

## Erosão hídrica avaliada pela alteração na superfície do solo em sistemas florestais

### Hydric erosion assessment by alteration on soil surface in forest systems

Dione Pereira Cardoso  
Marx Leandro Naves Silva  
Nilton Curi  
Thelma Sáfyadi  
Sebastião Fonseca  
Mozart Martins Ferreira  
Sérgio Gualberto Martins  
João José Granate de Sá e Melo Marques

---

**RESUMO:** A erosão hídrica inicia-se com o impacto da gota de chuva sobre a superfície do solo. Se a erosividade da chuva for elevada, pode ocorrer cisalhamento hidráulico do solo e transporte dos sedimentos. Poucos estudos de perdas de solo relacionados a florestas têm sido realizados no Brasil, pelo fato de o método da parcela-padrão ser de custo elevado e moroso. Portanto, objetivou-se com este estudo avaliar as perdas de solo utilizando o método da mudança na superfície do solo, calculado pelo modelo matemático, e compará-lo com o método da parcela-padrão. A área experimental da Aracruz Celulose S.A., onde foi conduzido o estudo, está situada entre as coordenadas 19° 35' e 20° 15'S e 40° 00' e 40° 20'W Greenwich no município de Aracruz (ES). Para quantificar essas perdas sob condições de chuva natural, instalaram-se parcelas sobre os principais solos: PA1 (Argissolo Amarelo textura média/argilosa), FX (Plintossolo Háptico) e PA8 (Argissolo Amarelo moderadamente rochoso) sob condições de cobertura de eucalipto (clones híbridos de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden), mata nativa e solo descoberto. O método de alteração na superfície do solo apresentou valores próximos do método da parcela-padrão, indicando seu potencial para uso em estudos dessa natureza.

**PALAVRAS-CHAVE:** Erosão hídrica, Perdas de solo, Parcela-padrão, *Eucalyptus*, Mata nativa

**ABSTRACT:** Water erosion begins with raindrop impact on soil surface. If rain erosivity is high, soil hydraulic shear and sediment transportation may occur. Few studies of soil losses in forests have been performed in Brazil, because standard-plots method is cost and time-consuming. Therefore, the aim of this study was to assess soil losses by using the method of surface alteration, calculated by mathematic model, and to compare it with the standard-plots method. The Aracruz Celulose S.A. experimental area, where the study was carried out, is situated between 19°35' and 20°15'S and 40°00' and 40°20'W Greenwich coordinates, at Aracruz County (ES). In order to quantify these losses under natural rain conditions, the plots were installed in the dominant soils: PA1 (Yellow Argisol, medium/clayey texture), FX (Haplic Plinthosol), and PA8 (Yellow Argisol, moderately rocky), under *Eucalyptus* cover (hybrid clones of *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden), native forest, and bare soil. The soil losses by the method of surface alteration presented values close to the standard-plots method, indicating its potential for use in studies of this nature.

**KEYWORDS:** Water erosion, Soil losses, Standard-plot, *Eucalyptus*, Native forest

## INTRODUÇÃO

A erosão hídrica começa com a incidência das precipitações pluviométricas no solo. Com a continuidade da ação da chuva no solo, ocorre a desintegração dos agregados em partículas menores, principalmente quando atingidas por impacto direto das gotas de chuva. A quantidade de solo desestruturado aumenta com a intensidade da precipitação, velocidade e tamanho das gotas. Além de ocasionar a liberação de partículas que irão obstruir os poros do solo, os impactos das gotas propiciam adensamento natural do solo, ocasionando o selamento de sua superfície e, conseqüentemente, reduzindo a capacidade de infiltração da água (Silva et al., 1995). O empoçamento da água nas depressões da superfície e o escoamento da água começam a ocorrer somente quando a intensidade de precipitação excede a velocidade de infiltração. Associado ao escoamento superficial, ocorre o transporte de partículas do solo, as quais sofrem deposição somente quando a velocidade de escoamento superficial for reduzida (Pruski, 2000).

A avaliação das perdas de solo dentro do processo de produção agrícola assume importância fundamental na escolha e adoção de práticas que visam minimizar a degradação do solo e, conseqüentemente, a manter ou aumentar a sustentabilidade na atividade agrícola. Perdas de solo em diferentes coberturas vegetais e sistemas de manejo de solo têm sido estudadas por diversos autores. Entretanto, no Brasil, considerando sua grande extensão territorial e a importância do setor florestal, ainda são poucos os resultados sobre erosão nesse setor. Bono et al. (1996) desenvolveram estudos em pastagens, utilizando o método de alteração na superfície do solo no período de 11/1990 a 2/1992 e quantificaram perdas de solo em diferentes sistemas de preparo do solo e gramineas, obtendo perdas que variaram de 24,4 a 39,7 Mg ha<sup>-1</sup> e de 6,8 a 18,0 Mg ha<sup>-1</sup> para Cambissolo e Latossolo, respectivamente. Nas mesmas condições, Santos et al. (1998) durante o período de 12/1991 a 12/1993, encontraram valores de perdas de solo em torno de 3,4 a 151,2 Mg ha<sup>-1</sup>. Nestes dois trabalhos não foi utilizada a parcela-padrão como referencial. Em parcela-padrão, sob chuva natural, Hernani et al. (1987) quantificaram perdas de solo para Latossolo Amarelo em uma área sob floresta secundária e destocada entre 0,1 e 1,9 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, respectivamente. Em Areia Quartzosa, Lima (1988) quantificou para a

cultura de eucalipto (*Eucalyptus grandis*) perdas em torno de 8,5; 0,3; 0,1; 0,9; e 1,9 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> para os tratamentos solo descoberto, tratos culturais normais com duas gradagens, tratos culturais ausentes com duas gradagens, tratos culturais nas faixas com duas gradagens e tratos culturais normais com uma gradagem, respectivamente. Albuquerque et al. (2001) estudaram os efeitos do desmatamento da caatinga sobre as perdas de solo num Luvissole, em parcelas sob chuva natural, no período de 1983 a 1990. Os tratamentos consistiram de duas parcelas desmatadas, uma parcela com caatinga nativa e uma parcela com caatinga rebrotada. Nas parcelas desmatadas, as perdas de solo foram de 61,7 e 47,7 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Nas macroparcelas desmatadas foram observadas perdas anuais de solo de 31 e 26 Mg ha<sup>-1</sup>. Nas macroparcelas com caatinga, houve uma redução de aproximadamente 99% das perdas de solo, em relação às macroparcelas desmatadas. Martins et al. (2003), utilizando o método da parcela-padrão, estudaram perdas de solo em sistemas florestais para as principais classes de solo da região de Aracruz (ES), encontrando perdas médias para o eucalipto em torno de 1,2 e 1,9 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, para um Plintossolo e um Argissolo, respectivamente.

Autores como Gleason (1957), México (1977), Santos (1993) e Bono (1994) citam o método da alteração na superfície do solo como uma metodologia adaptada para avaliar perdas de solo em sistemas de culturas perenes e florestais. Segundo esses autores, o método é bastante prático e de baixo custo, quando comparado ao método da parcela-padrão.

Avaliar perdas de solo, por um método mais acessível temporal e economicamente, torna-se de suma importância considerando que para um planejamento conservacionista adequado, que possibilitará um uso sustentável desse recurso, é necessário que as mesmas sejam avaliadas.

