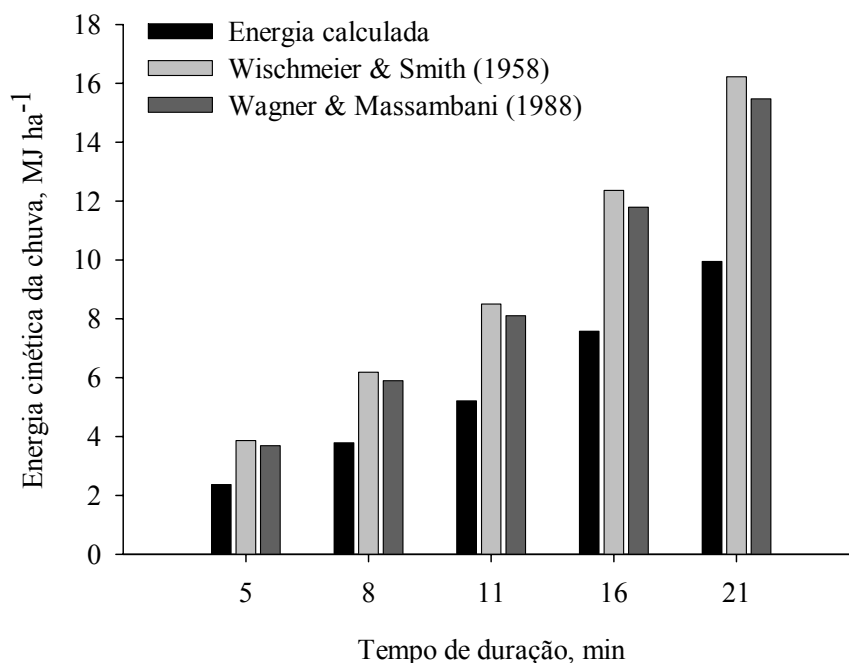


FIGURA 6 Energia cinética calculada e obtida pelas equações de Wagner & Massambani (1988) e Wischmeier & Smith (1958).

Observa-se que os valores encontrados pelas equações desses autores foram mais elevados do que os de energia cinética calculados. No presente estudo, a velocidade da gota ficou aquém da velocidade terminal, o que contribuiu para a menor energia cinética das gotas. Os trabalhos de Wagner & Massambani (1988) e Wischmeier & Smith (1958), por compararem condições de chuva natural, partem do pressuposto de que a velocidade terminal seja atingida. Apesar disso, Amorim et al. (2001) também observaram que a energia cinética calculada da chuva simulada foi menor que a obtida pela equação de Wischmeier & Smith (1958), atingindo, em média, 68% dessa última. Outro ponto questionável da utilização de tais equações seria que estas apresentam, como variável de entrada, apenas a intensidade de precipitação, já que pode haver chuvas de mesma intensidade e duração, porém, com energia cinética diferentes em função dos diâmetros de gotas.

4.3 Efeito da energia cinética da chuva e energia ultra-sônica na desagregação do solo

Nas Figuras 7 e 8 são apresentados, respectivamente, os efeitos da energia cinética da chuva e da energia ultra-sônica na desagregação dos materiais provenientes dos horizontes A, Bi e C.

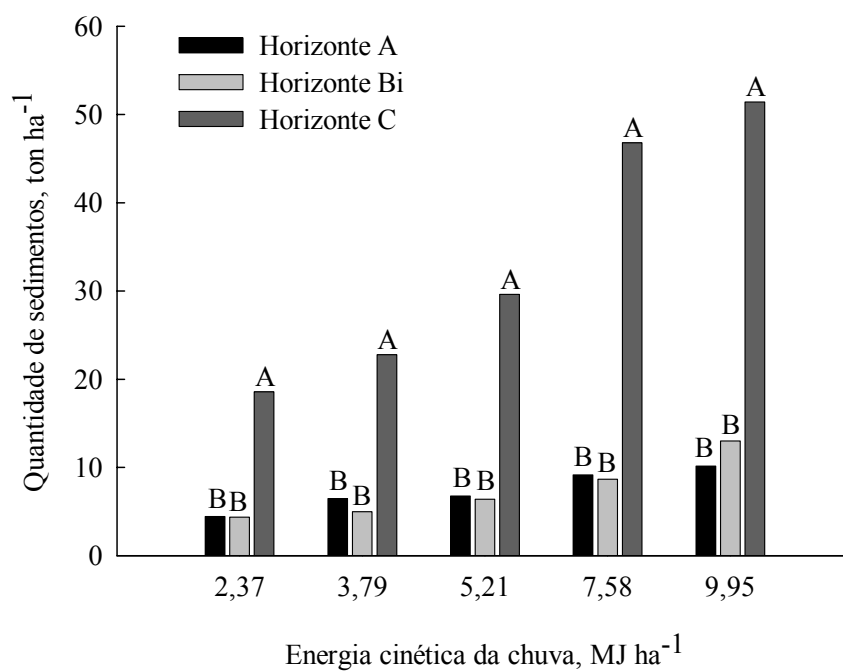


FIGURA 7 Efeito da energia cinética da chuva na desagregação dos horizontes A, Bi e C de CAMBISSOLO HÁPLICO Tb distrófico típico (CXbd) da região de Lavras, MG. As letras comparam horizontes em cada nível de energia cinética da chuva (Scott-Knott; $p < 0,05$).

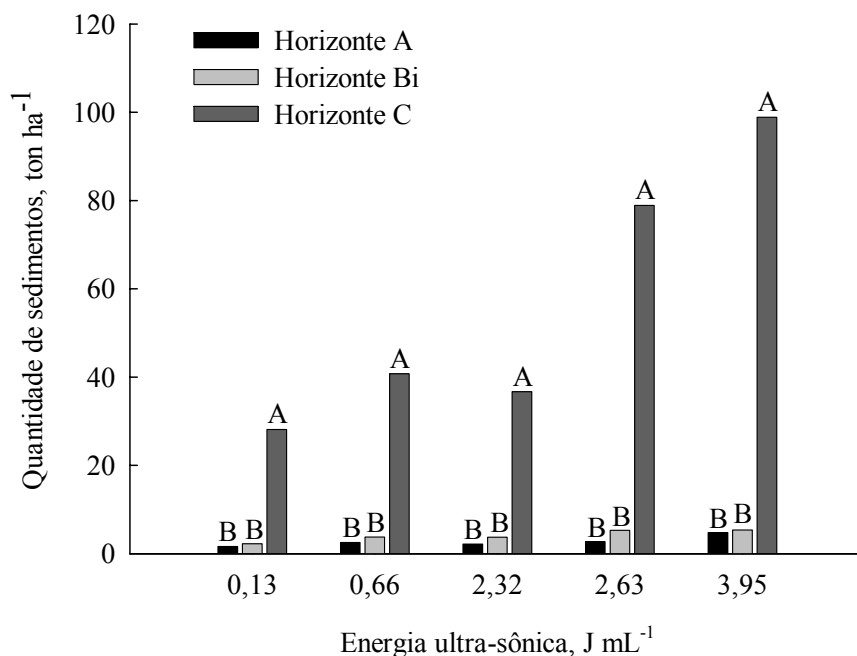


FIGURA 8 Efeito da energia ultra-sônica na desagregação dos horizontes A, Bi e C do CAMBISSOLO HÁPLICO Tb distrófico típico (CXbd) da região de Lavras, MG. As letras comparam horizontes dentro de cada nível de energia ultra-sônica (Scott-Knott; $p < 0,05$).

