

Identificação dos sistemas agrícolas do arenito Caiuá sujeitos à erosão, através do modelo AGNPS

Adriano Rausch Souto¹, Ronaldo Rossetto¹ & Ricardo Ralisch²

Protocol 13.2012 - Received: 18/12/2012 - Accepted: 25/03/2013

Resumo: Os modelos matemáticos de simulação consistem em importante ferramenta para avaliar os efeitos da atividade agrícola sobre os recursos hídricos visando reduzir a degradação ambiental. Esses modelos identificam áreas sujeitas aos processos erosivos em função do uso e manejo do solo, em nível de bacias hidrográficas, escala ideal para tais investigações. O objetivo deste trabalho foi, a partir de dados observados, aplicar o modelo AGNPS, associado ao SIG-ArcGis, para prever a produção de sedimentos no Rio Inhacanga, Altônia, PR. Simularam-se diferentes cenários comparando-se os estimados aos medidos durante anos de cultivo, sob distintas intensidades de chuva. Foram identificados as áreas com erosão, suas causas e o rearranjo na sua localização, em função das alterações no sistema de produção agrícola. Constatou-se que a suscetibilidade à erosão aumentou sempre que as áreas ocupadas por culturas perenes foram substituídas por anuais e pastagens. O aumento dos valores estimados de produção de sedimentos foi proporcional às classes de umidade do solo e a energia pela intensidade de chuva, o EI_{30} . O sistema convencional de manejo resultou no carreamento contínuo de sedimentos para o rio, independentemente da espécie cultivada.

Palavras-chave: manejo do solo, bacia hidrográfica, sedimentos

Use of the AGNPS model for identification of agricultural production systems in the Caiuá sandstone subjected to erosion

Abstract: Mathematical models are important tools to evaluate the effect of agricultural production on water bodies, aiming at reducing environmental degradation. Such models allow the identification of areas subjected to erosive processes as a result of soil use and management at watershed level, which is preferable for such investigations. The objective of this work was to adjust the AGNPS mathematical model, in association with the use of GIS techniques, to predict sediment production in the Inhacanga river, in Altônia, Southern Brazil. Different scenarios were simulated and the estimates were compared with the measurements during the years of cultivations, under different rain intensities. The areas with erosion were identified, as well as their causes and relationships with the changes occurred in soil use and location due to alterations in the agricultural production system. It was verified that the susceptibility of the areas to erosion increased as perennial crops were substituted by annual ones and pastures. The increase in the estimated values of sediment production was proportional to classes of soil water and energy from rain intensity, EI_{30} . The conventional soil tillage techniques resulted in continuous sediment carriage to the river, independently of the cultivated species.

Key words: soil management, watershed, sediments

¹ IAPAR, Londrina, PR. E-mail: adriano@iapar.br; rossetto@iapar.br

² UEL, Londrina, PR. E-mail: ralisch@uel.br

Introdução

O processo erosivo consiste de três eventos sequenciais: desprendimento, arraste e deposição das partículas de solo. É um fenômeno natural, mas vem sendo cada vez induzido e agravado pela ação do homem, seja pela urbanização mal planejada, seja pelas práticas inadequadas de manejo agrícola. Estas aceleram e intensificam a degradação do solo, alterando suas propriedades e causando a diminuição da capacidade de infiltração, aumento do escoamento superficial, redução da capacidade produtiva, perda de fertilidade, danos severos às estradas rurais, assoreamento do leito dos rios e alteração da qualidade das águas (Carvalho et al., 2002; Gonçalves et al., 2005; Panachuki et al., 2006; Barros et al., 2009). Os rios são os principais agentes de transporte de sedimentos e a avaliação da descarga sólida é importante para caracterização da bacia hidrográfica, pois quantifica os impactos do manejo do terreno, de acordo com as alterações antrópicas (Vestena et al., 2008).

Diante disto, torna-se fundamental o conhecimento das técnicas de manejo e preparo do solo e seus efeitos, uma vez que no sistema convencional o constante revolvimento causa um impacto imediato na alteração da sua estrutura e das propriedades físicas, químicas e biológicas, resultando na degradação da matéria orgânica (Calegari, 2006). O Sistema Plantio Direto – SPD tem-se caracterizado por manter a maior parte da superfície do terreno coberta e protegida com resíduos culturais, promovendo a retenção de água, mas induzindo a infiltração e a redução da capacidade de transporte de agregados e, conseqüentemente, maior controle na perda de solo (Bertol et al., 2007).

Ao avaliarem a erosão hídrica em diferentes sistemas de plantio, Cogo et al. (2003) descreveram que as perdas de solo foram mais elevadas no convencional, reduzidas no intermediário e mais baixas na semeadura direta. Esses resultados corroboram com os de Chaves & Piau (2008) em que o aporte de sedimentos e escoamento superficial foi mais acentuado no plantio convencional, seguido do direto e do cerrado nativo.

Estimar a erosão do solo é essencial para avaliar as práticas adequadas de conservação, sendo útil para determinar os impactos antes mesmo da adoção de uma cultura específica ou manejo agrícola. Infelizmente, é muito dispendioso e impraticável monitorar os processos erosivos em toda a bacia hidrográfica; daí, a necessidade de predizê-la com o uso de modelos (Grilo & Enami,

2006). Ao estudarem o escoamento superficial utilizando o AGNPS em bacias com áreas de 3,9 a 625,0 km², Garg et al. (2003) utilizaram um sistema de informação geográfica para mapear o uso e a cobertura do solo, o tipo de solo bem como o modelo de elevação digital do terreno.

O presente trabalho teve por objetivo: a) comparar os resultados estimados com os observados em uma série temporal de monitoramento hidrossedimentológico; b) aplicar o modelo AGNPS e técnicas de SIG na microbacia do Rio Inhacanga, região do arenito Caiuá, PR, em função dos sistemas agrícolas, considerando cenários de uso e ocupação do solo sob chuva natural, para determinação de áreas de produção de sedimentos gerados pela erosão hídrica.

Material e Métodos

A área de estudo foi a microbacia do Rio Inhacanga localizada em Altônia, região noroeste do Estado do Paraná, inserida na bacia do Piquiri, entre as coordenadas geográficas 53°48'52" W e 23°57'10" S a 53°45'50" W e 23°52'20" S, com área de 21,51 km², perímetro de 22,44 km, onde se encontram 158 produtores rurais. No ordenamento dos canais, que reflete o grau de ramificação dos cursos de água dentro de uma bacia hidrográfica, classificou-se como pouco ramificado, de segunda (2^a) ordem, conforme critérios de Horton, 1945 e modificados por Strahler, 1957 (Tucci, 1993).

