

# ESPAÇIALIZAÇÃO DOS SEDIMENTOS PRODUZIDOS NA PARTE INICIAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARDO – BOTUCATU/SP

Luís Gustavo Frediani LESSA<sup>1</sup>, Alessandra Fagioli da SILVA<sup>2</sup>, Ronalton Evandro MACHADO<sup>3</sup> e Célia Regina Lopes ZIMBACK<sup>4</sup>

(1) Geólogo, Doutor em Agronomia, Prof. Doutor da Universidade Estadual Paulista - UNESP, Faculdade de Ciências Agronômicas – FCA, Departamento de Solos e Recursos Ambientais, Rua José Barbosa de Barros, 1780, C.P. 237, CEP 18610-307, Botucatu/SP, Brasil. Endereço eletrônico: luisgustavo\_lessa@yahoo.com.br.

(2) Engenheira Agrônoma, Doutoranda em Agronomia, Profa da Universidade Estadual do Norte do Paraná – CLM/UENP, Departamento de Engenharia Rural, Rodovia BR-369 Km 54, Vila Maria, C.P. 261, CEP 86360-000, Bandeirantes/PR, Brasil. Endereço eletrônico: alefagioli@hotmail.com.

(3) Eng. Agrícola, Prof. Doutor da Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, Faculdade de Tecnologia – FT, Divisão de Tecnologia em Construção de Edifícios e Estradas, Rua Paschoal Marmo, 1888, Jd. Nova Itália, CEP 13484-332, Limeira/SP, Brasil. Endereço eletrônico: machado@ft.unicamp.br.

(4) Engenheira Agrônoma, Profa Adjunta da Universidade Estadual Paulista - UNESP, Faculdade de Ciências Agronômicas – FCA, Departamento de Solos e Recursos Ambientais, Rua José Barbosa de Barros, 1780, C.P. 237, CEP 18610-307, Botucatu/SP, Brasil. Endereço eletrônico: czimback@fca.unesp.br.

Introdução  
Material e Métodos  
Resultado e Discussão  
Conclusões  
Agradecimentos  
Referências Bibliográficas

**RESUMO** - A produtividade dos solos tem diminuído constantemente, devido à ação da erosão hídrica e ao emprego de técnicas inadequadas de uso e manejo do solo. Diante deste cenário, o objetivo do trabalho foi verificar a dependência espacial da produção de sedimentos localizados na parte inicial da bacia hidrográfica do Rio Pardo - SP, durante os anos de 1995 até 1999, nas sub-bacias geradas pelo modelo SWAT 2009, utilizando-se geoestatística. Foi confeccionada uma malha de amostragem irregular e georreferenciada com 43 pontos localizados na parte central de cada sub-bacia, para representar a quantidade de sedimentos produzida em cada sub-bacia e pela técnica de geoestatística, verificou-se a dependência espacial e a confecção de mapas de isolinhas utilizando-se a krigagem ordinária. Observou-se que a produção de sedimentos apresentou dependência espacial, ajustando-se ao modelo esférico de variograma e com valores de alcance próximos. O ano de 1998 apresentou a maior quantidade de sedimentos produzidos e o ano de 1999 a menor quantidade. Para todos os anos, a parte leste da bacia do Rio Pardo, foi a que apresentou as maiores concentrações de sedimentos.

**Palavras-chave:** erosão, geoestatística, krigagem.

**ABSTRACT** - The soil productivity has been steadily declining constantly, due the action of erosion and inappropriate techniques use and soil management. In this scenario, the objective of the study was to determine the spatial dependence of sediment production located in the initial part of the watershed Pardo River - SP, during the years 1995 to 1999, in the sub-basins generated by SWAT 2009 model, using geostatistical tool. It was made a sampling by an irregular grid with 43 points located in the initial part of each sub-basin to represent the amount of sediment produced in each sub-basin and by geostatistical technique; it was found spatial dependence and was made contour maps using ordinary kriging. It was observed that the production of sediments showed spatial dependence, adjusting to the spherical model variogram and range near values. The year 1998 had the highest amount of sediment produced and in 1999 the smallest amount. For all years, the east part of the Rio Pardo basin was that presented the highest sediment concentrations.

**Keywords:** erosion, geostatistics, kriging.

## INTRODUÇÃO

Constatou-se que a produtividade dos solos tem diminuído ano a ano, devido à ação da erosão hídrica e ao emprego de técnicas inadequadas de uso e manejo do solo, as quais tendem a carrear as camadas férteis de solo para os rios, assoreando-os.

Segundo Zachar (1982), a erosão hídrica é causada pela chuva e pelo escoamento superficial e que é afetada por um grande número de agentes naturais e antrópicos e, para

Mota (1995), as práticas agrícolas inadequadas são uma dentre outras causas que favorecem a erosão acelerada.