Observa-se que, para todos os níveis de energia cinética da chuva (Figura 7) e nos níveis de energia ultra-sônica (Figura 8), o horizonte C apresentou maiores quantidades de sedimentos, comparativamente aos horizontes A e Bi, que não diferiram entre si. A maior quantidade de sedimentos do horizonte C é atribuída ao baixo grau de estruturação, baixo conteúdo de matéria orgânica (Tabela 4) e maiores teores de silte (Tabela 2), exibindo pouca ou nenhuma evolução pedogenética.

A facilidade de desagregação do horizonte C aumenta os riscos de erosão por solapamento, como, por exemplo, em cortes de estradas e nos barrancos de voçorocas.

O efeito da matéria orgânica por si parece não explicar a resistência do material do horizonte Bi, relativamente ao A. O horizonte Bi apresenta cerca de 3 vezes menos matéria orgânica do que o A (Tabela 4), ainda assim, a quantidade de sedimentos produzida pelo impacto das gotas de chuva simulada ou a sonificação não foi diferente nesses horizontes. A estrutura em blocos do horizonte Bi (de acordo com observações de campo) parece ter conferido a ele uma resistência semelhante ao horizonte A.

Esses resultados corroboram com aqueles obtidos pela análise de estabilidade de agregados pelo método do peneiramento úmido. Observa-se, pela Tabela 3, que os agregados dos horizontes A e Bi apresentaram diâmetro médio geométrico praticamente iguais, evidenciando que, além da matéria orgânica, outros atributos do solo também influenciam o fenômeno de agregação nesse solo.

Para o solo estudado e nas condições do ensaio, o comportamento semelhante da resposta à energia de gotas e energia ultra-sônica, apresentado pelos horizontes A, Bi e C, permite inferir que essa última pode simular adequadamente o processo de desagregação do solo pelo impacto das gotas de chuva.

4.4 Efeito da inclinação da amostra na desagregação do solo pelo impacto das gotas de chuva simulada

Observa-se pela Figura 9 que a inclinação da amostra não teve efeito na quantidade de sedimentos. Devido ao pequeno tamanho da amostra ($0,003 \text{ m}^2$) exposta ao impacto das gotas de chuva simulada, houve quase que um efeito pontual das gotas na desagregação. O ângulo de incidência das gotas de chuva na superfície tem efeito no alcance das partículas salpicadas (Schwab et al., 1993). Quando as gotas de chuva caem verticalmente sobre uma superfície plana, as partículas são lançadas a uma mesma distância a partir do ponto de impacto das gotas. Quando incidem sobre uma superfície inclinada ou com um ângulo diferente, as partículas de solo são lançadas mais distantes no sentido do declive ou a favor do maior ângulo formado com a superfície.

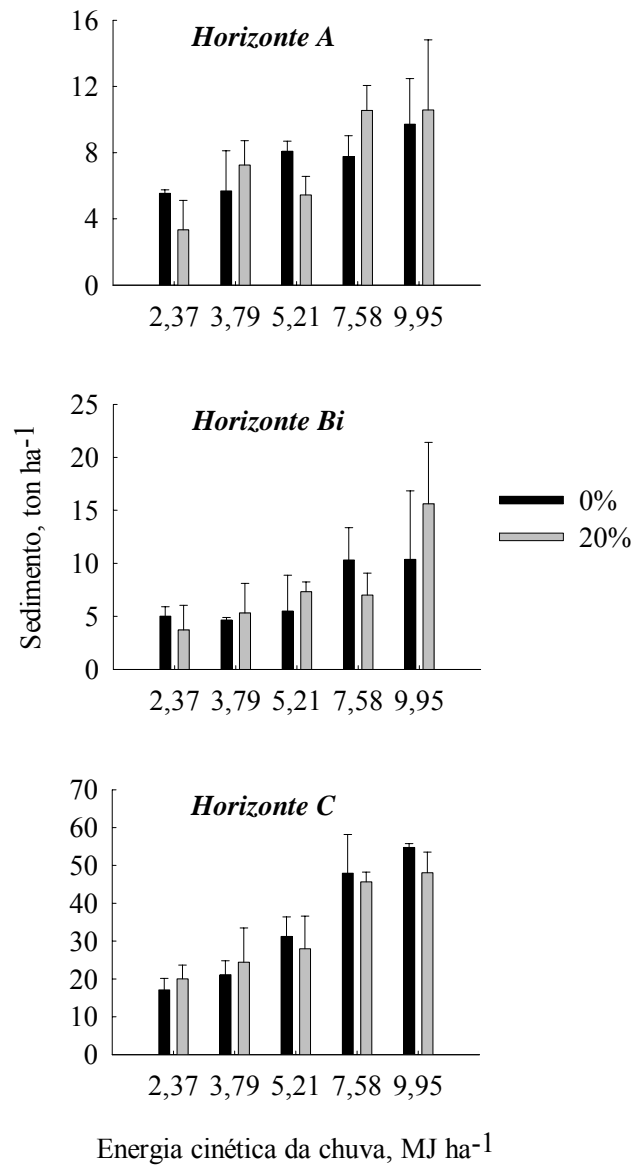


FIGURA 9 Efeito da inclinação da amostra na desagregação do CAMBISSOLO HÁPLICO Tb distrófico típico (CXbd) da região de Lavras, MG. Barras de erro: desvio-padrão.

4.5 Relação entre energia cinética da chuva e energia ultra-sônica

Nas Figuras 10 e 11 são apresentadas, respectivamente, as curvas de regressão linear relacionando a quantidade de sedimentos produzida pela energia cinética da chuva simulada e pela energia ultra-sônica, para os horizontes A, Bi e C. Foram obtidos ajustes, com valores do coeficiente de determinação (R^2) acima de 0,9, exceto para os horizontes A e Bi, pela aplicação de energia ultra-sônica (Figura 11), que tiveram valores de 0,82 e 0,83, respectivamente.

