SIMULAÇÃO DA PRODUÇÃO E TRANSPORTE DE SEDIMENTOS NA BACIA DO ALTÍSSIMO RIO NEGRO COM O MODELO SWAT

Gilson Bauer Schultz[1], Rodrigo Marcos de Souza[2], Irani dos Santos[3]

RESUMO --- O estudo dos processos de produção e transporte de sedimentos em bacias hidrográficas tem se ampliado com a preocupação crescente de conservação dos solos e de prevenção de impactos em ambientes fluviais e estuarinos. A falta de dados em pequenas bacias traz a necessidade de utilização de modelos de predição de erosão, para quantificar a carga de sedimentos produzida nessas áreas. O modelo SWAT foi utilizado para simular a produção e transporte de sedimentos diários da bacia do Altíssimo Rio Negro, região sul brasileira. Após a calibração o modelo apresentou coeficiente de eficiência igual a 0,38 para a simulação diária e 0,86 para médias mensais. Os resultados demonstram que o modelo SWAT possui limitações para a simulação de produção e transporte de sedimentos em intervalo de tempo diário, mas reproduz de forma adequada o comportamento mensal.

ABSTRACT --- Studying the processes of production and transport of sediment in watershed has been expanded with the growing concern for soil conservation and prevention of impacts on river and estuarine environments. The lack of data in small watersheds brings a need for of erosion prediction models to quantify the sediment yield in these areas. The SWAT model has been used to simulate the daily production and transport of sediments in the basin of Upper Negro River, southern Brazil. After calibration the model has shown an efficiency coefficient of 0.38 for the daily simulation and 0.86 for monthly averages. The results show that SWAT model has limitations for simulate the production and sediment transportion in daily time step, but reproduces adequately the monthly behavior.

Palavras-chave: Erosão, transporte de sedimento, modelo SWAT

1) Bolsista CNPq ITI-A, Laboratório de Hidrogeomorfologia da Universidade Federal do Paraná (LHG/UFPR) Curitiba, PR, CEP 81531-990 - Caixa-Postal: 19001 - emaildogilson@hotmail.com
2)Bolsista CAPES, Laboratório de Hidrogeomorfologia da Universidade Federal do Paraná (LHG/UFPR) – rmarcos@globo.com
3) Professor Doutor do Departamento de Geografia da Universidade Federal do Paraná, Laboratório de Hidrogeomorfologia (LGH/UFPR) – irani@ufpr.br

1-INTRODUÇÃO

A formação do material intemperizado na bacia hidrográfica e seu transporte até os rios é conseqüência da interação de diversos fatores, sendo os mais importantes, a quantidade e a distribuição da precipitação, a estrutura geológica e pedológica, as condições topográficas e a cobertura vegetal.

O estudo dos processos de produção e transporte de sedimentos são fundamentais para a conservação do solo e da qualidade da água. A erosão é responsável pela perda de fertilidade dos solos (BERTONI e LOMBARDI, 2008) e o sedimento gerado pode causar problemas de assoreamento em canais fluviais, baias e reservatórios (CARVALHO, 1994).

Recentemente, a gestão integrada dos recursos hídricos, a conservação dos solos, o risco de degradação de ambientes fluviais e estuarinos e a contaminação dos sedimentos por produtos químicos, tem levado pesquisadores e a própria sociedade, a dar maior importância aos problemas decorrentes das alterações no ciclo hidrossedimentológico natural.

No entanto, a falta de dados em pequenas bacias dificulta estudos da distribuição espacial dos processos erosivos. Neste contexto a modelagem distribuída da produção e transporte de sedimentos torna-se importante na gestão ambiental, pois permite localizar espacialmente as áreas com processos erosivos mais acentuados favorecendo a tomada de decisões locais e mais eficiente atingindo a fonte do problema. A modelagem permite também estimar quantitativamente a variação na carga de sedimentos provocada por alterações no uso do solo, permitindo prever o impacto de modificações na bacia. Estas características podem auxiliar o planejamento da rede de monitoramento sedimentométrico e a freqüência das campanhas de medição, pois esta é uma atividade complexa e de custo elevado.

Existem atualmente diversos modelos para predição da erosão hídrica e do transporte de sedimentos de forma integrada, entre os quais destacam-se: *Water Erosion Prediction Project* - WEPP; *Areal Non-point Source Watershed Environment Response Simulation* - ANSWERS; *Kentucky Erosion Model* - KYERMO; *European Soil Erosion Model* - EUROSEM; *Chemicals Runoff and Erosion from Agricultural Management Systems* - CREAMS; *Simulator for Water Resources in Rural Basins* - SWRRB; e *Soil and Water Assessment Tool* - SWAT.