O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é mesotérmico Cfa, subtropical úmido, com temperatura do ar média de 22 °C e umidade relativa do ar oscilando entre 70 e 75% (Caviglione et al., 2000). A maior potencialidade erosiva das chuvas ocorre entre novembro e março. Nos meses de julho e agosto, períodos de inverno, ocorrem os maiores riscos de estiagens, sendo que as geadas se concentram nesta época (Cunha et al., 1999). O relevo predominante é suave ondulado e praticamente plano na microbacia, com altitudes entre 275 e 425 m. A vegetação primária é do tipo floresta tropical subperenifólia, apresentando árvores de porte médio a alto. Muzilli (1996) descreve que a cobertura de florestas era restrita, sendo raras as matas ciliares e de preservação permanente.

O material geológico constitui-se de rochas eruptivas básicas, formação Serra Caiuá, do grupo São Bento. As classes predominantes são: Latossolos Vermelhos Distróficos argissólicos (LVd), na situação de relevo plano e suave, declividade < 3%, ocupando 30% da área; Argissolos Vermelhos Eutrófico abrupticos (PVe),

nas encostas adjacentes à rede de drenagem, declividade < 8%, em 65% da área e Neossolo Quartzarênico Órtico típico (RQ), nas baixadas e fundos de vale, cabeceiras de vertentes e nas meias-encostas, com 5% de declividade (EMBRAPA, 1984; 1999; Muzilli, 1996).

A versão 5.0 do AGNPS foi utilizada para estimar a produção e o transporte de sedimentos, em função de componentes da bacia hidrográfica: a área, a série histórica e o volume precipitado, a umidade do solo, a cobertura vegetal, o uso da terra, o tipo de solo, as formas de manejo e prática mecânica conservacionista, operando com parâmetros de características gerais da bacia e coeficientes específicos para cada célula da grade (Young et al., 1989; Fragoso, 2008). A microbacia foi subdividida em 42 linhas por 20 colunas, com 201,17 x 201,17 m, 4,04 ha (10 acres), totalizando 636 células (Young et al., 1989; 1994; Brannan & Hamlett, 1998). Na determinação da descarga líquida, sólida e dos sedimentos produzidos em cada célula, utilizou-se uma ferramenta que possibilitou a alteração da calha do rio, triangular (T) e retangular (R).

O mapa planialtimétrico foi elaborado pelo Instituto Ambiental do Paraná – IAP e obtido a partir da restituição de fotos aéreas do terreno de 1980, na escala 1:100.000. Para os solos, utilizou-se Muzilli (1996) que estima as unidades pedológicas na microbacia, levando-se em conta as condições de topografia e relevo, caracterizadas pela EMBRAPA (1984; 1999). As formas de uso da terra foram determinadas pelo Laboratório Integrado de Sensoriamento Remoto do Paraná – LISERP/IAP e SENAGRO, a partir de imagens orbitais do LANDSAT 5 – INPE, bandas 3B, 4G e 5R, nos seguintes períodos: agosto de 1993 e dezembro de 1994, na escala 1:20.000. As classes de uso foram: algodão, amora, café, capoeiras, matas, milho, pastagens, reflorestamento e solo descoberto, ou seja, sem cobertura vegetal. A projeção adotada para o georreferenciamento de dados espaciais foi a oficial no Brasil, Universal Transversal de Mercator – U.T.M. e baseada no Datun – SAD – 69. Esses mapas foram digitalizados e manipulados no SIG – ArcGis e a carta de declividade foi determinada pela interpolação das seguintes faixas: a) 0 – 3%; b) 3 – 6%; c) 6 – 12%; d) >12% (Silva et al., 2009).

Ao coeficiente de rugosidade de Manning, que representa a resistência ao escoamento nos cursos de água, a qual depende da natureza e do estado da superfície, da forma e da declividade, atribuíram-se os valores de Netto & Alvarez (1985). Nas áreas cultivadas o referido coeficiente foi definido de

acordo com a cobertura vegetal e os resíduos culturais remanescentes (Derpsch et al., 1991; Calegari, 1995). Nas culturas perenes e pastagens adotaram-se os critérios de Young et al. (1994).

A textura dos solos foi obtida através de metodologia de Fidalski (1997a), a qual utiliza a média dos valores do horizonte superficial e sub-superficial; de posse dos resultados e através do Triângulo de Classificação Granulométrica de Vargas (1977) foram classificados como arenosos e, segundo Young et al. (1994) na Classe A, que especifica o Grupo Hidrológico do Solo. As condições de umidade foram determinadas em função da série histórica das precipitações, sendo a lâmina média obtida pelo método de Thiessen considerando-se a estação do ano e os valores de Machado (2002). No cálculo do escoamento superficial, Young et al. (1994) propõem a metodologia do número da curva (CN), em que os valores foram fundamentados no tipo de solo; no uso e manejo, que descrevem as condições de cobertura; nas situações hidrológicas, que se referem ao escoamento superficial; e nos volumes das chuvas e, conseqüentemente, no valor armazenado pela retenção. Obteve-se a constante da condição da superfície (CCS) a partir de uso e manejo (Tucci, 1993).

O fator cobertura vegetal (C), que indica a proteção oferecida ao solo pelas culturas e formas de manejo foi modelado em dados de uso da terra. Para as pastagens procurou-se a metodologia de Bertoni & Lombardi Neto (1990) que trata o índice de erosão da chuva. A avaliação da erosividade foi realizada segundo Rufino et al. (1993), que estabeleceram equações para as regiões no Estado do Paraná. Para as demais culturas, os valores foram extraídos de Fernandes (1996) e Santos et al. (1999). Ao fator prática mecânica (P) atribui-se o valor 1,00 considerando-se a não adoção de uso conservacionista em toda a microbacia (Muzilli, 1996). A erodibilidade (K), que se refere à habilidade potencial do solo em resistir à erosão foi extraída de Denardin (1990) e, para as suas características físico-químicas adotaram-se os valores de Fidalski (1997b). A avaliação da matéria orgânica foi feita pelo teor de carbono calculado pela equação de Muzilli et al. (1978). Com estes resultados estabeleceu-se o nitrogênio total, empregando-se o método de Kiehl (1979).