Conforme afirmaram Bertoni & Lombardi Neto (1990), o escoamento da água na superfície é o maior agente de transporte das partículas de solo. A água que escorre ganha energia pelo aumento de massa no seu movimento, ou pelo aumento de velocidade que adquire por uma rápida mudança na declividade

do terreno, e será máxima quando estiver transportando quantidade suficiente de material abrasivo para desprender a maior quantidade de partículas que a enxurrada pode transportar.

Desta forma, o transporte de sedimentos é um processo natural que envolve remoção, transporte e deposição de material e faz parte da evolução da paisagem originando as formas geomorfológicas (Santos et al., 2001).

Monitorar as perdas de solo por erosão hídrica é imprescindível ao manejo adequado das atividades agrícolas e deve ser feito por comparação com os limites estabelecidos pela tolerância de perdas (Martins et al., 2003).

Ainda, segundo os mesmos autores, a *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAO), em uma publicação de 1967, admite perdas da ordem de  $12,5 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , para solos profundos, permeáveis e bem drenados;  $2 \text{ a } 4 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , para solos rasos ou impermeáveis e, para outros solos, admite perdas intermediárias àqueles limites. A avaliação das perdas de solo e água assume importância fundamental na escolha e adoção de práticas que visem minimizar a degradação do solo.

Como este monitoramento envolve tempo, recursos humanos e financeiros, Tucci (2001) comentou que surgem os modelos hidrológicos para representar e entender o comportamento ambiental das bacias hidrográficas e que, para Avanzi et al. (2008), a simulação realizada por modelos hidrológicos permite otimizar o tempo sendo útil para aplicação imediata.

Assim, a modelagem hidrológica integrada ao Sistema de Informação Geográfica (SIG) no estudo de bacias hidrográficas permite a realização de um grande número de operações, como projeto, calibração, simulação e comparação entre os modelos. O uso do SIG permite, portanto, subdividir a bacia hidrográfica em subáreas homogêneas (Calijuri et al., 1998).

Entre esses modelos que simulam a produção de água e sedimentos tem-se o *Soil*

*and Water Assessment Tool* (SWAT) desenvolvido na *Agricultural Research Service* (ARS – órgão ligado ao *United States Department of Agriculture* - USDA) e é uma ferramenta de domínio público (Neitsch et al., 2002).

O modelo foi desenvolvido para verificar os efeitos resultantes das modificações do uso e da ocupação do solo sobre a produção/contribuição de sedimentos da bacia hidrográfica para o sistema, bem como no escoamento superficial e subterrâneo (Arnold et al., 1998).

Aplicações de modelos matemáticos e estatísticos têm explicado o comportamento dos fenômenos que ocorrem na natureza. Dentre as técnicas estatísticas utilizadas para análise de dados climáticos, encontra-se a geoestatística, cuja característica principal é a análise da dependência espacial entre as observações, determinando, por intermédio de variogramas, a distância de dependência entre elas (Silva et al., 2003). Para Guimarães (2001), os fenômenos naturais apresentam-se de maneira frequente com certa estruturação nas variações entre vizinhos. Desta forma pode-se dizer que as variações não são aleatórias e, portanto, apresentam algum grau de dependência espacial.

O preditor da krigagem permite a descrição do comportamento de um atributo dentro da área estudada e permite mapeamento detalhado e qualificado. Portanto, a krigagem pode ser usada para gerar uma superfície contínua do solo, expressa através de mapas de variabilidade espacial (Vieira, 2000).

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi verificar a dependência espacial da produção de sedimentos localizados na parte inicial da bacia hidrográfica do Rio Pardo - SP, geradas pelo SWAT 2009, entre os anos de 1995 e 1999, para a distribuição espacial dos dados pela técnica de geoestatística.

## MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo compreende a parte inicial da bacia hidrográfica do Rio Pardo, definida desde a nascente do Rio Pardo, no município de

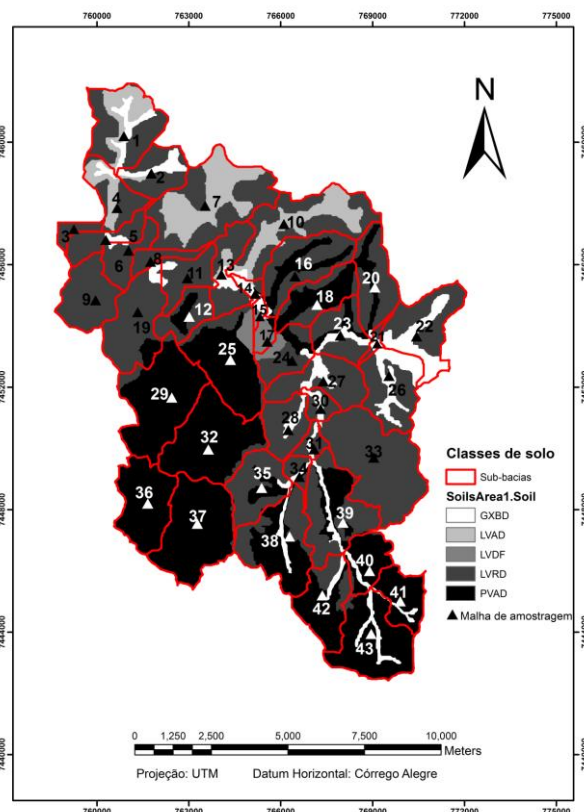
Pardinho – SP, até o local de captação de água pela Companhia de Saneamento Básico do

Estado de São Paulo - SABESP, no município de Botucatu – SP.

