

# Estimativa da produção de sedimentos em bacias hidrográficas a partir do modelo USLE e do índice de transferência de sedimentos (SDR): o caso das Bacias de Santa Maria e de Cambiocó, região noroeste do Estado do Rio de Janeiro.

**MARIA JOSÉ ZARONI**<sup>(1)</sup>, **NELSON FERREIRA FERNANDES**<sup>(2)</sup>, **JOSÉ RONALDO DE MACEDO**<sup>(3)</sup>, **LEONARDO FRANKLIN FORNELOS**<sup>(4)</sup>.

**RESUMO** - Este estudo teve como objetivo principal estimar a produção de sedimentos em duas bacias hidrográficas: Santa Maria e Cambiocó, localizadas no município de São José de Ubá, região noroeste do Estado do Rio de Janeiro, utilizando o modelo preditivo de erosão (USLE) associado ao índice de transferência de sedimentos (SDR) com o auxílio de Sistemas de Informação Geográficas (SIGS). A estimativa de perdas de solo foi realizada por meio do modelo USLE e a produção de sedimentos, a partir do índice de transferência de sedimentos ou *sediment delivery ratio* (SDR) pelo método proposto pelo Forest Service [1]. As estimativas de perdas de solo foram de 809,65 Mg. ha<sup>-1</sup>. ano<sup>-1</sup> na Bacia de Santa Maria e 1534,5 Mg. ha<sup>-1</sup>. ano<sup>-1</sup> na Bacia de Cambiocó. Com um índice de SDR de 0,12 para as duas bacias, a produção de sedimentos estimada foi de 69.857 Mg. ha<sup>-1</sup>. ano<sup>-1</sup> na Bacia de Santa Maria e 16.742 Mg. ha<sup>-1</sup>. ano<sup>-1</sup> na Bacia de Cambiocó. O uso do modelo USLE associado ao índice SDR obtido pelo método proposto pelo Forest Service [1] permitiu uma análise qualitativa mais eficiente das áreas quanto ao potencial erosivo. Inserido no projeto “Gestão Participativa da Sub-bacia do Rio São Domingos”, RJ/GEPARMBH Embrapa [2], os resultados deste trabalho podem contribuir para o gerenciamento das ações mitigadoras do processo erosivo em bacias hidrográficas.

## Introdução

A região norte-noroeste fluminense apresenta um processo erosivo extremamente acentuado nas áreas rurais em decorrência do uso e manejo inadequado dos solos. Como conseqüências, verificam-se o assoreamento e/ou desaparecimento de rios e a migração de nascentes, com o comprometimento da manutenção dos ecossistemas terrestres e aquáticos e a produção agropecuária estabelecendo na região um

ciclo de decadência econômica, baseada no binômio: pobreza x degradação ambiental onde se identifica sérias restrições de abastecimento de água para consumo humano e dessedentação animal, em função da escassez hídrica.

Assim sendo, Inserido no projeto “Gestão Participativa da Sub-bacia do Rio São Domingos”, RJ (GEPARMBH) envolvendo a Embrapa Solos / Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e a Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), este estudo teve como objetivo principal estimar a produção de sedimentos em duas bacias hidrográficas: Santa Maria e Cambiocó, localizadas no município de São José de Ubá, região noroeste do Rio de Janeiro utilizando o modelo preditivo de erosão (USLE) associado ao índice de transferência de sedimentos ou sediment delivery rates (SDR) com o auxílio de Sistemas de Informação Geográficas (SIGS) visando subsidiar o gerenciamento das ações mitigadoras do processo erosivo.

Segundo Chaves [3], modelos desenvolvidos para estimar perdas de solo podem ser empregados para expressar a descarga sólida produzida em bacias como a USLE quando associados ao índice de transferência de sedimentos (Sediment Delivery Ratio – SDR).

Foram selecionadas duas bacias hidrográficas rurais: Bacia de Santa Maria e Bacia de Cambiocó compreendendo uma área total de aproximadamente 13,5km<sup>2</sup>, pertencentes à bacia do Rio São Domingos (afluente do rio Muriaé) e localizadas no município de São José de Ubá. A importância socioeconômica e ambiental de se estimar a produção de sedimentos nestas bacias está relacionada ao fato de que o cultivo de olerícolas principalmente com tomate e a pecuária de corte e de leite são a principal fonte de renda dos produtores sendo, no entanto, caracterizada como de baixa sustentabilidade refletindo o processo de degradação das áreas agrícolas na região.

