

**Simulação de Produção de Sedimentos em uma Bacia Hidrográfica
caracterizada pela expansão da cana-de-açúcar****Sediment Yield Simulation in a Watershed characterized by the expansion of
sugarcane**

DOI:10.34117/bjdv5n10-299

Recebimento dos originais: 10/09/2019

Aceitação para publicação: 14/10/2019

Agmom Moreira Rocha

Mestre em Agricultura Tropical e Subtropical pelo Instituto Agrônomo de Campinas

Instituição: Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP

Endereço: Av. Roxo Moreira, 410, 13083-590, Campinas, São Paulo, Brasil

Email: agmon.rocha@gmail.com

Jener Fernando Leite de Moraes

Doutor em Energia Nuclear na Agricultura pelo Centro de Energia Nuclear na Agricultura/USP.

Instituição: Instituto Agrônomo de Campinas

Endereço: Av. Barão de Itapura, 1481, 13020-902, Campinas, São Paulo, Brasil

Email: jfmoraes@iac.sp.gov.br

Isabella Clerici De Maria

Doutora em Solos e Nutrição de Plantas pela Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiróz/USP

Instituição: Instituto Agrônomo de Campinas

Endereço: Av. Theodureto de Almeida Camargo, 1500, 13075-630, Campinas, São Paulo, Brasil.

Email: icdm@iac.sp.gov.br

RESUMO

Este trabalho apresenta resultados referentes à produção de sedimentos da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Pinhal, inserida no município de Limeira, São Paulo, sob 3 cenários de uso e ocupação do solo, simulados através do modelo hidrológico SWAT. A bacia total foi dividida em 5 sub-bacias de acordo com o uso predominantes. Foram realizados ajustes em parâmetros da base de dados de solos e culturas do SWAT, para adequá-la a realidade brasileira. Foram utilizados dados climatológicos de 8 anos (2007-2014) para esta modelagem. As diferentes produções de sedimento de cada cenário puderam ser notadas em função da mudança do uso em cada um deles. O cenário 2 apresentou a menor produção de sedimentos ($7,74\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$). O cenário 1 apresentou $8,37\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ e o 3 $8,58\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Quanto aos usos, os que mais geraram sedimentos, em ordem decrescente, foram: Pastagem, Cultura Anual, Citros, Cana-de-açúcar e Vegetação Natural. Quanto as sub-bacias, a número 2 teve a maior produção de sedimentos ($\sim 10\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$), enquanto a sub-bacia 5, a menor ($5,51\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$). O SWAT foi considerado eficiente para simular a produção de sedimentos por cenários e por uso, combinando-se diferentes dados temáticos e tabulares quando realizados os ajustes necessários em sua base de dado nativa.

Palavras-chave: ArcSWAT, ArcGIS, simulação de cenários, produção de sedimento.

ABSTRACT

This paper presents results of the sediment yield Basin of Ribeirão do Pinhal, in the municipality of Limeira, São Paulo, conducted under 3 different scenarios of the land use. SWAT was used as a hydro-sedimentology modeling tool, to simulate these scenarios and to estimate the sediment yield. This watershed was divided into 5 sub-basins according to the prevalent use adjustments were made in soils database parameters and cultures that are in SWAT, to adapt it to the Brazilian reality. Data were used climatological referring 8 years (2007-2014) for this modeling. The different sediment yield for each scenario could be noted in each of the different land use. Scenario 2 had the lowest sediment yield (7.74Mg.ha⁻¹). The scenario number 1 had 8.37Mg.ha⁻¹ and number 3, 8.58Mg.ha⁻¹. Regarding the uses, the largest producers of the sediment were, in descending order: Grassland, Annual Culture, citrus, cane sugar and natural vegetation. As the sub-basins, the number 2 had the highest sediment yield (~10Mg.ha⁻¹), while the sub-basin 5, the lowest (5.51Mg.ha⁻¹). SWAT was considered efficient to simulate the sediment yield by scenarios and by use, combining different thematic and tabular data when carried out the necessary adjustments in their original data base.

Key-words: SWAT; ArcGIS; simulations scenarios; sediment yield.

1 INTRODUÇÃO

A escassez hídrica possui grande importância global, uma vez que impõe dificuldades ao desenvolvimento, aumenta a incidência de doenças, produz estresse econômico e social, aumenta as desigualdades entre regiões e países, além de colocar em risco a manutenção da vida no planeta (BICUDO, 2010).

Conhecer o ciclo hidrológico de uma bacia hidrográfica nos permite compreender melhor as interações existentes entre os elementos e fenômenos naturais que a compõe, juntamente com as ações antrópicas sobre esta. Não existe área qualquer da Terra, por menor que seja que não se integre a uma bacia ou microbacia (CRUZ, 2003).

Bacia hidrográfica é uma área composta por superfícies vertentes e uma rede de drenagem que capta naturalmente a precipitação, convergindo o escoamento para um único ponto de saída. Esta forma de recorte do espaço permite a delimitação da bacia de acordo com a escala do estudo, devendo incorporar a problemática de interesse, possibilitando ainda a divisão de uma bacia maior em sub ou microbacias hidrográficas (MOTA & AQUINO, 2001 e PORTO & PORTO, 2008).

Os elementos que constituem uma bacia hidrográfica influenciam diretamente nas respostas aos eventos de precipitação, destacando-se, segundo GOLDENFUM (2001) e RIGHETTO (1998), as suas unidades pedológicas, cobertura vegetal, características geomorfológicas (declividade, formato, área e rede de drenagem) e também características geológicas (RESENDE et al., 2007).

TUNDISI & MATSUMURA-TUNDISI (2008) enfatiza a necessidade de uma abordagem sistêmica, integrada e preditiva na gestão das águas sob a visão de uma bacia hidrográfica. Ainda

segundo TUNDISI & MATSUMURA-TUNDISI (2008), uma base de dados consolidada e transformada em instrumentos de gestão, pode ser uma das soluções mais eficazes ao combate da escassez, estresse e deterioração da qualidade da água.

FENGLER et al., (2015), analisando a qualidade dos fragmentos florestais da bacia hidrográfica do Rio Jundiá-Mirim-SP, entre 1972 e 2013, evidencia o papel determinante da urbanização e do desmatamento, no processo de alteração da qualidade ambiental, através de indicadores de perturbação ambiental. O autor ressalta também a importância da criação de políticas públicas para gerir este problema.

