

**Avaliação do escoamento superficial e da perda de solo sob diferentes coberturas e declividades utilizando análise de variância e modelos lineares em R.**

Hugo M Rodrigues (UFF) / [hugomr@id.uff.br](mailto:hugomr@id.uff.br)  
 Gustavo M Vasques (Embrapa-Solos) / [gustavo.vasques@embrapa.br](mailto:gustavo.vasques@embrapa.br)  
 Marcelo W A Lemes (UFF) / [marcelowlemes@hotmail.com](mailto:marcelowlemes@hotmail.com)

**1. Introdução:**

A erosão hídrica é um problema de escala global e, no Brasil, é responsável pela perda de áreas agricultáveis. Quantificar e estimar o escoamento superficial (ES) da água e a consequente perda de solo (PS) em função dos fatores condicionantes é uma necessidade para o manejo consciente e sustentável da produção agrícola, minimizando impactos negativos como a diminuição da produção e o assoreamento de corpos d'água. Para isso quantificou-se as taxas de ES e PS em diferentes condições ambientais, e foi avaliado a influência da declividade e da cobertura do solo sobre ES e PS a fim de entender quais fatores agravam os processos erosivos.

**2. Material e Métodos**

**2.1. Coleta de amostras e filtragem em laboratório**

Foram selecionadas duas encostas, com 28% e 51% de declividade na Unidade de Gestão Santo Antônio do Maratujá-RJ (Figura 1). Em cada encosta, foram instalados, um pluviômetro e duas parcelas de erosão, conforme Wischmeier e Smith (1978), uma coberta por gramínea (GR1 e GR2) e outra sem cobertura (SC1 e SC2) (Figura 2). No final de cada parcela foram instalados tambores para coletar o ES. A quantidade de chuva e o ES foram medidos em campo após cada evento de chuva e a concentração de sedimentos foi medida posteriormente em laboratório (Figura 3). A PS foi calculada multiplicando-se o ES pela concentração de sedimentos.

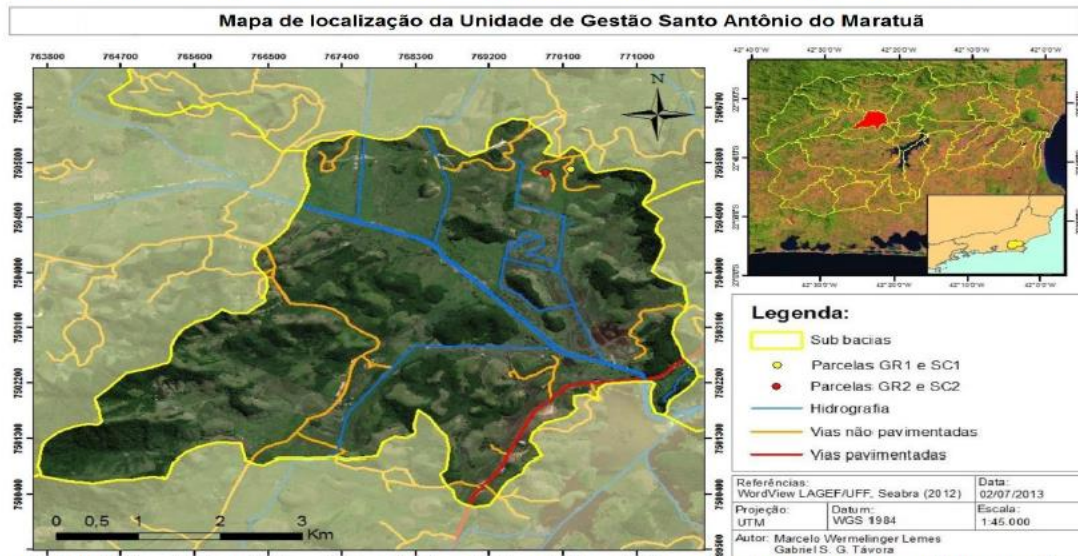


Figura 1: Mapa de localização onde podem ser observadas as vias de acesso, a hidrografia e a delimitação da sub-bacia Santo Antônio do Maratujá.

