



## SIMULAÇÃO DO ESCORRIMENTO SUPERFICIAL E PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS NA MICROBACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS GUABIROBAS - SP

*C.A. Galharte<sup>1</sup>, J.M. Villela<sup>2</sup>, S. Crestana<sup>3</sup>*

- (1) Embrapa Pecuária Sudeste, Rodovia Washington Luiz, km 234 s/n, 13560-970, São Carlos, SP, carol.galharte@gmail.com  
(2) Universidade de São Paulo, USP, Avenida Trabalhador São-Carlense, 400, 13566-590, São Carlos, SP, jomarville@hotmail.com  
(3) Embrapa Instrumentação, Rua XV de Novembro, 1452, 13560-970, São Carlos, SP, silvio.crestana@embrapa.br

**Resumo:** Diante da crescente produção mundial de biocombustível, o Brasil possui diversas vantagens frente aos demais países que o potencializam para se tornar líder mundial na produção de combustíveis a partir de fontes renováveis. Nesse trabalho estimou-se o escoamento superficial e a produção de sedimentos em cenários de produção de bioenergia da microbacia hidrográfica do ribeirão das Guabiobas (MBH-G), localizada no município de São Carlos, SP. Para isto, foram aplicados os modelos de simulação CLUE-S (Conversion of Land Use and its Effects at Small Region Extent) e a posteriori o SWAT (Soil and Water Assessment Tool). Por meio das diferentes demandas por áreas inseridas no CLUE-S foi possível gerar cenários da MBH-G para o ano de 2025 e, com o auxílio do SWAT, estimar o escoamento superficial e a produção de sedimentos nos diferentes usos do solo. A cultura da cana-de-açúcar e do eucalipto foram, pelas simulações, as mais suscetíveis ao escoamento superficial e produção de sedimentos.

**Palavras-chave:** escoamento superficial, produção de sedimentos, CLUE-S, SWAT, cana-de-açúcar.

### *SIMULATION OF RUNOFF AND SEDIMENT YIELD IN WATERSHED GUABIROBAS - SP*

**Abstract:** Concerning the growing global biofuel production, Brazil has many advantages compared to other countries that allow it to become a world leader in the production of fuels from renewable sources. In this study we estimated the runoff and sediment production in bioenergy production scenarios of the watershed Guabiobas (MBH-G), located in São Carlos, Brazil. Simulation models CLUE-S (Conversion of Land Use and Its Effects at Small Extent Region) and SWAT (Soil and Water Assessment Tool) were applied. Imposing different demands on areas, CLUE-S was able to generate MBH-G scenarios for the year 2025 and, with the assistance of SWAT, estimate runoff and sediment yield for different land uses. Sugar cane and eucalyptus were simulated to be most prone to runoff and sediment production.

**Keywords:** runoff, sediment yield, CLUE-S, SWAT, sugarcane.

### 1. Introdução

Analisar as possíveis alterações na paisagem e seus impactos constitui uma tarefa complexa, sendo importante o desenvolvimento de pesquisas que mensurem com melhor precisão a magnitude das alterações no uso e cobertura do solo. O uso da modelagem espacial representa uma importante ferramenta para avaliar cenários de mudanças de curto e longo prazo. Além disso, é possível utilizar modelos de simulação com o intuito de verificar os possíveis impactos nos recursos hídricos desses cenários, sendo útil na tomada de decisões em diversos níveis de estudo.

Nesse trabalho estimou-se o escoamento superficial e a produção de sedimentos em cenários da microbacia hidrográfica do ribeirão das Guabiobas MBH-G consolidada com cultura de cana-de-açúcar.

O arcabouço de simulação CLUE-S foi desenvolvido por Veldkamp & Fresco (1996), e Verburg et al., (1999) com o objetivo de simular mudanças de uso da terra usando as relações quantificadas empiricamente entre os diferentes usos da terra e seus fatores determinantes em combinação com modelagem dinâmica da concorrência entre os tipos de uso da terra.

O CLUE-S é espacialmente explícito e requer um banco de dados que contenha fatores considerados importantes para a área de estudo. Assim, o banco de dados deve ser único, pois cada área de estudo possui características diferentes, assim como fatores determinantes na dinâmica do uso e cobertura do solo (SOLER, 2010).

É possível gerar menor impacto ambiental e uma produção mais sustentável quando se realiza o planejamento das mudanças de uso e cobertura do solo. Sendo assim, o planejamento do uso do solo é uma importante fonte de informação para auxiliar na gestão ambiental.