**Palavras-Chave:** produção de sedimentos, bacia hidrográfica, erosão.

<sup>(1)</sup> O primeiro autor é pesquisador da Embrapa Solos. Rua Jardim Botânico, 1024. Rio de Janeiro. RJ. CEP: 22.460.000. E-mail: [zaroni@cnpes.embrapa.br](mailto:zaroni@cnpes.embrapa.br)

<sup>(2)</sup> O segundo autor é professor Adjunto da UFRJ, Rio de Janeiro, RJ. E-mail [nelsonff@acd.ufrj.br](mailto:nelsonff@acd.ufrj.br)

<sup>(3)</sup> O terceiro autor é pesquisador da Embrapa Solos. Rua Jardim Botânico, 1024. Rio de Janeiro. RJ. CEP: 22.460.000. E-mail: [jrmacedo@cnpes.embrapa.br](mailto:jrmacedo@cnpes.embrapa.br)

<sup>(4)</sup> O quarto autor é estudante de graduação em Engenharia Civil da UFRJ, Rio de Janeiro, RJ. E-mail: [leofranklin@poli.ufrj.br](mailto:leofranklin@poli.ufrj.br)

## Material e métodos

Na estimativa das perdas de solo foi utilizado o modelo USLE ou  $A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P$  (Wischmeier & Smith [4]) onde: A = perda de solo (Mg.ha.ano); R = Índice de Erosividade (Mg.ha.ano); K = Fator de erodibilidade do solo; LS = Fator topográfico; C = Fator de uso e P = Fator de práticas conservacionistas.

- Erosividade (R): O cálculo da erosividade da chuva foi obtido por meio dos totais mensais de chuva (mm) da série histórica fornecida pela INMET (1969-2000) da estação Itaperuna (Rio de Janeiro) aplicando a equação proposta por Lombardi Neto [Comunicação pessoal] descrita a seguir:

$$EI = 8,9,823 \left( \frac{p^2}{P} \right)^{0,759}$$

Onde: EI = índice de erosividade (MJ.mm.ha-1.h-1), p = precipitação média mensal (mm); P = precipitação média anual (mm).

- Erodibilidade (K): Foi utilizado o método indireto proposto por Denardin [5] e modificado por Levy [6] para estimar a erodibilidade dos solos a partir dos dados dos perfis de solo fornecido pelo Projeto GEPARMBH [2].

- Fator Topográfico (LS): Foi utilizado o software "USLE - 2D" elaborado pelos autores Desmet & Govers, [7] a partir do algoritmo de Wischmeier & Smith [4] para o cálculo do LS.

- Fator Uso (C): O mapa de uso e cobertura foi classificado em valores de C definidos pela Seção de Conservação do Solo do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC)-

- Fator práticas conservacionistas (P): Foram adotados valores determinados pela Seção de Conservação de Solos do IAC para este fator.

O Cálculo do SDR foi efetuado por meio do Diagrama proposto pelo Forest Service [1] que considera os seguintes parâmetros da bacia:

- Porcentagem de formas convexas, côncavas e planas da encosta obtidos por meio do mapa de curvatura das duas bacias.

- Uso do solo. O percentual de mata foi obtido a partir dos mapas de uso de cada bacia.

- Distância média em pés (ft) do percurso que a partícula de solo (sedimento) percorre entre área fonte e o canal principal. Estes dados foram obtidos a partir do mapa de proximidade;

- Textura do material erodido referente à percentagem de partículas de igual ou mais finas que 0,05 mm presentes no material erodido. Estes dados foram obtidos a partir dos perfis de solos;

- Declividade média entre a área fonte de produção de sedimentos e a saída da bacia:

- Rugosidade da superfície: Expressa a influência da rugosidade topográfica da bacia, onde valores iguais a zero indicam superfícies regulares e valores iguais a quatro para superfícies muito irregulares;

- Fator de escoamento superficial: Dado pelo pico de descarga ou quantidade de água disponível para transportar sedimentos em um evento de chuva. Na ausência de dados do pico de descarga, a magnitude do escoamento pode ser estimada pela equação descrita abaixo:

$$F = 2,31 \times 10^{-5} \sigma L (5)$$

Onde: F = taxa de escoamento por comprimento da encosta (cfs/m);  $\sigma$  = excesso de precipitação (inch/h); L = área perturbada (km<sup>2</sup>)

Obs: valores maiores que 0,1 são assumidos como 0,1.

