

Nível de energia ultra-sônica para estudo da estabilidade de agregados de um Latossolo sob diferentes usos⁽¹⁾

Marcos Aurélio Carolino de Sá⁽²⁾, José Maria de Lima⁽³⁾ e Carlos Rogério de Mello⁽⁴⁾

Resumo – O objetivo deste trabalho foi identificar o nível de energia ultra-sônica mais adequado para se detectar diferenças na estabilidade de agregados influenciada pelo uso do solo. Coletaram-se três repetições de amostras de agregados <2 mm de um Latossolo Vermelho acriférrico, típico (Latosolo Roxo), do Município de Lavras, MG, sob diferentes usos: cafezal (dois e 13 anos), culturas anuais (30 anos), pastagem (26 anos), *Pinus* sp. e *Eucaliptus* sp. (ambos com 27 anos) e mata nativa. Foram aplicados 0,0, 3,0, 9,1, 18,1, 36,3, 72,5, 108,8, 145,1 e 181,4 J mL⁻¹ de energia ultra-sônica. Maior sensibilidade combinada a menores coeficientes de variação foram observados na faixa de 30 a 90 J mL⁻¹, destacando-se o nível de energia de 36,3 J mL⁻¹. Com este nível a estabilidade de agregados decresce na ordem: mata, *Eucaliptus* sp. e *Pinus* sp., pastagem e cafezal com 13 anos, culturas anuais, cafezal com dois anos. Índices de dispersão aumentam com a diminuição do carbono orgânico (r entre -0,60** e -0,83**), confirmando a importância do tipo de uso do solo na estabilidade de agregados.

Termos para indexação: ultra-som, carbono, estrutura do solo, agregação do solo.

Level of ultrasonic energy to study aggregate stability of a Latosol (Oxisol) under different uses

Abstract – The objective of this work was to identify the level of ultrasonic energy that better detect differences in the aggregate stability influenced by soil use. Three replicated samples of aggregates <2 mm of a Dusky Red Latosol from Lavras, MG, Brazil, were collected under different uses: coffee plantation (two and 13 years), annual crops (30 years), pasture (26 years), *Pinus* sp. and *Eucaliptus* sp. (both 27 years), and native forest. Ultrasonic energy at 0.0, 3.0, 9.1, 18.1, 36.3, 72.5, 108.8, 145.1 and 181.4 J mL⁻¹ were applied in each sample. Better sensibility and smaller coefficients of variation were observed between 30 to 90 J mL⁻¹, but the best energy level was 36.3 J mL⁻¹, which has provided aggregate stability decreases in the following order: forest, *Eucaliptus* sp. and *Pinus* sp., pasture and 13 years coffee plantation, annual cultures, two years coffee plantation. Dispersion indexes increase with the decrease of the organic carbon (r between -0.60** and -0.83**), confirming the importance of the soil use in aggregate stability.

Index terms: ultrasound, carbon, soil structure, soil aggregation.

Introdução

A energia ultra-sônica vem sendo utilizada há muitos anos em ciência do solo com grande número de propósitos, tais como: dispersão total para de-

terminação da granulometria e mineralogia (Saly, 1967), estudo da matéria orgânica em diferentes frações de agregados (Christensen, 1985) e em seu fracionamento propriamente dito (Gregorich et al., 1988), avaliação da salinização (Mulyar & Minkin, 1992), estudo de atividade enzimática e conteúdo de ATP no solo (De Cesare et al., 2000) e avaliação da estabilidade de agregados (North, 1979; Fuller & Goh, 1992; Raine & So, 1993, 1994; Tippkötter, 1994; Barral et al., 1998; Sá et al., 1999; Cerdà, 2000; Sá et al., 2000b).

A quebra dos agregados de um solo, submetido à sonificação, é causada pela cavitação, ou seja, pela formação de bolhas de ar no líquido, que ocorre principalmente na superfície dos agregados e em suas

⁽¹⁾ Aceito para publicação em 26 de junho de 2002.

Extraído da tese de doutorado apresentada pelo primeiro autor à Universidade Federal de Lavras (Ufla), Lavras, MG.