Na Figura 12 são apresentadas as curvas de regressão linear relacionando a energia cinética da chuva e energia ultra-sônica, representando níveis equivalentes dessas duas formas de energia, que proporcionaram a mesma quantidade de sedimentos. Com base nas equações, foi realizada uma simulação, atribuindo-se valores de energia cinética da chuva e encontrando a energia ultra-sônica correspondente (Tabela 6). Observa-se que os valores estimados de sedimentos para o ultra-som foram próximos daqueles obtidos pela energia cinética da chuva, apresentando um erro da estimativa inferior a 10% para os horizontes A e Bi e inferior a 23% para o horizonte C. Com esses resultados evidencia-se o potencial de uso do ultra-som em simular o fenômeno de desagregação e de perdas de solo pela chuva simulada. Entretanto, trata-se de um estudo inicial, mas com possibilidade de simular os efeitos de diferentes valores de energia cinética da chuva na desagregação do solo com a utilização do ultra-som, de forma rápida e de baixo custo. Como exemplo, pode-se verificar o efeito da energia cinética de gotas de aspersores e de simuladores de chuva na desagregação de solo, expondo-se amostras indeformadas à energia ultra-sônica correspondente à energia da chuva. Um próximo passo é desenvolver trabalhos relacionando valores de desagregação produzidos pelo ultra-som com valores de perda de solo obtidos sob condições naturais em parcelas-padrão. Assim, pode-se inferir qual nível de energia da chuva ou irrigação estaria promovendo perdas acima do tolerável para determinada classe de solo.

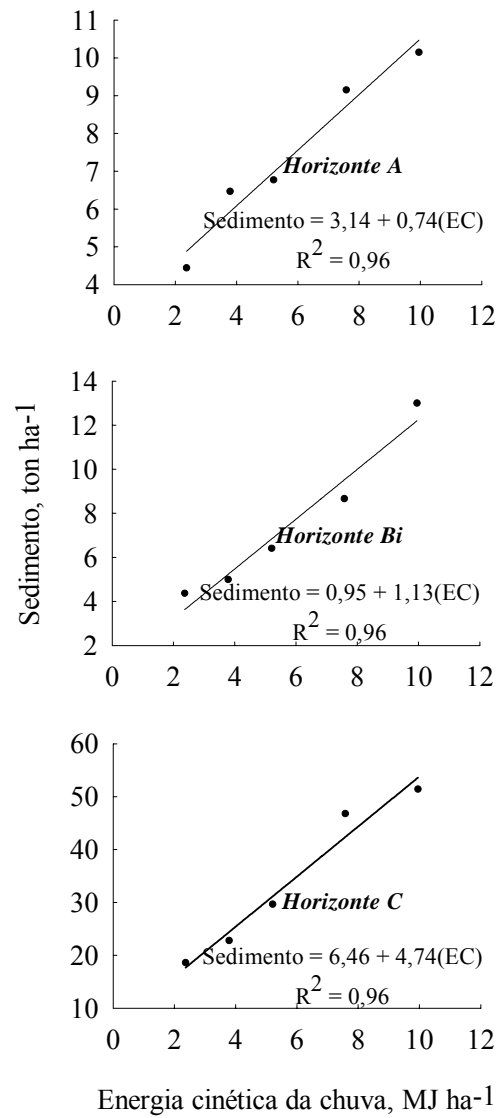


FIGURA 10 Curvas de regressão linear ($y = a + bx$) entre a quantidade de sedimentos e energia cinética da chuva para os horizontes A, Bi e C do CAMBISSOLO HÁPLICO Tb distrófico típico (CXbd) da região de Lavras, MG.

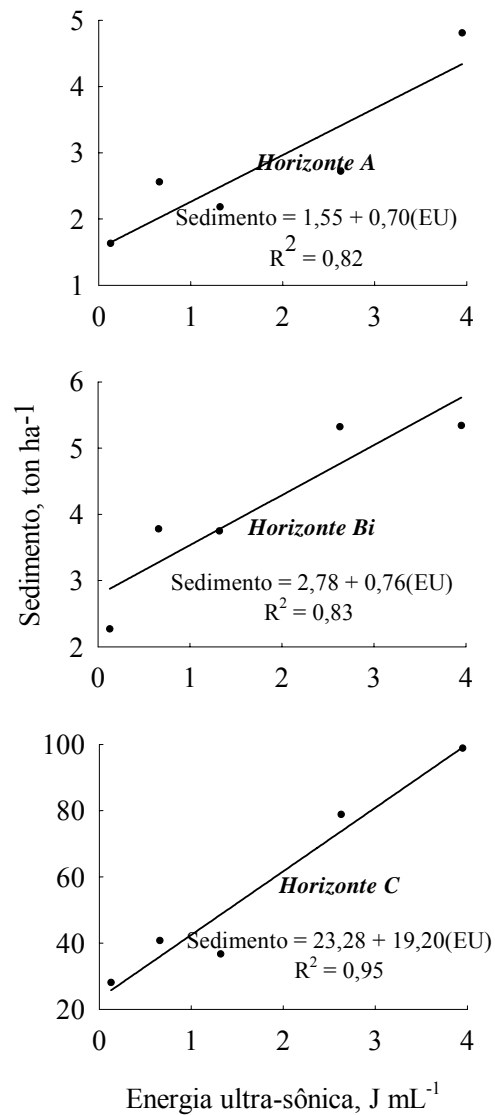


FIGURA 11 Curvas de regressão linear ($y = a + bx$) entre a quantidade de sedimentos e energia ultra-sônica para os horizontes A, Bi e C do CAMBISSOLO HÁPLICO Tb distrófico típico (CXbd) da região de Lavras, MG.

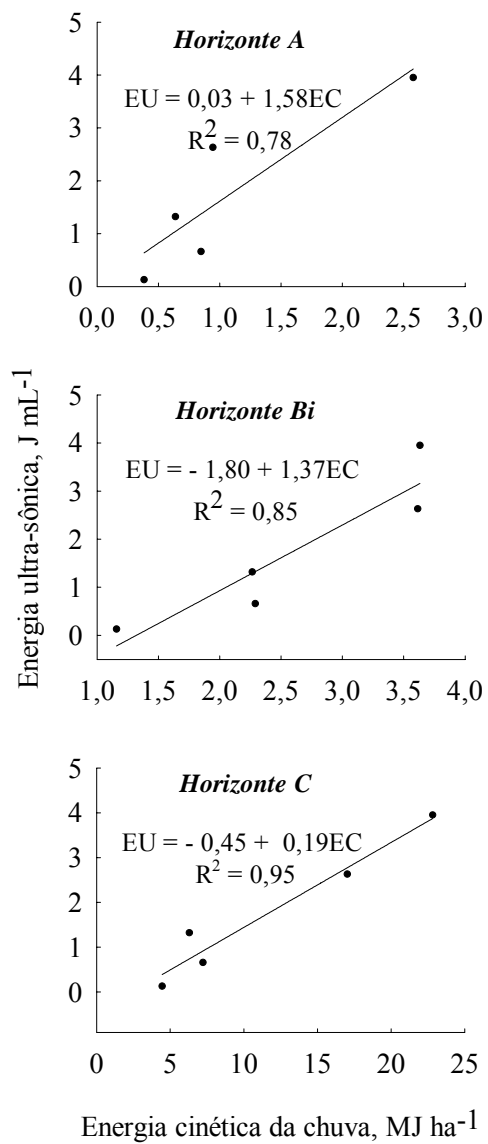


FIGURA 12 Curvas de regressão linear ($y = a + bx$) relacionando a energia cinética da chuva e energia ultra-sônica.