OLIVEIRA & SOSA (1995) apontam que, apesar dos avanços tecnológicos, os recursos naturais não têm sido utilizados de forma ordenada e racional, e que o uso indiscriminado desses recursos têm sido a causa de uma rápida e intensa degradação ambiental. Isso tem causado a diminuição da capacidade produtiva da terra; sedimentação dos rios, lagos e açudes; desequilíbrio do regime hidrológico; contaminação de aquíferos e águas superficiais; depreciação e extinção de espécies vegetais e animais; poluição do meio ambiente.

O transporte de sedimentos é controlado por fatores como a quantidade e a distribuição de precipitações, estrutura física e química do solo, condições topográficas e cobertura vegetal. A atividade humana aumenta ou diminui a quantidade de água escoada superficialmente, influenciando o regime fluvial e o transporte de sedimentos (CHRISTOFOLETTI, 1981).

A erosão do solo não é apenas um problema agrícola. Ela está associada a uma série de questões ambientais, sociais e econômicas. Também tem sido reconhecida como um grande revés para a segurança alimentar e um problema sério para o desenvolvimento sustentável (TELLES et al., 2011).

Devido à importância de estudos sobre a erosão hídrica, vários são os modelos matemáticos que consideram fatores de ordem natural e antrópica, nas estimativas de produção de sedimentos, dentre outros parâmetros hidrológicos. Estes modelos são utilizados para o dimensionamento de estruturas de controle de erosão, avaliação de práticas de manejo da terra e avaliação e planejamento ambiental (MACHADO, 2003).

Para TUCCI (2005), “modelo é a representação de algum objeto ou sistema, numa linguagem ou forma de fácil acesso e uso, com o objetivo de entendê-lo e buscar respostas para diferentes entradas”.

O SWAT (Soil and Water Assessment Tool) é um modelo matemático de domínio público, desenvolvido no início dos anos 90, pelo United States Department of a Agricultural Research Service (USDA – ARS) e o Soil and Water Research Laboratory - Temple - Texas A&M University. Ele resulta da fusão e aprimoramento de componentes de modelos antecessores, como o

CREAMS, GLEAMS, EPIC, SWRRB e QUAL2E, de modo que em apenas um modelo permita-se gerarem resultados com novos refinamentos e melhor eficiência computacional (GASSMAN et al., 2007).

O modelo foi desenvolvido para prever o efeito de diferentes cenários de manejo na qualidade da água, produção de sedimentos e cargas de poluentes em bacias hidrográficas agrícolas (SRINIVASAN & ARNOLD, 1994). Ele subdivide a bacia total em sub-bacias com base no relevo, solos e uso do solo, preservando os parâmetros espacialmente distribuídos da bacia total e as características homogêneas dentro da mesma. Além disso, o SWAT possui uma interface chamada ArcSWAT, desenvolvida para integra-se a plataforma do ArcGIS® (um SIG - sistema de informação geográfica), que facilita a etapa de tratamento dos dados espaciais e a geração do banco de dados geográficos.

Diante do exposto, este trabalho teve por objetivo avaliar especificamente a produção de sedimentos em 3 diferentes cenários de uso das terras em uma bacia hidrográfica e identificar quais combinações, entre os elementos que a compõem, foram mais impactantes nesse processo de perda de solo pela erosão hídrica.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A área de estudo é a sub-bacia do Ribeirão do Pinhal (Figura 1), situada entre as coordenadas 22°26'25,03''S/47°24'38,17''O e 22°40'00,73''S/47°11'00,51''O (Datum SIRGAS2000).

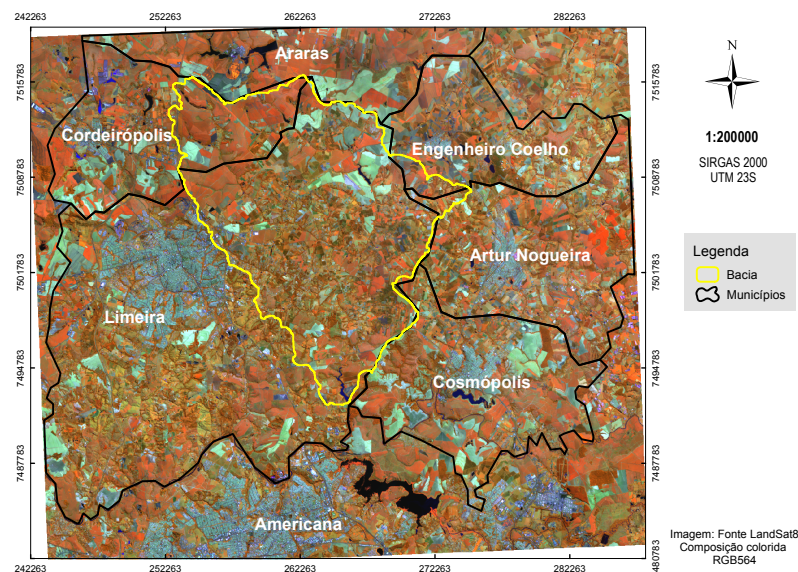


Figura 1. Localização da Bacia do Ribeirão do Pinhal-SP

A bacia do Ribeirão do Pinhal possui 289 km² de área sendo a maior parte pertencente ao município de Limeira. Abrange também os municípios de Cordeirópolis, Engenheiro Coelho e Artur Nogueira, portanto uma bacia intermunicipal. Está inserida na UGRHI5 - Unidade de Gerenciamento de Recurso Hídrico, numa região tradicionalmente industrial. A UGRHI5 é constituída pelo Comitê das Bacias Hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá (CBH-PCJ), criada através da Lei Estadual Paulista n° 7.663/91 e instalado em 18 de novembro de 1993.

Em relação à geomorfologia, a Bacia do Ribeirão do Pinhal está inserida na Depressão do Médio Tietê, que por sua vez está contida na Depressão Periférica Paulista, que faz parte da Bacia Sedimentar do Paraná.

O clima predominante é o tipo Aw, tropical chuvoso, segundo a classificação de Köppen. É uma região mais quente, com inverno seco e mês mais frio com temperatura média superior a 18°C.

A vegetação original era composta basicamente pelo cerrado, mais ao sul e sudeste, e no restante pela Floresta latifoliada tropical. Atualmente a vegetação natural original foi quase totalmente suprimida pela expansão agrícola (inicialmente pela citricultura e atualmente pelo setor sucroalcooleiro) e pelo crescimento das cidades.

A base temática para entrada no modelo SWAT foi obtida a partir do projeto realizado pelo Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), no ano de 2008, na região formada pela Bacia do Ribeirão do Pinhal.