O SWAT tem sido amplamente utilizado em estudos de produção de água e sedimentos em bacias hidrográficas, entre eles pode-se destacar os trabalhos de Adriolo *et al.* (2008) e Tripathi (2003), que identificaram sub-bacias com maior intensidade de processos erosivos, e Lelis *et al.* (2010), Machado *et al.* (2003) e Santos *et al.* (2010) que estudaram o impacto de cenários de uso e ocupação na produção de sedimento.

Este trabalho tem como objetivo simular a produção e o transporte diário de sedimentos entre os anos de 1994 a 2004 para a bacia do Altíssimo Rio Negro, região Sul brasileira, utilizando o modelo SWAT.

2- MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Área de Estudo

A bacia do Altíssimo Rio Negro (Figura 1) é definida como a área de drenagem a montante da estação hidrossedimentométrica de Fragosos (65090000), localizada entre os estados do Paraná e de Santa Catarina entre as latitudes 25º55'73''S e 26º14'17"S; e as longitudes 48º56'34"W e 49º23'12"W, com área de drenagem de 788 km².

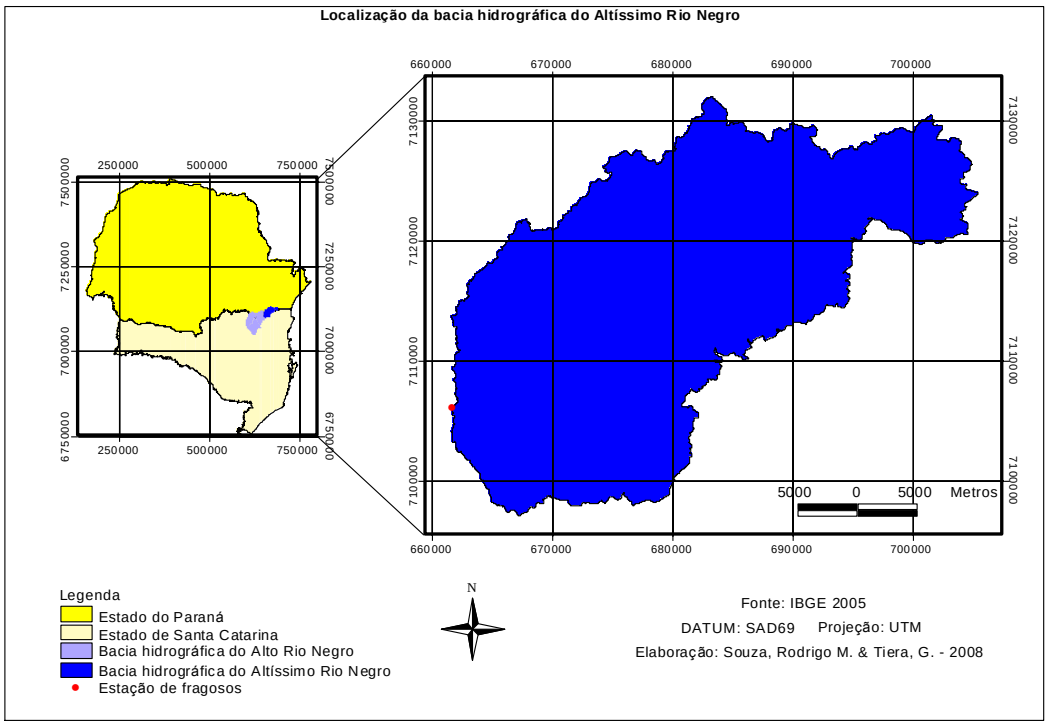

Figura 1 – Localização da área de estudo

O uso do solo (Figura 2) foi produzido com base em imagem do satélite LandSat, sensor TM-5, com órbitas /ponto 220/79, 220/78 e 221/78, de julho de 2007, por classificação automática das bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7. A bacia é caracterizada pelos seguintes usos: Floresta Ombrófila Mista (38%), pastagens (28%), agricultura (24%), reflorestamento (9%) e corpos hídricos (1%).