Portanto, objetivou-se com este trabalho avaliar as perdas de solo em parcelas instaladas em áreas experimentais em diferentes tipos de solos e coberturas florestais, mediante o método de alteração na superfície do solo, e compará-lo com o método da parcela-padrão, recomendado pela literatura.

## MATERIAL E MÉTODOS

A área experimental da Aracruz Celulose S.A., onde foi conduzido o estudo, está situada no mu-

nicípio de Aracruz, no Estado do Espírito Santo, na mesorregião litoral norte do Espírito Santo, estando situada entre as coordenadas 19°35' e 20°15' S e 40°00' e 40°20' W Greenwich, a uma altitude de 68 m.

De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região é Aw, clima tropical úmido, com estação chuvosa no verão e seca no inverno. As precipitações nos meses de primavera e verão representam de 65 a 75% da precipitação total anual e em apenas 1 ou 2 meses as precipitações mensais são menores que 60 mm (Embrapa, 2000).

A região é recoberta predominantemente por sedimentos do Terciário, pertencentes à Formação Barreiras. No Estado do Espírito Santo, essa formação distribui-se ao longo do litoral, sobre as rochas do Pré-Cambriano do embasamento cristalino (Brasil, 1970). As classes dominantes de solos são o PA1 (Argissolo Amarelo textura média/argilosa), FX (Plintossolo Háptico) e PA8 (Argissolo Amarelo moderadamente rochoso). Na Tabela 1

observam-se a declividade dos solos e os atributos físicos e químicos e na Figura 1 a disposição dos solos na paisagem.

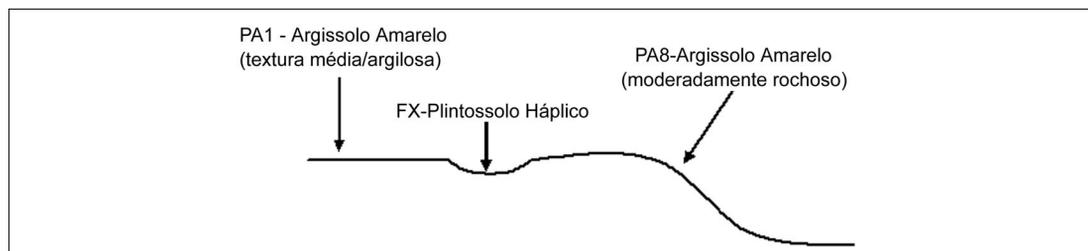
A análise granulométrica foi realizada pelo método da pipeta, segundo Day (1965), sendo utilizado NaOH 1 mol L<sup>-1</sup> como dispersante. Foram obtidas as densidades do solo com base na metodologia de Blake e Hartge (1986). A densidade do sedimento depositado foi determinada para simular o que ocorre no campo durante o processo erosivo, sendo que amostras de solo erodido foram colocadas no cilindro até que este fosse totalmente preenchido; em seguida, o cilindro foi levado para uma bandeja plástica com água e mantido em repouso por alguns dias. À medida que o solo sedimentava, completava-se o cilindro com mais solo, sempre tendo o cuidado de o cilindro ficar completamente preenchido. A partir do momento em que não houve mais sedimentação (Cardoso, 2003), a densidade do sedimento depositado foi determinada conforme Blake e Hartge (1986).

**Tabela 1**

Declividade, atributos físicos e químicos dos solos estudados no município de Aracruz, ES (Ano de 1998). (Slope, physical and chemical attributes of the soils studied at Aracruz County, ES.)

| Solo | Cobertura  | <sup>1</sup> Decl<br>% | Textura            |                |                 |                 | <sup>6</sup> P<br>mm h <sup>-1</sup> | <sup>7</sup> MO<br>g kg <sup>-1</sup> | <sup>8</sup> Dens  |                   |
|------|------------|------------------------|--------------------|----------------|-----------------|-----------------|--------------------------------------|---------------------------------------|--------------------|-------------------|
|      |            |                        | <sup>2</sup> A     | <sup>3</sup> S | <sup>4</sup> AG | <sup>5</sup> AF |                                      |                                       | <sup>9</sup> Ds    | <sup>10</sup> Dsd |
|      |            |                        | g kg <sup>-1</sup> |                |                 |                 |                                      |                                       | Mg m <sup>-3</sup> |                   |
| PA1  | Eucalipto  | 1,8                    |                    |                |                 |                 | 4,31                                 | 20,0                                  |                    |                   |
|      | Mata       | 8,2                    | 220                | 80             | 298             | 402             | 15,82                                | 41,0                                  | 1,52               | 1,44              |
|      | Descoberto | 3,6                    |                    |                |                 |                 | 4,10                                 | 20,0                                  |                    |                   |
| FX   | Eucalipto  | 1,3                    |                    |                |                 |                 | 6,57                                 | 22,0                                  |                    |                   |
|      | Mata       | 12,4                   | 270                | 60             | 253             | 417             | 35,35                                | 31,1                                  | 1,52               | 1,15              |
|      | Descoberto | 2,6                    |                    |                |                 |                 | 10,98                                | 16,0                                  |                    |                   |
| PA8  | Eucalipto  | 28,8                   |                    |                |                 |                 | 19,52                                | 22,0                                  |                    |                   |
|      | Mata       | 35,5                   | 410                | 110            | 327             | 153             | 53,03                                | 32,5                                  | 1,47               | 1,27              |
|      | Descoberto | 33,2                   |                    |                |                 |                 | 17,27                                | 18,0                                  |                    |                   |

<sup>1</sup>Decl – Declividade; <sup>2</sup>A – Argila; <sup>3</sup>S – Silte; <sup>4</sup>AG - areia grossa; <sup>5</sup>AF - areia fina; <sup>6</sup>P - Permeabilidade; <sup>7</sup>MO - matéria orgânica; <sup>8</sup>Dens – Densidade; <sup>9</sup>Ds – Densidade do solo; <sup>10</sup>Dsd – Densidade do sedimento depositado.



**Figura 1**

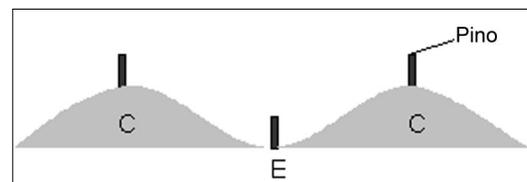
Disposição esquemática dos solos na paisagem de estudo na região de Aracruz, ES (Curi, 2000). (Schematic disposition of the soils in the landscape at Aracruz region, ES (Curi, 2000))

Os três tratamentos estudados foram: solo sob cultivo de eucalipto (clones híbridos de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden), com cinco anos de idade, sendo que para a instalação da cultura do eucalipto adotou-se o cultivo mínimo, com coveamento manual de 30 x 30 x 30 cm e o controle do mato-competição foi realizado com herbicida de acordo com a infestação; solo sob floresta tropical subperenifólia, segundo Embrapa (2000) ou floresta ombrófila densa, segundo Veloso et al. (1991), caracterizada por ser predominantemente sempre-verde e somente decídua em parte, sendo que muitas das espécies sempre-verdes compõem o estrato superior, apresentando entretanto, propensão a perder suas folhas em estação seca anormal, e espécies facultativamente decíduas, formações mesófilas; e solo descoberto.