Foram utilizados:

Mapa pedológico (figura 2), gerado a partir da interpretação dos dados analíticos físicos e químicos, das amostras de solo coletadas em campo, em conjunto com o auxílio de fotointerpretação, para a definição das unidades de mapeamento.

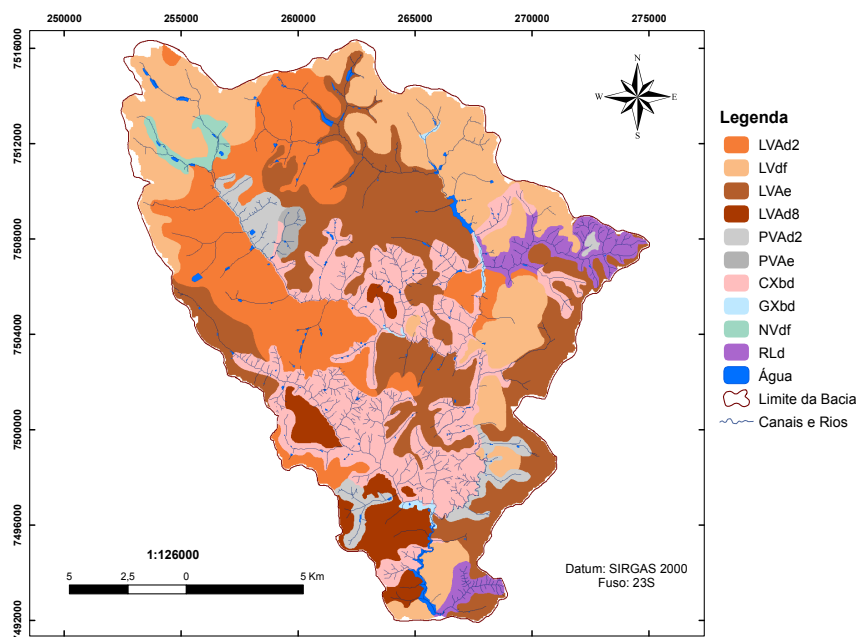


Figura 2: Mapa de solos da Bacia do Ribeirão do Pinhal. Fonte: IAC/2008

Mapa de uso da terra referente ao ano de 2008, gerado a partir da interpretação de imagens do satélite IRS-P6 (sensor pancromático com 5 metros de resolução espacial) mais a fusão do IRS-P6 com uma composição colorida de bandas do satélite americano LandSat7. Inicialmente o mapa contava com 32 unidades de usos mapeadas e que posteriormente, após a fusão de usos com características similares, gerou-se o mapa de uso da terra de entrada conforme figura 3.

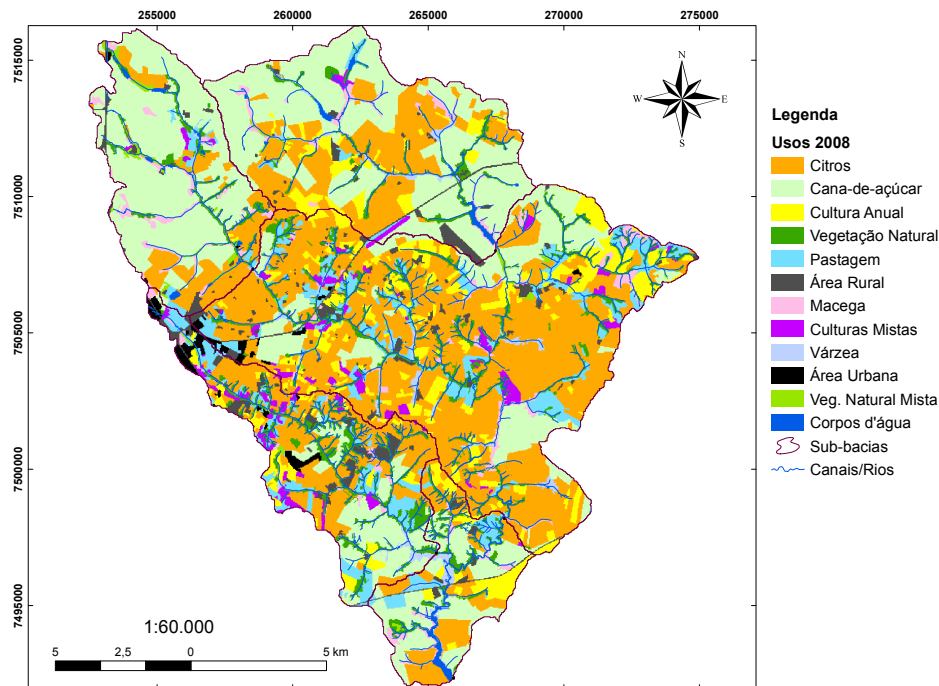


Figura 3: Mapa de uso da terra da bacia do Ribeirão do Pinhal-SP

O Modelo Digital de Elevação (MDE) - fundamental para geração das variáveis topográficas do modelo, como: a delimitação física da bacia hidrográfica, o cálculo dos fatores LS para a Equação da Perda Universal da Perda de Solos (EUPS), mapa de declividade, geração da rede de drenagem, entre outros - foi gerado através da interpolação das curvas de níveis, obtidas a partir de cartas planialtimétricas na escala de 1:10000 da região. A resolução espacial adotada foi de 30x30m.

Outro dado de entrada importante para o trabalho foi a geração de um mapa de uso da terra contendo as Áreas de Preservação Permanente (APP), devidamente legalizadas, em acordo com a Lei Floresta Brasileira vigente (“Código Florestal de 1965”, com ato declaratório definitivo em Maio de 2012, sob o nº 12651 e regulamentação sancionada em 05 de maio de 2014). Foram geradas faixas de proteção (APP) no entorno dos corpos d’água (adotou-se 30m de distancia), em seguida, inseridas ao mapa de uso de 2008, substituindo-se os usos encontrados nessas áreas, pelo uso Vegetação Natural, compondo desta forma, o cenário 2.

Para os dados climatológicos foi utilizada uma série histórica de registros coletados pela estação meteorológica de Cordeirópolis, cidade vizinha de Limeira. Foram selecionados dados diários relativos à precipitação (mm), temperaturas máxima e mínima (°C), radiação solar (MJ/m²), velocidade do vento (m/s) e umidade relativa do ar (%), de um período de 8 anos. Eventualmente, alguns registros faltantes foram supridos por dados modelados através do Global Weather Data for SWAT, um modelador climático disponível no endereço eletrônico do SWAT.