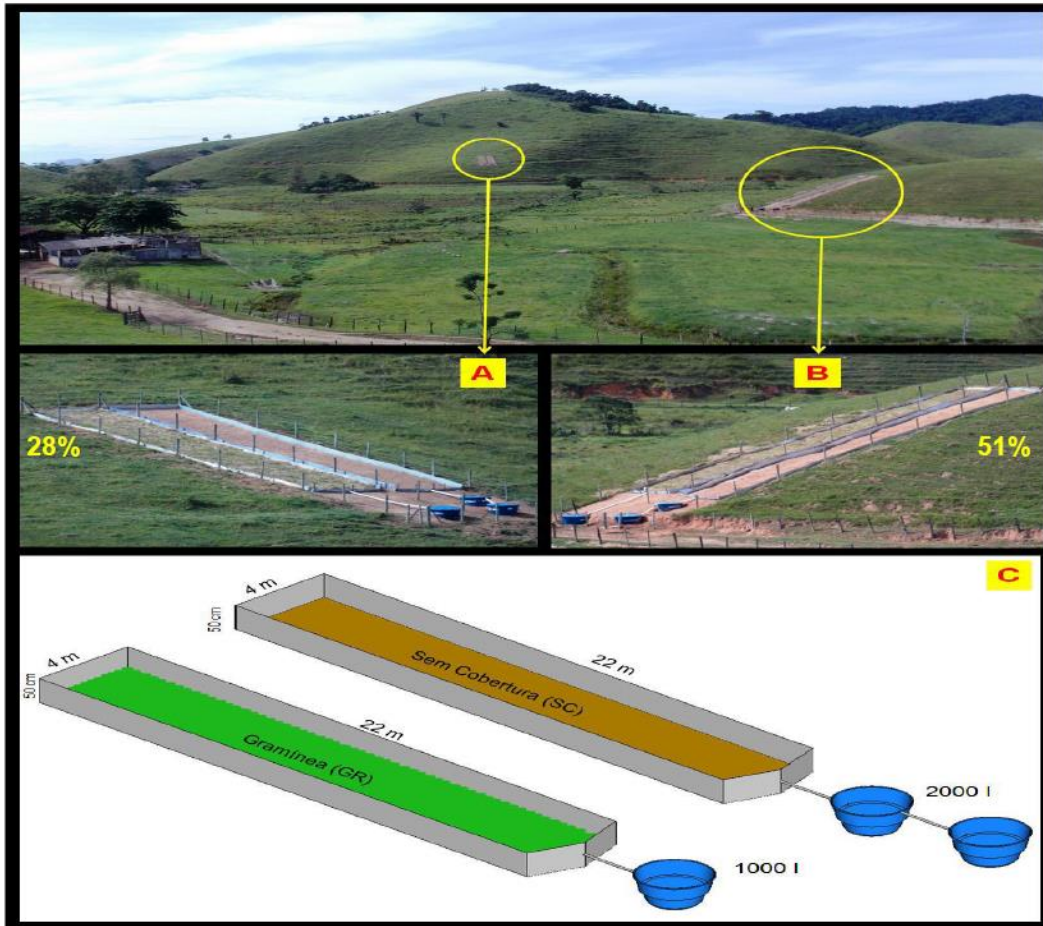


Figura 2: (A) Parcelas com cobertura de graminéia e sem cobertura da encosta 1, GR1 e SC1, com 28% de declividade; (B) Parcelas com cobertura de graminéia e sem cobertura na encosta 2, GR2 e SC2, com 51% de declividade e (C) Esquema da estrutura das parcelas montadas em cada encosta.



Figura 3: (A) Filtros de celulose, (B) Manifold para filtração dos sedimentos, (C) Processo de filtração, (D) Sedimentos retidos no filtro e (E) Sedimentos pós-estufa pronto para ser pesado.

## 2.2. Análise estatística

Os dados coletados foram agrupados mensalmente e transformados para logaritmo natural. A influência da declividade e cobertura sobre o ES e a PS, respectivamente, foi analisada utilizando análise de variância (ANOVA). Em seguida, foram ajustados modelos lineares para predição do ES e da PS, respectivamente, em função da quantidade de chuva e dos fatores significativos sobre essas variáveis encontrados na ANOVA. Por último, considerando a medição do ES mais simples e direta do que a da PS, se ajustou um modelo de predição da PS (de difícil medição) em função do ES (de fácil medição). A qualidade dos modelos de predição foi avaliada pelo coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>), erro médio (EM) e raiz do erro quadrado médio (REQM). Todos os procedimentos estatísticos foram realizados no programa R.