TABELA 6 Simulação de valores de energia cinética da chuva, energia ultra-sônica estimada e quantidade de sedimentos produzidos pela energia da chuva e do ultra-som, para os horizontes A, Bi e C do CAMBISSOLO HÁPLICO Tb distrófico típico (CXbd) da região de Lavras, MG.

Energia cinética da chuva	Valores preditos			Erro da estimativa
	Energia ultra-sônica estimada	Sedimento chuva	Sedimento ultra-som estimado	
---MJ ha ⁻¹ ---	---J mL ⁻¹ ---	-----ton ha ⁻¹ -----	-----%-----	
Horizonte A				
3	4,78	5,35	4,93	7,85
4	6,37	6,08	6,04	0,66
5	7,95	6,82	7,16	4,98
6	9,54	7,56	8,28	9,52
Horizonte Bi				
3	2,30	4,34	4,51	3,92
4	3,66	5,47	5,55	1,46
5	5,03	6,60	6,58	0,30
6	6,39	7,73	7,61	1,55
Horizonte C				
3	0,12	20,67	25,52	23,46
4	0,31	25,41	29,16	14,76
5	0,50	30,14	32,79	8,79
6	0,68	34,88	36,43	4,44
10	1,44	53,82	50,97	5,29
15	2,39	77,51	69,15	10,78
20	3,34	101,19	87,33	13,69

4.6 Textura do solo e do material salpicado

Na Tabela 7, são apresentados os resultados da análise textural do material salpicado comparada com a do solo. Observam-se maiores quantidades de areia e menores quantidades de argila e silte no material de solo salpicado. Considerando-se que a formação do selamento superficial é resultado da quebra dos agregados, seguida da orientação das partículas mais finas de forma mais compacta (Al-Durrah & Bradford, 1982), o salpicamento das partículas mais grosseiras (areia) pode favorecer essa reorganização das partículas de argila e silte, levando ao selamento superficial, reduzindo a infiltração de água no solo e aumentando o escoamento superficial.

TABELA 7 Textura do solo e do material salpicado dos horizontes A, Bi e C do CAMBISSOLO HÁPLICO Tb distrófico típico (CXbd) da região de Lavras, MG.

Horizonte	Argila		Silte		Areia	
	Solo	Salpico	Solo	Salpico	Solo	Salpico
	-----g kg ⁻¹ -----					
A	405 A	366 B	114 ^{ns}	102 ^{ns}	481 B	533 A
Bi	457 A	436 B	197 ^{ns}	193 ^{ns}	346 B	371 A
C	195 A	134 B	356 A	267 B	449 B	600 A

Médias seguidas da mesma letra, na mesma linha, para cada variável, não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$); ^{ns} não significativo.

Na Figura 13, é mostrado o resultado do fracionamento da areia do solo comparada com a do material salpicado. Observa-se, com exceção do horizonte C, que o salpico apresenta maiores quantidades de areia muito grossa (AMG) e areia grossa (AG) e menores de areia fina (AF) e areia muito fina (AMF) do que o solo, evidenciando que as partículas mais grosseiras são mais susceptíveis ao processo de salpicamento.

Inferese com esses resultados que durante o fenômeno de salpicamento das partículas, a superfície do solo fica mais enriquecida em argila, silte, areia fina e areia muito fina. De acordo com Resende (1985) a formação do selamento superficial de um solo exposto ao impacto direto das gotas de chuva, é influenciada pelos teores de silte, areia fina e argila.

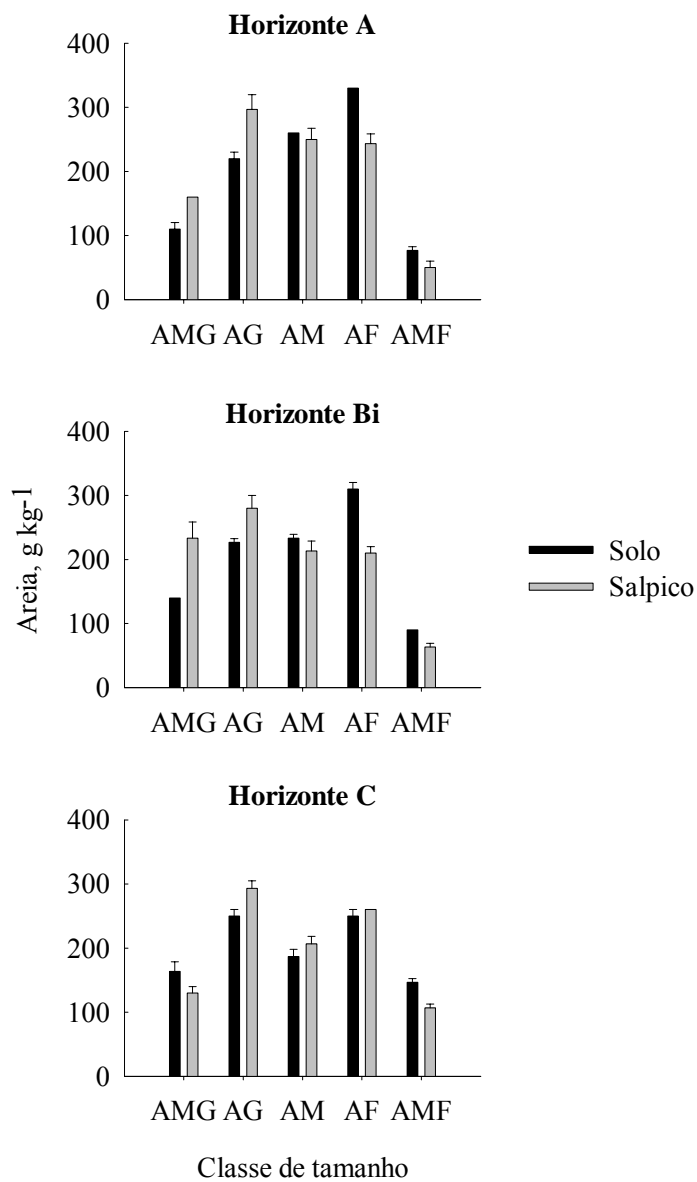


FIGURA 13 Fracionamento de areia do material salpicado e do solo dos horizontes A, Bi e C do CAMBISSOLO HÁPLICO Tb distrófico típico (CXbd) da região de Lavras, MG. Barras de erro: desvio-padrão.