Após a preparação dos dados de entradas, foi executada a importação destes dados no SWAT, via ArcSWAT. Nessa etapa, primeiro é gerada automaticamente a área limite da bacia total, a partir do seu ponto exutório final e com base no MDE. Em seguida foram geradas 5 sub-bacias, no modo interativo. Os critérios adotados para a definição do ponto exutório de cada sub-bacia foram: a proximidade desses pontos com os locais de medição de vazão, fornecidos pela prefeitura de Limeira e o tipo uso predominante, para a análise da influencia desse uso sobre a produção de sedimentos. O resultado dessa etapa pode ser observado na figura 4.

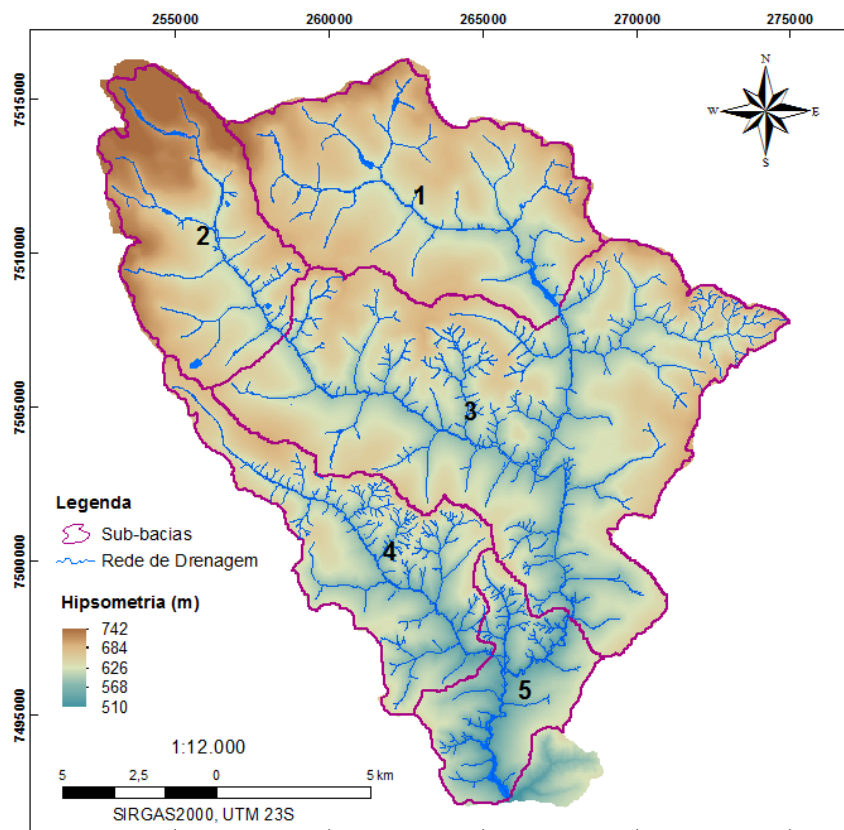


Figura 4: Mapa das 5 sub-bacias geradas pelo SWAT contendo ainda a rede de drenagem e a hipsimetria da bacia.

A próxima etapa foi a importação dos mapas de uso da terra e de solos, associando-se individualmente cada unidade mapeada ao seu correspondente na tabela de culturas e de solos, nativa da base de dados do SWAT. Essa tabela nativa do SWAT contém parâmetros específicos de várias culturas e solos que, utilizados em conjunto com os demais parâmetros de entrada, habilitam a execução das simulações. Por se tratar de um modelo concebido a princípio para atender as especificidades das culturas e solos americanos, de clima predominantemente temperado, essa base de dados nativa possui alguns parâmetros diferentes dos associados às regiões de clima tropical, como o Brasil. Por isso, alguns parâmetros de culturas foram ajustados baseando-se na literatura local, conforme tabela 1, e para o mapa de solos, todas as informações analíticas foram geradas a partir dos dados químicos e físicos de campo, fornecidos pelo IAC.

Tabela 1: Valores utilizados para ajustes em parâmetros dos usos mais influentes, na base de dados de usos do SWAT, identificados como relevantes para a adequação às condições de manejo agrícola do Brasil.

Usos	HVSTI	WSYF	BLAI	UsleC
Pastagem	0.4	0.3	6	0.0075
Cultura Anual	0.5	0.3	6	0.1069
Citros	0.3	0.09	2	0.05
Cana-de-açúcar	0.8	0.2	5	0.0754
Mata	0.02	0.01	6	0.001

Basicamente, os principais parâmetros que tiveram seus valores originais (*default*) alterados foram: *HVSTI*, *BLAI*, *WSYF* e *USLE_C*.

Os parâmetros *HVSTI* e *WSYF* representam respectivamente índice de colheita em condições ideais de crescimento e índice de colheita em condições de alto estresse de crescimento da planta. Estes parâmetros estão ligados ao processo de colheita da cultura e são índices da fração de biomassa da superfície que é removida durante a operação de colheita (ARNOLD et al., 2012).

Outro parâmetro ajustado foi o índice de área foliar máximo representado pelo parâmetro *BLAI*. O índice de área foliar (IAF), denominado por WATSON (1947) como sendo a razão entre a área foliar do dossel e a unidade de superfície projetada no solo (m²/m²), é uma variável biofísica que esta diretamente relacionada com a transpiração e a produtividade das plantas.

O fator *C* da *USLE* também teve seu valor ajustado para as condições condizentes com a realidade do sistema agrícola brasileiro, que é diferente do sistema americano. Estimativas do fator *C* para diversas culturas no Brasil são descritas em diversos trabalhos como os de De MARIA & LOMBARDI NETO (1997), BERTONI & LOMBARDI NETO (1990) e BERTOL et al. (2002).

Alimentadas a base de solos e culturas, na sequencia gerou-se o mapa de declividades da bacia, conforme figura 6, orientado pelas seguintes intervalos de declividade: 0-3%, 3-9%, 9-12%, 12-25% e maior que 25% (LEPSCH & BELLINAZZI, 1983).