O fator disponibilidade de fertilização está relacionado aos métodos de preparo e ao grau de incorporação dos nutrientes pela mobilização do solo (Fragoso, 2008). Um fator de 100% representa a pior situação, em que nenhum fertilizante é

incorporado. Assim, como sugerido por Souto & Crestana (2000), admitiu-se um valor de 100% para as matas e florestas. Nas situações em que foram empregados mais de um equipamento agrícola, utilizou-se o produto percentual dos valores. Para os parâmetros de entrada do modelo em cada célula nas diferentes culturas, executou-se média ponderada em função da área ocupada (Suttles et al., 2003).

Para captar as águas das chuvas utilizaram-se pluviógrafos modelo HC, localizados na nascente, seção média e na parte final da microbacia. Com a seleção dos diagramas gerados determinaram-se a intensidade máxima da chuva em 30 minutos (I_{30}) e os totais precipitados (Cataneo et al., 1982). Realizou-se o cálculo do índice de erosividade das chuvas – EI_{30} , utilizando-se as metodologias de Castro Filho (1982), Bertoni & Lombardi Neto (1990) e Tommaselli et al. (1999). A lâmina média foi baseada no método de Thiessen (Tucci, 1993).

Para medir a variação dos níveis de água instalaram-se réguas graduadas, escalonadas ao longo da seção transversal de escoamento. Visando ao registro contínuo, empregou-se o linígrafo LNG – 16 – SM, no qual a pena gravava, em diagramas, as oscilações no transcórper do tempo. No período, realizaram-se oitenta e cinco medições das vazões com o micromolinete. A curva-chave, que é uma relação entre o nível da água de um rio e sua descarga líquida, permitiu quantificar as vazões por uma leitura das cotas diárias, no entanto, trata-se de um processo lento e custoso (Bertoldo & Righes, 2004; Pinheiro & Badia, 2008).

Para os sedimentos em suspensão empregou-se o amostrador UDSH – 48, com coletas no momento das leituras dos níveis (Carvalho et al., 2000; Vestena et al., 2008). Instalou-se, também, o coletor de estágio único montado em diversos níveis, possibilitando a amostragem fora dos horários programados. As amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Solos do IAPAR, Londrina, PR, onde se determinou a concentração de sedimentos (APHA, 1995). A descarga sólida em suspensão foi o produto da vazão líquida com a concentração de sedimentos e uma unidade de tempo (Carvalho, 1994).

Para identificação das áreas de produção de sedimentos gerados pela erosão na microbacia do Rio Inhacanga foram criados cenários em que a realidade do local refletia o sistema agrícola, além das simulações utilizando-se eventos de chuvas naturais, no período de 1991 a 1995. Para determinação dos indicadores da perda de solo

utilizou planilha eletrônica correlacionando-se as células e seu uso, os fatores C, K, a declividade e o comprimento do declive.

Resultados e Discussão

Entre os cinco cenários criados serão apresentados apenas dois, ou seja, o segundo e o quinto. A segunda simulação foi para o inverno de 1993 e se considerou toda a microbacia com amora, pastagens, café, solo descoberto, reflorestamento, capoeiras e matas (Figura 1 e Tabela 1). As culturas foram tratadas com o plantio convencional, empregando-se arado de disco, com duas passadas de grade niveladora e semeadora; a perene, o café com capina manual e nas entrelinhas semeadoras à tração animal. No reflorestamento adotou-se o plantio mínimo, escarificador e as amoras, cultivado em nível. Para as pastagens, capoeiras e matas, o fator incorporação foi de 100%, que representa ausência de atividade.

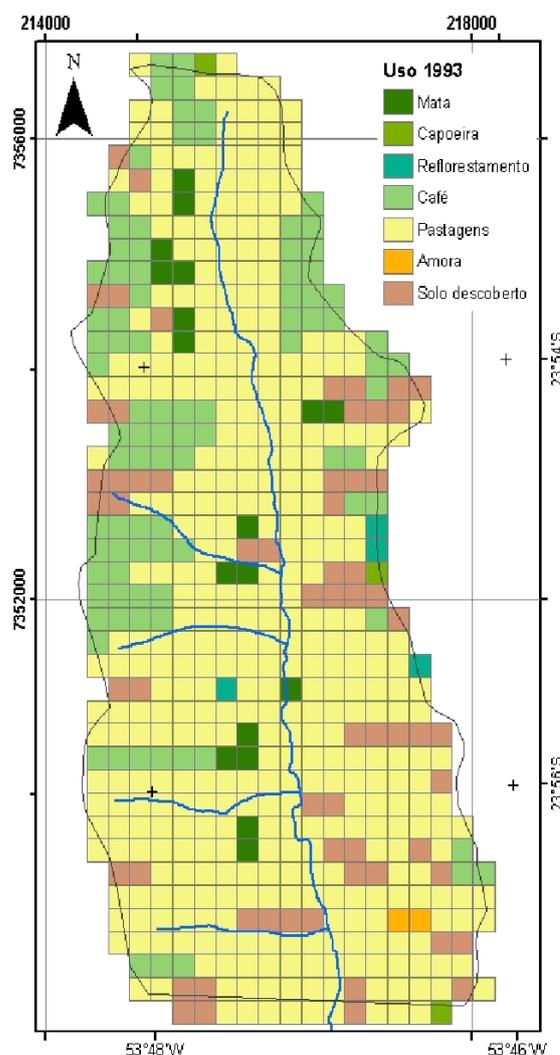


Figura 1. Mapa do uso e ocupação do solo das culturas anuais e perenes, 1993, microbacia do Rio Inhacanga, Altônia, PR

Tabela 1. Áreas de uso, ocupação e culturas

Legenda*	Uso e ocupação estimada	Área de uso (%)	% área das culturas
	Amora	0,31	0,00
	Café	14,62	11,63
	Capoeiras	0,47	0,00
	Matas	2,83	1,86
	Pastagens	62,58	68,37
	Reflorestamento	0,63	0,47
	Solo descoberto	10,06	17,67
	Área externa	8,49	0,00

* Legenda da Figura 1

A determinação das áreas de produção de sedimentos e sua estimativa para cada célula e toda a microbacia podem ser observadas na Figura 2. Para esta simulação utilizou-se a chuva de 61,8 mm, com $EI_{30} = 94,1 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ de 23/04/93, podendo-se constatar que 29,25% da produção de sedimentos foram relacionados ao fator cobertura, este relacionado ao uso e ocupação; 23,28% ao comprimento do declive; e 38,51% à declividade, enquanto que 8,96% se encontram nas áreas de