⁽²⁾ Universidade do Estado de Mato Grosso, Caixa Postal 181, CEP 78250-000 Pontes e Lacerda, MT. E-mail: marcoscarolino@unemat.br

⁽³⁾ Ufla, Dep. de Ciência do Solo. Bolsista do CNPq. E-mail: jmlima@ufla.br

⁽⁴⁾ Ufla, Dep. de Ciência do Solo, Caixa Postal 37, CEP 37200-000 Lavras, MG. E-mail: crmello@ufla.br

fendas e linhas de fraqueza (Tippkötter, 1994). A cavitação pode ser dividida em três etapas: nucleação (formação de bolhas microscópicas), crescimento e implosão (colapso) das bolhas (Christensen, 1992).

Raine & So (1994), estudando diversos fatores que afetam a eficiência da dispersão por ultra-som, constataram que esta eficiência diminui com o aumento da temperatura do líquido, cujo efeito é a diminuição da cavitação. O aumento da temperatura é linear com o aumento do tempo de sonificação (De Cesare et al., 2000) e, ocorre em virtude da absorção do som pelo líquido (Saly, 1967). A fim de se evitar os efeitos indesejáveis da alta temperatura, deve-se mantê-la abaixo de 35°C (Raine & So, 1994), ou 40°C, (Christensen, 1985).

O uso de ultra-som é bastante promissor em estudos de agregação do solo, uma vez que a mensuração da energia aplicada constitui uma base conveniente na comparação entre trabalhos que relacionam a quebra de agregados sob diferentes condições (Raine & So, 1993). Por isso, é importante a calibração da potência emitida pelo sonificador, com o uso de técnicas calorimétricas, pois, a potência indicada nos mostradores dos aparelhos nem sempre equivale à potência realmente emitida pela ponta da haste dos mesmos (Gregorich et al., 1988; Fuller & Goh, 1992; Sá et al., 2000a).

De acordo com Saly (1967), a exposição à energia ultra-sônica não destrói as partículas elementares do solo, ocasiona apenas a quebra de agregados e conseqüente dispersão. Estudos prévios demonstraram ser necessário, em geral, entre 1.500 e 1.800 J mL⁻¹ para promover a total dispersão do solo (Gregorich et al., 1988; Christensen, 1992; De Cesare et al., 2000). Entretanto, a energia necessária para dispersão total fornece poucas informações sobre o potencial de desagregação influenciado pelo manejo (North, 1979; Raine & So, 1993; Sá et al., 2000b).

Alguns autores têm expressado a estabilidade de agregados por meio de ultra-som com base no comportamento das curvas de dispersão, as quais levam em conta desde os níveis mais baixos, necessários apenas para desagregação, até os mais altos, necessários para dispersão total, com curvas características para cada solo, sob cada condição (North, 1979; Fuller & Goh, 1992; Raine & So, 1993; Sá et al., 1999; Cerdà, 2000). Quando se consideram os níveis de

energia isolados, as informações são contraditórias. Assim, Gregorich et al. (1988) mostraram ser necessários de 300 a 500 J mL⁻¹ para destruir macroagregados, os quais, segundo Tisdall & Oades (1982), têm a estabilidade influenciada pelo manejo. Sá et al. (2000b) mostraram ser 15,88 J mL⁻¹ um nível de energia suficiente para detectar diferenças entre horizontes A e B de um Latossolo Roxo e uma Terra Roxa estruturada, enquanto Barral et al. (1998) detectaram diferenças entre dois solos com o uso de 270 J mL⁻¹.

O objetivo deste trabalho foi identificar o nível de energia ultra-sônica mais adequado para se detectar diferenças nas estabilidades de agregados influenciadas pelo uso em um Latossolo Vermelho acriférico, típico.