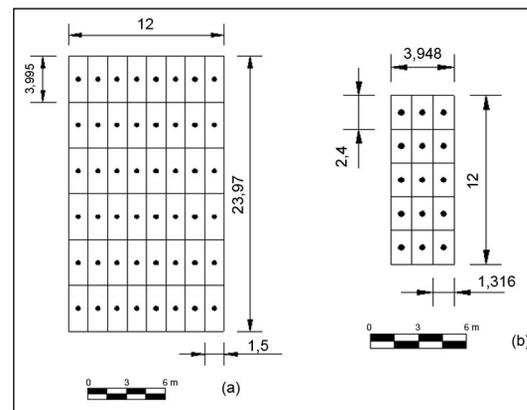
As avaliações das perdas de solo e da enxurrada oriunda da erosão hídrica foram realizadas nas parcelas-padrão instaladas na área experimental, com as seguintes dimensões: 12,0 x 24,0 m para parcela sob eucalipto e 4,0 x 12,0 m para solo descoberto e mata nativa. A maior dimensão dessas parcelas obedeceu ao sentido do declive, tendo sido escolhidas áreas com o declive máximo característico de cada classe de solo estudada. As parcelas foram cercadas com chapas galvanizadas, as quais possuem uma largura de 0,40 m, com penetração de 0,20 m no solo, permanecendo a outra metade (0,20 m) acima da superfície do mesmo. Na extremidade inferior das parcelas, foram colocadas calhas coletoras com cano plástico de 75 mm, que conduziram a enxurrada até os tanques coletores, sendo o primeiro tanque de sedimentação com capacidade para 250 L. Dentro desse tanque, colocou-se um recipiente calibrado para coleta de sedimentos. O excedente da enxurrada passa por um divisor do tipo Geib, em que 1/15 de água da enxurrada é encaminhada para o segundo tanque coletor de água e sedimentação com capacidade para 500 L. As metodologias de coleta adotadas seguiram as recomendações de Cogo (1978 a e b), com adaptações de Martins et al. (2003).

A avaliação das perdas de solo por erosão hídrica pelo método da mudança na superfície do solo por meio de pinos de metal, cravados no solo, foi realizada segundo Santos (1993) e Bono (1994), com modificações, dentro das parcelas-padrão. Os pinos foram instalados tanto na entrelinha do eucalipto como no camalhão, como

mostra a Figura 2. O experimento foi instalado em abril de 1998, sendo conduzido por um período de cinco anos. Os pinos foram cravados no solo até 0,2 m de profundidade, sendo 48 pinos nas parcelas para os solos FX e PA1 sob eucalipto e 15 pinos nas demais parcelas para solo sob eucalipto, sob mata nativa e para o solo descoberto. A distribuição de pinos dentro das parcelas foi feita conforme as Figuras 3a e 3b. As leituras foram anuais e feitas diretamente nos pinos, utilizando-se a haste do paquímetro, com aproximação de 0,01 mm. Considerou-se 0,2 m a superfície de referência correspondente a 0; leituras acima desse valor indicam deposição de solo, e abaixo, arraste de solo.



**Figura 2**  
Perfil do terreno com detalhe da disposição dos pinos, em que C significa camalhão e E entre-linha. (Land profile detailing the disposition of the pins, in that C means the bedding and E is between the planting lines)



**Figura 3**  
Esquema de uma planilha de campo com a disposição dos pinos dentro das parcelas e suas dimensões, que variam de parcela para parcela, sendo (a) solo PA1 sob eucalipto e (b) solo FX descoberto. (Outline of a field book with the disposition of the pins inside the plots and their dimensions, that vary from plot to plot, being a) soil PA1 under eucalyptus and (b) soil FX uncovered)

A avaliação das perdas pela mudança na superfície do solo foi realizada da seguinte maneira: com as posições dos pinos e suas respectivas alturas, criou-se uma matriz de dados, considerando x como a largura e y o comprimento, referentes à posição do pino dentro da parcela, e z, a altura do pino dentro da parcela para cada tratamento e ano (Figuras 3a e 3b). Com base nesses dados, obtiveram-se gráficos originais e ajustados, incluindo no último caso suas respectivas equações. A equação [1] refere-se às parcelas 1 e 2 com cobertura de eucalipto, e a equação [2], às demais parcelas, conforme os exemplos abaixo:

$$z = a + bx + cx^2 + dx^3 + ex^4 + fx^5 + gy + hy^2 + iy^3 + jy^4 + ky^5 \quad [1]$$

em que:

a, b, c, d, e, f, g, h, i, j, k = constantes;

z = altura do pino (m);

x = largura (m);

y = comprimento (m).

$$z = a + bx + cx^2 + dy + ey^2 + fy^3 + gy^4 \quad [2]$$

em que:

a, b, c, d, e, f, g = constantes;

z = altura do pino (m);

x = largura (m);

y = comprimento (m).

As equações foram integradas usando uma integração do tipo dupla, sendo o integrante z = f(X,Y) introduzido. Em seguida, integraram-se duas vezes, uma em relação a x e outra a y, considerando Xi e Xf ponto inicial e final da largura e Yi e Yf ponto inicial e final do comprimento em relação ao retângulo. O resultado dessa integração é o volume de deposição ou arraste em cada retângulo.

Exemplo de integração dupla:

$$\int_{Yi}^{Yf} \int_{Xi}^{Xf} f(x,y) dx dy \quad [3]$$

O volume total de deposição foi a soma de todos os volumes positivos e o volume total de arraste foi o somatório de todos os volumes negativos. Subtraindo-se o volume depositado do volume arrastado, tem-se o volume perdido de solo. Se o volume depositado é maior que o arrastado, o volume perdido é zero. Caso contrário, o volume perdido é a própria diferença em módulo. Utilizaram-se para estimar as perdas de solo as seguintes equações:

$$P = Vp \times Ds \quad [4]$$

em que:

P = perda de solo (Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>);

Vp = volume perdido de solo (m<sup>3</sup>);

Ds = densidade do sedimento depositado (Mg m<sup>-3</sup>).

As perdas de solo obtidas pela mudança na superfície do solo foram comparadas com aquelas da parcela-padrão, consideradas como referências.

Para o cálculo da erosividade foram utilizados dados pluviométricos do período de janeiro de 1999 a dezembro de 2002, obtidos em estação meteorológica automatizada, instalada em torre acima da copa do eucalipto, que para este estudo geraram dados de 5 em 5 minutos. A partir das precipitações foram calculadas energias cinéticas totais das chuvas para cada evento. Foram consideradas chuvas individuais aquelas separadas por mais de seis horas. As chuvas menores que 10 mm, com intensidade máxima menor que 24 mm h<sup>-1</sup> em 15 minutos ou energia cinética menor que 3,6 MJ, foram consideradas não erosivas (De Maria, 1994). Para o cálculo da energia cinética utilizou-se programa desenvolvido por Cataneo et al. (1983), sendo considerada para o cálculo da energia cinética a equação proposta por Wischmeier e Smith (1958) [5]:

$$E = 0,119 + 0,0873 \text{ Log } I \quad [5]$$

onde, E é a energia cinética, em MJ ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>, e I é a intensidade da chuva, em mm h<sup>-1</sup>. O índice EI<sub>30</sub> foi obtido a partir da multiplicação da energia cinética total (E), calculada pela equação [5] de uma chuva erosiva pela máxima intensidade ocorrida em um período de 30 minutos consecutivos (I<sub>30</sub>), segundo Wischmeier e Smith (1958). Os valores de precipitação e erosividade para a microbacia experimental podem ser observados na Tabela 2.