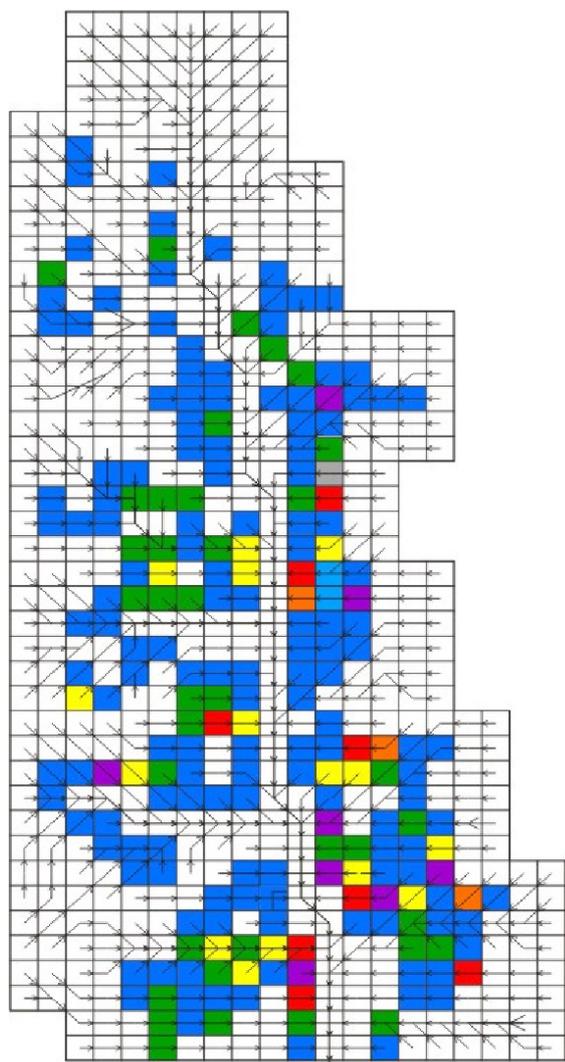


Figura 2. Simulação de produção de sedimentos por meio do modelo AGNPS para a chuva de 23/04/93, microbacia do Rio Inhacanga, Altônia, PR

maior fator K. Os resultados deste cenário indicam que 88,5% da área apresentaram uma produção de sedimentos de até $7,14 \text{ t ha}^{-1}$ e salientam ainda que todas as faixas acima do valor de $14,29 \text{ t ha}^{-1}$ se encontravam com solo descoberto (Tabela 2).

Tabela 2. Produção de sedimentos nas células, solos secos

Legenda*	Faixa (t ha^{-1})		Área (%)
	0,00	3,58	66,67
	3,59	7,14	21,86
	7,15	10,72	5,66
	10,73	14,28	2,36
	14,29	17,87	1,26
	17,88	21,45	1,10
	21,46	25,01	0,63
	25,02	28,59	0,31
	28,60	32,15	0,00
	32,16	35,73	0,16

* Legenda da Figura 2

A quinta simulação foi realizada para o verão de 1994, em que as áreas com culturas anuais e perenes receberam o mesmo tratamento anterior, quanto ao manejo do solo (Figura 3). Para a quinta simulação utilizou-se a chuva de 35,2 mm, com $EI_{30} = 107,2 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ de 06/11/94 e se pode determinar que 30,00% dos sedimentos produzidos foram relacionados ao fator cobertura; 24,17% ao comprimento do declive; 37,50% à declividade e 8,33% se encontram nas áreas com fator erodibilidade do solo igual a 0,008 em Latossolos Vermelhos Distróficos argissólicos.

Os resultados apresentados na Tabela 4 indicam que neste cenário 93,9% da área apresentaram uma produção de sedimentos de até $10,53 \text{ t ha}^{-1}$, sendo que a célula com os maiores valores foi para solo descoberto, em Argissolos Vermelhos Eutróficos abrupticos, com declividade de 7,4%, cuja forma de declive é uniforme, no entanto se encontram nas áreas de maior fator K. Salienta-se, ainda, que no algodão foram realizadas as operações de manejo do solo com plantio convencional; para as demais faixas, acima de $14,05 \text{ t ha}^{-1}$, inclusive, se destacam situações, com declividade superior a 6,0% e pastagens cujo fator cobertura (C) e declividade foram os mais relevantes.

Nesta quinta simulação as áreas suscetíveis à erosão não foram as mesmas nos eventos de chuvas e os valores dos sedimentos produzidos variaram de acordo com o volume e a EI_{30} . Em função das condições de umidade do solo saturado, foram avaliados chuvas erosivas inferiores a 10 mm e, observou-se pico de escoamento, produção de sedimentos e variação na taxa de perda de solo nas células, sendo esta condição corroborada pelo ajuste nos valores do CN.

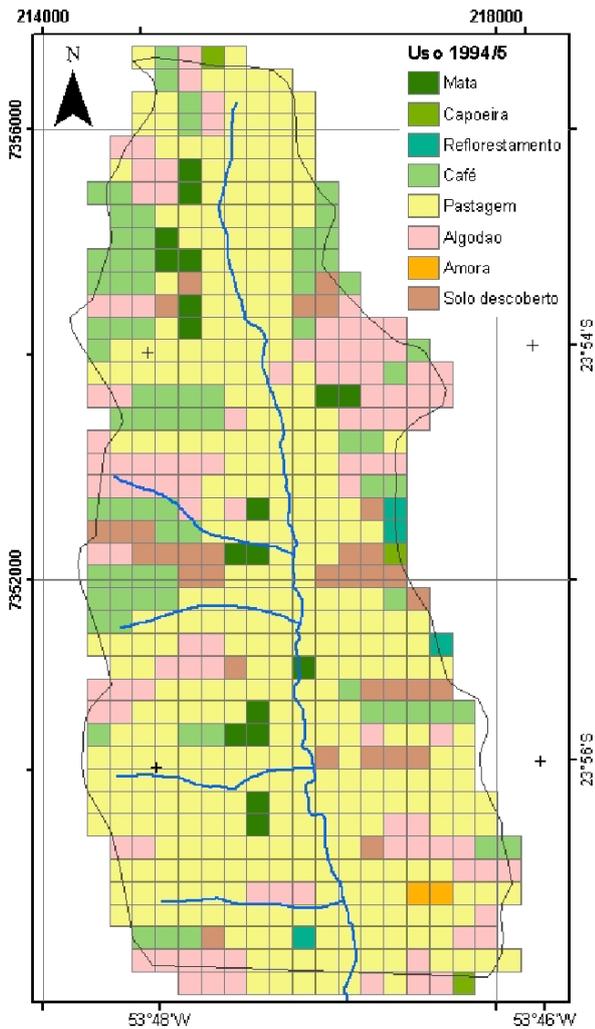


Figura 3. Mapa do uso e ocupação do solo das culturas anuais e perenes, 1994, microbacia do Rio Inhacanga, Altônia, PR