Material e Métodos

O estudo foi realizado num Latossolo Vermelho acriférico, típico, anteriormente classificado como Latossolo Roxo distrófico muito argiloso, relevo suave ondulado, originário de gabro ofítico epimetamórfico do Complexo Lavras (Rocha, 1982), localizado no campus da Universidade Federal de Lavras, MG (21°14' S, 45°0' W). O clima é do tipo Cwb na classificação de Köppen, com precipitação anual de 1.411 mm, estação seca bem pronunciada e temperatura média anual igual a 19,3°C. A altitude média da área amostrada é de 970 m. Em estudo prévio, Sá (1998) caracterizou este solo, detectando os seguintes minerais no horizonte Bw (0,8-1,0 m): caolinita (351,0 g kg⁻¹), gibbsita (383,0 g kg⁻¹), hematita, goethita e maghemita (não quantificados). Alguns atributos químicos do mesmo horizonte, comuns a todas as áreas estudadas, foram extraídos pelo ataque sulfúrico: SiO₂ (139,0 g kg⁻¹), Al₂O₃ (307,9 g kg⁻¹), Fe₂O₃ (238,4 g kg⁻¹), sendo as relações Ki e Kr, respectivamente, 0,77 e 0,51. No horizonte A (0,0-0,2 m), foram detectados os seguintes atributos físicos: densidade de partículas e aparente, respectivamente, 2,70 e 1,24 kg dm⁻³, volume total de poros de 0,5392 m³ m⁻³, índice de floculação de 87,3%, teores de argila, silte e areia, respectivamente, 710, 120 e 170 g kg⁻¹.

As áreas estudadas situam-se num raio de 500 m, e são homogêneas quanto à pedofoma e declividade, que está entre 7% e 10%, e sob diferentes tipos de uso: cafezal de dois anos, irrigado em área anteriormente cultivada com culturas anuais sob preparo convencional; culturas anuais, sob preparo convencional por cerca de 30 anos; cafezal com 13 anos, em área anteriormente utilizada com pastagem; pastagem de *Brachiaria humidicola* com 26 anos, em

área anteriormente com cafezal; reflorestamento de 27 anos com *Pinus* sp. e reflorestamento de 27 anos com *Eucalyptus* sp., ambos em área anteriormente com pastagem e, finalmente, floresta primária tropical subperenifólia (mata nativa). Em cada área foram coletadas três subamostras ao acaso, que serviram como três repetições, a uma profundidade de 0-5 cm, ao lado da linha de plantio na cultura anual (sorgo), sob a projeção da copa (saia) nas áreas de cafezal, entre as touceiras de capim na área de pastagem e entre as árvores nas áreas de vegetação arbórea (*Pinus*, *Eucalyptus* e mata).

Cada subamostra foi secada, destorroada e passada em peneira de 2 mm (terra fina secada ao ar – TFSA). A seguir, foi determinado carbono orgânico pelo método de Walkley & Black (1934), modificado pela introdução externa de calor. As sonificações foram feitas utilizando-se um aparelho Misonix, modelo XL2020™, operando a 20 kHz no estágio nove do mostrador, que forneceu uma potência nominal de 154 W, correspondendo a uma potência real de $120,91 \pm 3,27$ W, calculada a partir do procedimento padrão, baseado em técnicas calorimétricas, descritas por Sá et al. (2000a) e Sá et al. (2001). Visando tornar o método prático, cada repetição consistiu de agregados menores que 2 mm, cujo peso foi equivalente a 5 g de TFSE (terra fina secada em estufa a 105°C). As sonificações foram feitas em béquer com 200 mL de água destilada na relação solo:água de 1:40, durante 0, 5, 15, 30, 60, 120, 180, 240 e 300 segundos. Cada tempo de sonificação corresponde, respectivamente, às energias específicas aplicadas de 0,0, 3,0, 9,1, 18,1, 36,3, 72,5, 108,8, 145,1, 181,4 J mL⁻¹, calculadas segundo Sá et al. (2000a), pela equação:

$$EA = [P_c t_s] / v,$$

onde: EA é a energia ultra-sônica aplicada à amostra (J mL⁻¹); P_c é a potência (W) emitida pelo aparelho e calculada através de calibração; t_s é o tempo de sonificação (s); v é o volume da suspensão (mL).

A ponta da haste do aparelho, com comprimento de 175 mm e diâmetro de 19 mm, foi inserida na água a uma profundidade de 47 mm. Conforme De Cesare et al. (2000) e testes preliminares realizados, a temperatura da suspensão aumenta linearmente com o tempo de sonificação. No presente estudo, o modelo ajustado foi $T(^{\circ}C) = 0,075\text{tempo}(s) + 23,114$ ($R^2 = 0,99^{**}$).