4.7 Estabilidade de agregados expressa pela energia ultra-sônica

Na Tabela 8, são apresentados os índices de desagregação para cada nível de energia específica aplicada. De acordo com Sá (2002), o índice de desagregação representa o efeito da estabilidade de agregados mais granulometria. Assim, foram obtidos valores de ID máximos de 0,51, 0,67 e 0,65, para os horizontes A, Bi e C, respectivamente. Esses valores equivalem aos teores de 510, 670 e 650 g kg⁻¹ de silte + argila obtidos pela aplicação de energia ultra-sônica, enquanto os teores de silte + argila obtidos pela análise granulométrica (agitação rápida com o uso de dispersante químico NaOH 1 mol L⁻¹) foram de 519, 654 e 551 g kg⁻¹, para os horizontes A, Bi e C, respectivamente, mostrando que a aplicação de energia ultra-sônica foi mais eficiente na dispersão do horizonte C ou promoveu a quebra de partículas de minerais parcialmente intemperizadas presentes na fração areia.

Com base nos índices de desagregação normalizados (IDN), que representam apenas o efeito da estabilidade de agregados, observa-se que os horizontes Bi e C não diferiram significativamente e apresentaram maiores índices de desagregação, quando comparados ao horizonte A.

Na curva de desagregação relativa aos horizontes Bi e C (Figura 14), foram encontrados índices de desagregação normalizados de 0,96 e 0,94, respectivamente, a partir de 9,4 J mL⁻¹. Já para o horizonte A, o acréscimo no nível de energia ultra-sônica levou a um aumento linear, atingindo um patamar, provavelmente, acima de 94 J mL⁻¹. Sá (2002) encontrou que em amostras de agregados de um Latossolo sob diferentes usos, as curvas tendem a atingir um patamar a partir de 90 J mL⁻¹.

Comparando-se a análise de estabilidade de agregados pelo ultra-som e a análise pelo peneiramento úmido, observa-se que nesta última os horizontes A e Bi apresentaram diâmetro médio geométrico praticamente iguais, 4,83 e 4,81 mm (Tabela 3), respectivamente, enquanto pelo ultra-som, o horizonte Bi

apresentou um comportamento semelhante ao horizonte C, atingindo dispersão total a baixos níveis de energia ultra-sônica. Sá et al. (2000b) relatam que a estabilidade de agregados não depende apenas das características do solo, mas também da metodologia empregada na análise. Pode-se inferir que, na análise de estabilidade de agregados pelo ultra-som, a matéria orgânica é o principal agente de agregação.

TABELA 8 Índices de desagregação obtidos para cada nível de energia específica aplicada para os horizontes A, Bi e C do Cambissolo Háplico Tb distrófico típico (CXbd) da região de Lavras, MG.

Horizonte	Nível de energia específica aplicada							
	0,0	4,7	9,4	18,8	37,6	56,4	75,2	94,0
-----J mL ⁻¹ -----								
ID								
A	0,00 B	0,02 B	0,06 B	0,13 C	0,18 C	0,35 C	0,47 B	0,51 B
Bi	0,03 B	0,59 A	0,62 A	0,66 A	0,67 A	0,67 A	0,66 A	0,64 A
C	0,21 A	0,59 A	0,65 A	0,63 B	0,61 B	0,64 B	0,65 A	0,65 A
IDN								
A	0,00 B	0,04 B	0,10 B	0,25 B	0,35 B	0,68 B	0,91 B	0,98 A
Bi	0,05 B	0,85 A	0,96 A	0,97 A	0,98 A	0,99 A	0,97 A	0,94 A
C	0,32 A	0,89 A	0,94 A	0,94 A	0,92 A	0,97 A	0,98 A	0,98 A

Valores seguidos da mesma letra, na mesma coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott (5%).

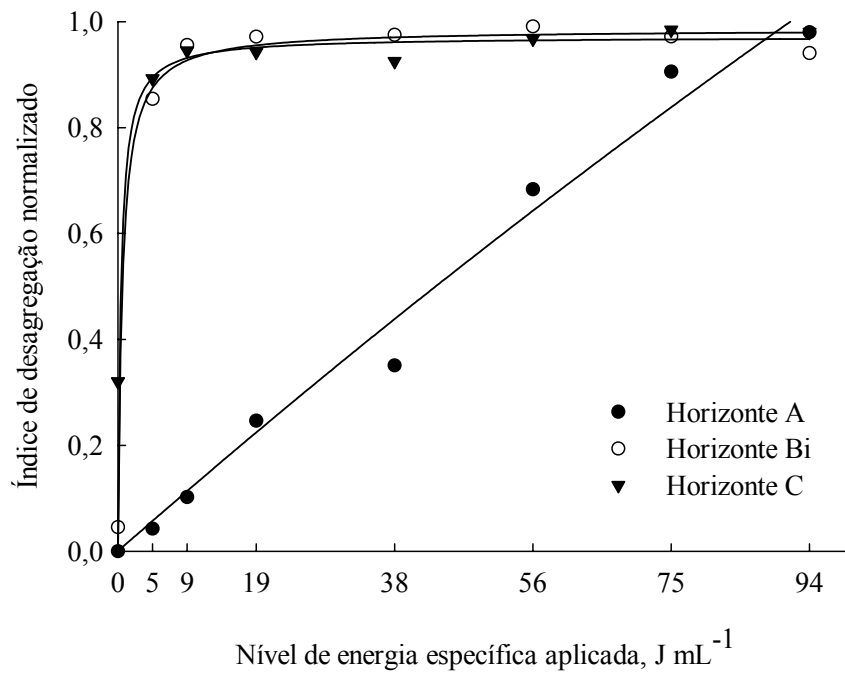


FIGURA 14 Curvas de desagregação para os horizontes A, Bi e C do CAMBISSOLO HÁPLICO Tb distrófico típico (CXbd) da região de Lavras, MG.

5 CONCLUSÕES

Os horizontes A e Bi apresentaram respostas semelhantes na desagregação do solo pela energia proveniente do impacto de gotas e pela energia ultra-sônica.

O horizonte C foi menos resistente à energia das gotas e energia ultra-sônica, relativamente aos horizontes A e Bi, que não diferiram entre si.

Não foi observado efeito do ângulo de incidência das gotas na superfície da amostra de solo sobre a quantidade de sedimentos.

O material salpicado teve maiores quantidades de areia e menores quantidades de silte e argila do que a amostra original.

A utilização do ultra-som mostrou-se adequada para simular o fenômeno de desagregação do solo, comparativamente à utilização de chuva simulada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGASSI, M.; SHAINBERG, I.; MORIN, J. Effect of electrolyte concentration and soil sodicity on infiltration rate and crust formation. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 45, n. 5, p. 848-851, Sept./Oct. 1981.

ALBUQUERQUE, J. A.; CASSOL, E. A.; REINERT, D. J. Relação entre a erodibilidade em entressulcos e estabilidade de agregados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 1, p. 141-151, jan./mar. 2000.

AL-DURRAH, M. M.; BRADFORD, J. M. The mechanism of raindrop splash on soil surfaces. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 46, n. 5, p. 1086-1090, Sept./Oct. 1982.