Tabela 3. Áreas de uso, ocupação e culturas

Legenda*	Uso e ocupação estimada	Área (%)	% área das culturas
	Algodão	15,88	18,33
	Amora	0,31	0,83
	Café	11,79	10,42
	Capoeiras	0,47	0,00
	Matas	2,83	2,08
	Pastagens	54,40	57,08
	Reflorestamento	0,63	0,00
	Solo descoberto	5,19	11,25
	Área externa	8,49	0,00

* Legenda da Figura 3

Na análise temporal constatou-se o rearranjo das áreas de erosão hídrica em função da alteração do sistema de produção agrícola, com a redução das culturas perenes e aumento das anuais e pastagens, o que provocou mudanças nos principais indicadores de perda de solo (Tabela 5).

É possível observar, também, uma variação no uso dos locais de maior declividade. Pereira & Teixeira Filho (2009) concluíram que análises

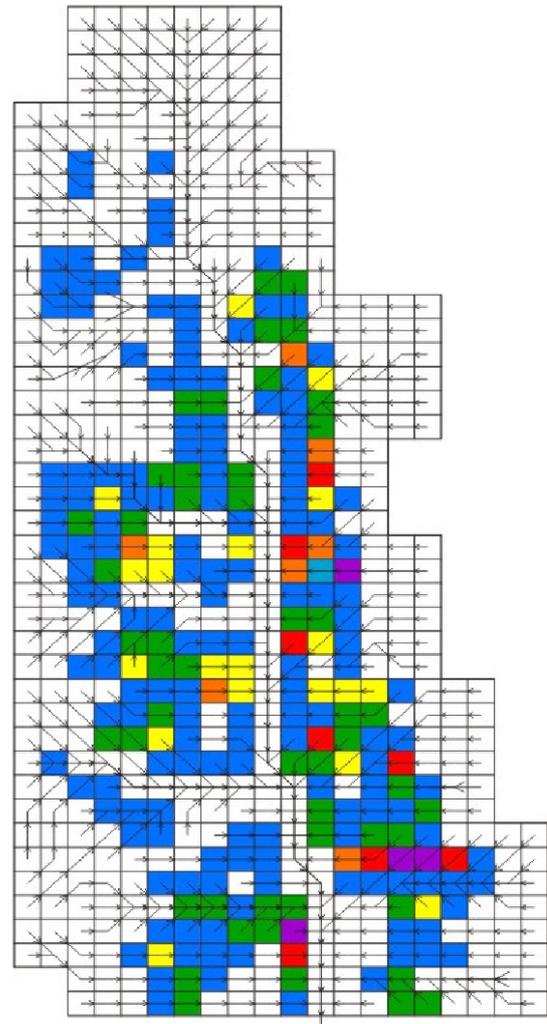


Figura 4. Simulação de produção de sedimentos por meio do modelo AGNPS para a chuva de 06/11/94, microbacia do Rio Inhacanga, Altônia, PR

Tabela 4. Produção de sedimentos nas células, solos em capacidade de campo

Legenda*	Faixa (t ha ⁻¹)	Área (%)
	0,00	62,74
	3,52	23,43
	7,03	7,70
	10,54	2,99
	14,05	1,10
	17,55	0,63
	21,04	1,26
	24,55	0,00
	28,06	0,00
	31,57	0,16

* Legenda da Figura 4

baseadas em dados temporais, considerando diferentes cenários para uma mesma região, são uma perspectiva enriquecedora para refinar as ações de planejamento conservacionista. Além disso, áreas foram incorporadas ao processo produtivo e, devido à falta de práticas como o terraceamento, o comprimento do declive, tornou-se responsável também por este efeito, haja

Tabela 5. Variação dos indicadores de perda de solo para todos cenários

Indicadores	Simulações (%)				
	1	2	3	4	5
Comprimento do declive	20,66	23,38	24,20	24,84	24,17
Declividade	37,74	38,51	35,06	30,45	37,50
Fator Cobertura - C	34,16	29,25	29,88	31,10	30,00
Fator Erodibilidade - K	7,44	8,96	10,86	13,61	8,33

vista as melhorias no fator cobertura. Cardoso et al. (2006) comentam que a declividade e a cobertura vegetal tornam-se fatores importantes na tomada de decisão de um manejo adequado, que influenciam na interação da precipitação e superfície do solo, no escoamento superficial e no fluxo de água, resultados que corroboram com Wang & Cui (2005), ao verificarem que taxas de erosão poderiam ser reduzidas através da melhoria do fator C, com a adoção de práticas de manejo e conservação como o plantio direto, aliado aos resíduos culturais. Calegari et al. (2006) descrevem que áreas intensamente cultivadas através do sistema convencional, com revolvimento do solo e incorporação dos resíduos vegetais, têm contribuído para degradação das suas propriedades físicas, químicas e biológicas.

Na análise espacial as áreas suscetíveis de erosão hídrica não foram as mesmas para os eventos de chuva mas, as variações nos valores da produção de sedimentos estão relacionadas às condições de umidade do solo, aos volumes precipitados e ao produto da energia cinética pela intensidade - EI_{30} . Carvalho et al. (2002) concluíram em área experimental da EMBRAPA/UFRRJ, com Argissolo Vermelho Amarelo e declividade de 8% utilizando um simulador de chuvas pendular e diferentes intensidades, que a perda de solo aumentou com o incremento da energia cinética da precipitação, atingindo 9,7 vezes o valor, quando passou de 138 para 321 $J m^{-2}$.