Segundo o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT (1981), na região afloram duas formações geológicas: na parte mais alta acompanhando o divisor de águas da bacia aparecem arenitos mais resistentes ao intemperismo, pertencentes ao Grupo Bauru, Formação Marília e, nas áreas inferiores do relevo, formando uma faixa

relativamente estreita, margeando os cursos d'água, rochas basálticas do Grupo São Bento, Formação Serra Geral.

Os solos que ocorrem na área, Figura 1, são: Latossolo Vermelho Distrófico (LVRD), Latossolo Vermelho Distroférrico (LVDF), Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico (PVAD), Gleissolo Háptico Distrófico (GXBD) e Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico (LVAD) (Zimback, 1997).



**Figura 1.** Mapa de solos com malha de amostragem e localização das 43 sub-bacias definidas pelo SWAT, na parte inicial da bacia do Rio Pardo.

O clima da região, segundo Carvalho & Jim (1983), pertence à classe Cwa, cuja classificação de Köppen corresponde a um clima mesotérmico, com estação mais seca no inverno, com temperaturas médias anuais em torno de 20°C e índice pluviométrico entre 1.100 e 1.700 mm anuais.

Os dados iniciais necessários para se processar as informações no modelo SWAT 2009 compreendem os Planos de Informações (PIs) e dados alfanuméricos que serão manuseados por uma interface apropriada entre o SIG e o modelo hidrológico SWAT 2009.

Os Planos de Informações (PIs) necessários são: o Modelo Numérico do Terreno (MNT), o

Mapa de Uso do Solo e o Mapa de Solos e como dados alfanuméricos, os parâmetros físicos e químicos do solo e os dados climáticos.

Os dados de solo foram digitados diretamente no banco de dados do modelo e os parâmetros foram: número de camadas do solo, grupo hidrológico, profundidade das camadas, máxima profundidade da raiz no perfil do solo, densidade do solo, fração de porosidade, capacidade de água disponível, condutividade hidráulica saturada, fator erodibilidade do solo, porcentagem de partículas (areia, silte, argila e fragmentos de rochas), albedo e carbono orgânico.

Com relação aos dados climáticos são necessários parâmetros diários de: temperatura mínima do ar, temperatura máxima do ar, precipitação, radiação solar, velocidade do vento e umidade relativa. Estes dados foram coletados no período de 01 de janeiro de 1995 a 31 de dezembro de 1999, por equipamentos instalados na Faculdade de Ciências Agrônomicas / UNESP / Câmpus de Botucatu.

Do processamento das informações geradas pelo SWAT 2009, para o período de 1995 até 1999, têm-se um relatório com as informações de várias variáveis, dentre elas a de interesse, que corresponde à quantificação da produção de sedimentos ( $t\ ha^{-1}$ ) para cada sub-bacia definidas pelo modelo.

Como o SWAT 2009 divide as sub-bacias em função da área limite de captação da água (*threshold*) fornecidas para o modelo, que contribuirão para a formação de um canal

hidrográfico (Figura 1), foi estabelecido para melhor representação dos valores de produção de sedimentos, que a parte central de cada sub-bacia e não mais a sua foz, representaria os valores de produção de sedimentos em cada sub-bacia. Do resultado desse procedimento originou-se uma malha de amostragem representada de forma irregular e georreferenciada com 43 pontos localizados na parte central de cada sub-bacia representando a quantidade de sedimentos produzida.

Os dados de sedimentos ( $t\ ha^{-1}$ ) foram analisados pela técnica geoestatística, que foi utilizada para verificar a existência e quantificar o grau de dependência espacial, a partir do ajuste de funções teóricas aos modelos de variogramas experimentais, com base na pressuposição de estacionaridade da hipótese intrínseca e conforme equação (1), proposta por Vieira et al. (1983), segundo:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (1)$$

Onde:

$\gamma(h)$  = variograma experimental ou variograma de amostras;

$N(h)$  = número de pares experimentais de observações  $Z(x_i)$ ,  $Z(x_i+h)$ , separados por um vetor  $h$ ;

$Z(x_i)$  e  $Z(x_i + h)$  = pares de dados que pertencem a uma classe de distância.

Do ajuste dos modelos teóricos aos variogramas experimentais determinaram-se os

coeficientes efeito pepita ( $C_0$ ), patamar ( $C_0 + C$ ) e alcance ( $A_0$ ). Para verificar a dependência espacial foi utilizado um índice de dependência espacial (IDE), proposto por Zimback (2001). Para estimar valores de sedimentos em locais não amostrados e confeccionar os mapas de isolinhas, utilizou-se a krigagem ordinária. A análise geoestatística, bem como as interpolações, foi realizada no software  $GS^+$  9.0 (Robertson, 2008).