Para estimar o fator de escoamento superficial foi utilizado o "Método do Balanço de Água na Superfície do Solo" Pruski, Ferreira, Ramos and Cecon [8], onde os autores, a partir do "Método do Número de Curvas", desenvolveram uma metodologia para determinar o volume de escoamento superficial utilizando a equação de intensidade-duração-frequência desenvolvida por Silva, Pinto, Pruski and Pinto [9] a partir de uma série de dados de precipitação no período de 1974 a 1989, para a estação pluviográfica Itaperuna.

$$i_m = \frac{4999,882 T^{0,196}}{(t + 34,462)^{0,986}}$$

Onde:  $i_m$  = é a intensidade máxima média de precipitação, mm.h-1; T = período de retorno, em anos; t = duração da precipitação.

Para a estimativa do Número de Curvas foram adotados os critérios recomendados pelo Soil Conservation Service [10], para uso e tratamento com ocupação agrícola e urbana em condições AMCIII, de maior umidade antecedente do solo simulando assim, maior saturação do solo e, por conseguinte, maior probabilidade de ocorrer escoamento superficial.

Na caracterização dos tipos de solo foi adotada a proposta de Lombardi Neto, Bellinazzi Júnior, Galeti, Bertolini, Lepsch, Oliveira [11], utilizando os perfis do solo do levantamento pedológico, escala 1:10.000 fornecido pelo Projeto GEPARMBH [2] e dos dados da taxa de infiltração obtidos por Ottoni [12] para as classes de solos de maior ocorrência nas das duas bacias.

Por fim, a partir do resultado das perdas de solo e do SDR calculado, podemos estimar a produção de sedimentos nas duas bacias por meio da seguinte equação:

$$Y = SDR(\%) \cdot A \cdot A_b (km^2)$$

Onde: Y = produção de sedimentos (Mg.km<sup>2</sup>); SDR= índice de transferência de sedimentos ou sediment delivery ratio, adimensional; A= perda de solo (Mg.ano-1.ha-1);  $A_b$ =área da bacia (km<sup>2</sup>).

## Resultados

A perda média anual estimada de solo na bacia de Santa Maria foi de 1467,12 Mg. ha-1. ano-1 e na Bacia de Cambiocó de 2307,95 Mg. ha-1. ano-1 (figura 1). De acordo com a geomorfologia da área, a diferença nos resultados entre as duas microbacias corresponde a um valor de 90% demonstrando uma acurácia na previsão das perdas de solo. Além disso, corroboram, ainda, na justificativa o valor de erosividade das chuvas estimado,

igual a 6.260 MJ.mm.ha-1.h-1 considerado alto, a predominância de relevos forte ondulado e montanhoso; o valor médio de erodibilidade dos solos de 0,030 Mg.ha.ano.MJ-1.mm-1 e ao uso dos solos predominantemente com pastagem e pela ausência de adoção de práticas conservacionistas nas duas bacias estudadas.

No cálculo do SDR os resultados dos parâmetros analisados pelo método do Forest Service [1] para as bacias estudadas estão demonstrados na Tabela 1. Na estimativa do fator de escoamento, os resultados obtidos pelo método de Pruski, Ferreira, Ramos and Cecon [8] estão demonstrados na Tabela 2. Na composição do CN médio foi utilizada a condição hidrológica “má” para pastagem de acordo com as baixa produtividade verificada nas duas bacias e para a mata devido à ausência de serrapilheira. Já para as culturas anuais, foi utilizada a condição hidrológica boa associando o plantio em curvas de nível que tem sido introduzido pela Embrapa nestas áreas. Nas áreas urbanas utilizou-se o CN para zonas residenciais com lotes menores do que 500m<sup>2</sup>. Para áreas de afloramentos rochosos o valor de CN foi máximo enquanto nos corpos d’água o valor de CN foi mínimo. Todos os valores de CN assim obtidos foram convertidos para CN correspondente à umidade antecedente AMCIII.

A intensidade máxima média de precipitação obtida foi de 20,73mm para uma duração de chuva de 6,18 horas o que resultou numa precipitação total de 130,46mm. A partir destes resultados foram estimados valores de precipitação excedente iguais a 13,42 mm/h e 13,50 mm/h, que convertidos para a unidade americana (polegada/hora) resultaram em 0,52 in/h, para a bacia de Santa Maria e 0,53 in/h, para a bacia de Cambiocó. Estes valores quando aplicados na obtenção do fator de escoamento, resultaram nos valores 1,55 e 2,89 para as duas bacias respectivamente. No método, valores maiores do que 0,1 devem ser considerados como 0,1, o qual, foi, portanto, plotado nos diagramas (Figura 1 e 2) das duas bacias.