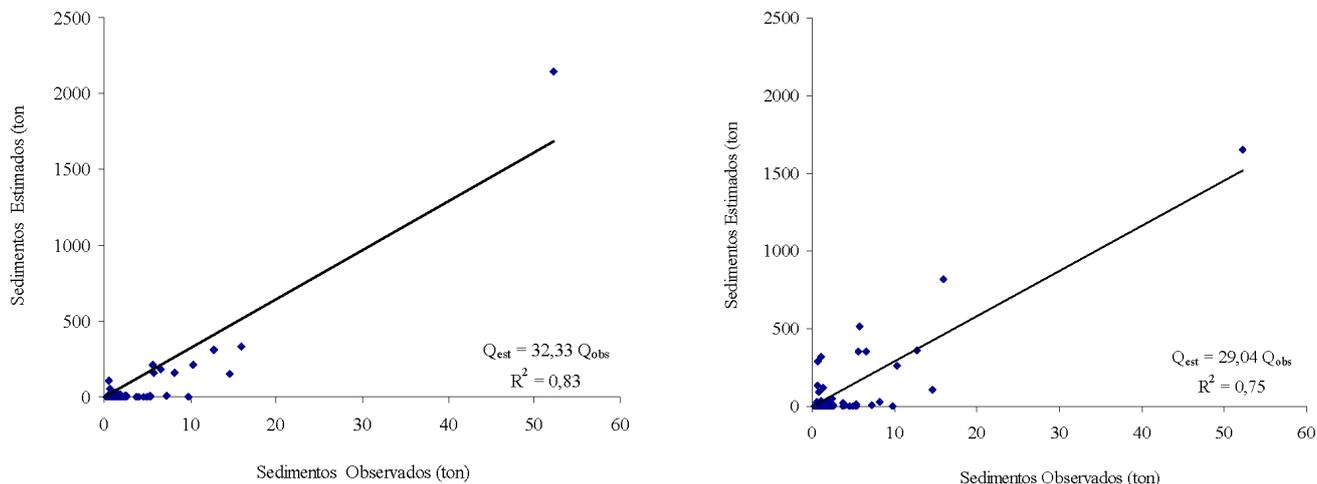
Ao utilizarem o modelo AGNPS com apoio de sistemas de informação geográfica, Yongsheng & Bartholic (2003) observaram que a perda de solo, sedimentos e nutrientes, se eleva com o incremento da chuva, formando uma curva exponencial. Silva et al. (2005) notaram que independentemente da intensidade da chuva, o acréscimo na cobertura reduz a perda, pois dissipa a energia do impacto das gotas sobre a superfície, diminui a desagregação das partículas e, conseqüentemente, a concentração de sedimentos na enxurrada. Inácio et al. (2007) observaram que as taxas de desagregação foram maiores no solo descoberto do que naquele com cobertura independentemente do declive.

A forma de cultivo tem influência decisiva sobre as perdas de solo, sendo que nas áreas ocupadas por matas obteve-se nesse estudo valores de 0,004 $t ha^{-1} ano^{-1}$; as pastagens 0,70 $t ha^{-1} ano^{-1}$; o café 1,10 $t ha^{-1} ano^{-1}$ e, o algodão, 38,00 $t ha^{-1} ano^{-1}$. Visando estabelecer limites de perda de solo nos Estados Unidos da América, Osaki (1994) descreve valores de 2,00 a 12,05 $t ha^{-1} ano^{-1}$, conforme o tipo de solo, a espessura e as propriedades físicas. Este critério foi estabelecido em função do tempo de formação de 25 mm de solo, estimado em 300 anos; no entanto, quando o solo é atingido pelos agentes erosivos, em virtude do seu preparo, este tempo pode ser reduzido em 30 anos, equivalente a uma perda de 12,50 $t ha^{-1} ano^{-1}$. Estes valores podem também ser observados na FAO (1967), que admite perdas da ordem de 12,50 $t ha^{-1} ano^{-1}$ para solos profundos, permeáveis e bem drenados; de 2 a 4 $t ha^{-1} ano^{-1}$ para solos rasos ou impermeáveis.

Assim como o uso da terra, o fator erodibilidade passou por um ajuste quando da formação das células via SIG, caso em que se sabe que para uma mesma chuva incidindo sobre diferentes condições de solo, obter-se-ão distintas quantidades de erosão em função dos valores de erodibilidade (Cogo, 1988). O AGNPS operou presumindo serem uniformes os padrões de precipitação na microbacia, o que não ocorreu, como observado na distribuição espacial das chuvas, obtida nos pluviogramas. Fragoso (2008) ao realizar simulações com o AGNPS para avaliar o comportamento hidrológico e de sedimentos na bacia do córrego Capão Comprido, DF, verificou que a carga gerada pelo modelo foi superestimada em relação à observada nos eventos.

Apesar da proteção ao habitat da vida animal e aos sistemas aquáticos como observado por Machado et al. (2003), as matas ciliares não foram inseridas nas simulações, em razão das suas pequenas dimensões. Contudo, Vennix & Northcott (2004) demonstraram que, embora restritas, as faixas de 30 metros ao longo dos cursos d'água minimizam a contaminação das águas e controlam a erosão nas margens dos rios e nascentes, em até 17% dos sedimentos transportados.

A estimativa dos sedimentos gerados pela erosão superficial com a alteração na forma da seção transversal de escoamento no Rio Inhacanga, triangular (T) e retangular (R), forneceu resultados distintos (Figuras 5A e 5B). No entanto, as áreas suscetíveis e a variação dos valores nas células foram as mesmas. A correlação de chuvas intensas com sedimentos pela área apresentou dependência polinomial (Figura 6). O



Figuras 5. Correlação entre os valores observados e os estimados da produção de sedimentos, na microbacia do Rio Inhaçanga, Altônia, PR. Seção Triangular (A) e seção Retangular (B)

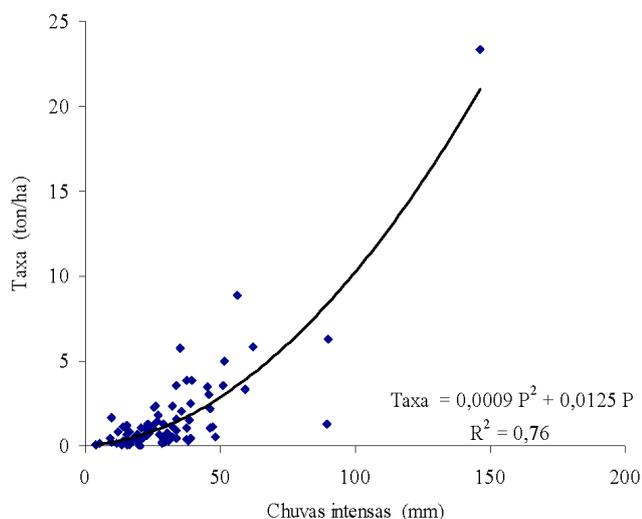


Figura 6. Correlação dos sedimentos produzidos por unidade de área estimada pela seção triangular (T) e retangular (R), com chuvas intensas na microbacia do Rio Inhaçanga, Altônia, PR

teste F foi significativo ao nível de 0,05 (Bussab, 1988).