**Tabela 2**

Precipitação pluviométrica e erosividade na microbacia experimental durante o período de 1999 a 2002 no município de Aracruz, ES. (Measured precipitation and erosivity in the experimental watershed from 1999 to 2002 at Aracruz County, ES.)

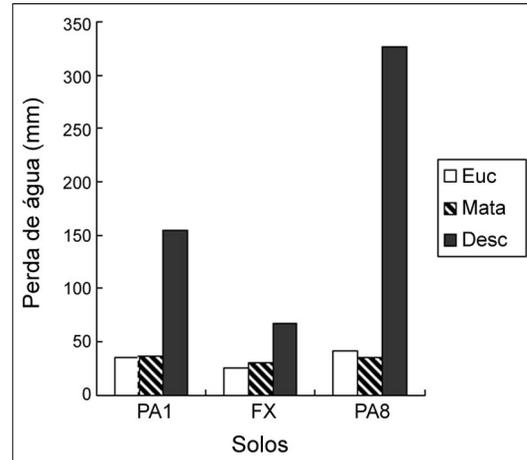
| Ano   | Precipitação total | Erosividade                   |
|-------|--------------------|-------------------------------|
|       | mm                 | MJ mm(ha h ano) <sup>-1</sup> |
| 1999  | 1.074,0            | 6.636,0                       |
| 2000  | 1.131,0            | 4.635,0                       |
| 2001  | 1.343,0            | 8.817,0                       |
| 2002  | 901,0              | 6.290,0                       |
| Média | 1.112,2            | 6.594,5                       |

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 3 observam-se os valores de perdas de solo pelo método da parcela-padrão para os solos, coberturas e anos de estudo. As menores perdas foram observadas nas parcelas sob mata nativa seguidas pelo eucalipto. Nas parcelas com cobertura de eucalipto houve uma tendência de redução das perdas de solo com o passar dos anos. As maiores perdas de solo foram observadas para o solo PA8, o qual apresenta relevo mais acidentado (Tabela 1).

Nas Figuras 5 a 7 são representados os gráficos das equações ajustadas nos modelos matemáticos propostos, para os anos de 1999 e 2002, para os solos PA1, FX e PA8, sob eucalipto, mata nativa e solo descoberto, respectivamente. Os modelos apresentaram um coeficiente de determinação elevado, propiciando um ajuste dos dados originais em uma distribuição mais suavizada na área da parcela - padrão. Nos sistemas sob eucalipto, para os solos PA1 e FX, houve uma tendência de o arraste ocorrer no sentido do comprimento da parcela, indicando o efeito do camalhão do ciclo anterior. Independente da cobertura vegetal, no geral, o solo PA8 apresentou maior arraste de solo, seguido dos solos FX e PA1. Entre outros atributos inerentes ao solo, a declividade (Tabela 1) e a posição do solo na paisagem (Figura 1) ajudam a explicar esta tendência. Constatou-se também que o arraste do solo foi maior na seguinte ordem: descoberto > eucalipto > mata nativa. O menor arraste na mata nativa é devido à presença da serapilheira que possui um extrato vertical muito diversificado, protegendo o solo do impacto direto da gota de chuva e do salpicamento do solo. Segundo Almeida e Soares (2003) a intercepta-

ção pluviométrica da floresta nativa e eucalipto na mesma área onde foi desenvolvido o presente estudo foi de 23,9 e 10,6%, respectivamente, ela incorpora mais matéria orgânica ao solo (Tabela 1), melhorando a estrutura e aumentando a capacidade de infiltração de água no solo (Tabela 1), reduzindo o escoamento superficial (Figura 4) e, como conseqüência, o arraste de solo, contribuindo, assim, com mais intensidade para redução da perda de solo (Tabela 3), em consonância com estudos de Albuquerque et al. (2001).



**Figura 4**

Valores médios anuais de perdas de água por escoamento superficial quantificados pelo método da parcela-padrão, para os solos e coberturas estudados no município de Aracruz, ES.

(Annual average values of running water losses quantified by the method of the standard erosion plots, for the soils and coverings in the study period at Aracruz County, ES.)

**Tabela 3**

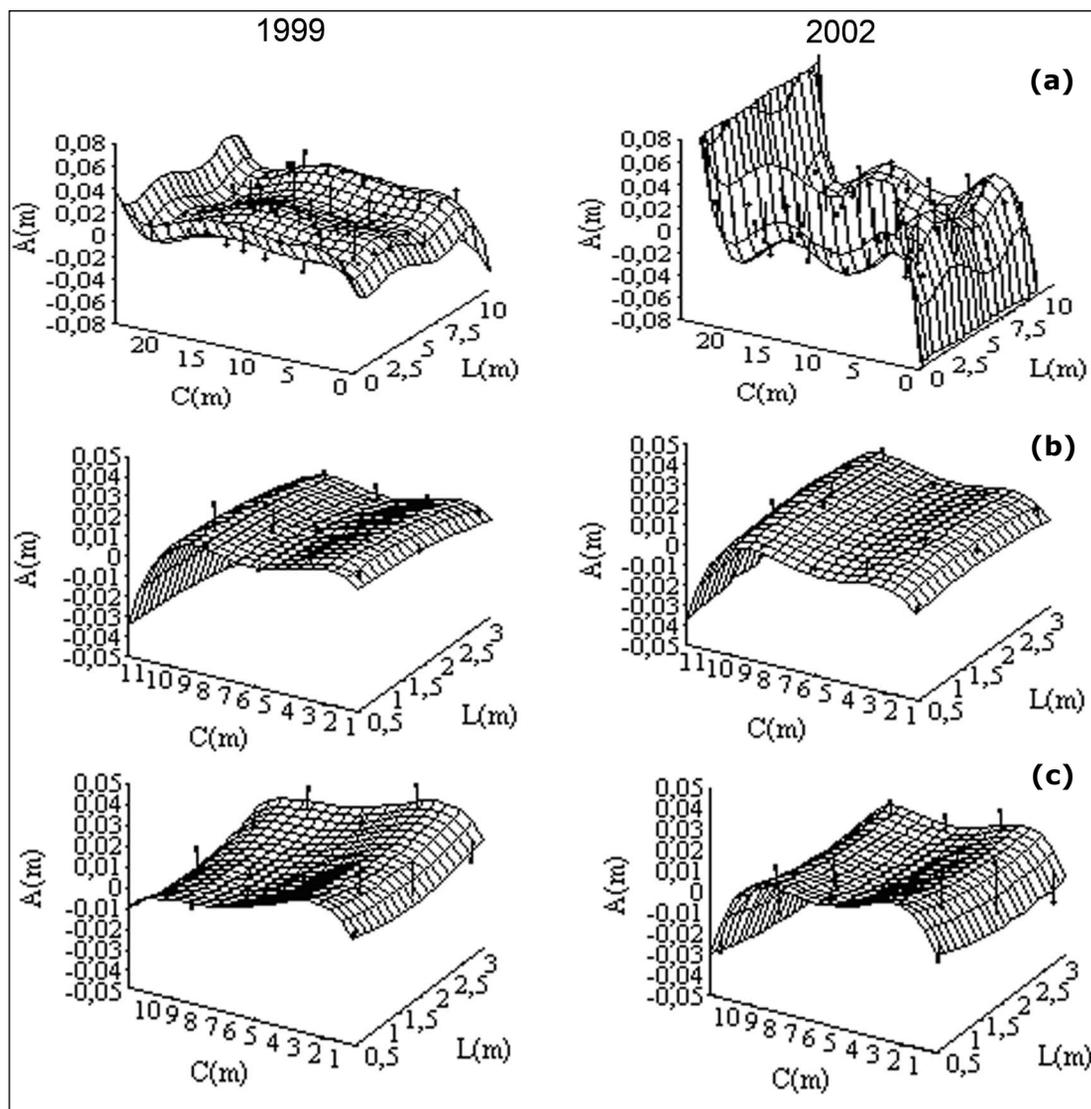
Valores médios anuais de perdas de solo determinados pelo método da parcela-padrão para os solos coberturas e anos de estudo no município de Aracruz, ES.