Para o mapa de solos da bacia (Figura 3), foi utilizado EMBRAPA (2004) em escala 1:250000. As classes de solos foram agrupadas em primeiro nível categórico sendo elas: cambissolo (44%), nitossolo (22%), neossolo (11%), argissolo (13%), gleissolo (8%), e latossolo (2%).

O modelo digital do terreno (MDT) com resolução espacial de 30m, foi produzido com curvas de nível (IBGE, 1992) em escala 1:50000.

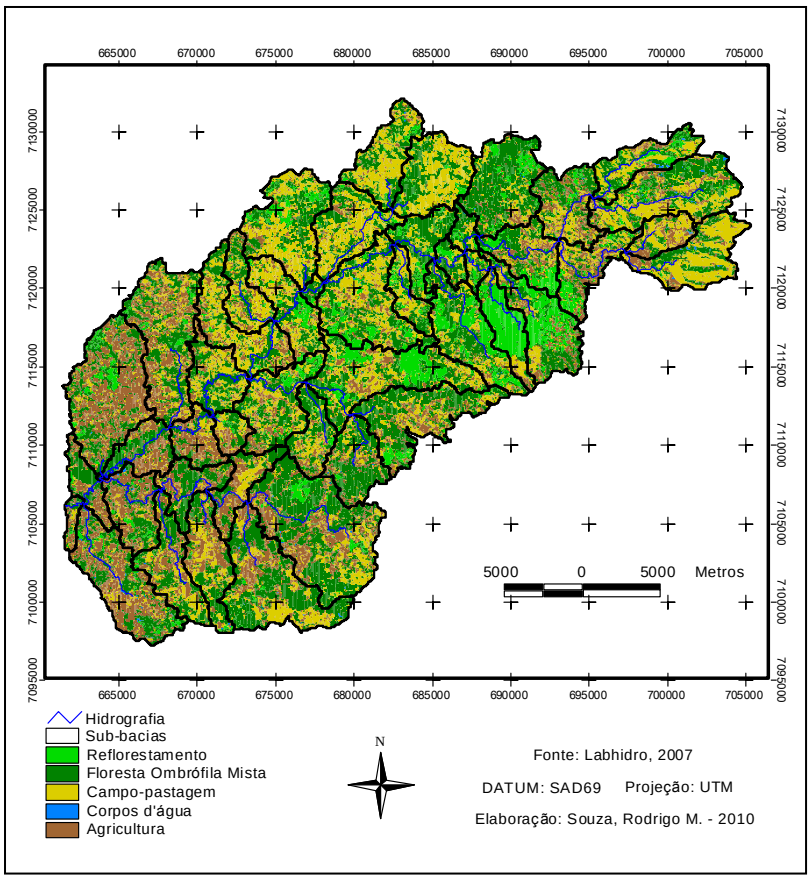

Figura 2 – Usos do solo presentes na bacia

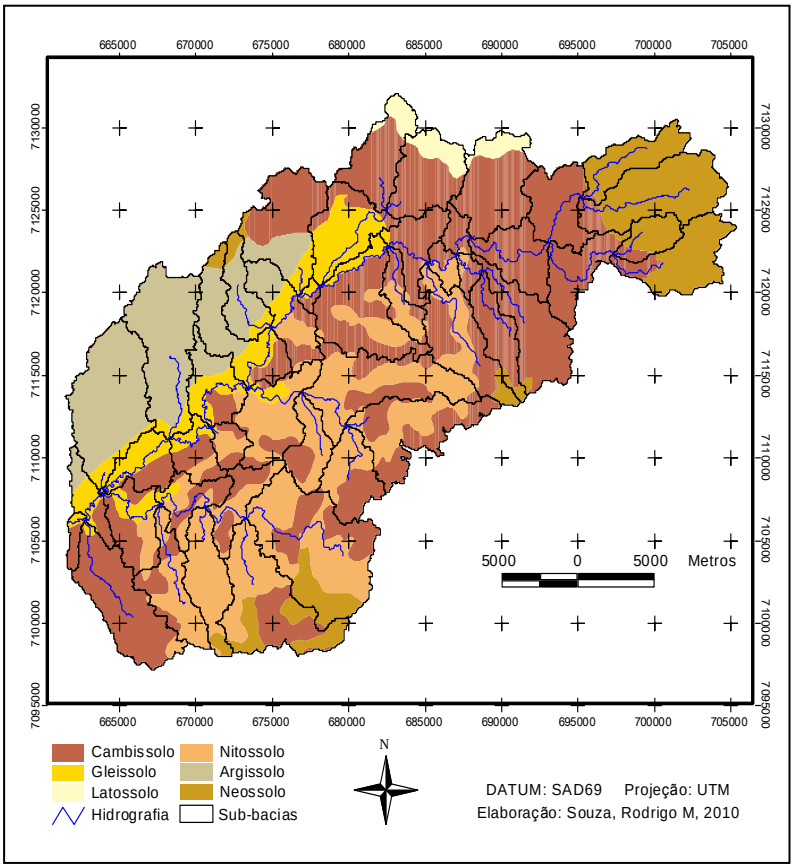

Figura 3 – Solos presentes na bacia

2.2 O modelo Swat

O modelo SWAT (*Soil and Water Assesment Tool*), desenvolvido pela *Agricultural Research Service* e pela *Texas A&M University*, foi criado com o propósito de prever o impacto do uso e manejo do solo sobre o ciclo hidrológico, produção de sedimentos e qualidade da água em bacias grandes e complexas, com variações de solos, uso e manejo por longos períodos de tempo. Para atender a esses propósitos o modelo tem as seguintes características:

- Possui base física. O modelo requer informações sobre o clima, propriedades do solo, uso e ocupação presentes na bacia.

- É distribuído, possibilitando a divisão da bacia em sub-bacias e essas em unidades de resposta hidrológica (HRU) a fim de considerar a variação espacial das características hidrológicas.

- As funções básicas do modelo podem ser simuladas com um conjunto pequeno de dados, geralmente disponíveis nas agências governamentais.

- É computacionalmente eficiente, sendo possível simular longos períodos de tempo em bacias de diferentes escalas com grande variedade de usos e manejo.

O ciclo hidrológico considerado pelo modelo é baseado na equação do balanço hídrico:

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^{t}(R_{day} - Q_{surf} - E_a - w_{seep} - Q_{gw}) \quad (1)$$

onde SW_t é a umidade final do solo (mm H_2O), SW_0 é a umidade inicial do solo (mm H_2O), t é o tempo (dias), R_{day} é a precipitação no dia i (mm H_2O), Q_{surf} é o escoamento superficial no dia i (mm H_2O), E_a é a evapotranspiração no dia i (mm H_2O), w_{saap} é a percolação no dia i (mm H_2O), e Q_{gw} é o fluxo de retorno no dia i (mm H_2O).