## 3. Resultados

### 3.1. Estatística descritiva dos dados

| Estatística   | Chuva                                     | ES (L)   | PS (Mg ha <sup>-1</sup> ) | Chuva             | ES (L) | PS (Mg ha <sup>-1</sup> ) |
|---------------|---|----------|---------------------------|-------------------|--------|---------------------------|
|               | Original                                  |          |                           | Logaritmo natural |        |                           |
|               | <b>Declividade de 28% / Gramínea</b>      |          |                           |                   |        |                           |
| Média         | 177,64                                    | 638,58   | 0,13                      | 4,87              | 3,83   | -5,90                     |
| Desvio padrão | 125,36                                    | 997,08   | 0,25                      | 0,95              | 5,15   | 3,96                      |
| Mediana       | 143,30                                    | 73,00    | 0,00                      | 4,96              | 4,29   | -6,54                     |
| Mínimo        | 15,28                                     | 0,00     | 0,00                      | 2,73              | -11,51 | -11,51                    |
| Máximo        | 449,07                                    | 2737,00  | 0,76                      | 6,11              | 7,91   | -0,27                     |
| Assimetria    | 0,63                                      | 1,31     | 1,63                      | -0,83             | -2,08  | 0,07                      |
|               | <b>Declividade de 28% / Sem cobertura</b> |          |                           |                   |        |                           |
| Média         | 177,64                                    | 3381,92  | 1,61                      | 4,87              | 5,98   | -1,64                     |
| Desvio padrão | 125,36                                    | 3178,15  | 2,15                      | 0,95              | 5,72   | 4,08                      |
| Mediana       | 143,30                                    | 2122,50  | 0,69                      | 4,96              | 7,65   | -0,38                     |
| Mínimo        | 15,28                                     | 0,00     | 0,00                      | 2,73              | -11,51 | -11,51                    |
| Máximo        | 449,07                                    | 10057,00 | 7,51                      | 6,11              | 9,22   | 2,02                      |
| Assimetria    | 0,63                                      | 0,62     | 1,61                      | -0,83             | -2,33  | -1,38                     |
|               | <b>Declividade de 51% / Gramínea</b>      |          |                           |                   |        |                           |
| Média         | 178,30                                    | 483,83   | 0,07                      | 4,87              | 3,71   | -5,95                     |
| Desvio padrão | 125,08                                    | 653,95   | 0,10                      | 0,96              | 5,16   | 4,04                      |
| Mediana       | 142,86                                    | 219,50   | 0,01                      | 4,96              | 5,00   | -5,54                     |
| Mínimo        | 14,64                                     | 0,00     | 0,00                      | 2,68              | -11,51 | -12,67                    |
| Máximo        | 448,82                                    | 2071,00  | 0,31                      | 6,11              | 7,64   | -1,18                     |
| Assimetria    | 0,63                                      | 1,23     | 1,11                      | -0,87             | -2,05  | -0,25                     |
|               | <b>Declividade de 51% / Sem cobertura</b> |          |                           |                   |        |                           |
| Média         | 178,30                                    | 3301,92  | 1,61                      | 4,87              | 5,92   | -1,77                     |
| Desvio padrão | 125,08                                    | 3097,17  | 2,22                      | 0,96              | 5,74   | 4,26                      |
| Mediana       | 142,86                                    | 2472,50  | 0,64                      | 4,96              | 7,81   | -0,45                     |
| Mínimo        | 14,64                                     | 0,00     | 0,00                      | 2,68              | -11,51 | -11,51                    |
| Máximo        | 448,82                                    | 9980,00  | 7,65                      | 6,11              | 9,21   | 2,03                      |
| Assimetria    | 0,63                                      | 0,69     | 1,60                      | -0,87             | -2,29  | -1,33                     |

Tabela 1: Estatística descritiva da quantidade de chuva, escoamento superficial (ES) e perda de solo (PS), por parcela.

### 3.2. Análises de variância

| Fonte                              | GL | SQ      | QM     | F       |
|------------------------------------|----|---------|--------|---------|
| <b>Escoamento superficial (ES)</b> |    |         |        |         |
| Declividade                        | 1  | 0,09    | 0,09   | 0,48    |
| Cobertura                          | 1  | 57,18   | 57,18  | 36,96** |
| Declividade x Cobertura            | 1  | 0,01    | 0,01   | 0,10    |
| Mês                                | 11 | 1286,54 | 116,96 |         |
| Declividade x mês                  | 11 | 2,06    | 0,19   |         |
| Cobertura x mês                    | 11 | 17,02   | 1,55   |         |
| Declividade x Cobertura x mês      | 11 | 1,39    | 0,13   |         |
| <b>Perda de solo (PS)</b>          |    |         |        |         |
| Declividade                        | 1  | 0,09    | 0,09   | 0,16    |
| Cobertura                          | 1  | 213,68  | 213,68 | 28,01** |
| Declividade x Cobertura            | 1  | 0,02    | 0,02   | 0,07    |
| Mês                                | 11 | 640,70  | 58,25  |         |
| Declividade x mês                  | 11 | 6454,00 | 0,59   |         |
| Cobertura x mês                    | 11 | 83,91   | 7,63   |         |
| Declividade x Cobertura x mês      | 11 | 3547,00 | 0,32   |         |