(Annual average values of soil losses determined in standard erosion plots for the soils and soil coverings studied at Aracruz County, ES.)

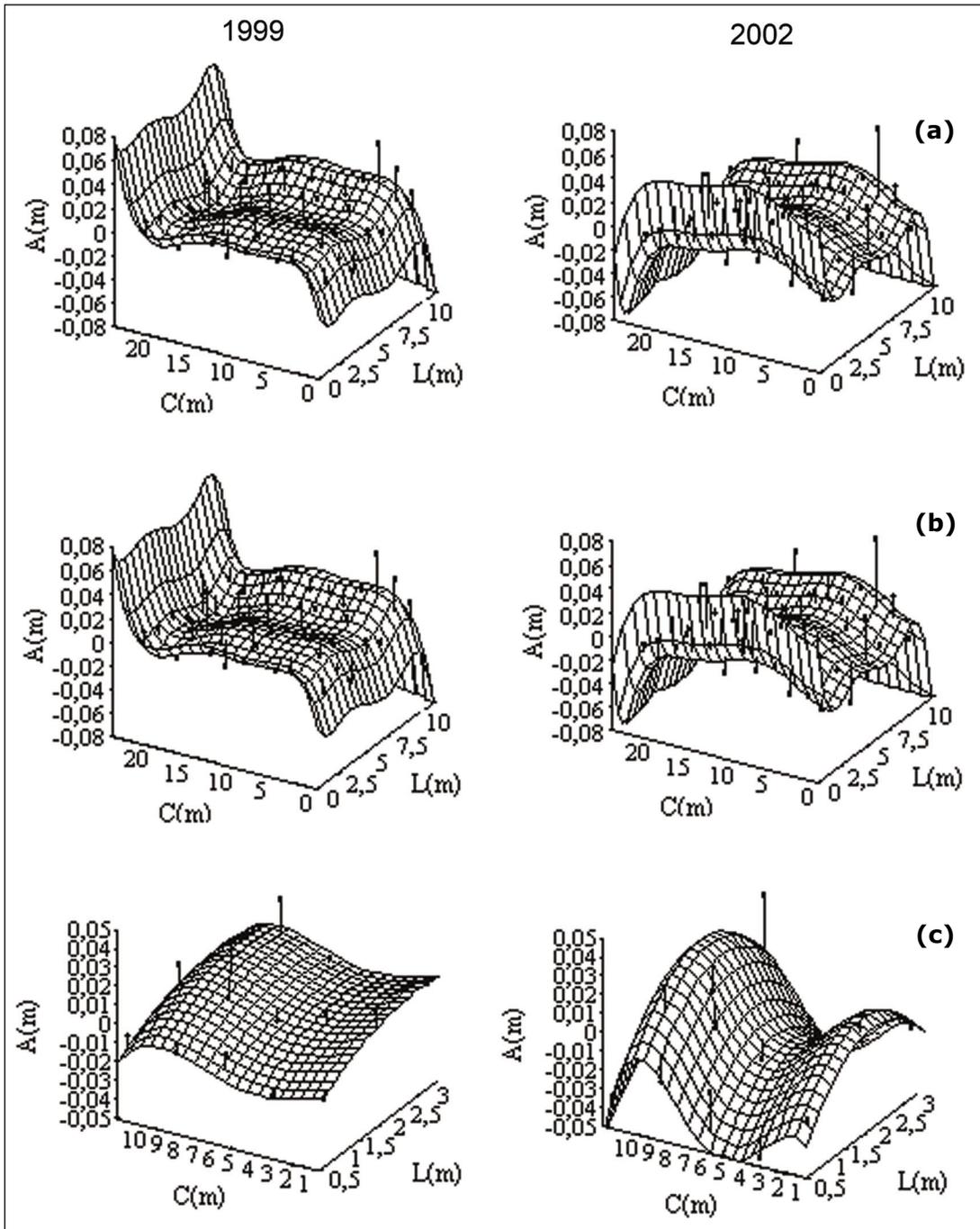
| Solo                                  | Cobertura  | Perdas de Solo |       |       |       |
|---------------------------------------|------------|----------------|-------|-------|-------|
|                                       |            | 1999           | 2000  | 2001  | 2002  |
| Mg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> |            |                |       |       |       |
| PA1                                   | Eucalipto  | 0,93           | 0,33  | 0,20  | 0,03  |
|                                       | Mata       | 0,04           | 0,09  | 0,04  | 0,03  |
|                                       | Descoberto | 2,38           | 3,61  | 3,97  | 0,87  |
| FX                                    | Eucalipto  | 0,58           | 0,25  | 0,10  | 0,01  |
|                                       | Mata       | 0,04           | 0,09  | 0,05  | 0,00  |
|                                       | Descoberto | 0,95           | 0,77  | 1,65  | 1,21  |
| PA8                                   | Eucalipto  | 2,38           | 2,04  | 0,28  | 0,04  |
|                                       | Mata       | 0,10           | 0,07  | 0,01  | 0,00  |
|                                       | Descoberto | 19,32          | 66,37 | 43,14 | 18,26 |

A variabilidade de ocorrência do arraste e deposição de solo (Figuras 5 a 7) no espaço e no tempo está relacionada com os processos inerentes à erosão hídrica, que se iniciam com a incidência das precipitações pluviométricas e a continuidade da ação dessas em contraposição aos obstáculos oferecidos pela vegetação de cobertura. Esse aspecto possivelmente está relacionado ao micro-relevo produzido pelo camalhão (Figura 2), formado por ocasião do uso da grade "bedding" no ciclo anterior.

Inicialmente o processo erosivo se estabeleceu sobre o camalhão, ocorrendo a desintegração dos agregados do solo devido ao impacto direto das gotas de chuva, ocasionando o salpico; as partículas liberadas podem obstruir os poros do solo ou serem depositadas na superfície do mesmo, notadamente entre camalhões, como observado nos sistemas sob eucalipto (Figuras 5a e 6a). Estas observações também foram relatadas em estudos desenvolvidos por Silva et al. (1995) e Pruski (2000).