Para a determinação do escoamento superficial em escala de tempo diária o SWAT utiliza o método curva número (CN) do *Soil Conservation Service* (SCS).

A erosão causada pela chuva e pelo escoamento superficial é calculada pela equação universal de perda de solo modificada (MUSLE) (WILLIAMS, 1975), na qual o fator de erosividade da chuva da equação universal de perda de solo (USLE) (WISCHEMEIER e SMITH, 1965), foi substituído por um fator de escoamento superficial. Para o transporte de sedimentos o SWAT utiliza a seguinte equação:

$$sed = 11{,}8 \times (Q_{surf} \times q_{peak} \times area_{hru})^{0.56} \times K_{USLE} \times C_{USLE} \times P_{USLE} \times LS_{USLE} \times CFRG \quad (2)$$

onde sed é a produção de sedimento no dia (t/dia), Q_{surf} é o escoamento superficial (mm/ha), q_{peak} é a taxa de escoamento de pico (m^3/s), $area_{hru}$ é a área de drenagem da sub-bacia ou unidade de resposta hidrológica (ha), K_{USLE} é o fator de erodibilidade do solo, C_{USLE} é o fator de uso e manejo

do solo, P_{USLE} é o fator de práticas conservacionistas, LS_{USLE} é o fator topográfico, e *CFRG* é o fator ligado a rugosidade da superfície inversamente proporcional a pedregosidade do solo.

2.3 Dados de entrada

Para a simulação de escoamento, produção e transporte de sedimentos no modelo SWAT são necessários mapas e bancos de dados de características hidrológicas de solos, uso do solo e MDT, assim como séries de dados climáticos.

Foram utilizadas as séries de precipitação de estações pluviométricas localizadas na bacia e entorno (02549003, 02649018, 02649057 e 02549008). As séries de temperatura, umidade relativa do ar, velocidade do vento e radiação solar são provenientes da estação climatológica Rio Negrinho, operada pelo INMET.

O banco de dados de características de solos foi elaborado com informações do Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Estado do Paraná (EMBRAPA, 1984). Para o uso do solo as classes foram associadas ao banco de dados presente no modelo.