## RESULTADO E DISCUSSÃO

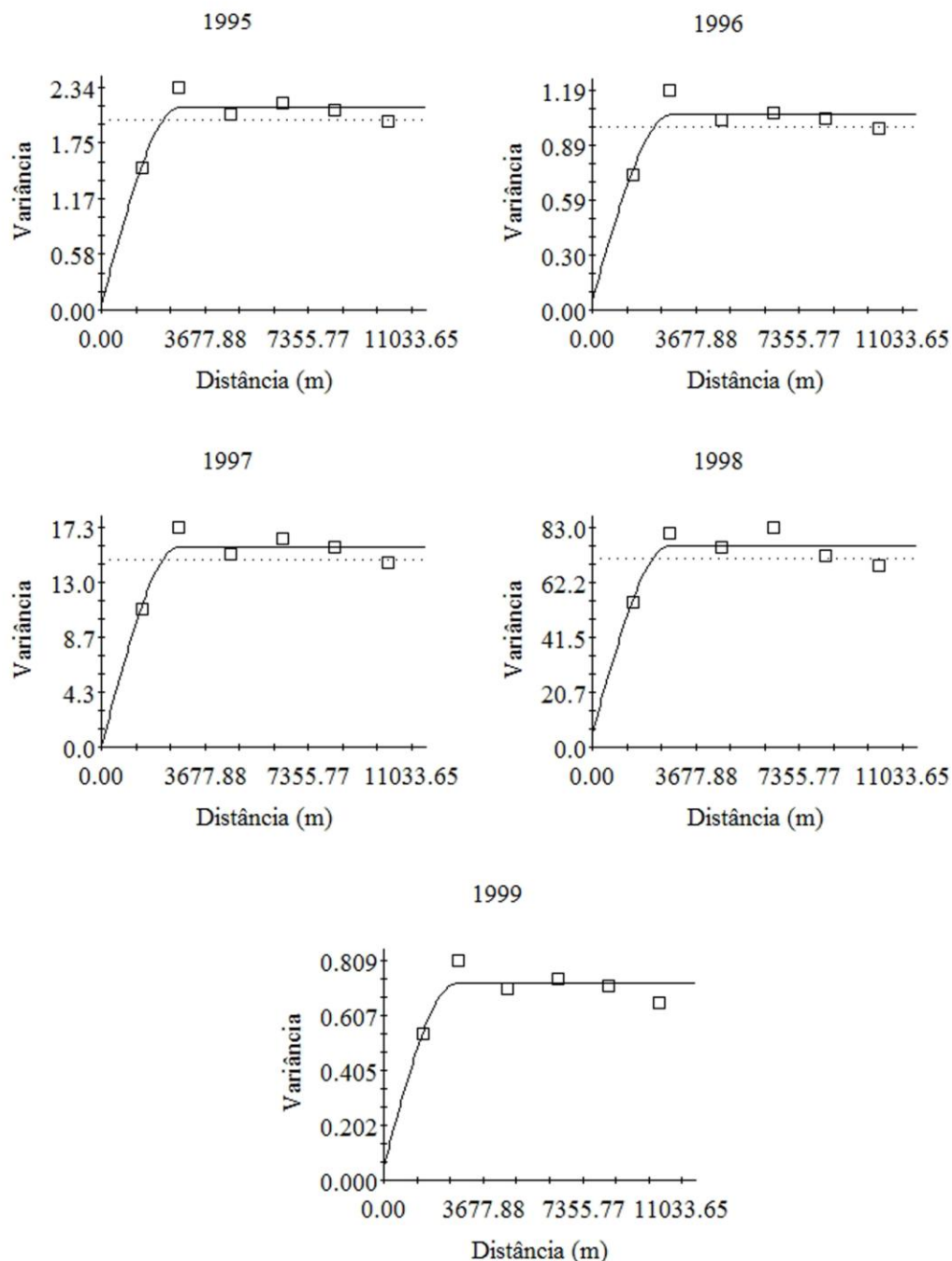
Da análise da Tabela 1 e Figura 2, observou-se que a taxa de produção de sedimentos da parte inicial da bacia do Rio Pardo nos anos de

1995 a 1999 apresentou estrutura espacial ajustando-se ao modelo esférico.