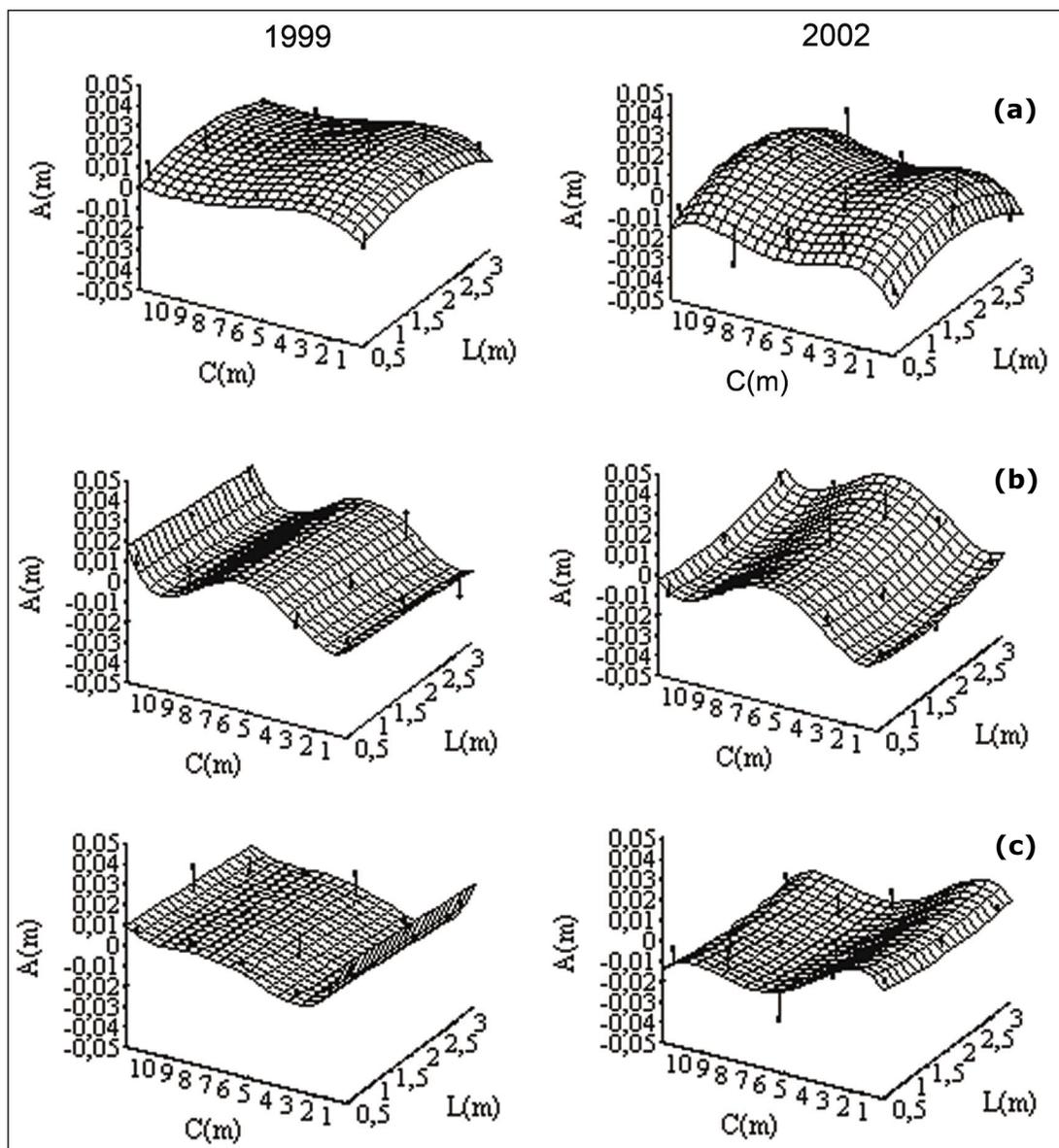


**Figura 5** Mudança na superfície do solo em consequência do processo erosivo do solo PA1 sob eucalipto (a), mata nativa (b) e solo descoberto (c) no período de estudo (C = comprimento da parcela, A = altura do pino e L = largura da parcela). (Change in the soil surface in consequence of the soil erosion in soil PA1 under eucalyptus (a), native forest (b), and uncovered soil (c) in the study period (C = plot length, A = pin height, and L = plot width))

**Figura 6**

Mudança na superfície do solo em consequência do processo erosivo do solo FX sob eucalipto (a), mata nativa (b) e solo descoberto (c) no período de estudo (C = comprimento da parcela, A = altura do pino e L = largura da parcela).

(Change in the soil surface in consequence of erosion in soil FX under eucalyptus (a), native forest (b), and uncovered soil (c) in the study period (C = plot length, A = pin height, and L = plot width))



**Figura 7**  
 Mudança na superfície do solo em consequência do processo erosivo do solo PA8 sob eucalipto (a), mata nativa (b) e solo descoberto (c) no período de estudo (C = comprimento da parcela, A = altura do pino e L = largura da parcela). (Change in the soil surface in consequence of the erosion process in soil PA8 under eucalyptus (a), native forest (b), and uncovered soil (c) in the study period (C = plot length, A = pin height, and L = plot width))

As equações dos modelos apresentados nas Figuras 5 a 7 foram integradas e seus valores de volume depositado e arrastado obtidos, sendo que a diferença entre esses volumes corresponde ao volume perdido de solo por erosão hídrica

(Tabela 4). Nos primeiros anos houve uma tendência dos valores dos volumes depositados serem superiores aos volumes arrastados, exceto para o solo descoberto. Inicialmente o processo erosivo se estabeleceu sobre o camalhão, carre-

ando sedimentos para as áreas entre camalhões, proporcionando um volume depositado superior; a partir do ano 2000, o volume arrastado passou a ser superior, proporcionando um volume maior de perda de solo. Os menores valores de volume perdido foram observados para o sistema sob

mata nativa. Neste sistema, os menores valores de volume perdido possivelmente estão relacionados ao fato que a mata já estava estabelecida, com maior incremento da deposição de folhas e galhos formando a serapilheira, conforme discussão anterior em relação às perdas de solo.

**Tabela 4**

Valores de volume de solo depositado, arrastado e perdido por erosão hídrica, para as coberturas, solos e anos de estudo no município de Aracruz, ES.

(Volume of soil deposited, soil dragged and soil lost by water erosion, for the coverings, soils, and years of study at Aracruz County, ES.)