## 2. Materiais e Métodos

### 2.1. Microbacia Hidrográfica do Ribeirão das Guabiobas (MBH-G)

A área de estudo é MBH-G, localizada na região central do Estado de São Paulo, nos municípios de São Carlos, Luiz Antônio, Rincão, Santa Lúcia e Américo Brasiliense, ocupando uma área de 5146 ha. A escolha da MBH-G se deve ao fato de possuir, em seu uso e cobertura do solo, as principais culturas representativas do estado de São Paulo, isto é, cana-de-açúcar e laranja, além de áreas de pastagem e da silvicultura. Assim, os resultados podem gerar extrapolações para todo o Estado de São Paulo.

### 2.2. Conversão de Uso da Terra e seus Efeitos em regiões de Pequena extensão (CLUE-S)

O modelo CLUE-S é um software que simula dinamicamente múltiplos usos da terra por meio da competição entre as classes de uso em escala local e regional (Verburg et al., 1999).

Foi utilizado o modelo CLUE-S, com as seguintes entradas: Mapa de uso e ocupação de 2005 da MBH-G, densidade populacional rural, renda per capita, distância a estradas, distância a rios, distância a usinas, custo da distância a usinas, hipsometria, classes de solo, temperatura máxima, temperatura mínima e precipitação. Ressalta-se que os fatores que influenciam na mudança de cada uso e cobertura do solo (variáveis dependentes) são denominados fatores explanatórios ou variáveis independentes; os respectivos dados foram gerados na interface ArcView versão 9.3 na escala de 1:250.000.

### 2.3. Ferramenta de Avaliação de Água e Solo (SWAT)

Com o intuito de estimar o escoamento superficial e a produção de sedimentos devido à mudança de uso e cobertura, foi selecionado o modelo hidrossedimentológico SWAT desenvolvido para simular o impacto das atividades agrícolas na qualidade das águas superficiais.

O SWAT simula o impacto das práticas de manejo do solo sobre a produção de sedimentos, escoamento, carga de poluentes e qualidade da água em bacias hidrográficas que possuem diferentes tipos, usos e manejos de solos, durante longos períodos. O modelo apresenta os seguintes componentes: clima, ciclo hidrológico, cobertura do solo e crescimento de plantas, erosão, nutrientes e pesticidas e práticas de manejo (Neitsch et al., 2002).

O balanço hídrico é a força que conduz todos os processos simulados pelo SWAT (Minoti et al., 2011). A simulação hidrológica da bacia hidrográfica é separada em duas grandes divisões: a fase terrestre do ciclo hidrológico e a fase aquática.

A fase terrestre controla a quantidade de água e as cargas de sedimento, nutrientes e pesticidas que atingem o canal principal de cada sub-bacia. A fase aquática está relacionada ao movimento de água, sedimentos, entre outros, pela rede de canais, em direção à saída da bacia hidrográfica.

Para a simulação, o SWAT demanda os seguintes dados: modelo Digital de Elevação (MDE) e a máscara da bacia hidrográfica para realizar o delineamento da mesma; o mapa de uso e cobertura do solo e mapa de pedologia para que o Conforme Neitsch et al. (2002), as informações de entrada para cada sub-bacia são agrupadas em Unidades de Resposta Hidrológica (HRU's) baseadas no tipo de solo, uso e cobertura do solo e em classes de declividade preservando a homogeneidade permitindo maior discretização do modelo na área simulada a fim de identificar áreas mais vulneráveis e; dados das camadas de solo e dados climáticos mensais e diários.

## 3. Resultados e Discussão

Por meio da regressão logística com os usos e cobertura do solo da MBH-G, foi possível verificar que os fatores explanatórios (variáveis independentes) do CLUE-S que influenciaram na probabilidade de alocação do uso e cobertura da MBH-G foram custo da distância a usinas de cana-de-açúcar, densidade populacional rural, distância a rios, hipsometria, renda per capita, temperatura máxima, temperatura mínima e precipitação; assim, as áreas com maior probabilidade para alocação dos usos e cobertura apresentavam menores distâncias às usinas, menor densidade populacional, maior distância a rios, com média de temperatura mínima de 18 °C, média de temperatura máxima de 31 °C e precipitação de 1200 mm.

Através de regressão linear foram geradas as demandas que foram inseridas no modelo CLUE-S; para isto foram elaborados mapas de uso e ocupação da MBH-G baseados em imagens de satélite LandSat-7 fornecidas pelo INPE com o objetivo de obter informações do histórico do uso e ocupação da área de estudo, desde 1988 até 2011.