Utilizando a ferramenta de delimitação de bacias do SWAT a área de estudo foi definida e dividida em 43 sub-bacias. Estas foram divididas em 440 unidades de resposta hidrológica, definidas pela combinação das informações de solo, uso do solo e declividade.

A verificação da qualidade das simulações, de vazão liquida e sólida, foi feita comparando a série de dados da estação hidrossedimentológica de Fragosos (65090000) e a série simulada com o coeficiente de eficiência (COE) proposto por Nash & Sutcliffe (1970):

$$COE = 1 - \frac{\sum (Q_{sim} - Q_{obs})^2}{\sum (Q_{obs} - \overline{Q_{obs}})^2} \quad (3)$$

onde: Q_{sim} é a vazão simulada; Q_{obs} é a vazão observada; e $\overline{Q_{obs}}$ é a média das vazões observadas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O modelo foi calibrado para vazão líquida com intervalo diário, obtendo resultado satisfatório com COE igual a 0,71 (Figura 4). Na série simulada, nota-se que de maneira geral os picos de vazão foram superestimados e as recessões apresentaram valores abaixo do observado.

Após a calibração da vazão, o modelo foi ajustado para a produção e transporte diário de sedimento com COE igual a 0,38 (Figura 5). Nos eventos de maior produção de sedimentos o modelo superestimou o resultado, principalmente, quando os valores observados superaram 1000 t/dia. Para os períodos de pouca produção de sedimento, os valores simulados são constantemente menores do que os observados. Este comportamento de certa forma reproduz os resultados obtidos

para as vazões líquidas, evidenciando a necessidade de uma boa calibração do modelo na representação do comportamento dos processos hidrológicos, os quais afetam diretamente os mecanismos de produção e transporte de sedimentos.

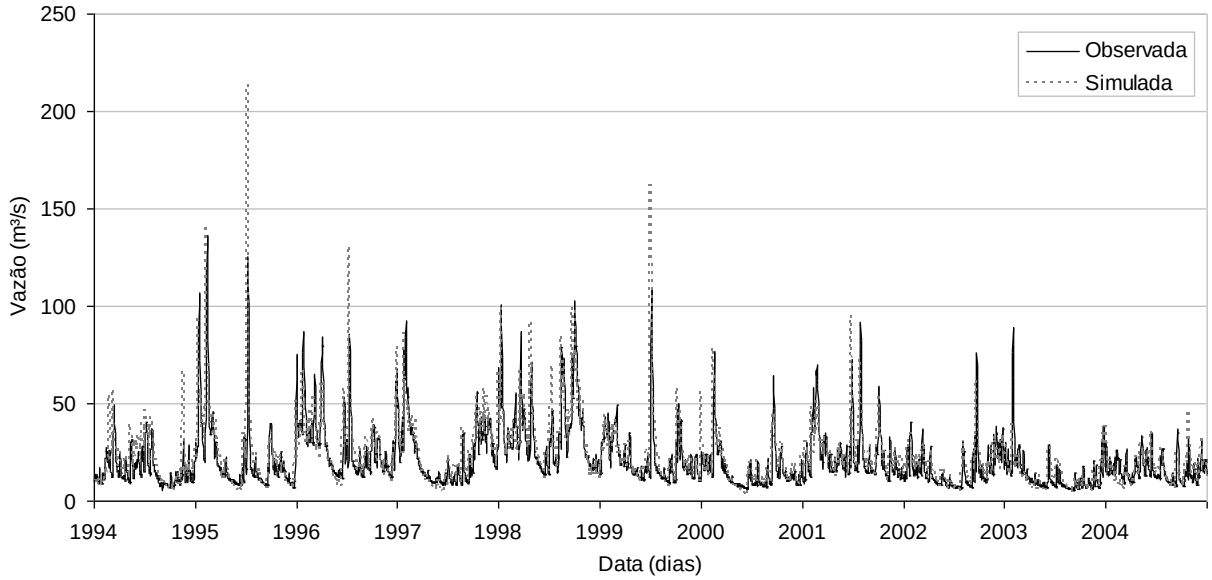

Figura 4 - Hidrogramas comparativos com vazão observada e simulada

A média da série observada é 236 t/dia e da simulada 231 t/dia, demonstrando que apesar das limitações do modelo na simulação diária, reproduziu adequadamente o comportamento médio da bacia. A correlação pode ser observada na Figura 5, onde a vazão sólida acumulada apresenta valores bastante próximos entre as séries, e na Figura 6 que compara as vazões médias mensais observadas e simuladas com COE igual a 0,86.