## Discussão

Os resultados de produção de sedimentos estimados de 126.583 Mg para a bacia de Santa Maria e de 175.589 Mg para bacia de Cambiocó (figura 3) refletem os altos valores de perda de solo estimados pelo modelo USLE e as características fisiográficas relacionadas principalmente aos percentuais de declividades, na faixa de 30% na bacia de Santa Maria e de 40% na bacia de Cambiocó, a um fator de escoamento máximo e aos baixos percentuais de mata.

A maior produção de sedimentos na bacia de Cambiocó conforme demonstrado na figura quatro esta relacionada aos percentuais de maiores declives e das formas convexas quando comparada à bacia de Santa Maria.

A aplicação do método elaborado por Pruski, Ferreira, Ramos and Cecon [8] para estimar a o escoamento superficial depende da existência de

equações de chuvas intensas desenvolvidas para a área de estudo. Na composição do CN médio, a maioria das classes de solos identificadas nas duas bacias foi classificada como tipo D refletindo a pouca profundidade identificadas nas classes de solos de maior ocorrência: Cambissolos e Neossolos Litólicos; a textura superficial média verificada em grande parte dos perfis de solos e, na classe dos Planossolos a relação textural abrupta. Esta classificação foi reforçada pelos valores de taxa de infiltração obtidos por Ottoni [12], de 2,0 mm/h.

O modelo preditivo de erosão USLE e o índice SDR podem contribuir para o gerenciamento das ações mitigadoras do processo erosivo em bacias hidrográficas.

## Agradecimentos

Agradeço ao colega José Ronaldo de Macedo por possibilitar meus estudos na área do Projeto GEPARMBH, sob sua coordenação.

## Referências

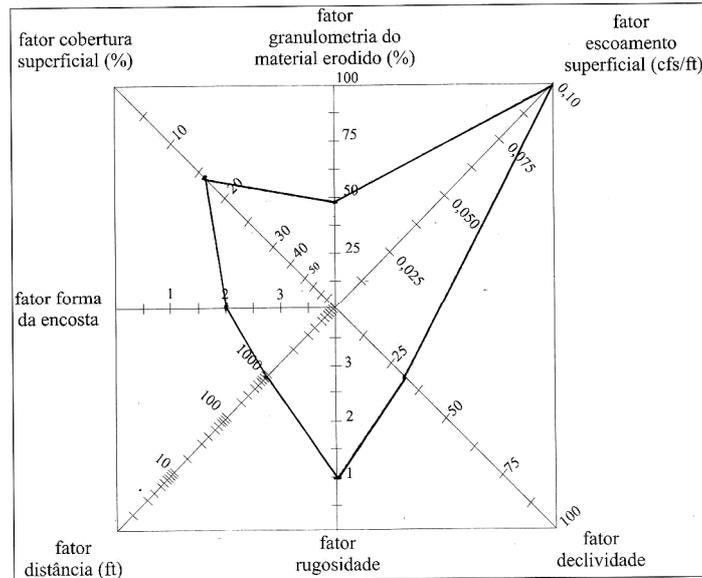
- [1] FOREST SERVICE. 1980. “An Approach to Water Resources Evaluation of Non-Point Silvicultural Sources” (a procedural handbook). Environmental protection Agency (EPA-600/8-80-012).
- [2] EMBRAPA. 2003. “Relatório 1 do Projeto Gestão Participativa da Bacia do Rio São Domingos GEPARMBH”, IN: *Edital CT-HIDRO/FINEP-MCT 02/2002*.
- [3] CHAVES, H. M. L. 1996. “Modelagem matemática da erosão hídrica: Passado, presente e futuro”, IN: *O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado*. Org. por ALVAREZ, V. H.; FONTES, V. L. E. E FONTES, M. P. F. SB CS ed. UFV, Viçosa, p.730-750.
- [4] WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. 1978. “Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning, in *Agricultural Handbook*, 537. USDA, Washington, D.C, 57 p.
- [5] DENARDIN, J. E. 1990. *Erodibilidade de solo estimada por meio de parâmetros físicos e químicos*. Tese de Doutorado, USP, Piracicaba – SP, 81 p.
- [6] LEVY, M. C. T. C. 1995. *Avaliação de cenários da produção agrícola visando a sustentabilidade do uso das terras de Piracicaba (SP)*. Dissertação de Mestrado, USP, Piracicaba, 104 p.
- [7] DESMET, P. J. J.; GOVERS. G. 1996. A GIS procedure for automatically calculating LS factor on topographically complex landscape units. *Journal of Soil and Water Conservation*, 1.51: 427-433.
- [8] PRUSKI, F. F.; FERREIRA, P. A.; RAMOS, M. M.; CECON, P. R. 1997a. A model to design terraces. *Journal of Irrigation and drainage engineering*, 123:8-12.
- [9] SILVA, D. D.; PINTO, F. R. L. P.; PRUSKI, F. F.; PINTO, P. A. 1999a. Estimativa e espacialização dos parâmetros da equação de intensidade- duração-frequência da precipitação para os Estados do Rio de Janeiro e Espírito Santo. *Revista de Engenharia Agrícola*, SBEA, Jaboticabal, SP, 18: 11-21.
- [10] USDA. 1972. “Hydrology” in, *National engineering handbook - Section 4*, org. USDA: Soil Conservation Service. 24p
- [11] LOMBARDI NETO, F.; BELLINAZZI JÚNIOR, R.; GALETI, P. A.; BERTOLINI, D.; LEPSCH, I. F.; OLIVEIRA, J. B. 1989. “Nova abordagem para cálculo de espaçamento entre terraços” in: *Simpósio sobre terraceamento agrícola*. Campinas, Fundação Cargill. pp. 99-124
- [12] OTTONI, M. 2005. *Classificação físico-hídrica de solos e determinação da capacidade de campo in situ a partir de testes de infiltração*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro – COPPE, RJ. 141p.
- [13] SCHWAB, G.O.; FREVERT, R.K.; EDMINSTER, T.W. & BARNES, K.K. 1981. *Soil and Water Conservation Engineering*. 3 ed. New York, John Wiley & Sons. 525p.