Para reduzir o efeito da elevação da temperatura na amostra, foi necessário colocar o béquer em banho de gelo apenas nos tempos 180, 240 e 300 segundos mantendo a temperatura da suspensão abaixo de 35°C durante a sonificação, conforme sugerido por Raine & So (1994). Após cada sonificação, as amostras foram passadas em peneira de malha 0,053 mm. O material retido foi secado em estufa por 24 horas a 105°C e pesado. Os teores de

silte + argila (sólidos que passaram pela peneira) foram obtidos por diferença: silte + argila = amostra original (5 g) – resíduo. Este procedimento possibilitou, para cada nível de energia específica aplicado, o cálculo do índice de dispersão, obtido pela relação: (silte + argila dispersos)/ amostra original (Sá et al., 1999). O tempo zero de sonificação consistiu apenas em colocar o solo no béquer, completar o volume para 200 mL com água destilada e passar imediatamente pela peneira, a fim de quantificar a dispersão causada apenas pelo manuseio da amostra.

O delineamento experimental usado foi o inteiramente casualizado, com três repetições e sete tipos de uso, cujo solo foi comparado por nove níveis de energia ultra-sônica. Dentro de cada nível de energia, foi feita análise de variância e aplicado o teste de médias de Scott-Knott, a 5% de probabilidade, visando comparar os índices de dispersão encontrados para cada cobertura vegetal, sendo considerados os níveis de energia mais adequados para estudar a estabilidade de agregados aqueles que se mostraram mais sensíveis em detectar diferenças na dispersão e menor coeficiente de variação. Para cada cobertura vegetal, foi construída a curva de dispersão segundo Sá et al. (1999). No eixo das abscissas, foram plotados os níveis de energia específica aplicados (J mL⁻¹) e, no eixo das ordenadas, os índices de dispersão para cada nível de energia. Correlações lineares de Pearson foram feitas entre os teores de carbono orgânico das subamostras e os respectivos índices de dispersão para cada nível de energia específica aplicado.

Resultados e Discussão

De uma maneira geral, em todos os níveis de energia aplicados, a estabilidade dos agregados seguiu uma seqüência decrescente, com aumento dos índices de dispersão na seguinte ordem: mata, *Eucalyptus* sp., *Pinus* sp., pastagem, cafezal com 13 anos, culturas anuais, cafezal com dois anos (Tabela 1). Os teores de carbono orgânico decresceram aproximadamente na mesma seqüência, com exceção da área com cafezal com dois anos, que apresentou 16,2 g kg⁻¹ contra 14,7 g kg⁻¹ nas culturas anuais.

Considerando ser a mineralogia deste solo uniforme, o teor de carbono orgânico parece estar influenciando a estabilidade de agregados. O efeito do carbono orgânico pode ainda ser corroborado pelas correlações negativas entre índices de dispersão e carbono orgânico, cujos coeficientes de correlação aumentaram com o incremento da energia específica

aplicada (Tabela 1), e foram significativos a partir de $9,1 \text{ J mL}^{-1}$, confirmando a importância da matéria orgânica na manutenção da estabilidade de agregados do solo (Tisdall & Oades, 1982; Campos et al., 1995; Fuller et al., 1995; Barral et al., 1998; Cerdà, 2000). Entretanto, no presente trabalho, apenas na condição sob mata, o teor de carbono orgânico foi estatisticamente maior, não havendo diferença significativa nas demais condições, o que pode ter ocorrido em virtude do alto coeficiente de variação encontrado (38,2%). Cada ponto de coleta (subamostra) foi considerado e analisado como uma repetição, aumentando, dessa forma, o coeficiente de variação devido à variabilidade da vegetação, dentro de cada área de cobertura vegetal e, conseqüentemente, dos teores de carbono orgânico. Segundo Macedo et al. (1998), o carbono orgânico é uma variável de média variação, cujo coeficiente de variação pode estar entre 10 e 30%, sendo que os autores encontraram valores de até 47%. Quanto aos índices de dispersão, observa-se que à medida em que se aumenta o nível de energia específica aplicada diminui o coeficiente de variação (Tabela 1). Isto significa que, em níveis de energia a partir de $18,1 \text{ J mL}^{-1}$, ocorre menor variação entre as repetições e, portanto, maior precisão na determinação das diferenças proporcionadas ao solo pelos tipos de uso.