| Cobertura  | Solo | Ano  | Volume de solo |           |         |
|------------|------|------|----------------|-----------|---------|
|            |      |      | Depositado     | Arrastado | Perdido |
|            |      |      | m <sup>3</sup> |           |         |
| Eucalipto  | PA1  | 1999 | 1,2794         | 0,3539    | 0,0000  |
|            |      | 2000 | 0,8755         | 1,5508    | 0,6753  |
|            |      | 2001 | 1,4105         | 2,7013    | 1,2908  |
|            |      | 2002 | 0,9863         | 2,6105    | 1,6242  |
|            | FX   | 1999 | 1,2332         | 0,5382    | 0,0000  |
|            |      | 2000 | 0,6823         | 2,2678    | 1,5855  |
|            |      | 2001 | 0,7528         | 2,6500    | 1,8972  |
|            |      | 2002 | 0,7195         | 2,6073    | 1,8878  |
|            | PA8  | 1999 | 0,2042         | 0,0339    | 0,0000  |
|            |      | 2000 | 0,0439         | 0,2781    | 0,2343  |
|            |      | 2001 | 0,0064         | 0,2635    | 0,2572  |
|            |      | 2002 | 0,0000         | 0,6112    | 0,6112  |
| Mata       | PA1  | 1999 | 0,2807         | 0,1469    | 0,0000  |
|            |      | 2000 | 0,0552         | 0,2330    | 0,1778  |
|            |      | 2001 | 0,0761         | 0,2395    | 0,1633  |
|            |      | 2002 | 0,1051         | 0,1896    | 0,0845  |
|            | FX   | 1999 | 0,2533         | 0,0215    | 0,0000  |
|            |      | 2000 | 0,0421         | 0,1385    | 0,0964  |
|            |      | 2001 | 0,3140         | 0,0729    | 0,0000  |
|            |      | 2002 | 0,1880         | 0,1922    | 0,0043  |
|            | PA8  | 1999 | 0,2533         | 0,1024    | 0,0000  |
|            |      | 2000 | 0,0000         | 0,3751    | 0,3751  |
|            |      | 2001 | 0,0600         | 0,2217    | 0,1617  |
|            |      | 2002 | 0,1071         | 0,1835    | 0,0765  |
| Descoberto | PA1  | 1999 | 0,1534         | 0,1402    | 0,0000  |
|            |      | 2000 | 0,2085         | 0,2292    | 0,0206  |
|            |      | 2001 | 0,0578         | 0,3666    | 0,3089  |
|            |      | 2002 | 0,1248         | 0,4569    | 0,3322  |
|            | FX   | 1999 | 0,1046         | 0,2216    | 0,1170  |
|            |      | 2000 | 0,0536         | 0,5782    | 0,5246  |
|            |      | 2001 | 0,0351         | 0,7777    | 0,7426  |
|            |      | 2002 | 0,0690         | 1,0391    | 0,9701  |
|            | PA8  | 1999 | 0,2074         | 0,1298    | 0,0000  |
|            |      | 2000 | 0,1403         | 0,3021    | 0,1618  |
|            |      | 2001 | 0,0371         | 0,2820    | 0,2448  |
|            |      | 2002 | 0,0051         | 0,4764    | 0,4713  |

Na Tabela 5 observam-se os valores de perdas de solo determinados pelo método da alteração na superfície do solo, calculado pelo modelo matemático, para os solos, coberturas e anos de estudo. A tendência de perdas de solo em função da cobertura confirmou a mata nativa como o sistema em que em geral ocorrem as menores perdas, com maior evidência nos dois últimos anos de avaliação.

Verificou-se que os valores de perdas obtidos pelo ajuste do modelo matemático apresentaram valores próximos dos da parcela-padrão, com exceção do PA1, FX e PA8 descoberto e PA8 sob eucalipto (Tabela 6), sendo que nestes casos os

valores obtidos pelo ajuste do modelo foram sempre inferiores àqueles da parcela-padrão. A maior diferença entre os dois métodos ficou restrita ao PA8 descoberto. Estudos devem ser desenvolvidos objetivando o aperfeiçoamento e a validação do método da mudança na superfície do solo, utilizando-se o modelo matemático.

No presente estudo, verificou-se que as perdas de solo na mata nativa e no eucalipto foram semelhantes, nos dois métodos de determinação estudados, indicando a sustentabilidade do ambiente sob plantio de eucalipto no contexto da erosão hídrica.

**Tabela 5**

Valores de perdas de solo determinados pelo método de alteração na superfície do solo, calculado pelo modelo matemático, para os solos, coberturas e anos estudados no município de Aracruz, ES. (Soil losses determined by the method of soil surface alteration, soil losses calculated by the mathematical model, for the soils, coverings, and studied years at Aracruz County, ES.)

| Solo                                       | Cobertura  | Perdas de Solo |      |      |      |
|--|------------|----------------|------|------|------|
|  |            | 1999           | 2000 | 2001 | 2002 |
| <b>Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup></b> |            |                |      |      |      |
| PA1  | Eucalipto  | 0,00           | 0,32 | 0,46 | 0,47 |
|  | Mata       | 0,00           | 0,09 | 0,06 | 0,02 |
|  | Descoberto | 0,00           | 0,01 | 0,11 | 0,10 |
| FX   | Eucalipto  | 0,00           | 0,67 | 0,60 | 0,48 |
|  | Mata       | 0,00           | 0,04 | 0,00 | 0,00 |
|  | Descoberto | 0,07           | 0,22 | 0,24 | 0,25 |
| PA8  | Eucalipto  | 0,00           | 0,09 | 0,07 | 0,14 |
|  | Mata       | 0,00           | 0,14 | 0,05 | 0,02 |
|  | Descoberto | 0,00           | 0,06 | 0,07 | 0,11 |

**Tabela 6**

Valores médios anuais de perdas de solo quantificados pelos métodos da parcela-padrão e da alteração na superfície do solo, calculado pelo modelo matemático, para os solos, coberturas e períodos estudados no município de Aracruz, ES.

(Annual average values of soil losses quantified by the methods of the standard erosion plots and of the alteration of the soil surface, calculated by the mathematical model, for the soils, coverings, and studied periods at Aracruz County, ES.)

| Solo | Cobertura  | Parcela-padrão                             | Alteração na superfície do solo |
|------|------------|--|---------------------------------|
|      |            | <b>Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup></b> |                                 |
| PA1  | Eucalipto  | 0,37                                       | 0,31                            |
|      | Mata       | 0,05                                       | 0,04                            |
|      | Descoberto | 2,71                                       | 0,05                            |
| FX   | Eucalipto  | 0,24                                       | 0,44                            |
|      | Mata       | 0,05                                       | 0,01                            |
|      | Descoberto | 1,15                                       | 0,19                            |
| PA8  | Eucalipto  | 1,19                                       | 0,08                            |
|      | Mata       | 0,05                                       | 0,05                            |
|      | Descoberto | 36,77                                      | 0,06                            |

## CONCLUSÕES

O solo PA8 apresentou maior arraste de solo, seguido dos solos FX e PA1. Entre outros atributos inerentes ao solo, a declividade e a posição do solo na paisagem ajudam a explicar esta tendência.

A cobertura vegetal apresentou o seguinte comportamento em relação ao arraste do solo: descoberto > eucalipto > mata nativa.

O método da mudança na superfície do solo, utilizando-se o modelo matemático, apresentou valores próximos do método da parcela-padrão, indicando seu potencial para uso em estudos dessa natureza.

## AUTORES

DIONE PEREIRA CARDOSO é Mestre em Engenharia Florestal. Rua Batista Ramos, 222 – Centro – Ribeirão Vermelho, MG - 37264-000

MARX LEANDRO NAVES SILVA é Professor Adjunto – Departamento de Ciências do Solo – UFLA – Universidade Federal de Lavras - Caixa Postal 3037 – Lavras, MG - 37200-000 – E-mail: marx@ufla.br

NILTON CURTI é Professor Titular - Departamento de Ciências do Solo – UFLA – Universidade Federal de Lavras - Caixa Postal 3037 – Lavras, MG - 37200-000 – E-mail: niltcuri@ufla.br

THELMA SÁFADI é Professor Adjunto - Departamento de Matemática e Estatística – UFLA – Universidade Federal de Lavras - Caixa Postal 3037 – Lavras, MG – 37200-000 – E-mail: safadi@ufla.br

SEBASTIÃO FONSECA é Mestre em Engenharia Florestal, Pesquisador da Aracruz Celulose S.A. - Caixa Postal 331011 - Aracruz, ES - 29197-000 – E-mail: sf@aracruz.com.br

MOZART MARTINS FERREIRA é Professor Titular - Departamento de Ciências do Solo – UFLA – Universidade Federal de Lavras - Caixa Postal 3037 – Lavras, MG - 37200-000 – E-mail: mozartmf@ufla.br

SÉRGIO GUALBERTO MARTINS é Doutorando - Departamento de Ciências do Solo – UFLA – Universidade Federal de Lavras - Caixa Postal 3037 – Lavras, MG - 37200-000 – E-mail: sgmartins@ufla.br

JOÃO JOSÉ GRANATE DE SÁ E MELO MARQUES é Professor Adjunto – Departamento de Ciências do Solo – UFLA – Universidade Federal de Lavras – Caixa Postal 3037 – Lavras, MG - 37200-000 – E-mail: jmarques@ufla.br

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, A.W.; LOMBARDI NETO, F.; SRINIVASAN, V.S. Efeito do desmatamento da caatinga sobre as perdas de solo e água de um Luvissole em Sumé (PB). **Revista brasileira de ciência do solo**, v.25, n.1, p.121-128, 2001.