AMARAL, F. C. S. **Aptidão agrícola das terras do Estado de Minas Gerais: Avaliação e adequação**. 1993. 155 p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

AMORIM, R. S. S.; SILVA, D. D.; PRUSKI, F. F.; MATOS, A. T. Influência da declividade do solo e da energia cinética de chuvas simuladas no processo de erosão entre sulcos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 1, p. 124-130, jan./abr. 2001.

ANTUNES, F. Z. Caracterização climática do estado de Minas Gerais. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 12, n. 138, p. 9-14, ago. 1986.

BLAKE, G. R.; HARTGE, K. H. Bulk density. In; KLUTE, A. (Ed.) **Methods of soil analysis: physical and mineralogical methods**. 2. ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986. p. 363-375.

BOIX-FAYOS, C.; CALVO-CASES, A.; IMESON, A. C.; SORIANO-SOTO, M. D. Influence of soil properties on the aggregation of some Mediterranean soils and the use of aggregate stability as land degradation indicators. **Catena**, Amsterdam, v. 44, n. 1, p. 47-67, May. 2001.

BRADFORD, J. M.; FERRIS, J. E.; REMLEY, P. A. Interrill soil erosion processes: I. Effect of surface sealing on infiltration, runoff, and soil splash detachment. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 51, n. 3, p. 1566-1571, May/June. 1987.

BRADFORD, J. M.; HUANG, C. Mechanisms of crust formation: physical components. In: SUMNER, M. E.; STEWART, B. A. (Ed.) **Soil crusting - chemical and physical processes**. Advances in Soil Science, 1992. p. 55-72.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma agrária. **Normais climatológicas (1961-1990)**. Brasília: Secretaria Nacional de Irrigação. Departamento Nacional de Meteorologia, 1992. 84 p.

CARVALHO, D. F.; MONTEBELLER, C. A.; FRANCO, E. M.; VALCARCEL, R.; BERTOLS, I. Padrões de precipitação e índices de erosividade para as chuvas de Seropédica e Nova Friburgo, RJ. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 1, p. 7-14, Jan./abr. 2005.

CARVALHO, M. P.; FREDDI, O. S.; VERONESE JÚNIOR, V. Critérios de classificação de chuva individual erosiva para o Estado de São Paulo. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringa, v. 26, n. 2, p. 175-183, Apr./June. 2004.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para o uso de fertilizantes e corretivos em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, MG, 1999. 359 p.

D'ANDREA, A. F.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; FERREIRA, M. M. Atributos de agregação indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo na região dos cerrados no sul do estado de Goiás. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 4, p. 1047-1054, out./dez. 2002.

DAY, P. R. Particle fractionation and particle-size analysis. In: BLACK, C. A. , ed. **Methods of soil analysis: physical and mineralogical properties including statistics of measurement and sampling**. Part 1. Madison: American Society of Agronomy, 1965. p. 545-567.

DE MARIA, I. C. Cálculo da erosividade da chuva. In: INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS. **Manual de programas de processamento de dados de campo e de laboratório para fins de experimentação em conservação do solo**. Campinas: IAC-SCS, 1994. n. p.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. (Ed.). **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: Soil Science of America, 1994. p. 3-21. (SSSA Special Publication, 35)

DUFRANC, G.; DECHEN, S. C. F.; FREITAS, S. S.; CAMARGO, O. A. Atributos físicos, químicos e biológicos relacionados com a estabilidade de agregados de dois Latossolos em plantio direto no estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 3, p. 505-517, maio/jun. 2004.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: CNPS, 1997. 212 p.

FERREIRA, D. F. **Sisvar** 4. 3. 2003. Disponível em <<http://www.dex.ufla.br/danielff/sisvar>>. Acesso em: 02 ago. 2005.

FERREIRA, M. M.; FERNANDES, B.; CURI, 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. 1999.

FIELD, J. D.; MINASNY, B. A description of aggregate liberation and dispersion in A horizons of Australian Vertisols by ultrasonic agitation. **Geoderma**, Amsterdam, v. 91, n. 1/2, p. 11-26, Aug. 1999.

FOSTER, G. R.; McCOOL, D. K.; RENARD, K. G.; MOLDENHAUER, W. C. Conversion of the universal soil loss equation to SI units. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v. 36, n. 6, p. 355-359, 1981.

GENRICH, D. A.; BREMNER, J. M. Effect of probe condition on ultrasonic dispersion of soils by probe-type ultrasonic vibrators. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 36, n. 6, p. 975-976, Nov./Dec. 1972a.

GENRICH, D. A.; BREMNER, J. M. A reevaluation of the ultrasonic vibration method of dispersing soil. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 36, n. 6, p. 944-947, Nov./Dec. 1972b.

GREGORICH, E. G.; KACHANOSKI, R. G.; VORONEY, R. P. Ultrasonic dispersion of aggregates: Distribution of organic matter in size fractions. **Canadian Journal of Soil Science**, Ontário, v. 68, n. 2, p. 395-403, May 1988.

GUY, B. T.; DICKINSON, W. T.; RUDRA, R. P. The roles of rainfall and runoff in the sediment transport capacity of interrill flow. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 30, n. 5, p. 1378-1385, Sept./Oct. 1987.

HUDSON, N. **Soil conservation**. 3. ed. Ames: Iowa State University Press, 1995. 391 p.

HUDSON, N. W. The flour-pellet method for measuring the size of raindrops, Harare, Zimbabwe: Department of Conservation, 1964. (**Research Bulletin 4**).

JAYAWARDENA, A. W.; REZAUR, R. B. Drop size distribution and kinetic energy load of rainstorms in Hong Kong. **Hidrological Processes**, Sussex, v. 14, n. 6, p. 1069-1082, Apr. 2000.

KINNEL, P. I. A. Splash erosion of primary particles and aggregates. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 40, n. 6, p. 966-968, Nov./Dec. 1976.

LAL, R. Drop size distribution and energy load of rain storms at Ibadan, western Nigeria. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 48, n. 1/2, p. 103-114, Sept. 1998.

LAL, R.; ELLIOT, W. Erodibility and erosivity. In: LAL, R. (Ed.). **Soil erosion research methods**. Ankeny: Soil and Water Conservation Society, 1994. p. 181-208.

LEGOUT, C.; LEGUÉDOIS, S.; LE BISSONNAIS, Y.; ISSA, O. M. Splash distance and size distributions for various soils. **Geoderma**, Amsterdam, v. 124, n. 3/4, p. 279-292, Feb. 2005.

LIMA, C. L. R.; PAULETTO, E. A.; GOMES, A. S.; SILVA, J. B. Estabilidade de agregados de um planossolo sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 1, p. 199-205, jan./fev. 2003.

LIMA, L. A.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; MARQUES, J. J. G. S. M. O salpicamento de Latossolos provocado por gotas de chuva. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 24., 1993, Goiânia. **Resumo expandidos...** Goiânia: SBCS, 1993. v. 3, p. 161-162.