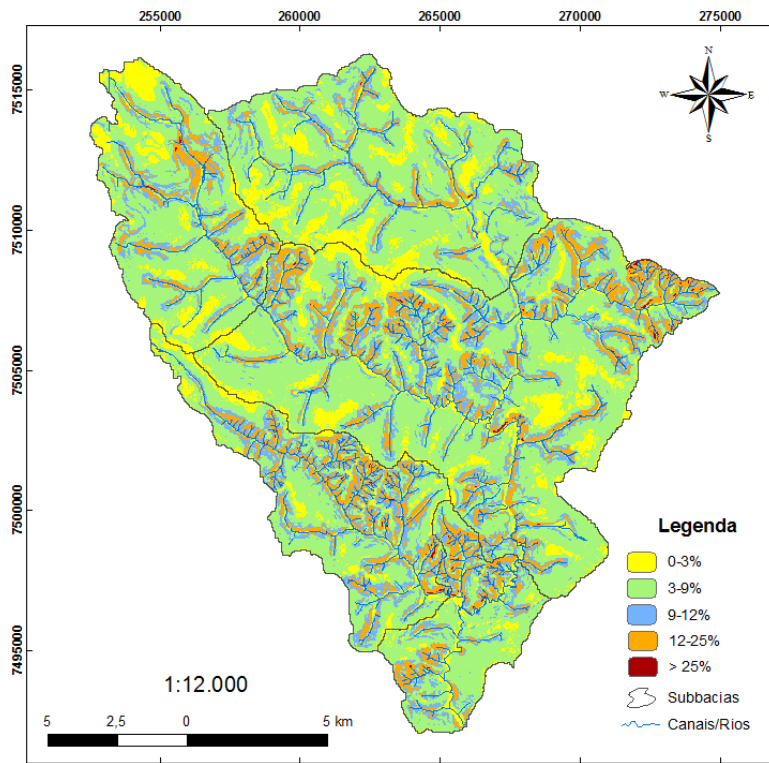


Figura 5: Mapa de declividade da Bacia do Ribeirão do Pinhal-SP

Depois de toda a base temática incorporada à base de dados do SWAT, foi realizado o cruzamento (overlay), gerando-se as HRU's (Unidade de Resposta Hidrológica). A finalidade da divisão da bacia por HRU's consiste no agrupamento de áreas com características físicas em comuns, visando à redução do tempo de processamento do modelo, além de permitir uma análise mais específica de um determinado local da bacia (NEITSH et al., 2010; NEITSH et al., 2011; WINCHELL et al., 2008).

A última etapa foi a importação dos dados climáticos. A série climática utilizada corresponde ao período de 01 de janeiro de 2007 até 26 de Agosto de 2014, num total de 8 anos. Os dados apresentam valores diários e são importados separadamente. Mais detalhes sobre o padrão de entrada são encontrados no manual de entrada e saídas de dados do SWAT (ARNOLD et al., 2012).

Terminada esta fase de alimentação da base de dados do SWAT, é executada a primeira simulação e verificados os resultados. Para isso, defini-se o primeiro ano de dados climáticos como treinamento do sistema e os anos seguintes para os resultados finais. A partir desses resultados preliminares, foram identificados valores de produção de sedimento não condizentes com os

normalmente encontrados para o Brasil. Estes valores se tonaram mais próximos das condições brasileiras, quando os parâmetros na tabela de culturas do SWAT foram ajustados, conforme descrito anteriormente.

Em seguida, foram executadas as simulações para os três cenários propostos e seus resultados, expressos em valores médios mensais.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados apresentados foram resultantes da simulação dos três cenários inicialmente propostos, alterando-se apenas as informações temáticas de uso da terra. No primeiro cenário, utilizou-se o mapa de uso da terra relativo ao ano de 2008. No segundo cenário, o mapa de uso da terra de 2008 com as áreas de preservação permanentes regularizadas. E no terceiro cenário, foi executada a substituição de 30% das áreas de citros e pastagem por cana-de-açúcar, através de um recurso do próprio ArcSWAT, sem a necessidade de gerar um terceiro mapa de uso da terra.

Todas as informações geradas pelos cruzamentos dos temas e cálculos relacionados aos fenômenos hidrológicos da bacia foram armazenadas individualmente em cada HRU's, gerando diversos relatórios de saída em formato de arquivo lidos em qualquer planilha ou editor de texto.

Para as análises dos resultados, foram considerados apenas os usos que apresentaram produção de sedimentos mais relevantes para a bacia total.

Na tabela 2, são apresentados os usos que mais influenciaram na produção de sedimentos da bacia.

Tabela 2: Distribuição das áreas dos usos mais representativos

Usos	Cenário 1		Cenário 2		Cenário 3	
	<i>ha</i>	%	<i>ha</i>	%	<i>ha</i>	%
Pastagem	678,45	2,34	603,66	2,08	499,76	1,73
Cult.Anual	2162,14	7,47	1817,92	6,28	2121,46	7,32
Citros	13658,17	47,16	12092,04	41,75	9553,63	32,99
Cana	11741,30	40,54	11172,50	38,58	15756,91	54,40
Mata	722,72	2,50	3276,39	11,31	1030,75	3,56

No cenário 2 nota-se o aumento da área de APP (representado na tabela 2 por Mata) devido a sua regularização, saltando de 2,5% para 11,31% de aumento em relação à área total da bacia. Em contrapartida, o Citros foi o uso que teve maior perda em pontos percentuais: 5,41%, portanto, o uso com maiores áreas em desacordo com prescrito na lei florestal vigente.

No cenário 3, percebe-se que em termos gerais, houve um pequeno aumento de cana sobre a pastagem. Isso se deve pelo fato da pastagem possuir originalmente uma área mais reduzida. Porém, quanto ao citros, nota-se uma mudança significativa, inclusive com a alternância do uso predominante sobre a área da bacia total, passando agora para a cana-de-açúcar.

Em relação à distribuição dos usos por sub-bacias, pelo mapa de usos da terra vemos uma predominância maior do uso Cana-de-açúcar sobre as sub-bacias 1 e 2. Já na sub-bacia 3, o predomínio é do uso Citros. As sub-bacias 4 e 5 possuem um uso mais variado, com destaque para vegetação natural e pastagem.

As informações relativas aos solos da bacia do ribeirão do Pinhal foram fundamentais ao desenvolvimento deste estudo, devido ao nível de detalhamento em que foi gerado o mapa de solos e pela qualidade dos dados físicos e químicos das amostras, ambos disponibilizados pelo projeto realizado pelo IAC, nesta região, em 2008. Estes dados serviram para a geração de todos os parâmetros exigidos para a alimentação da base de dados de solos do SWAT, que originalmente é abastecida com informações inerentes às condições climáticas e pedológicas nativas das condições agrícolas norte-americanas.