**Tabela 1.** Modelo e parâmetros dos variogramas dos sedimentos produzidos ( $t\ ha^{-1}$ ) anual, da parte inicial da bacia do Rio Pardo

Sedimentos	Modelo	Alcance (m)	$C_0$	$C_0+C$	IDE (%)
1995	Esférico	2790,00	0,056	2,128	97
1996	Esférico	2820,00	0,054	1,055	95
1997	Esférico	2800,00	0,010	15,79	99
1998	Esférico	2770,00	5,30	75,99	93
1999	Esférico	2690,00	0,051	0,724	93

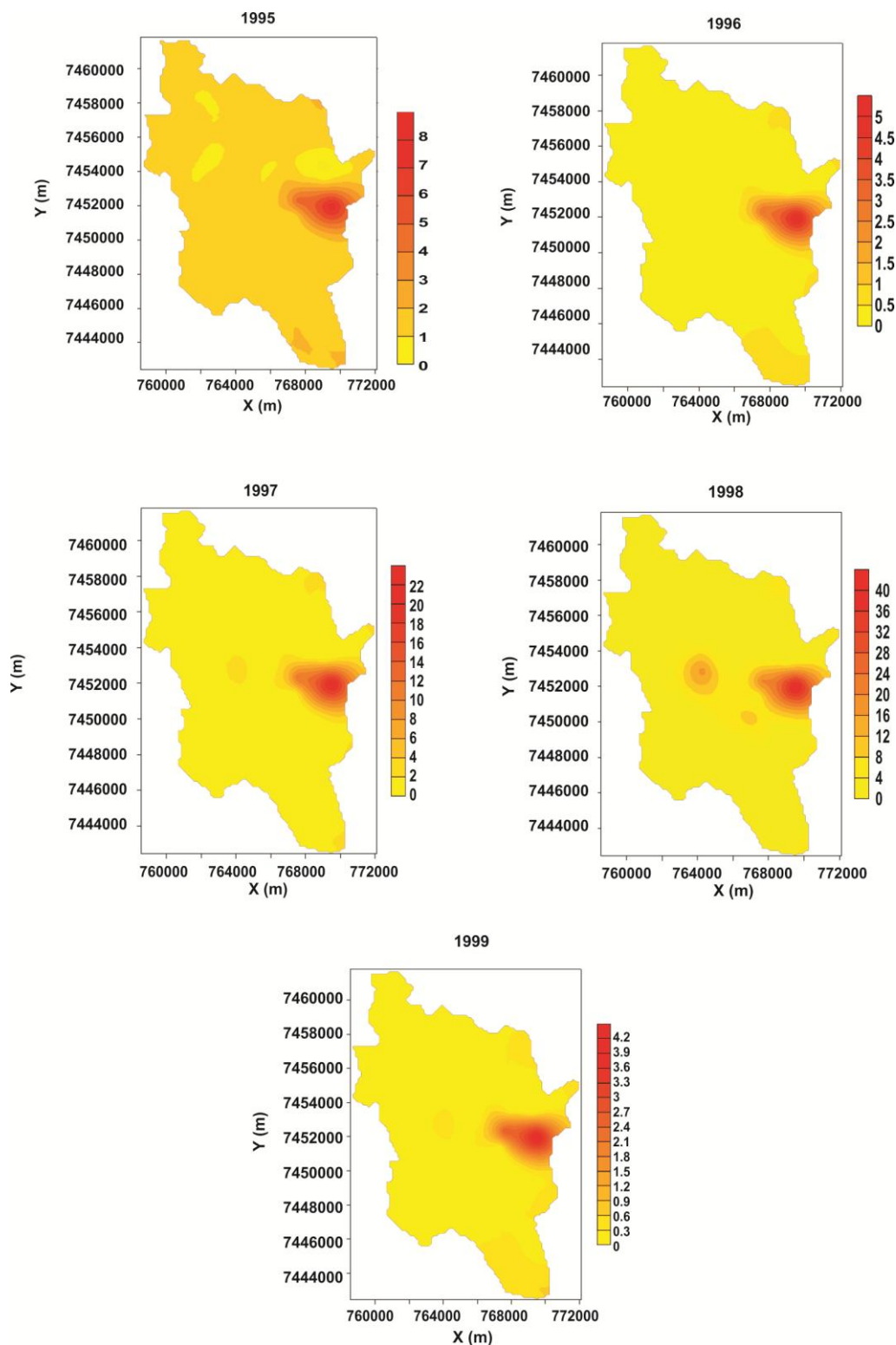
Alcance ou ( $A_0$ ), em metros;  $C_0$ : efeito pepita;  $C_0+C$ : patamar; IDE: índice de dependência espacial (%).



**Figura 2.** Variogramas da quantidade de sedimentos produzidos ( $t\ ha^{-1}$ ), na parte inicial da bacia do Rio Pardo, durante os anos de 1995 a 1999.

A taxa de produção de sedimentos para o ano de 1999 apresentou o menor alcance (2.690,00 m) e o ano de 1996 o maior alcance (2.820,00 m) e em termos gerais, todos os anos tiveram valores de alcance muito próximos, resultando num comportamento semelhante entre os mapas interpolados por krigagem, principalmente se for considerado os teores referentes aos maiores valores de produção de sedimentos (Figura 3).