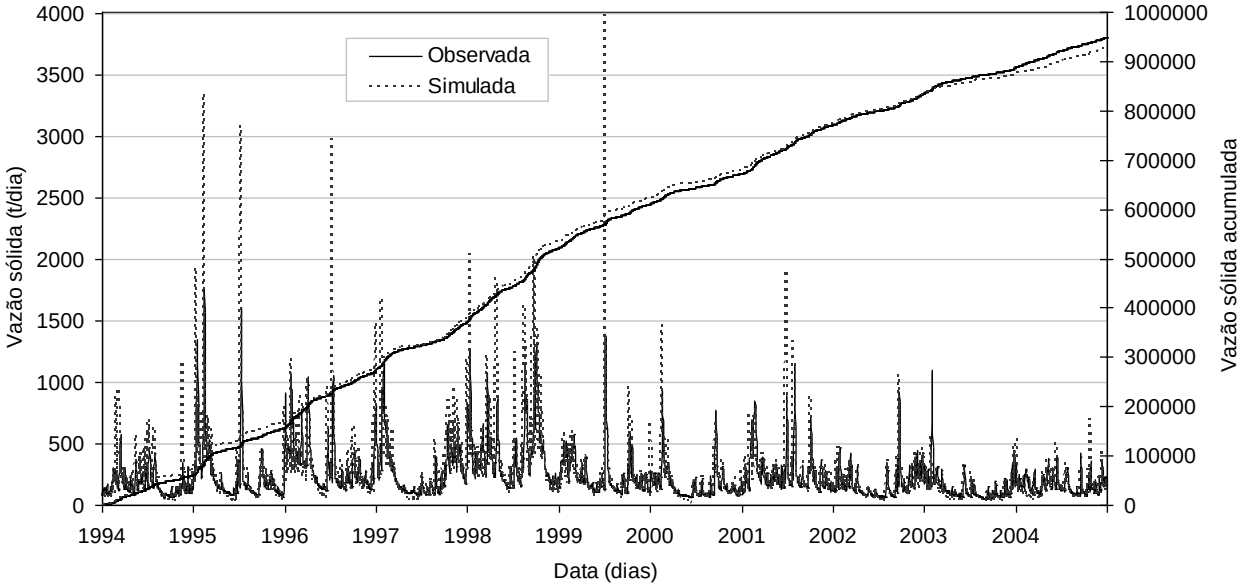

Figura 5 – Comparação de vazões sólidas observada e simulada

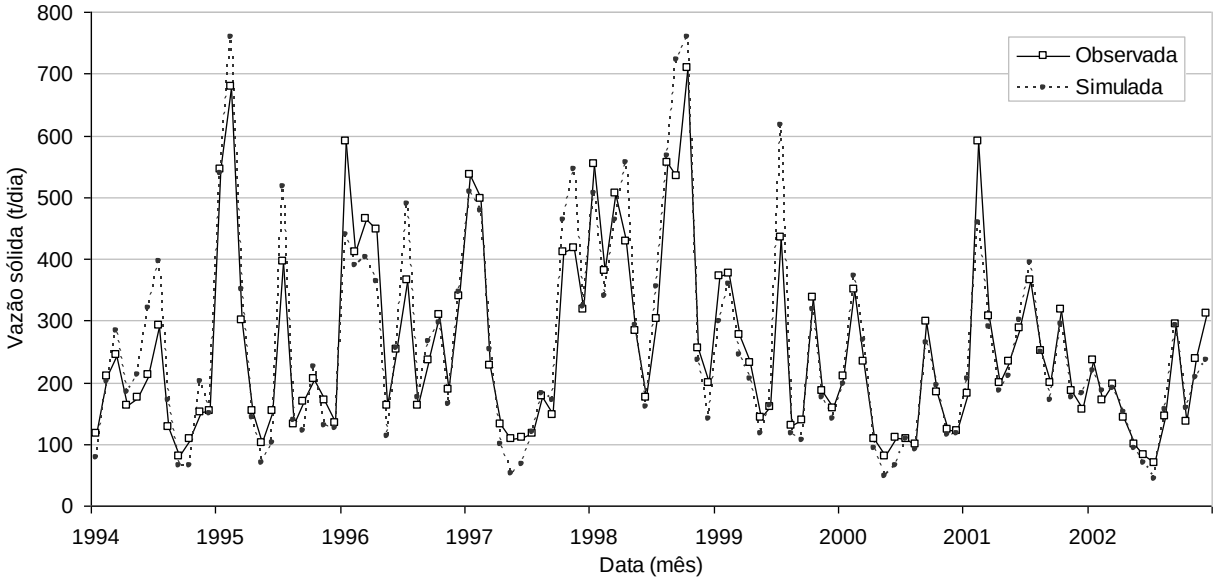

Figura 6 – Comparação entre vazões médias mensais observadas e simuladas

4. CONCLUSÕES

O SWAT apresentou resultados satisfatórios com relação à simulação da produção e transporte de sedimentos para médias mensais, tendo COE igual a 0,86.

A correlação entre a carga total de sedimento simulada e observada é evidenciada na comparação das vazões sólidas acumuladas e indica que o modelo representou de forma adequada o comportamento médio da bacia.

Neste sentido, a média da série observada (236 t/dia) e da simulada (231 t/dia) reforçam a adequação do modelo as características da bacia.

No entanto, existem limitações para a simulação da carga de sedimentos em intervalo diário (COE=0,38). O resultado da simulação diária de sedimento está relacionado á qualidade da calibração hidrológica, que neste caso apresentou picos superestimados e recessões com vazão abaixo da observada, causando, conseqüentemente, erros na produção de sedimento nesses períodos.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelas bolsas e a Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) e ao Fundo Nacional de Recursos Hídricos (CT-Hidro) pelo apoio financeiro aos projetos do LHG/UFPR.

5. BIBLIOGRAFIA

ADRIOLO, M. V.; SANTOS, I.; GIBERTONI, R. C.; CAMARGO, A. S. G. (2008). Calibração do modelo SWAT para a produção e transporte de sedimentos. *In*: Simpósio brasileiro sobre pequenas centrais hidrelétricas, 6. Belo Horizonte, 2008

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F.(2008). Conservação do solo. 6. ed. São Paulo: Icone,355 p.

CARVALHO, N. O. (1994) Hidrossedimentologia prática. CPRM, Rio de Janeiro. 372 p.