MAZURAK, A. P.; MOSHER, P. N. Detachment of soil particles in simulated rainfall. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 32, n. 5, 716-720, Sept./Oct. 1968.

MCINTYRE, D. S. Permeability measurement of soil crusts formed by raindrop impact. **Soil Science**, Baltimore, v. 85, p. 185-189, 1958.

MEHRA, O. P.; JACKSON, M. L. Iron oxide removal from soils and clays by dithionite-citrate-bicarbonate system buffered with sodium bicarbonate. **Clays and Clay Minerals**, Lawrence, v. 7, p. 317-327, 1960.

MELLO, C. R.; FERREIRA, D. F.; SILVA, A. M.; LIMA, J. M. Análise de modelos matemáticos aplicados ao estudo de chuvas intensas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 3, p. 693-698, jul./set. 2001.

MOORE, D. C.; SINGER, M. J. Crust formation effects on soil erosion processes. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 54, n. 4, p. 1117-1123, July/Aug. 1990.

MORAIS, L. F. B.; SILVA, V.; NASCHIENVENG, C.; HARDOIN, P. C.; ALMEIDA, J. E. L.; WEBER, O. L. S.; BOEL, E.; DURIGON, V. Índice EI30 e sua relação com o coeficiente de chuva do sudoeste do Mato Grosso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 15, n. 3, p. 339-344, set./dez. 1991.

MOTTA, P. E. F.; CURTI, N.; SILVA, M. L. N.; MARQUES, J. J. G. S. M.; PRADO, N. J. S.; FONSECA, E. M. B. **Levantamento pedológico detalhado, erosão dos solos, uso atual e aptidão agrícola das terras de microbacia piloto na região sob influência do reservatório de Itutinga/Camargos-MG**. Belo Horizonte: CEMIG, 2001. 51 p.

NEUFELDT, H.; AYARZA, M. A.; RESCK, V. S. D.; ZECH, W. Distribution of water-stable aggregates and aggregating agents in cerrado oxisols. **Geoderma**, Amsterdam, v. 93, n. 1/2, p. 85-99, Nov. 1999.

OLIVEIRA, G. C.; DIAS JÚNIOR, M. S.; VITORINO, A. C. T.; FERREIRA, M. M.; SÁ, M. A. C.; LIMA, J. M. Agitador horizontal de movimento helicoidal na dispersão mecânica de amostras de três latossolos do sul e campos das vertentes de Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 26, n. 5, p. 881-887, set./out. 2002.

OORTS, K.; VANLAUWE, S.; RECOUS, S.; MERCKX, R. Redistribution of particulate organic matter during ultrasonic dispersion of highly weathered soils. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 56, n. 1, p. 77-91, Feb. 2005.

RAINE, S. R.; SO, B. An energy based parameter for the assessment of aggregate bond energy. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 44, n. 2, p. 249-259, June 1993.

RAINE, S. R.; SO, B. Ultrasonic dispersion of soil in water: The effect of suspension properties on energy dissipation and soil dispersion. **Australian Journal of Soil Research**, Victoria, v. 32, n. 6, p. 1157-1174, 1994.

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, n. 3, p. 389-396, set./dez. 1992.

REICHERT, J. M.; VEIGA, M.; CABEDA, M. S. V. Índices de estabilidade de agregados e suas relações com características e parâmetros do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 17, p. 283-290, 1993.

RESENDE, M. Aplicações de conhecimentos Pedológicos à conservação de solos. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 11, n. 128, p. 3-18, ago. 1985.

RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S. B.; CÔRREA, G. F. **Pedologia: base para distinção de ambientes**. Viçosa: NEPUT, 1995. 304 p.

RESENDE, M.; CURI, N.; SANTANA, P. D. **Pedologia e fertilidade do solo: interações e aplicações**. Brasília: MEC/ESAL/POTAFOS, 1988, 83 p.

ROSCOE, R.; MACHADO, P. L. A. **Fracionamento físico do solo em estudos da matéria orgânica**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. 86 p.

ROTH, C. H.; HENKLAIN, J. C.; FARIAS, G. S. Avaliação do tamanho de goats de chuva natural e simulada para o norte do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 9, p. 171-174, maio/ago. 1985.

SÁ, M. A. C. **Energia ultra-sônica, uso e erodibilidade de solos**. 2002. 95 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

SÁ, M. A. C. **Quantificação da energia para dispersão dos agregados de Latossolo Roxo e Terra Roxa Estruturada**. 1998. 92 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

SÁ, M. A. C.; LAGE, G.; LIMA, J. M. **Calibração da potência emitida pelo sonificador para uso em análises de solo**. Lavras: UFLA, 2001. 17 p. (Boletim Agropecuário, 41).

SÁ, M. A. C.; LIMA, J. M.; LAGE, G. Procedimento-padrão para medida da potência liberada pelo aparelho de ultra-som. Comunicação. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 24, n. 1, p. 300-306, jan./mar. 2000a.

SÁ, M. A. C.; LIMA, J. M.; SILVA, M. L. N.; DIAS JÚNIOR, M. S. Comparação entre métodos para o estudo da estabilidade de agregados em solos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 9, p. 1825-1834, set. 2000b.

SÁ, M. A. C.; LIMA, J. M.; SILVA, M. L. N.; DIAS JUNIOR, M. S. Índices 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.

SALY, R. Use of ultrasonic vibration for dispersing soil samples. **Soviet Soil Science**, Silver Spring, n. 11, p. 1547-1559, 1967.

SCHWAB, G. O.; FANGMEIER, D. D.; ELLIOT, W. J. FREVERT, R. K. **Soil and water conservation engineering**. 4. ed. 1993.

SCHMIDT, M. W. I.; RUMPEL, C.; KÖGEL-KNABNER, I. Evaluation of an ultrasonic dispersion procedure to isolate primary organomineral complexes from soils. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 50, n. 1, p. 87-94, Mar. 1999.

SCHWERTMANN, U. Differenzierung der eisenoxyde des bodens durch extraktation mit ammoniumoxalat-Losung. **Zeitschrift Pflanzenernahrung Bodenkund**, Deerfield Beach, v. 105, p. 195-202, 1964.

SIDIRAS, N.; ROTH, C. H.; FARIAS, G. S. Efeito da intensidade de chuva na desagregação por impacto de gotas em três sistemas de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 8, n. 3, p-251-254, set./dez. 1984.

SILVA, A. C. **Erosividade, erodibilidade e perdas por erosão em Cambissolo e Latossolo sob chuva natural**. 2003. 59 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

SILVA, A. C.; LIMA, J. M.; CURI, N. Relação entre voçorocas, usos da terra, solos e materiais de origem na região de Lavras (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 17, n. 3, p. 459-464, set./dez. 1993.

SILVA, M. L. N. **Erodibilidade e impacto das gotas de chuva simulada sobre a superfície de Latossolos sob cerrado**. 1994. 98 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

SILVA, M. L. N.; CURI, 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.