Quanto à distribuição dos tipos de solos em cada sub-bacia, nota-se a predominância dos Latossolos, representando mais de mais de 40% das áreas das sub-bacias 1 e 2, que também possuem como predomínio, declividades entre 3 a 9%. Outra importante observação é a predominância de Cambissolo nas sub-bacias 4 e 5. É destaque também a presença de Cambissolo na sub-bacia 3, onde o uso predominante é o citros.

Em relação à simulação de produção de sedimentos, objetivo principal deste estudo, na tabela 3 observa-se a contribuição de cada sub-bacia dentro de cada um dos 3 cenários.

Tabela 3: Produção de sedimentos por sub-bacia dentro de cada cenário. Média dos 7 anos avaliados, expresso em Mg.ha-1.

	Sub-bacia1	Sub-bacia2	Sub-bacia3	Sub-bacia4	Sub-bacia5	Média7anos
Cenário1	6,22	10,71	8,69	9,69	6,53	8,37
Cenário2	6,19	10,67	8,2	8,13	5,51	7,74
Cenário3	8,04	11,22	9,23	8,75	5,66	8,58

Em uma primeira análise da tabela 3, nota-se que em ambos os 3 cenários, a sub-bacia 2 é a maior produtora de sedimentos. Observando mapas anteriores, percebe-se que a sub-bacia 2 está localizada na região mais a montante da bacia hidrográfica do Ribeirão do Pinhal, portanto, na sua cabeceira. FREITAS et al., (2013) aponta em seu trabalho realizado na bacia hidrográfica do rio

Jundiaí-Mirim/SP, indicadores ambientais para a priorização de recuperação de APP's, dentre as quais, as áreas de cabeceira da bacia, onde se encontram o afloramento do aquífero e o nascimento do rio, e que possuem maior susceptibilidade aos processos erosivos. Sendo assim, este estudo corrobora a justificativa de que, numa eventual ação ambiental visando a diminuição da produção de sedimentos, se priorize inicialmente a recuperação da sub-bacia 2.

Porém, a sub-bacia 1, foi a que sofreu maior impacto nas mudanças. Isso é explicado por grande parte de sua área ser abrangida por um latossolo LVAe, que mesmo não possuindo o maior fator de erodibilidade (fator K da Usle) dentre os demais, teve grande peso final no cálculo da produção de sedimentos.

O cenário 2, referente ao uso com as APP's preservadas, foi o que apresentou menor produção de sedimentos, como esperado.

Já no cenário 3, onde se esperava uma maior produção de sedimentos em relação ao cenário 2, esta diferença não foi tão significativa. Porém comprovou o fato de que, com a expansão da cultura da cana-de-açúcar, aumenta-se também a produção de sedimentos superficiais, quando comparadas áreas que possuem características geomorfológicas e climáticas semelhantes.

Os índices de produção de sedimentos diminuíram nas sub-bacias 4 e 5. Isso se explica pelo fato de ter ocorrido nestas sub-bacias, uma maior substituição de pastagem por cana-de-açúcar. E, de acordo com os resultados obtidos neste trabalho, a pastagem apresentou um maior potencial de produção de sedimentos.

Os mapas a seguir apresentam a distribuição espacial da produção de sedimentos por HRU's, diante de cada cenário.