EMBRAPA (1984). Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Estado do Paraná, Tomo I e II. Convênio: SUDESUL – EMBRAPA – GOVERNO DO ESTADO DO PARANÁ/IAPAR, Londrina.

EMBRAPA (2004). Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento; n. 46 - Solos do Estado de Santa Catarina. Embrapa Solos, Rio de Janeiro.

LELIS, T. A.; CALIJURI, M. L. A. (2010). Modelagem hidrossedimentológica de bacia hidrográfica na região sudeste do Brasil, utilizando o SWAT. Ambi-Agua, Taubaté, v. 5, n.2, p. 158-174

MACHADO, R. E.; VETORAZZI, C. A.; XAVIER, A. C.(2003) Simulação de cenários alternativos de uso da terra em uma microbacia utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento. Revista Brasileira de Ciência do Solo, vol.27 n.4.

NASH, J.E.; SUTCLIFFE, J.V. (1970) River flow forecasting through conceptual models I: a discussion of principles. *Journal of Hydrology*, 10, p.282-290.

SANTOS, I.; ANDRIOLO, M.V.; GIBERTONI, R.C.; KOBIYAMA, M. (2010). Use of the SWAT model to evaluate the impact of different land use scenarios on discharge and sediment transport in the Apucaraninha River watershed, southern Brazil. In: BANASIK, K.; HOROWITZ, A.J.; OWENS, P.N.; STONE, M.; WALLING, D.E. (Orgs.) Sediment Dynamics for a Changing Future. Wallingford: IAHS Press, 2010. p.322-328.

TRIPATHI, M.P.; PANDA, R.K.; RAGHUWANSHI, N.S. (2003) Identification and Prioritisation of Critical Sub-watersheds for Soil Conservation Management using the SWAT Model. Biosystems Engineering, v. 8, n. 3, p.365-379.

WILLIAMS, J.R. (1995). Chapter 25. The EPIC Model.. In "Computer Models of Watershed Hydrology". Water Resourses Publications. p. 909-1000

WISCHEMEIER, W. H.; SMITH, D. D. (1965). "Soil loss estimation as a tool in the soil and water management planning". International Association of Science, Hydrology Pub, pp. 148-159.