**Tabela 1.** Resultados obtidos dos parâmetros analisados pelo Método do Diagrama do Forest Service [1] para o cálculo do SDR.

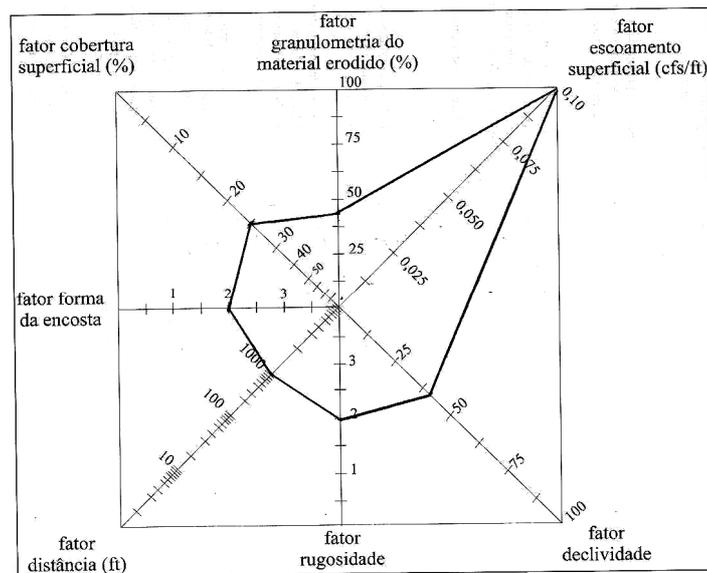
Bacia	Formas convexas (%)	Declividade média (%)	cobertura vegetal (%)	Teor de silte e de argila (%)	Índice de rugosidade	Fator de escoamento
Santa Maria	44,87	30,7	16,25	46,55	1076,05	0,1
Cambiocó	47,83	40,8	24,56	42,53	739,0	0,1

**Tabela 2.** Resultados obtidos para o fator de escoamento pelo Método de Pruski, Ferreira, Ramos and Cecon [8] (Período de retorno de 10 anos de acordo com Schwab, Frevert, Edminster, Barnes [13] para projetos de conservação).