Conclusões

1. O AGNPS apoiado em sistemas de informação geográfica mostrou ser instrumento de grande utilidade para identificar, comparar e avaliar as áreas de erosão em função da cultura, do manejo do solo e da prática agrícola.

2. Observou-se que o sistema de produção agrícola implantado na microbacia do Rio Inhaçanga arenito Caiuá, apresenta-se como insustentável com relação à produção de sedimentos, principalmente em referência ao manejo do solo, plantio convencional.

3. A mudança do sistema de cobertura possibilitou a análise e a determinação do papel de cada fator envolvido na Equação Universal de Perda de Solo – USLE.

Literatura Citada

- APHA - American Public Health Association: Standard methods for the examination of water and wastewater. 16.ed. Washington: APHA/AWWA/APCF, 1995. 1268p.
- Barros, L. S.; Vale, J. F.; Schaefer, C. E. G. R.; Mourão Jr, M. Perdas de solo e água em plantio de *Acacia mangium* wild e savana em Roraima, norte da Amazônia. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.33, p.447-454, 2009.
- Bertol, O. J.; Rizzi, N. E.; Bertol, I.; Roloff, G. Perdas de solo e água e qualidade do escoamento superficial associadas à erosão entre sulcos em área cultivada sob semeadura direta e submetida a adubações mineral e orgânica. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.31, p.781-792, 2007.
- Bertoldo, F.; Righes, A. A. Curva-chave do arroio bacia-escola urbana em Santa Maria – RS. Disc. Scientia. Série: Ciências Naturais e Tecnológicas, v.5, p.11-29, 2004.
- Bertoni, J.; Lombardi Neto, F. Conservação do solo. São Paulo: Ícone, 1990. 355p.
- Brannan, K; Hamlett, J. M. Using geostatistics to select grid-cell layouts for the AGNPS model. American Society of Agricultural Engineers, v.41, p.1011-1018, 1998.
- Bussab, W. O. Análise de variância e regressão: uma introdução. 2.ed. São Paulo: Atual, 1988. 147p.
- Calegari, A. The effects of tillage and cover crops on some chemical properties of an oxisol in south western Paraná, Brazil. Aberdeen: University of Aberdeen, 1995. 86p. Dissertação Mestrado
- Calegari, A. Plantas de cobertura. In: Casão Jr, R.; Siqueira, R.; Metha, Y. R.; Passini, J. J. (ed.). Sistema plantio direto com qualidade. Londrina: IAPAR, Foz do Iguaçu: ITAIPU, 2006. p.55-73.

- Cardoso, C. A.; Dias, H. C. T.; Soares, C. P. B.; Martins, S. V. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Debossan, RJ. *Revista Árvore*, v.30, p.241-248, 2006.
- Carvalho, D. F.; Montebeller, C. A.; Cruz, E. S.; Ceddia, M. B.; Lana, A. M. Q. Perdas de solo e água em um Argissolo Vermelho Amarelo, submetido a diferentes intensidades de chuva simulada. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.6, p.385-389, 2002.
- Carvalho, N. O. *Hidrossedimentologia prática*. Rio de Janeiro: CPRM, 1994. 372p.
- Carvalho, N. O.; Junior Filizola, N. P.; Santos, P. M. C.; Lima, J. E. F. W. *Guia de avaliação de assoreamento de reservatórios*. Brasília: ANEEL, 2000. 106p.
- Castro F., C.; Cataneo, A.; Biscaia, R.C.M. Utilização da metodologia de Wilkinson para o cálculo do potencial erosivo das chuvas em cinco localidades do Paraná. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.6, p.240-241, 1982.
- Cataneo, A.; Castro F., 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.
- Caviglione, J. H.; Kihl, L. R. B.; Caramori, P. H.; Oliveira, D. *Cartas climáticas do Paraná*. Londrina: IAPAR, 2000. CD Rom.
- Chaves, H. M. L.; Piau, L. P. Efeito da variabilidade da precipitação pluvial e do uso e manejo do solo sobre o escoamento superficial e o aporte de sedimento de uma bacia hidrográfica do Distrito Federal. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, p.333-343, 2008.
- Cogo, N. P. Conceitos e princípios científicos envolvidos no manejo de solos para fins de controle de erosão hídrica. In: Moniz, A. C.; Furlani, P. R.; Freitas, S. S. (ed.). *A responsabilidade social da ciência do solo*. Campinas: SBCS, 1988. p.251-262.
- Cogo, N. P.; Levien, R.; Schwarz, R. A. Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciadas por métodos de preparo, classes de declividade e níveis de fertilidade do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.27, p.743-753, 2003.
- Cunha, J. E.; Castro, S. S.; Salomão, F. X. T. Comportamento erosivo de um sistema pedológico de Umuarama, noroeste do Paraná. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.23, p.943-951, 1999.
- Denardin, J. E. *Erodibilidade do solo estimada por meio de parâmetros físicos e químicos*. Piracicaba: ESALQ/USP, 1990. 81p. Tese Doutorado
- Derpsch, R.; Roth, C. H.; Sidiras, N.; Köpke, U. *Controle da erosão no Paraná, Brasil: Sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo*. Eschborn: GTZ/IAPAR, 1991. 272p.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. *Levantamento de reconhecimento dos solos do Paraná*. Rio de Janeiro: Embrapa SNLCS, 1984. 791p. Boletim Técnico 57.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. Brasília: Embrapa CNPS. 1999. 412p.
- FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations - *La erosion del suelo por el agua: algunas medidas para combatirla en las tierras de cultivo*. Roma: FAO, 1967. 207p.
- Fidalski, J. Fertilidade do solo no noroeste do Paraná. *Revista Unimar Ciências Agrárias*, v.19, p.853-861, 1997a.
- Fidalski, J. Diagnóstico de manejo e conservação do solo e da água na região noroeste do Paraná. *Revista Unimar Ciências Agrárias*, v.19, p.845-851, 1997b.
- Fragoso, M. M. A. *Estudo hidrológico e transporte de sedimentos em uma bacia do bioma Cerrado: Bacia do córrego Capão Comprido*. Brasília: UNB, 2008. 86p. Dissertação Mestrado
- Gonçalves, C. S.; Rheinheimer, D. S.; Pellegrini, J. P. R.; Kist, S. L. Qualidade da água em uma microbacia de cabeceira situada em região produtora de fumo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.9, p.391-399, 2005.
- Grilo, R. C.; Enami, L. M. Gestão de bacias hidrográficas com o uso de modelo preditivo de erosão dos solos e sistemas de informação geográfica. In: *Congresso Ibérico - Gestão e Planejamento de Água*, 5, 2006, Faro. Anais... Faro: Universidade do Algarve, 2006. CD Rom
- IAPAR - Fundação Instituto Agrônomo do Paraná. *Médias históricas em estações do IAPAR*. Londrina: IAPAR, 2009. CD Rom.
- Inácio, E. S. B.; Cantalice, J. R. B.; Nacif, P. G. S.; Araujo, Q. R.; Barreto, A. C. Quantificação da erosão em pastagens com diferentes declives na microbacia do ribeirão Salomea. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.11, p.355-360, 2007.
- Kiehl, E. J. *Manual de edafologia: Relações solo - planta*. São Paulo: Ceres, 1979. 262p.