Tabela 2: GL, graus de liberdade; SQ, soma de quadrados; QM, quadrado médio \*\* Significativo ( $p < 0.05$ )

### 3.3. Modelos de predição de escoamento superficial (ES) e perda de solo (PS)

| Equação  | R <sup>2</sup> | EM   | REQM |
|--|----------------|------|------|
| $\ln(\text{ES}) = -6,81 + 2,36 \times \ln(\text{chuva}) + 2,38 \times \text{sem cobertura}$  | 0,89           | 0,50 | 4,67 |
| $\ln(\text{PS}) = -24,92 + 3,90 \times \ln(\text{chuva}) + 4,22 \times \text{sem cobertura}$ | 0,87           | 2,23 | 9,90 |
| $\ln(\text{PS}) = -14,90 + 1,86 \times \ln(\text{ES})$                                       | 0,97           | 0,40 | 4,20 |

Tabela 3: R<sup>2</sup>, coeficiente de determinação; EM, erro médio; REQM, raiz do erro quadrado médio; ln, logaritmo natural

## 4. Discussão

Enquanto a quantidade de chuva e o tipo de cobertura influenciaram significativamente o ES e a PS, a declividade do terreno não demonstrou influência sobre essas variáveis. Ainda, as parcelas em encostas mais declivosas tiveram, em média, menor ES e menor PS. Esses resultados foram inesperados e contrariam resultados anteriores (Joshi e Tambe, 2010; Li et al., 2014). Contudo, eles podem ser explicados pela maior porosidade total do solo e maior exposição ao sol da encosta mais declivosa (Lemes, 2014), o que, por um lado, aumenta a infiltração da água da chuva e, por outro, retarda o processo de saturação do solo após a chuva, consequentemente reduzindo o ES.

A PS foi fortemente explicada pelo ES ( $R^2: 0,97$ ), sendo que a cobertura não foi significativa nesse modelo (terceira equação). Por outro lado, na ausência do ES como variável independente, a cobertura tornou-se significativa (segunda equação). Ainda, a cobertura influenciou o ES, sendo que a área com capim apresentou menor ES. Isso implica na cobertura vegetal controlando a PS por meio de resistência ao ES, mas não afeta a PS em função da chuva. Mingguo et al. (2007) observaram comportamento similar na escala de bacia hidrográfica, porém, na escala de parcela, a cobertura afetou a relação entre ES e PS. A falta de interação entre chuva e cobertura nos modelos deve-se provavelmente à pouca diferença de chuva entre as encostas, enquanto a interação entre chuva e declividade não faz sentido, já que cada encosta possuía somente um pluviômetro

## 5. Conclusões

O escoamento superficial e a consequente perda de solo foram influenciados pela quantidade de chuva e cobertura vegetal. Por sua vez, somente o escoamento superficial explicou 97% da variância da perda de solo, havendo, portanto, possibilidade de suprimir a etapa de medição da perda de solo em laboratório. Contudo, essa possibilidade deve ser avaliada em outras áreas de estudo sob diferentes condições.

A declividade do terreno não teve influência significativa no escoamento superficial ou na perda de solo, provavelmente devido a outros fatores conflitantes, como porosidade do solo e grau de exposição ao sol da encosta. Portanto, a influência da declividade e de outros possíveis fatores sobre o ES e PS precisa ser melhor entendida na área de estudo

## 6. Referências

- Joshi, V.U.; Tambe, D.T. Estimation of infiltration rate, run-off and sediment yield under simulated rainfall experiments in upper Pravara Basin, India: Effect of slope angle and grass-cover. *Journal of Earth System Science*, v. 119, pp. 763-773, 2010.
- Lemes, W.M. Análise dos solos, dos processos erosivos e do comportamento hidrológico em colinas dissecadas e morros rebaixados sob diferentes usos na sub-bacia Santo Antônio do Maratujá, Silva Jardim – RJ. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal Fluminense, Niterói. 2011.
- Li, X.; Niu, J.; Xie, B. The effect of leaf litter cover on surface runoff and soil erosion in Northern China, *PLoS ONE*, v. 9, e107789, 2014.
- Mingguo, Z.; Qiangguo, C.; Hao, C. Effect of vegetation on runoff-sediment yield relationship at different spatial scales in hilly areas of the Loess Plateau, North China. *Acta Ecologica Sinica*, v. 27, p. 3572-3581, 2007.
- Wischmeier, W.H.; Smith, D.D. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. Washington, DC: United States Department of Agriculture, 1978. (Agriculture Handbook, v. 537).