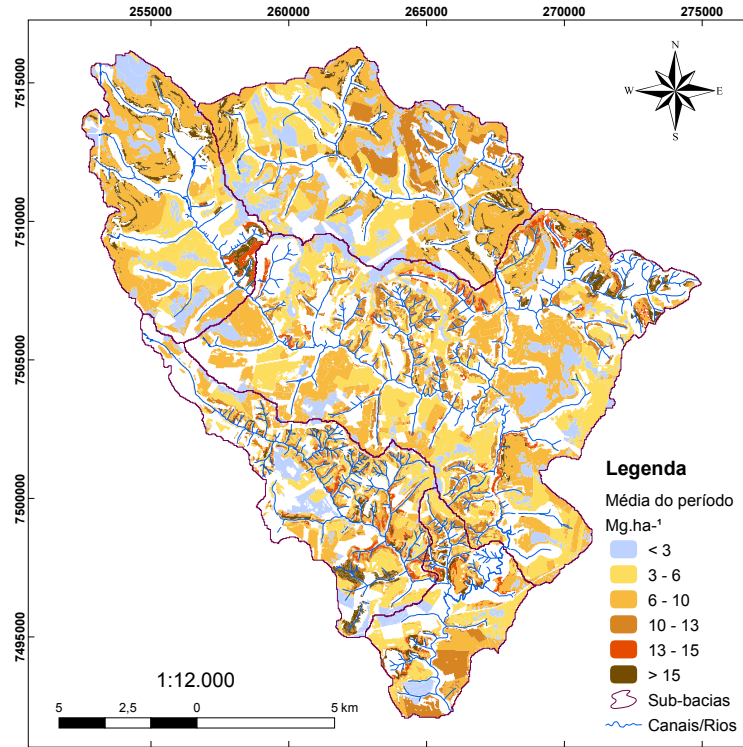


Figura 8: Média de produção de sedimento do período por HRU, para o cenário 1

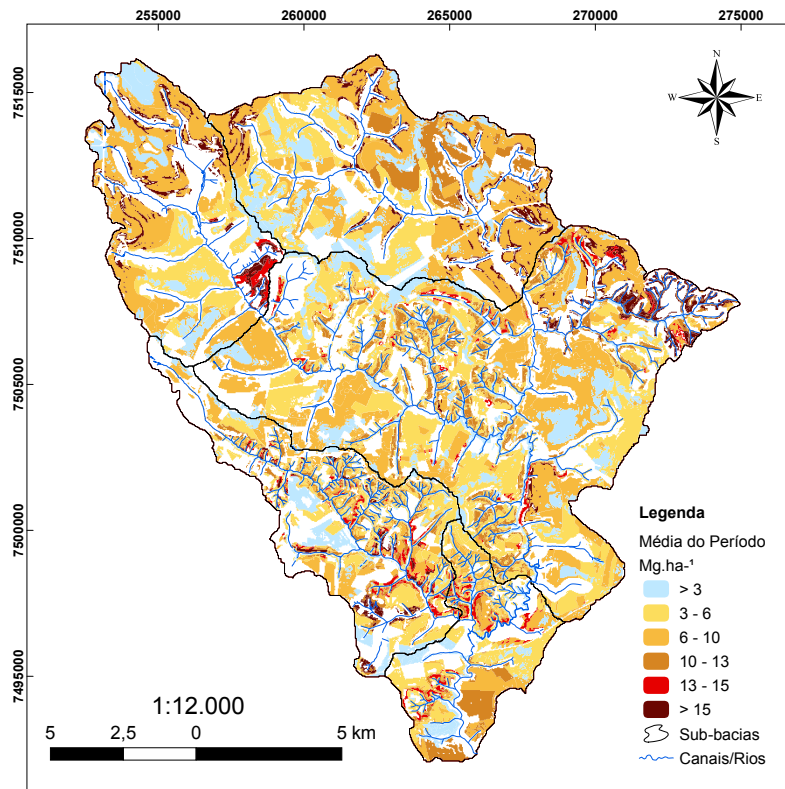


Figura 9: Média de produção de sedimento do período por HRU, para o cenário 2

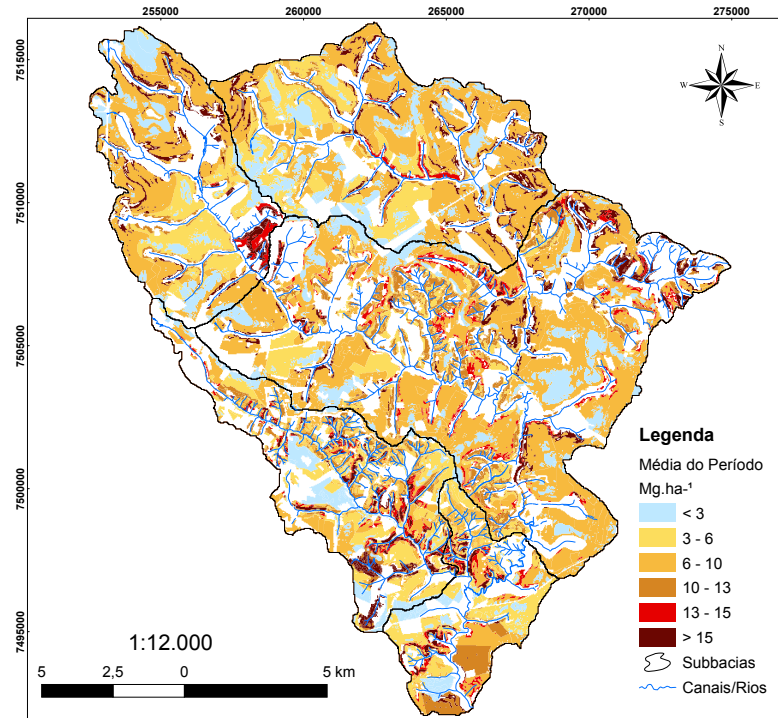


Figura 10: Média de produção de sedimento do período por HRU, para o cenário 3.

Numa análise visual e preliminar dos mapas acima, percebe-se que não houve mudanças tão notórias. Mas um aspecto importante desses mapas é a possibilidade de visualização das áreas com maiores problemas de erosão, em virtude das combinações dos diversos fenômenos envolvidos nas simulações, oferecendo-nos melhores condições de entender a sistemática dessas regiões e de planejar e implantar trabalhos conservacionistas.

Quanto à produção de sedimento por uso, considerando-se apenas os mais representativos, a tabela 4 resume algumas informações importantes a respeito de cada cenário.

Tabela 4: Produção de sedimentos por uso e por cenário. Área em km², fator *LS* da *Usle* e *Sed th*, produção anual média dos 7 anos considerados, em toneladas por hectare.

Usos	Cenário 1			Cenário 2			Cenário 3		
	Área km ²	Usle_LS	Sed th	Área km ²	Usle_LS	Sed th	Área km ²	Usle_LS	Sed th
Pasto	6,79	1,48	9,47	6,04	1,45	9,07	5	1,47	9,38
C.Anual	21,62	1,23	8,75	18,18	1,21	8,52	21,21	1,25	8,79
Citros	136,62	1,02	7,38	120,93	0,99	7,29	95,54	1,10	7,85
Cana	117,43	1,03	7,35	111,70	1,01	7,20	157,59	1,06	7,66
Mata	7,23	1,88	6,74	32,77	1,71	5,39	10,31	1,84	5,96

Na tabela, os usos estão dispostos em ordem decrescente de produção de sedimentos. Nota-se que esta ordem prevaleceu nos três cenários.

Em relação aos usos citros e a cana-de-açúcar, há pequena diferença, comprovando desta forma que, para os cenários propostos, nas condições de clima, solos e declividades encontradas para a bacia do Ribeirão do Pinhal, esses dois usos possuem comportamento similares quanto à produção de sedimentos.

A pastagem, quando em estado de conservação deficitário, devido às práticas agrícolas não conservacionistas, em que não se utilize, por exemplo, um sistema de rodízio de piquetes, tende a ter uma maior produção de sedimentos.

Nesse estudo foram utilizados valores do fator C da USLE, para pasto e cana-de-açúcar de: 0,0075 e 0,754, respectivamente. E mesmo com um valor relativamente baixo, a pastagem produziu mais sedimentos em relação à cana-de-açúcar, devido às condições mais desfavoráveis dos solos e declividades, das áreas em que mais se concentram, notadamente nas sub-bacias 4 e 5.

Como citado na metodologia, alguns parâmetros na base de dados de culturas, foram ajustados à realidade brasileira. Porém, o fator LS da USLE, que possui influencia direta no cálculo final da equação de perdas de solos, é um parâmetro físico inerente às condições de relevo da bacia, ou seja, que não pode ser manipulado ou ajustado. Pela tabela, nota-se que os valores do fator LS encontrados para cada uso, são bem distintos, e os maiores valores estão relacionados justamente aos usos pastagem e vegetação natural. Isto explica o motivo da produção de sedimento da vegetação natural e pastagem terem alcançado valores relativamente altos em relação à expectativa inicial do projeto.