Ao utilizar dados amostrais de 1988 a 2011 para gerar o Cenário 1 da MBH-G de 2025, a primeira demanda requereu 3447 ha de cana-de-açúcar, 236 ha de eucalipto, 954 ha de laranja, 473 ha de vegetação nativa e 36 ha de avicultura; quando foram utilizados dados amostrais de 2005 a 2011 que gerou o Cenário 2 da MBH-G de 2025, a segunda demandou 2089 ha de cana-de-açúcar, 65 ha de eucalipto, 2483 ha de laranja, 473 ha de vegetação

nativa e 36 ha de avicultura; a área de vegetação nativa e a área de avicultura são as mesmas, pois ambas são áreas de restrição nas quais não ocorrem mudanças.

As diferentes demandas por áreas possibilitaram a geração de dois cenários pelo modelo CLUE-S. Ao analisar o Cenário 1 (Figura 1A) e o Cenário 2 (Figura 1B) da MBH-G gerados pelo CLUE-S e compará-los com o mapa da MBH-G de 2005 (Figura 1C), nota-se que no Cenário 1 ocorreu expansão da cana-de-açúcar em detrimento da cultura da laranja, da pastagem e do eucalipto e que a pastagem desapareceu completamente; percebe-se que a cultura da cana-de-açúcar não dominou todos os usos, mas, competiu diretamente com a cultura da laranja, tanto que é perceptível a expansão da cultura da laranja em área que outrora fora cana-de-açúcar. Além disto, a laranja também se expandiu em área de eucalipto, mesmo que de forma mais modesta.

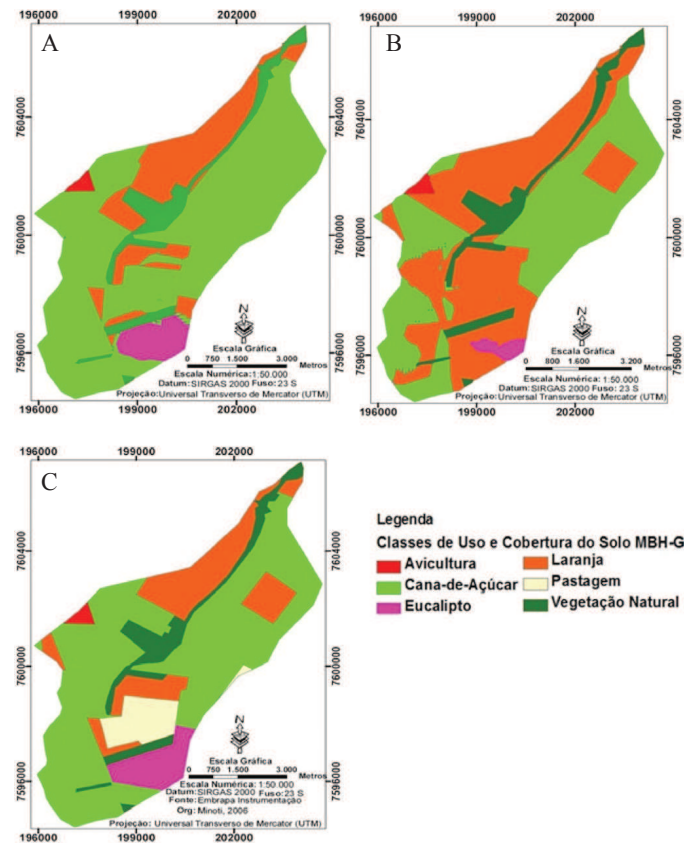


Figura 1. Mapa de uso e ocupação da microbacia hidrográfica do ribeirão das Guabiobas: Cenário 1 (A), Cenário 2 (B) e mapa de uso e ocupação de 2005

Ao comparar o Cenário 2 com o mapa da MBH-G de 2005, nota-se que a cultura da laranja se expandiu sobre a cana-de-açúcar, o eucalipto e a pastagem, que novamente desapareceu por completo; esta tendência de expansão significativa da cultura da laranja na MBH-G é devida sobretudo ao fato de que em 2007 uma propriedade inserida na MBH-G, na qual se cultivava cana-de-açúcar, foi vendida e nesta área se iniciou o cultivo da laranja; como para a demanda deste cenário se utilizaram os dados amostrais de 2005 a 2011, gerou-se esta tendência.