Bacias	solos	CN	Taxa de infiltração (mm/h)	im (mm)	Duração da chuva (h)	PT (mm)	S (mm)	Abstrações iniciais - Ia (mm)	volume de escoamento (mm)	Precipitação excedente (mm/h)
Santa Maria	D	93,6	2,0	20,73	6,18	130,46	17,66	3,53	84,48	13,42
Cambiocó	D	94	2,0	20,73	6,18	130,46	17,66	3,01	84,99	13,50

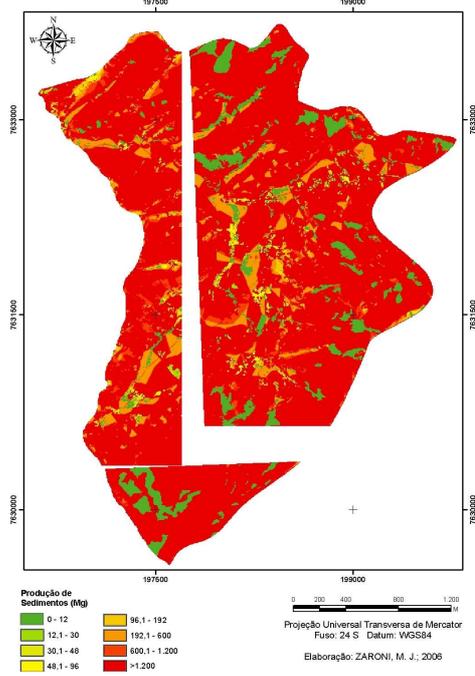


**Figura 1.** Diagrama apresentando os resultados obtidos dos parâmetros do Método do Forest Service [1] na Bacia de Santa Maria



**Figura 2.** Diagrama apresentando os resultados obtidos dos parâmetros do Método do Forest Service [1] na bacia de Cambiocó.

MAPA DE PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS GERADO A PARTIR DO SOFTWARE USLE2D DA BACIA HIDROGRÁFICA DE SANTA MARIA - SÃO JOSÉ DE UBÁ/RJ - 2006



MAPA DE PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS GERADO A PARTIR DO SOFTWARE USLE2D DA BACIA HIDROGRÁFICA DE CAMBIOCÓ - SÃO JOSÉ DE UBÁ/RJ - 2006

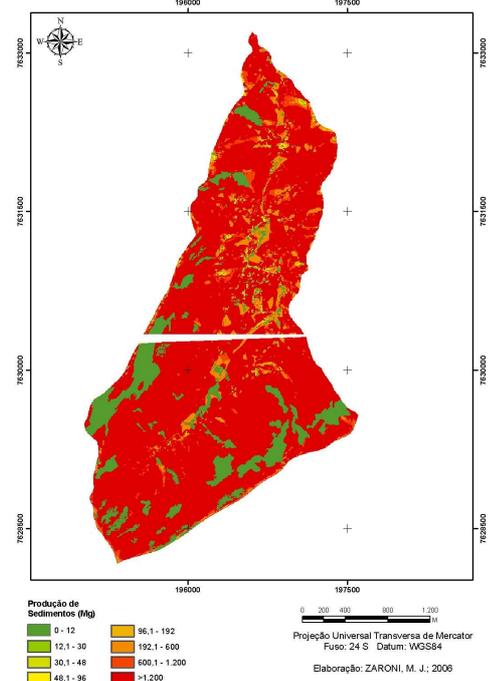


Figura 3. Espacialização da Produção de sedimentos (Mg.ano<sup>-1</sup>) nas bacias de Santa Maria e de Cambiocó.

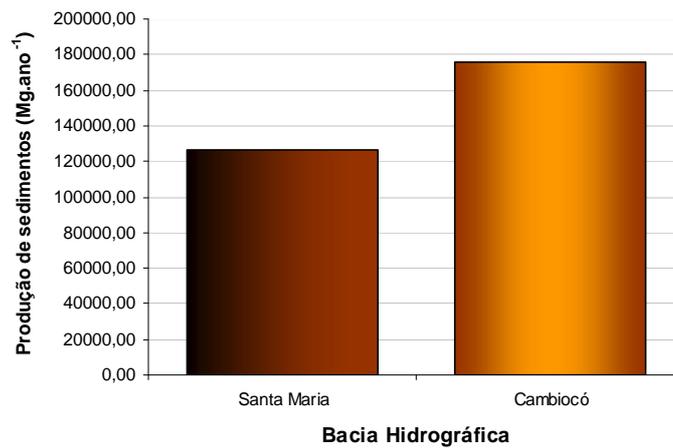


Figura 4. Produção de sedimentos (Mg.ano<sup>-1</sup>) total nas bacias de Santa Maria e de Cambiocó