4 CONCLUSÃO

Para as condições em que esse trabalho foi realizado e de acordo com os resultados obtidos, pode-se concluir que:

- O SWAT mostrou-se adequado para a modelagem hidrossedimentológica do Ribeirão do Pinhal, permitindo uma melhor compreensão dos fenômenos hidrológicos dessa bacia, em especial, a questão da produção de sedimentos;
- A esperada elevação na produção de sedimentos em virtude da expansão de área de cana-de-açúcar sobre as áreas de citros e pastagem, não foi significativa, o que pode ser explicado pelas condições de manejo do solo entre essas áreas;

- As sub-bacias situadas em áreas de cabeceiras e/ou com predominância de solos mais suscetíveis à erosão, como argissolos e cambissolos, apresentaram maiores produções de sedimentos.
- Neste contexto, verificou-se que a interface do SWAT com SIG, permitiu não somente a simulação de cenários de uso e ocupação das terras, mas também a espacialização dos resultados, identificando as sub-bacias e as classes de uso e manejo do solo com maior produção de sedimentos, o que consiste numa excelente ferramenta de gestão territorial.

REFERÊNCIAS

- ARNOLD, J. G., KINIRY, J. R., SRINIVASAN, R., WILLIAMS, J. R., HANEY, E. B., & NEITSCH, S.L. (2012). *Soil & Water Assessment Tool: Input/output documentation*. Texas Water Resources Institute, TR-439 (2012).
- BERTOL, I.; SCHICK, J.; BATISTELA, O. Razão de perdas de solo e fator c para milho e aveia em rotação com outras culturas em três tipos de preparo de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n2, p:545-552, 2002.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 4 ed. São Paulo: Ícone, 1990. 355 p.
- BICUDO, C. E. M. Reconstrução paleolimnológica da Represa Guarapiranga e diagnóstico da qualidade atual da água e dos sedimentos de mananciais da RMSP com vistas ao gerenciamento do abastecimento. Projeto do Instituto de Botânica de São Paulo. Processo FAPESP: 2009/53898-9. 2010.
- CHRISTOFOLETTI, A. Geomorfologia Fluvial: o canal fluvial. 2ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1981.
- CRUZ, B.S. Diagnóstico Ambiental da Bacia hidrográfica do rio Uberaba-MG. Campinas, 2003. 180p. Tese (Doutorado) – FEAGRI/UNICAMP
- DE MARIA, I.C. & LOMBARDI NETO, F. Razão de perdas de solo e fator C para sistemas de manejo da cultura do milho. **R. Bras. Ci. Solo**, 21:263-270, 1997.
- FENGLER, F.H.; MORAES, J.F.L.; PECHE FILHO, A.; STORINO, M.; RIBEIRO, A.I.. Qualidade ambiental dos fragmentos florestais na bacia hidrográfica do rio Jundiá-Mirim entre 1972 e 2013. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Paraíba**, v. 19, no. 4, p. 402-408, 2015.

- FREITAS, E. P., MORAES, J. F. L., PECHE FILHO, Afonso, STORINO, M. Indicadores ambientais para áreas de preservação permanente. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** (Online). , v.17, p.443 - 449, 2013.
- GASSMAN, P. W. **The Soil and Water Assessment Tool: Historical Development, Applications, and Future Research Directions**. American Society of Agricultural and Biological Engineers. Vol. 50(4): 1211-1250, 2007.
- GOLDENFUM, J. A. **Pequenas bacias hidrográficas: Conceitos básicos**. In: PAIVA, J. B. D.; PAIVA, E.M.C.D. (ed.). Hidrologia aplicada à gestão de pequenas Bacias Hidrográficas. Porto Alegre: ABRH, 2001. p.3-14.
- LEPSCH, I.F.; BELLINAZZI JR, R. Manual para levantamento utilitário do meio físico-classificação de terras no sistema de capacidade de uso. Sociedade brasileira de ciência do solo, 1983 - 175 p.
- MACHADO, R. E.; VETTORAZZI, C. A.; CRUCIANI, D. E. Simulação de escoamento em uma microbacia hidrográfica utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.8, n.1, p.147-155, 2003.
- MOTA, S.; AQUINO, M. D. Gestão Ambiental. In CAMPOS, Nilson; STUDART, Ticiania (Orgs). Gestão de Águas: princípios e práticas. **ABRH**, Porto Alegre, 2001.
- NEITSCH, S. L., ARNOLD, J. G., KINIRY, J. R., SRINIVASAN, R., AND WILLIAMS, J. R.: Soil and Water Assessment Tool Input/Output File Documentation Version 2009, Grassland, Soil and Water Research Laboratory, Agricultural Research Service and Blackland Research Center, Texas Agricultural Experiment Station, College Station, Texas, 2010.
- NEITSCH, S. L., ARNOLD, J. G., KINIRY, J. R., AND WILLIAMS, J. R.: Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation Version 2009, Grassland, Soil and Water Research Laboratory, Agricultural Research Service and Blackland Research Center, Texas Agricultural Experiment Station, College Station, Texas, 2011
- OLIVEIRA, J. B.; SOSA, S. M. **Sistema de Classificacion de Ia Aptitude Agroecologica de Ia Tierra (S.C.A.A.T.) para Ia Region Oriental del Paraguay**. 1º aproximacion. Assuncion, Paraguay: UNA.FCA.CIF.GTZ. 1995. 77p.
- PORTO, M.F. A e PORTO, R.L.L. **Gestão de bacias hidrográficas**. Estudos Avançados, São Paulo, v. 22, n. 63, p. 43-60, 2008.
- RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S. B.; CORRÊA, G. F. **Pedologia: Base para distinção de ambientes**. 5.ed. Lavras: UFLA, 2007. 322p.
- RIGHETTO, A. M. **Hidrologia e recursos hídricos**. São Carlos: EESC/USP, 1998. 840p.

SRINIVASAN, R.; ARNOLD, J.G. **Integration of a basin-scale water quality model with GIS.** Water Res. Bull, v.30, p. 453-462, 1994.

TELLES, TIAGO SANTOS; GUIMARAES, MARIA DE FÁTIMA; DECHEN, SONIA CARMELA FALCI. The costs of soil erosion. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa , v. 35, n. 2, p. 287-298, Apr. 2011 .

TUCCI, C. E. M. **Modelos hidrológicos.** 2 ed. Porto Alegre. Ed. UFRGS, 669p, 2005.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. **Limnologia.** São Paulo: oficina de textos, 2008. 631p.

WATSON, D. J. **Comparative physiological studies on growth of field crops: I. Variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties, and within and between years.** Annals of Botany, v. 11, p. 41-76, 1947.

WINCHELL, M.F.; JACKSON, S.H.; WADLEY, A.M. & SRINIVASAN, R. **Extension and validation of a geographic information system-based method for calculating the Revised Universal Soil Loss Equation length-slope factor for erosion risk assessments in large watersheds.** J. Soil Water Conserve., 63:105-111, 2008