ALMEIDA, A.C.; SOARES, J.V. Comparação entre uso de água em plantações de *Eucalyptus grandis* e floresta ombrófila densa (Mata Atlântica) na Costa Leste do Brasil. **Revista árvore**, v.27, n.2, p.159-170, 2003.

BLAKE, G.R.; HARTGE, K.H. Particle density. In: KLUITE, A., ed. **Methods of soil analysis**. Madison: American Society of Agronomy, 1986. p.377-382. (Agronomy: A Series of Monographs, 9).

BONO, J.A.M. **Sistemas de melhoramento de pastagens nativas visando ao aumento de produtividade e conservação do solo**. Lavras, 1994. 95p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras

BONO, J.A.M.; CURTI, N.; FERREIRA, M.M.; EVANGELISTA, A.R.; CARVALHO, M.M.; SILVA, M.L.N. Cobertura vegetal e perdas de solo por erosão em diversos sistemas de melhoramento de pastagens nativas. **Pasturas tropicais**, v.18, n.2, p.2-8, 1996.

BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. ESCRITÓRIO DE PESQUISAS E EXPERIMENTAÇÃO. EQUIPE DE PEDOLOGIA E FERTILIDADE DO SOLO. **Levantamento exploratório dos solos da região sob influência da Cia. Vale do Rio Doce**. Rio de Janeiro, 1970. 148p. (Brasil. Ministério da Agricultura – EPE-EPFS, Boletim Técnico, 13).

CARDOSO, D.P. **Avaliação da erosão pela mudança na superfície do solo em sistemas florestais**. Lavras, 2003. 106p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Lavras

CATANEO, A.; CASTRO FILHO, C.; ACQUAROLE, R.M. Programa para cálculo de índices de erosividade de chuvas. **Revista brasileira de ciência do solo**, v.6, p.236-239, 1982.

DE MARIA, I.C. Cálculo da erosividade da chuva. In: LOMBARDI NETO, F.; CASTRO, O.M.; DECHEN, S.C.F.; VIEIRA, S.R.; DE MARIA, I.C. **Manual de programas de processamento de dados de campo e de laboratório para fins de experimentação em conservação do solo**. Campinas, IAC-SCS, 1994. (não publicado)

COGO, N.P. Uma contribuição à metodologia de estudo das perdas por erosão em condições de chuva natural: 1– sugestões gerais, medição do volume, amostragem e quantificação de solo e água da enxurrada (1ª Aproximação). In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA SOBRE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 2, Passo Fundo, 1978. **Anais...** Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT, 1978a. p.75-97

- COGO, N.P. Uma contribuição à metodologia de estudo das perdas por erosão em condições de chuva natural: 2- alguns conceitos básicos e modelo de uma ficha para registro das características da chuva e perdas de solo e água (1ª Aproximação). In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA SOBRE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 2, Passo Fundo, 1978. **Anais...** Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT, 1978b. p.99-107
- CURI, N. Interpretação e decodificação do levantamento de solos das áreas da Aracruz Celulose S.A. no Espírito Santo e Sul da Bahia para o cultivo de eucalipto. In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE SOLOS. **Levantamento generalizado e semidetalhado de solos da Aracruz Celulose S.A. no Estado do Espírito Santo e no extremo sul do Estado da Bahia e sua aplicação aos plantios de eucalipto**. Rio de Janeiro, 2000. parte 3, p.70-75
- DAY, P.R. Particle fractionation and particle-size analysis. In: BLACK, C.A., ed. **Methods of soil analysis**. Madison: ASA, 1965. p.545-566
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE SOLOS. **Levantamento generalizado e semidetalhado de solos da Aracruz Celulose S. A. no Estado do Espírito Santo e no extremo sul do Estado da Bahia e sua aplicação aos plantios de eucalipto**. Rio de Janeiro, 2000. 93p.
- GLEASON, C.H. Reconnaissance methods of measuring erosion. **Journal of soil and water conservation**, v.12, p.105-107, 1957.
- HERNANI, L.C.; SAKAI, E.; LOMBARDI NETO, F.; LEPSCH, I.F. Influência de métodos de limpeza de terreno sob floresta secundária em Latossolo Amarelo do Vale do Ribeira, SP: 2- perdas por erosão. **Revista brasileira de ciência do solo**, v.11, n.2, p.215-219, 1987.
- LIMA, W.P. Escoamento superficial, perdas de solo e de nutrientes em microparcelas reflorestadas com eucalipto em solos arenosos no município de São Simão, SP. **IPEF**, n.38, p.5-16, 1988.
- MARTINS, S.G.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; FERREIRA, M.M.; FONSECA, S.; MARQUES, J.J.G.S.M. Perdas de solo e água por erosão hídrica em sistemas florestais na região de Aracruz. **Revista brasileira de ciência do solo**, v.27, n.3, p. 395-403, 2003.
- MÉXICO. Colegio de postgraduados. **Manual de conservación del suelo y del agua**. Chapingo: SPP, 1977. 584p.
- PRUSKI, F.F. Aplicação de modelos físico-matemáticos à engenharia de conservação de água e solo. In: AGRICULTURA, SUSTENTABILIDADE E O SEMI-ÁRIDO, 1, Fortaleza, 2000. **Anais...** Fortaleza: Folha de Viçosa, 2000. p.233-296
- SANTOS, D. **Perdas de solo e produtividade de pastagens nativas melhoradas sob diferentes práticas de manejo em Cambissolo distrófico (epiálico) dos Campos da Mantiqueira (MG)**. Lavras, 1993. 99p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura de Lavras
- SANTOS, D.; CURI, N.; FERREIRA, M.M.; EVANGELISTA, A.R.; CRUZ FILHO, A.B.; TEXEIRA, W.G. Perdas de solo e produtividade de pastagens nativas melhoradas sob diferentes práticas de manejo. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.33, n.2, p.183-189, 1998.
- SILVA, M.L.N.; CURI, N.; FERREIRA, M.M.; LIMA, J.M.; MARQUES, J.J.G.S.M.; LIMA, L.A. Resistência ao salpico provocado por impacto de gotas de chuva simulada em Latossolos e sua relação com características químicas e mineralógicas. **Ciência e prática**, v.19, n.2, p.176-182, 1995.
- VELOSO, H.P.; RANGEL FILHO, A.L.R.; LIMA, J.C.A. **Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileira de Geografia e Estatística (IBGE), Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais (DERNA), 1991. 124p.
- WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. Rainfall energy and its relationships to soil loss. **Transactions of the American Geophysical Union**, v.39, n.2, p.285-291, 1958.