A Figura 3 apresenta a distribuição espacial dos sedimentos produzidos nas sub-bacias definidas pelo SWAT 2009, na qual, o ano de 1998 foi o que apresentou a maior quantidade de produção de sedimentos ( $t\ ha^{-1}$ ), com variação de  $0,0\ t\ ha^{-1}$  até  $44,0\ t\ ha^{-1}$  e o ano de 1999 a menor produção, com variação de  $0,0\ t\ ha^{-1}$  até  $4,5\ t\ ha^{-1}$ , conotando alta variação na quantidade de sedimentos produzidos entre os cinco anos de estudo.



**Figura 3.** Mapas da distribuição espacial da produção de sedimentos ( $t\ ha^{-1}$ ), na parte inicial da bacia do Rio Pardo, nos anos de 1995 a 1999.

Bertoni & Lombardi Neto (1990) comentaram que os eventos erosivos que se manifestam em determinada área sofrem influências dos fenômenos da precipitação, da variação espacial das ocorrências dos solos, da cobertura vegetal e da morfologia do terreno.

Como as informações do relevo fornecidas pelo Modelo Numérico do Terreno (MNT), uso

e cobertura do solo pelo Mapa de Uso do Solo, e os parâmetros físicos e químicos do solo são as mesmas observadas para todos os cinco anos de estudo, em uma primeira análise pode-se dizer que, esta variação da quantidade de sedimentos produzida pode estar relacionada com os dados climáticos da área, como: temperatura mínima do ar, temperatura máxima

do ar, precipitação, radiação solar, velocidade do vento e umidade relativa.

Com relação aos dados climáticos, a precipitação é a mais importante entre os fatores elencados, no que diz respeito à produção de sedimentos, pois, tem influência direta no escoamento superficial, o que acarreta em maior probabilidade para a produção de sedimentos. O mesmo é relatado por Cogo et al. (1984), Bertoni & Lombardi Neto (1990), Tucci (1998, 2001), Engel et al. (2007) e outros.

Mas, verificando-se dos registros da precipitação média para os anos de estudo, observou-se que no ano de 1995 foi de 1.767,60 mm; em 1996 foi de 1.468,50 mm; em 1997 foi de 1.682,50 mm; em 1998 de 1.491,00 mm e em 1999 foi de 1.281,20 mm. Isto demonstra que a precipitação apresenta um comportamento relativamente constante, o que não justificaria a elevada taxa de produção de sedimentos para os anos de 1997 e 1998.

Então, em uma segunda análise, pode-se dizer que é a cobertura vegetal que está desempenhando maior influência no processo de produção de sedimentos na bacia, já que o relevo comportou-se relativamente constante no período de estudo.

Do mapa de distribuição espacial da produção de sedimentos (Figura 3), observa-se que as sub-bacias 23, 24, 27, 30 e 33 (Figura 1), estão representando as áreas com maiores taxas de produção de sedimentos para os cinco anos de estudo, o que é caracterizado pelas cores mais escuras localizadas na região leste da bacia hidrográfica.

Da análise do Mapa de Uso do Solo observou-se que nesta região há ocorrência das culturas de cana-de-açúcar, feijão, milho e áreas com pastagem.

As áreas representadas pelas sub-bacias 25, 29 e 32, Figura 1, também estão contribuindo, porém, com valores menores de produção de sedimentos, principalmente nos anos de 1997, 1998 e 1999 (Figura 3). O ano de 1998 destaca-se dentre os outros dois com produção anual variando de 8,0 a 20,0 toneladas.

A cobertura vegetal verificada nas áreas para os maiores valores de produção de sedimentos distribui-se com a seguinte proporção:

- sub-bacia 23, cultura de feijão com 62,90%, pastagem 27,97% e cana-de-açúcar 9,13% da área;

- sub-bacia 24, cana-de-açúcar 52,58%, cultura de feijão 24,95% e pastagem 22,47% da área;

- sub-bacia 27, predominaram as plantações com feijão 59,87%, seguido de cana-de-açúcar 29,03% e pastagem 11,10% da área;

- sub-bacia 30, plantações de cana-de-açúcar com 40,28% e feijão 23,50%. Ocorrem também áreas com mata 21,17% e pastagem 15,06% da área;

- sub-bacia 33, cana-de-açúcar com 49,56% e plantações de milho 33,65%. Apresentou em menores quantidades presença de pastagem com 16,79% da área.

Dos resultados pode-se inferir que, para estas áreas com os maiores valores de produção de sedimentos, a cobertura vegetal e o manejo solo são os fatores ativos, principalmente com relação ao manejo do solo para as culturas de feijão e milho, cuja etapa para o preparo do solo é um facilitador no aumento da produção de sedimentos, o qual fica exposto e vulnerável a ação das chuvas favorecendo o escoamento superficial.

Conforme relatos de Panachuki et al. (2011), nas bacias hidrográficas, as técnicas de manejo do solo influenciam fortemente a erosão hídrica das áreas cultivadas, pois, acarretam em alterações no micro-relevo e na cobertura por resíduos vegetais e que, os tratamentos submetidos à semeadura direta sem cobertura do solo e sob preparo com grade aradora apresentaram as maiores perdas de solo, pois, promovem exposição da superfície do solo à ação da chuva e da enxurrada.