Observa-se que na simulação a expansão da cana-de-açúcar sobre a área de pastagem corresponde à realidade brasileira, tanto que Rudorff et al. (2010) afirmaram que na safra 2008/2009 houve a expansão de 1,3 milhão de hectares de cana-de-açúcar, em que 56% da área expandida pela cultura ocorreram sobre área de pastagem, 40% sobre áreas agrícolas com culturas anuais e 3% sobre área com laranja e vegetação.

Os dois cenários serviram de dados de entrada para o modelo SWAT a fim de fornecer uma avaliação do potencial impacto das mudanças de uso do solo nos diferentes cenários.

A análise dos dois cenários revela que a produção de sedimento e o escoamento superficial são maior no Cenário Guabiobas 1, embora algumas sub-bacias apresentem os mesmos valores para ambos os cenários.

O valor médio do escoamento superficial do Cenário Guabiobas 1 obtido pelo modelo SWAT nas sub-bacias foi de 116 mm/ano e o valor médio da produção de sedimentos foi de 0,049 t/ha/ano. No Cenário Guabiobas 2, o valor médio do escoamento superficial e da produção de sedimentos nas sub-bacias foi de 84 mm/ano e 0,024 t/ha/ano, respectivamente.

A MBH-G possui declives menos acentuados, com uma média de 3,3% de declividade e o uso da terra é dominado por plantações, por isso não apresenta uma perda de solo tão significativa (MINOTI et al 2011).

Silva et al. (2010) obtiveram os seguintes valores de perda de solo de uma sub-bacia localizada na Fazenda experimental Canchim da Embrapa no município de São Carlos – SP para os usos do solo: mata nativa 0,39 t/ha/ano; eucalipto 2,9 t/ha/ano; pastagem 3,86 t/ha/ano; cana-de-açúcar 32,5 t/ha/ano e milho 42 t/ha/ano.

De acordo com a simulação realizada com o modelo SWAT e comparação do uso do solo dos cenários, pode-se estimar que a cultura da cana-de-açúcar e do eucalipto propiciam maior produção de sedimento e maior escoamento superficial em relação à cultura da laranja.

#### 4. Conclusões

As demandas por área de cada um dos usos do solo da MBH-G influenciaram diretamente nos resultados. A partir das diferentes demandas foi possível gerar diferentes cenários. A simulação de cenários da MBH-G no modelo SWAT propiciou verificar que os usos do solo com eucalipto e cana-de-açúcar na área de estudo foram os mais suscetíveis ao escoamento superficial e produção de sedimentos. O modelo SWAT não foi calibrado, porém identificou quais culturas propiciam maior escoamento superficial e produção de sedimentos.

#### Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq pelo financiamento e à Embrapa Instrumentação pelo apoio, que possibilitaram a realização deste trabalho.

#### Referências

- NEITSCH, S.L.; ARNOLD, J.G.; KINIRY, J.R.; SRINIVASAN, R.; WILLIAMS, J.R. Soil an Water Assessment Tool – User’s Manual: Version 2000. Temple, Blackland Research Center, Texas Agricultural Experiment Station. 2002. 412 p.
- MINOTI, R. T. Abordagens Qualitativa e Quantitativa de Micro-bacias Hidrográficas e Áreas Alagáveis de um Compartimento do Médio Mogi-Superior-SP. 2006. 231 p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, 2006.
- RUDORFF, B. F. T.; AGUIAR, D. A. de.; SILVA, W. F. da; SUGAWARA, L. M.; ADAMI, M.; MOREIRA, M. A. (2010). Studies on the Rapid Expansion of Sugarcane for Ethanol Production in São Paulo State (Brazil) Using Landsat Data. *Remote Sensing*, v.2, n. 4, p. 1057-1076, 2010.
- SILVA, F. G. B.; MINOTI, R. T.; LOMBARDI NETO, F.; PRIMAVESI, O.; CRESTANA, S. Previsão da perda de solo na Fazenda Canchim - SP (Embrapa) utilizando geoprocessamento e USLE 2D. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 15, p. 135-142, 2010.
- SOLER, L. S. Modelagem espacial de uso da terra utilizando o CLUE-S. Conceito e aplicações para estudos de dinâmica de uso da terra, Material de apoio, 2010, 49 p.
- VELDKAMP, A.; FRESCO, L.O. CLUE-CR: An integrated multi-scale model to simulate land use change scenarios in Costa Rica. *Ecological Modelling*, v. 91, p. 231-248, 1996.
- VERBURG, P. H., DE KONING, G. H. J., KOK, K., VELDKAMP, A., BOUMA, J. A spatial explicit allocation procedure for modelling the pattern of land use change based upon actual land use. *Ecological Modelling*, v.116, p. 45-61, 1999.