- Machado, R. E. Simulação de escoamento e de produção de sedimentos em uma microbacia hidrográfica utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento. Piracicaba: ESALQ/USP, 2002. 152p. Tese Doutorado
- Machado, R. E.; Vettorazzi, C. A.; Xavier, A. C. Simulação de cenários alternativos de uso da terra em uma microbacia utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.27, p.727-733, 2003
- Muzilli, O. Plano integrado para manejo e conservação do solo em microbacia hidrográfica - piloto: A experiência do Paraná na região do arenito Caiuá. In: Congresso Brasileiro e Encontro Nacional de Pesquisa sobre Conservação do Solo, 8, 1990, Londrina. Anais... Londrina: IAPAR, 1996. p.97-119.
- Muzilli, O.; Lantmann, A. F.; Palhano, J. B.; Oliveira, E. L.; Parra, S.; Costa, A.; Chaves; J. C. D.; Zocoler, D. C. Análises de solos: Interpretação e recomendação de calagem e adubação para o Estado do Paraná. Londrina: IAPAR. 1978. 49p. Circular 9.
- Netto, A.; Alvarez, G. A. Manual de hidráulica. São Paulo: Edgard Blucher. 7.ed. v.2, 1982. 724p.
- Osaki, F. Microbacias: Práticas de conservação dos solos. Curitiba: Agris. 1994. 603p.
- Panachuki, E.; Sobrinho, T. A.; Vitorino, A. C. T.; Carvalho, D. F.; Urchei, M. A. Parâmetros físicos do solo e erosão hídrica sob chuva simulada, em área de integração agricultura-pecuária. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.10, p.261-268, 2006.
- Pereira, V. R.; Teixeira Filho, J. Identificação das áreas susceptíveis aos processos erosivos em duas bacias do Sistema Cantareira por meio de diferentes cenários. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v.25, p.417-424, 2003.
- Pinheiro, A.; Badia, S. B. Efeitos da curva-chave sobre a curva de permanência dos escoamentos em uma bacia agrícola. *Revista de Estudos Ambientais*, v.10, p.64-70, 2008.
- Rufino, R. L.; Biscaia, R. C. M.; Merten, G. H. Determinação do potencial erosivo da chuva do Estado do Paraná, através de pluviômetro: terceira aproximação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.17, p.439-444, 1993.
- Santos, I.; Krüger, C. M.; Levis, M.; Garcia, K. S. Avaliação de perdas de solo por erosão hídrica na bacia do rio Ivaí. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 13, 1999, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte: ABRH, 1999. p.1-20.
- Silva, D. D.; Pruski, F. F.; Shaefer, C. E. G. R.; Amorim, R. S. S.; Paiva, K. W. N. Efeito da cobertura nas perdas de solo em um argissolo vermelho amarelo utilizando simulador de chuva. *Engenharia Agrícola*, v.25, p.409-419, 2005.
- Silva, L. C. N.; Fernandes, A. L. V.; Izappato, F. J. Oliveira, W. Uso do solo no manejo de bacias hidrográficas: O caso da microbacia córrego Prata, Três Lagoas MS. *Revista Brasileira de Geografia Física*. v.2, p.1-13, 2009.
- Souto, A. R.; Crestana, S. Identificação das áreas potenciais s de produção de sedimentos com o modelo AGNPS e técnicas de SIG em uma microbacia hidrográfica. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.4, p.429-435, 2000.
- Suttles, J. B.; Vellidis, G.; Bosh, D. D.; Lowrance, R.; Sheridan, J. M.; Usery, E. L. Watershed-scale simulation of sediment and nutrient loads in Georgia Coastal plain streams using the annualized AGNPS model. *American Society of Agricultural Engineers*, v.46, p.1325-1335, 2003.
- Tommaselli, J. T. G.; Freire, O.; Carvalho, W. A. Erosividade da chuva da região oeste do estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v.7, p.269-276, 1999.
- Tucci, C. E. M. Hidrologia, ciência e aplicação. 1.ed. Porto Alegre: ABRH/EDUSP, 1993. 943p.
- Vargas, M. Introdução à mecânica dos solos. São Paulo: McGraw-Hill, EDUSP, 1977. 509p.
- Vennix, S.; Northcott, W. Priorizing vegetative buffer strip placement in an agricultural watershed. *Journal of Spatial Hydrology*, v.4, p.1-18, 2004.
- Vestena, L. R.; Lucini, H.; Kobiyama, M. Avaliação da concentração de sedimento em suspensão no rio Caeté, em Alfredo Wagner/SC. In: Simpósio Nacional de Geomorfologia, 7, e Encontro Sul-Americano de Geomorfologia, 2, 2008, Belo Horizonte. Anais ... Belo Horizonte: UFMG, 2008. CD Rom.
- Yongsheng, M; Bartholic, J. GIS Based AGNPS Assessment Model in a Small Watershed. *Nature and Science*, v.1, p.50-56, 2003.
- Young, R. A; Onstad, C. A; Bosh, D. D.; Anderson, W. P. AGNPS: A nonpoint-source pollution model for evaluating agricultural watersheds. *Journal of Soil and Water Conservation*, v.44, p.168-173, 1989.
- Young, R. A; Onstad, C. A; Bosh, D. D.; Anderson, W. P. Agricultural non-point source pollution model, version 4.03: AGNPS User's Guide. Washington: US Department of Agriculture Conservation Research, 1994. 103p.
- Wang, X.; CUI, P. Support soil conservation practices by identifying critical erosion areas within an American watershed using GIS-AGNPS model. *Journal of Spatial Hydrology*, v.5, p.31-44, 2005.