A mesma idéia é defendida por Bagatini et al. (2011) que relataram que as perdas de solo estão relacionadas com as condições físicas do solo, as quais dependem de como o solo e a cultura são manejados, pois dependendo de suas propriedades físicas, estas influenciarão na capacidade de infiltração e retenção superficiais da água da chuva, na resistência do solo à ação erosiva da chuva e enxurrada, na percolação da água no perfil do solo, promovendo maior ou menor produção de sedimentos e água por erosão hídrica.

Para as áreas com menores taxas de produção de sedimentos, região central da bacia hidrográfica, a variação na taxa observada foi devida estas áreas ocorrerem sobre Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico (PVAD), Figura

1, e que toda área é cultivada na sua maioria com predominância da cultura de cana-de-açúcar.

A cobertura verificada nesta região e o tipo de ocorrência de solo foram distribuídos na seguinte proporção:

-sub-bacia 25, 72,06% de área cultivada com cana-de-açúcar e 81,27% da área está sobre Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico;

- sub-bacia 29, 51,08% de área cultivada com cana-de-açúcar e 98,04% da área está sobre Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico;

- sub-bacia 32, 59,00% de área cultivada com cana-de-açúcar e 100,00% da área está sobre Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico.

Os demais usos do solo verificado na região variam entre pastagem e áreas de reflorestamento e quanto ao solo, observam-se ocorrências locais de solos variando de Latossolo Vermelho Distroférico (LVDF) e Latossolo Vermelho Distrófico (LVRD).

A unidade de Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico são mais suscetíveis à erosão e, que de acordo com Lepsch (2010), prestam-se relativamente bem para a agricultura, desde que não estejam situados em áreas montanhosas, com fortes declives, pois, nessas condições, estão sujeitos à erosão e que a suscetibilidade à

erosão é maior quando o horizonte A é arenoso, com aumento abrupto de argila em profundidade.

Silva & Avides (2005), reunindo informações de revisão bibliográfica, de valores de erodibilidade para este tipo de solos ocorrentes no Estado de São Paulo, encontraram na literatura que 78% são considerados de alta erodibilidade, 22% de média erodibilidade e nenhum valor de baixa erodibilidade, sendo que em razão da média dos valores encontrados, o Argissolo foi então enquadrado, na classe de erodibilidade alta.

Com relação à cobertura vegetal ocorrente sobre estes solos na área, Bezerra & Cantalice (2009) avaliaram a eficiência das diferentes formas de cobertura do solo proporcionadas pela cana de açúcar quanto às taxas de desagregação do solo e observaram que, para o tratamento referente ao efeito somado do dossel mais a palha, que a palha aumenta a rugosidade e diminui o impacto das gotas de chuva, enquanto, o dossel aumenta a infiltração de água no solo pela interceptação proporcionada, constituindo essa associação uma ótima forma de manejo, reduzindo as taxas de perdas de solo por erosão hídrica.

## CONCLUSÕES

A produção de sedimentos quantificados na parte inicial da bacia hidrográfica do Rio Pardo – SP, durante o período de 1995 a 1999 apresentaram dependência espacial, próxima a 2.800,00 m.

O ano de 1998 apresentou a maior quantidade e o ano de 1999, a menor quantidade de sedimentos produzidos.

Em todos os anos as mesmas sub-bacias, área leste da parte inicial da bacia do Rio Pardo

apresentou as maiores concentrações de sedimentos.

O uso do solo e o tipo de solo promoveram a diferença nas áreas de produção de sedimentos, sendo que, o primeiro foi responsável pelos maiores valores das taxas encontradas e situadas na região leste da bacia, e o segundo, na região central da bacia hidrográfica, responsável pelas menores taxas de produção de sedimentos.

## AGRADECIMENTOS

Ao GEPAG – Grupo de Pesquisas Agrárias Georreferenciadas, FCA/UNESP Botucatu, pelo apoio e infraestrutura e a CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pelas bolsas concedidas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ARNOLD, J. G.; SRINIVASAN, R.; MUTTIAH, R. S.; WILLIAMS, J. R. Large area hydrologic modeling and assessment part I: model development. *Journal of the American Water Resources Association*, v. 34, n. 1, p. 73-89, 1998.

2. AVANZI, J. C.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; MELLO, C. R. DE; FONSECA, S. Calibração e aplicação do modelo MUSLE em uma microbacia hidrográfica nos Tabuleiros Costeiros brasileiros. *Revista Brasileira e*



- Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n. 6, p. 563- 569, 2008.
3. BAGATINI, T.; COGO, N. P.; GILLES, L.; PORTELA, J. C.; PORTZ, G.; QUEIROZ, H. T. Perdas de solo e água por erosão hídrica após mudança no tipo de uso da terra, em dois métodos de preparo do solo e dois tipos de adubação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 999-1011, 2011.
  4. BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 2. ed. São Paulo: Icone, 355 p., 1990.
  5. BEZERRA, S. A. & CANTALICE, J. R. B. Influência da cobertura do solo nas perdas de água e desagregação do solo em entressulcos. **Revista Caatinga**, v. 22, n. 3, p. 18-28, 2009.
  6. CALIJURI, M. L.; MEIRA, A. D.; PRUSKI, F. F. Geoprocessamento aplicado aos recursos hídricos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27, 1998, Poços de Caldas. **Anais...** Lavras: Universidade Federal de Lavras, 1998. p. 167-225.
  7. CARVALHO, W. A. & JIM, J. **Áreas de proteção ambiental**: região da “Serra de Botucatu” e região da “Serra de Fartura”. Botucatu: Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas; Instituto Básico de Biologia, 47 p., 1983.
  8. COGO, N. P.; MOLDENHAUER, W. C.; FOSTER, G. R. Soil loss reductions from conservation tillage practices. **Soil Science Society of America Journal**, v.48, p.368-373, 1984.
  9. ENGEL, F. L.; BERTOL, I.; MAFRA, A. L.; COGO, N. P. Water erosion under simulated rainfall in different soil management systems during soybean growth. **Scientia Agrícola**, v.64, p.187-193, 2007.
  10. GUMARÃES, E. C. **Geoestatística básica e aplicada**. UFU / FAMAT. Núcleo de estudos Estatísticos e biométricos. 48 p., 2001. Disponível em: <<http://www.famat.ufu.br/prof/ednaldo/geoest/apeo1.pdf>>. Acesso em: 08ago2010.
  11. IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Mapa geológico do Estado de São Paulo**: Nota Explicativa. São Paulo: IPT, 1981. 2 v. Escala 1:500.000.
  12. LEPSCH, I. F. **Formação e conservação dos solos**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 216 p., 2010.
  13. MARTINS, S. G.; SILVA, M. L. N.; CURTI, 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 (ES). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 3, p. 395-403, 2003.
  14. MOTA, S. **Preservação e conservação de recursos hídricos**. Rio de Janeiro: ABES, 200 p., 1995.
  15. NEITSCH, S. L.; ARNOLD, J. G.; KINIRY, J. R.; WILLIAMS, J. R.; KING, K. W. **Soil and water assessment tool**: theoretical documentation version 2000. Temple: Blackland Research Center, Texas Agricultural Experiment Station, 498 p., 2002.
  16. PANACHUKI, E.; BERTOL, I.; SOBRINHO, T. A.; OLIVEIRA, P. T. S. DE, RODRIGUES, D. B. B. Perdas de solo e de água e infiltração de água em Latossolo vermelho sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 1777-1785, 2011.
  17. ROBERTSON, G. P. GS<sup>+</sup>: Geoestatistics for the environmental sciences – GS<sup>+</sup> User’s Guide. Plainwell, **Gamma Desing Software**, 152 p., 2008.
  18. SANTOS, I.; FILL, H. D.; SUGAI, M. R. B.; BUDA, H.; KISHI, R.; MARONE, E.; LAUTERT, F. L. **Hidrometria aplicada**. Curitiba: Instituto de Tecnologia para Desenvolvimento, 372 p., 2001.
  19. SILVA, A. M. & ALVARES, C. A. Levantamento de informações e estruturação de um banco dados sobre a erodibilidade de classes de solo no Estado de São Paulo. **Geociências**, Rio Claro, SP, v. 24, n. 1, p. 33-41, 2005.
  20. SILVA, J. W. DA; GUMARÃES, E. C.; TAVARES, M. Variabilidade temporal da precipitação mensal e anual na estação climatológica de Uberaba-MG. **Ciência Agrotécnica**, v. 27, n. 3, p. 665-674, 2003.
  21. TUCCI, C. E. M. **Modelos hidrológicos**. Porto Alegre: Editora da UFRGS; ABRH, 669 p., 1998.
  22. TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia**: ciência e aplicação. 2. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS; Coleção ABRH de Recursos Hídricos, v. 4, 943 p, 2001.
  23. VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F.; ÁLVAREZ, V. H.; SCHAEFER, G. R. (Ed.). **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 1, p. 1-54, 2000.
  24. VIEIRA, S. R.; HATFIELD, T. L.; NIELSEN, D. R.; BIGGAR, J. W. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. **Hilgardia**, v. 51, n. 3, p. 1-75, 1983.
  25. ZACHAR, D. **Soil erosion**: developments in soil science. New York: Elsevier Scientific, 547 p. 1982.
  26. ZIMBACK, C. R. L. **Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade**. Botucatu, 2001. 114 p. Tese de Livre-Docência (Livre-Docência em Levantamento do solo e fotopedologia) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista.
  27. ZIMBACK, C. R. L. **Levantamento semidetalhado dos solos da bacia do Rio Pardo nos municípios de Pardinho e Botucatu**. Botucatu: UNESP, Faculdade de Ciências Agrônomicas, 55 p., 1997.

*Manuscrito recebido em: 08 de Outubro de 2013  
Revisado e Aceito em: 18 de Junho de 2014*