Dentro de cada nível de energia aplicado, foram feitos testes de médias comparando o comportamento das diferentes coberturas vegetais (Tabela 1). Nos níveis de energia mais baixos ($0,0$ e $3,0 \text{ J mL}^{-1}$), não foram detectadas diferenças. Com $9,1 \text{ J mL}^{-1}$, os agregados do solo sob cafezal de dois anos e sob culturas anuais foram menos estáveis, quando comparado aos das demais coberturas vegetais. No nível de $18,1 \text{ J mL}^{-1}$, a estabilidade de agregados diminuiu na seguinte seqüência: mata; *Eucaliptus* sp., *Pinus* sp. e pastagem; cafezal com 13 anos e culturas anuais; e cafezal com dois anos. Este foi o único nível de energia que possibilitou detectar diferença entre cafezal com 13 anos e pastagem. Maiores diferenças na estabilidade de agregados proporcionadas pelos tipos de uso, com coeficiente de variação mais baixo, foram observadas com o uso dos níveis de energia de $36,3$ e $72,5 \text{ J mL}^{-1}$, e a estabilidade dos agregados diminuiu na ordem: mata; *Eucaliptus* sp. e *Pinus* sp.; pastagem e cafezal com 13 anos; culturas anuais; e cafezal com dois anos. Estes dois níveis de energia foram os mais sensíveis na avaliação do efeito do tipo de uso na estabilidade de agregados do solo.

Sá et al. (2000b) mostraram ser de $15,88 \text{ J mL}^{-1}$ o nível de energia específica mais eficiente na detecção das diferenças na estabilidade de agregados de dois

Tabela 1. Índices de dispersão obtidos em cada nível de energia específica aplicada, carbono orgânico em diferentes coberturas vegetais em Latossolo Vermelho acríferico, típico, e coeficientes de correlação (r) entre índices de dispersão e carbono orgânico⁽¹⁾.

Coberturas vegetais	Níveis de energia específica aplicada									Carbono orgânico (g kg ⁻¹)
	0,0	3,0	9,1	18,1	36,3	72,5	108,8	145,1	181,4	
	(J mL ⁻¹)									
Cafezal com dois anos	0,06a	0,19a	0,47a	0,62a	0,80a	0,91a	0,92a	0,92a	0,92a	16,2b
Culturas anuais	0,08a	0,13a	0,39a	0,46b	0,66b	0,72b	0,77b	0,77b	0,81b	14,7b
Cafezal com 13 anos	0,08a	0,14a	0,26b	0,36b	0,48c	0,58c	0,64c	0,69c	0,74b	28,1b
Pastagem	0,06a	0,10a	0,17b	0,26c	0,43c	0,50c	0,58c	0,65c	0,73b	29,0b
<i>Pinus</i> sp.	0,07a	0,11a	0,16b	0,21c	0,31d	0,42d	0,47d	0,57d	0,61c	31,0b
<i>Eucaliptus</i> sp.	0,06a	0,09a	0,15b	0,21c	0,29d	0,39d	0,44d	0,50d	0,60c	35,2b
Mata nativa	0,04a	0,07a	0,09b	0,12d	0,19e	0,28e	0,38d	0,50d	0,56c	55,9a
CV (%)	47,4	31,3	24,1	16,8	11,5	12,4	12,9	10,4	9,9	38,2
r	-0,16 ^{ns}	-0,34 ^{ns}	-0,60 ^{**}	-0,63 ^{**}	-0,70 ^{**}	-0,72 ^{**}	-0,73 ^{**}	-0,78 ^{**}	-0,83 ^{**}	

⁽¹⁾Valores seguidos de mesma letra, na mesma coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. ^{ns}Não-significativo. ^{**}Significativo a 1% de probabilidade.

solos, um Latossolo Roxo gibbsítico e uma Terra roxa estruturada caulínítica, diferenças estas, provavelmente, maiores, por se tratar de solos diferentes, do que as diferenças demonstradas pelos níveis 36,3 e 72,5 J mL⁻¹ no presente trabalho, realizado em um mesmo solo, de mineralogia uniforme (gibbsítica), porém, sob usos diferentes. Os níveis de energia 108,8 e 145,1 J mL⁻¹ desagregaram o solo da mesma maneira, porém não foram sensíveis o suficiente para detectar diferença entre mata e *Eucaliptus*.