SILVA, M. L. N.; FREITAS, P. L.; BLANCANEAUX, P.; CURI, N.; LIMA, J. M. Relação entre parâmetros da chuva e perdas de solo e determinação da erodibilidade de um Latossolo Vermelho-Escuro em Goiânia (GO). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 21, n. 1, p. 131-137, jan./mar. 1997.

TISDALL, J. M.; OADES, J. M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 33, n. 1, p. 141-163, Mar. 1982.

TRUMAN, C. C.; BRADFORD, J. M.; FERRIS, J. E. Antecedent water content and rainfall energy influence on soil aggregate breakdown. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 54, n. 5, p. 1385-1392, Sept./Oct. 1990.

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, jul./dez. 1986.

VILELA, L. A. A. **Avaliação do impacto de gotas sobre a superfície de um Latossolo Vermelho-Escuro irrigado por aspersão**. 1995. 76 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

VITORINO, A. C. T.; FERREIRA, M. M.; OLIVEIRA, G. C.; DIAS JÚNIOR, M. S.; SÁ, M. A. C.; LIMA, J. M.; CURI, N. Níveis de energia ultra-sônica na dispersão de argila em solos da região de Lavras (MG). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 25, n. 6, p. 1330-1336, nov./dez. 2001.

WAGNER, C. S.; MASSAMBANI, O. Análise da relação intensidade de chuva-energia cinética de Wischmeier & Smith e sua aplicabilidade à região de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 12, n. 3, p. 197-203, set./dez. 1988.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning**. Washington: United States Department of Agriculture, 1978. 58 p. (Agriculture Handbook, 537).

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Rainfall energy and its relationships to soil loss. **Transactions of the American Geophysical Union**, Washington, v. 39, n. 2, p. 285-291, 1958.

YODER, R. E. A direct method of aggregate analysis of soils and study of the physical nature erosion losses. **Journal American Society Agronomy**, Madison, v. 28, n. 5, p. 337-351, May 1936.

ANEXOS

Tabela		Página
1A	Análise de variância - ensaio com simulador de chuva.....	63
2A	Análise de variância do desdobramento de horizonte em cada nível de energia cinética da chuva.....	63
3A	Análise de variância – ensaio de desagregação com ultra-som.....	63
4A	Análise de variância do desdobramento de horizonte em cada nível de energia ultra-sônica.....	64
5A	Análise de variância do índice de dispersão (ID) da análise estabilidade de agregados com ultra-som.....	64
6A	Análise de variância do índice de dispersão normalizado (IDN) da análise estabilidade de agregados com ultra-som.....	64
7A	Intensidade de precipitação em função da carga de água no reservatório formador de gotas.....	65

TABELA 1A Análise de variância - ensaio com simulador de chuva.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Horizonte	2	13937,39	6968,70	403,73	0,00
Declive	1	0,61	0,61	0,04	0,85
Energia	4	3241,55	810,39	46,95	0,00
Horizonte*Declive	2	13,07	6,53	0,38	0,69
Horizonte*Energia	8	2275,38	284,42	16,48	0,00
Declive*Energia	4	27,14	6,78	0,39	0,81
Horizonte*Declive*Energia	8	177,92	22,24	1,29	0,27
Erro	60	1035,66	17,26		
Total corrigido	89	20708,71			
CV (%)	25,58				
Média geral	16,24		Nº observações		90

TABELA 2A Análise de variância do desdobramento de horizonte em cada nível de energia cinética da chuva.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Horizonte / 2,37	2	804,12	402,06	23,29	0,00
Horizonte / 3,79	2	1169,28	584,64	33,87	0,00
Horizonte / 5,21	2	2122,52	1061,26	61,48	0,00
Horizonte / 7,58	2	5741,05	2870,52	166,30	0,00
Horizonte / 9,95	2	6375,80	3187,90	184,69	0,00
Resíduo	60	1035,66	17,26		

TABELA 3A Análise de variância – ensaio de desagregação com ultra-som.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Horizonte	2	28327,69	14163,84	114,16	0,00
Energia	4	4313,74	1078,43	8,69	0,00
Horizonte*Energia	8	6941,95	867,74	6,99	0,00
Erro	30	3722,06	124,74		
Total corrigido	44	43305,44	124,07		
CV (%)	52,61				
Média geral	21,17		Nº observações		45

TABELA 4A Análise de variância do desdobramento de horizonte em cada nível de energia ultra-sônica.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Horizonte / 0,13	2	1369,31	684,65	5,52	0,01
Horizonte / 0,66	2	2829,25	1414,63	11,40	0,00
Horizonte / 1,32	2	2274,40	1137,20	9,17	0,00
Horizonte / 2,63	2	11213,14	5606,57	45,19	0,00
Horizonte / 3,95	2	17583,54	8791,77	70,86	0,00
Resíduo	30	3722,07	124,07		

TABELA 5A Análise de variância do índice de dispersão (ID) da análise estabilidade de agregados com ultra-som.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Horizonte	2	2,05	1,03	2125,37	0,00
Energia	7	1,75	0,25	516,33	0,00
Horizonte*Energia	14	0,59	0,04	87,53	0,00
Erro	48	0,02	0,00		
Total corrigido	71	4,42			
CV (%)	4,84				
Média geral	0,45		Nº observações		72

TABELA 6A Análise de variância do índice de dispersão normalizado (IDN) da análise estabilidade de agregados com ultra-som.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Horizonte	2	3,09	1,55	990,79	0,00
Energia	7	4,66	0,66	426,82	0,00
Horizonte*Energia	14	1,81	0,13	82,59	0,00
Erro	48	0,07	0,00		
Total corrigido	71	9,64			
CV (%)	5,59				
Média geral	0,71		Nº observações		72

TABELA 7A Intensidade de precipitação em função da carga de água no reservatório formador de gotas.

Tempo (minutos)	Carga de água, cm				
	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0
	Lâmina				
	-----mm-----				
1	0,25	0,51	0,51	0,51	0,76
2	0,25	0,25	0,25	0,51	0,51
3	0,25	0,25	0,51	0,51	0,76
4	0,00	0,25	0,51	0,51	0,76
5	0,25	0,25	0,25	0,51	0,51
6	0,25	0,51	0,51	0,51	0,76
7	0,25	0,25	0,51	0,51	0,76
8	0,25	0,00	0,25	0,51	0,76
9	0,25	0,25	0,51	0,51	0,51
10	0,25	0,25	0,25	0,51	0,76
11	0,25	0,25	0,51	0,25	0,51
12	0,00	0,51	0,25	0,51	0,76
13	0,25	0,25	0,51	0,51	0,51
14	0,25	0,25	0,25	0,51	0,76
15	0,25	0,25	0,51	0,51	0,76
I (mm min ⁻¹)	0,22	0,29	0,41	0,49	0,68
Desvpad	0,09	0,13	0,13	0,07	0,12
I (mm h ⁻¹)	134,16	176,68	251,40	305,06	419,00

*Dados obtidos da miniestação climatológica.