As curvas de dispersão se originaram aproximadamente no mesmo ponto, e permaneceram muito próximas entre si nos baixos níveis de energia (Figura 1), os quais não foram adequados para apontar diferenças entre tratamentos (Tabela 1). Por outro lado, foram observadas maiores distâncias entre as curvas nos níveis de 30 a 90 J mL⁻¹, intervalo que contém os níveis de 36,3 a 72,5 J mL⁻¹, indicando ser esta faixa a mais adequada para se detectar diferenças na estabilidade de agregados proporcionadas pelo tipo de uso (Tabela 1).

A partir de 90 J mL⁻¹, as curvas tenderam a convergir para um patamar, limitado pelos teores de silte + argila, conforme a definição do índice de dispersão utilizado no presente trabalho, ou seja: (silte + argila dispersos)/amostra original (Sá et al., 1999). Altos níveis de energia não são adequados para apontar diferenças na estabilidade de agregados (North, 1979; Raine & So, 1993; Sá et al., 2000b). No presente trabalho, níveis acima de 72,5 J mL⁻¹ não foram adequados para apontar diferenças causadas pelo tipo de uso. Podem ser considerados muito altos os níveis de energia entre 300 e 500 J mL⁻¹ que, segundo Gregorich et al. (1988), são necessários para destruir os macroagregados, e o nível de 270 J mL⁻¹ utilizado por Barral et al. (1998).

Na curva de dispersão relativa ao cafezal de dois anos, foram encontrados índices de dispersão de 0,92 a partir de 108,8 J mL⁻¹, quando esta curva se estabiliza (Figura 1), mostrando que os teores de silte + argila são de 920 g kg⁻¹. Entretanto, o teor de silte (120) + argila (710) deste solo é igual a 830 g kg⁻¹, pela análise granulométrica (agitação rápida com o uso de dispersante NaOH 1N), confirmando ser a energia ultra-sônica mais eficiente do que a agitação mecânica na dispersão do solo (Saly, 1967), mesmo sem o uso de dispersante químico (Sá et al., 1999).

Esse resultado revela que o tipo de uso do solo influencia a dispersão também a altos níveis de energia ultra-sônica, tornando a curva de dispersão característica para cada tipo de solo, e talvez para cada sistema de manejo a que este solo é submetido, uma vez que as outras curvas sequer atingiram um patamar para os níveis de energia utilizados. Além disso, confirma a possibilidade da aplicabilidade de curvas de dispersão por ultra-som, para expressar a estabilidade de agregados conforme relatos de North (1979), Fuller & Goh (1992), Raine & So (1993), Sá et al. (1999) e Cerdà (2000). No entanto, quando comparados a um único nível de energia, as curvas de dispersão demandam maior número de sonificações, e conseqüentemente, maior quantidade de amostras e maior tempo de laboratório, tornando a análise mais cara. Apesar disso, as curvas de dispersão podem ser de grande utilidade em trabalhos de pesquisa.

Para todas as curvas, foram ajustadas equações que apresentaram altos valores de R², todos significativos a 1%. Todas as curvas seguiram um modelo hiperbólico, do tipo $Y = X/(a + bX)$, com exceção da mata nativa que, no intervalo de energia utilizado, seguiu um modelo linear (Tabela 2). Entretanto, espera-se que em níveis de energia acima dos que foram utilizados neste estudo, esta curva também apresente um patamar seguindo um modelo hiperbólico,

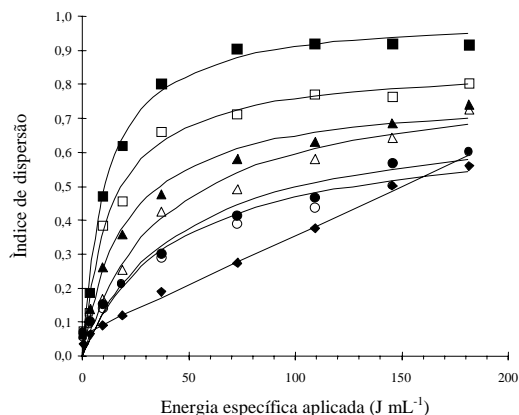


Figura 1. Curvas de dispersão do horizonte A (0-5 cm) do Latossolo Vermelho acriférico, típico, sob cafezal com dois anos (■), culturas anuais (□), cafezal com 13 anos (▲), pastagem (△), *Pinus* sp. (●), *Eucaliptus* sp. (○) e mata nativa (◆).

conforme observado por Sá et al. (1999) que, estudando o mesmo solo sob mata encontraram um patamar a 600 J mL^{-1} , em virtude da grande estabilidade dos agregados no solo condicionada, sobretudo, pelo maior teor de matéria orgânica (Borges et al., 1999). A estabilidade dos agregados sob os tipos de uso aqui avaliados não foi comparada com o uso do índice obtido a partir da divisão dos coeficientes b/a das equações ajustadas (Tabela 2), proposto por Sá et al. (1999), uma vez que foram utilizados níveis de energia inferiores aos utilizados por esses autores na obtenção das curvas, sendo que nem todas atingiram o patamar de máxima dispersão, não existindo, portanto, possibilidade de comparação.

Os níveis de energia específica de $36,3 \text{ J mL}^{-1}$ e $72,5 \text{ J mL}^{-1}$ são os mais adequados na avaliação da estabilidade de agregados do solo utilizado, uma vez que apresentaram boa sensibilidade na detecção das diferenças proporcionadas pelo uso, com um baixo coeficiente de variação (Tabela 1). Por sua determinação fácil e rápida, o nível mais recomendado é de $36,3 \text{ J mL}^{-1}$ obtido pela equação $EA = [P_c t_s]/v$, a partir de 1 minuto (t_s) de sonificação de 5 g de TFSA em 200 mL (v) de água destilada, com o aparelho fornecendo uma potência (P_c) de $120,91 \pm 3,27 \text{ W}$, calculada a partir do procedimento padrão descrito por Sá et al. (2000a), que possibilitou um rendimento de aproximadamente 30 amostras por hora. Para este tempo de sonificação, foi dispensado o banho de gelo, conforme proposto por Raine & So (1994), já que a temperatura da suspensão não atinge 35°C , o que torna possível sua utilização em determinações de rotina. No caso de aparelhos que emitem maior ou menor potência, o tempo de sonificação pode ser reduzido ou aumentado, respectivamente, mantendo-se a re-

lação expressa pela equação $EA = [P_c t_s]/v$. Outro fato a ser observado é a manutenção da relação solo-água (1:40), que facilita as comparações, uma vez que a mesma influi na eficiência da dispersão (Raine & So 1994).

Conclusões

1. A melhor faixa de energia ultra-sônica para se detectar a estabilidade de agregados está entre 30 e 90 J mL^{-1} .

2. A estabilidade de agregados é influenciada pelos teores de carbono orgânico e diminui, a $36,3 \text{ J mL}^{-1}$, na seguinte ordem: mata; *Eucaliptus* sp. e *Pinus* sp.; pastagem e cafezal de 13 anos; culturas anuais; cafezal de dois anos.

Referências

- BARRAL, M. T.; ARIAS, M.; GNÉRIF, J. Effects of iron and organic matter on the porosity and structural stability of soil aggregates. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 46, p. 261-272, 1998.
- BORGES, A. L.; KIEHL, J. C.; SOUZA, L. S. Alteração de propriedades físicas e atividade microbiana de um Latossolo Amarelo álico após o cultivo com fruteiras perenes e mandioca. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, n. 4, p. 1019-1025, 1999.
- CAMPOS, B. C. de; REINERT, D. J.; NICOLODI, R.; RUEDELL, J.; PETRERE, C. Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho Escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 19, n. 1, p. 121-126, jan./abr. 1995.
- CERDÀ, A. Aggregate stability against water forces under different climates on agriculture land and scrubland in southern Bolivia. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 57, p. 159-166, 2000.
- CHRISTENSEN, B. T. Carbon and nitrogen in particle size fractions isolated from Danish arable soils by ultrasonic dispersion and gravity sedimentation. **Acta Agriculturae Scandinavica**, Copenhagen, v. 35, n. 2, p. 175-187, 1985.
- CHRISTENSEN, B. T. Physical fractionation of soil and organic matter in primary particle size and density separates. **Advances in Soil Science**, New York, v. 20, p. 2-76, 1992.

Tabela 2. Equações ajustadas em relação às curvas de dispersão do solo e respectivos R^2 para diferentes coberturas vegetais do Latossolo Vermelho acriférrico, típico.

Cobertura vegetal	Equação ajustada ⁽¹⁾	R^2
Cafezal com 2 anos	ID = EA/(10,6030 + 0,9937EA)	0,99**
Culturas anuais	ID = EA/(15,3642 + 1,1669EA)	0,98**
Cafezal com 13 anos	ID = EA/(25,8485 + 1,2843EA)	0,98**
Pastagem	ID = EA/(46,1662 + 1,2128EA)	0,97**
<i>Pinus</i> sp.	ID = EA/(62,6427 + 1,3870EA)	0,96**
<i>Eucaliptus</i> sp.	ID = EA/(64,2588 + 1,4930EA)	0,96**
Mata nativa	ID = 0,0646 + 0,0029EA	0,99**

⁽¹⁾ID: índice de dispersão estimado pela equação; EA: energia específica aplicada (J mL^{-1}). **Significativo a 1% de probabilidade.

- DE CESARE, F.; GARZILLO, A. M. V.; BUONOCORE, V.; BADALUCCO, L. Use of sonication for measuring acid phosphatase activity in soil. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v. 32, p. 825-832, 2000.
- FULLER, L. G.; GOH, T. G. Stability-energy relationships and their application to aggregation studies. **Canadian Journal of Soil Science**, Ontario, v. 72, n. 4, p. 453-466, Nov. 1992.
- FULLER, L. G.; GOH, T. G.; OSCARSON, D. W. Cultivation effects on dispersive clay of soil aggregates. **Canadian Journal of Soil Science**, Ontario, v. 75, n. 1, p. 101-107, Feb. 1995.
- 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**, Ontario, v. 68, n. 2, p. 395-403, May 1988.
- MACEDO, J. R. de; OTONNI FILHO, T. B.; MENEGUELLI, N. do A. Variabilidade de características físicas, químicas e físico-hídricas em solo podzólico vermelho-amarelo de seropédica, RJ. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 12, p. 2043-2053, dez. 1998.
- MULYAR, I. A.; MINKIN, M. B. Use of ultrasound in the analysis of water extracts from soils. **Eurasian Soil Science**, Moscow, v. 24, n. 8, p. 119-124, 1992.
- NORTH, P. F. Assessment of the ultrasonic method of determining soil structural stability in relation to soil management properties. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 30, n. 3, p. 463-472, Sept. 1979.
- 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**, London, v. 32, n. 6, p. 1157-1174, 1994.
- ROCHA, G. C. **Geologia, geomorfologia e pedologia de uma catena de solos situada no Campus da Escola Superior de Agricultura de Lavras (MG)**. 1982. 109 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- SÁ, M. A. C. **Quantificação da energia para dispersão dos agregados de Latossolo Roxo e Terra Roxa Estruturada**. 1998. 92 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- SÁ, M. A. C.; LAGE, G.; LIMA, J. M. **Calibração da potência emitida pelo sonificador para uso em análises de solo**. Lavras: Editora da 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 JÚNIOR, M. S. Índice de desagregação do solo baseado em energia ultra-sônica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 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, v. 11, p. 1547-1559, 1967.
- TIPPKÖTTER, R. The effect of ultrasound on the stability of mesoaggregates (60-200 μm). **Zeitschrift Pflanzenernährung und Bodenkunde**, Berlin, v. 157, n. 2, p. 99-104, Apr. 1994.
- 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.
- WALKLEY, A.; BLACK, I. A. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Science**, Baltimore, v. 37, p. 29-38, 1934.