



Análise de sensibilidade dos parâmetros do modelo SWAT para simulação de escoamento e aporte de sedimentos em bacias hidrográficas

Nadia Bernardi Bonumá⁽¹⁾; José Miguel Reichert⁽²⁾, Jean Paolo Minella⁽³⁾, Leandro Dalbianco⁽⁴⁾, Miriam Fernanda Rodrigues⁽⁵⁾ & Cláudia Alessandra Peixoto de Barros⁽⁶⁾

(1) Doutoranda do Curso de Pós-Graduação em Ciencia do Solo - Bolsista CNPq - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, nadiabonuma@gmail.com (apresentadora do trabalho); (2) Professor Titular do Departamento de Solos, UFSM, reichert@smail.ufsm.br; (3) Professor Adjunto do Departamento de Solos, UFSM, jminella@gmail.com; (4) Doutorando PPGCS - UFSM, agro_dalbianco@hotmail.com; (5) Mestranda PPGCS - UFSM, miriamf_rodrigues@yahoo.com.br; (6) Mestranda PPGCS - UFSM, dinhaufsm@gmail.com.

RESUMO: Para quantificar e prever a carga de sedimentos transportados devido as atividades agrícolas é possível utilizar modelos de predição de erosão. O objetivo desse trabalho foi avaliar a sensibilidade dos parâmetros do modelo *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT) na simulação do escoamento e aporte de sedimentos. O estudo foi realizado na pequena bacia hidrográfica do Arroio Lino, localizada em Agudo – RS. A análise de sensibilidade foi feita com o uso de um algoritmo que combina as técnicas de *Latin-Hypercube* e *One-factor-At-a-Time* (LH-OAT). Os parâmetros CN2, Esco e Alpha_Bf mostraram ter grande importância na simulação do escoamento. Em relação ao aporte de sedimentos, os parâmetros de maior importância foram aqueles relacionados aos fatores da MUSLE. O conhecimento do efeito dos parâmetros na simulação contribui para diminuir incertezas e aumentar a confiabilidade dos resultados do modelo SWAT.

Palavras-chave: erosão, modelagem, MUSLE.

INTRODUÇÃO

Para um efetivo controle da erosão é necessário avaliar os fatores que interagem na degradação do solo e da água em escala de bacia hidrográfica. Vários estudos têm sido feitos utilizando modelos matemáticos para analisar os impactos das alterações no uso do solo sobre o escoamento, produção de sedimentos e qualidade da água.

Os dados obtidos com a simulação podem servir para prever as perdas de solo e a transferência de sedimentos e nutrientes devido ao uso e sistema de manejo utilizado e também para o planejamento ambiental. Entretanto, a confiabilidade do resultado

do modelo depende, sobretudo da disponibilidade de dados representativos.

O SWAT é um modelo matemático desenvolvido pelo USDA/ARS e pela Texas A&M University. O SWAT simula o escoamento, sedimentos e qualidade da água, sendo uma ferramenta auxiliar na gestão ambiental de bacias hidrográficas. É importante salientar que o modelo foi desenvolvido com base num extenso banco de dados de solos, topografia, culturas, manejo e clima dos Estados Unidos da América. Nesse sentido, quando aplicado em regiões com escassez de dados, e cujas características de solos, plantas e clima divergem da realidade norte-americana, torna-se imprescindível realizar a calibração dos parâmetros.

O modelo possui, entretanto, muitos parâmetros e a calibração de cada um deles resultaria em um trabalho árduo e demorado, pois a resposta dada pelo modelo não é igualmente sensível a todas estas variáveis. De forma a facilitar esse trabalho, foi aplicada uma rotina de análise de sensibilidade automática dos parâmetros com o uso de um algoritmo LH-OAT para avaliar o efeito dos parâmetros do SWAT na simulação de escoamento e aporte de sedimentos na bacia do Arroio Lino.

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo é bacia hidrográfica rural do Arroio Lino, localizada no município de Agudo - RS, com 3,2 km² de área (Figura 1). A bacia do Arroio Lino localiza-se nas cabeceiras do rio Rio Jacuí, principal afluente da Bacia do Guaíba. O relevo do local é fortemente ondulado a escarpado, com declividade média de 12%. As principais classes de solos na bacia do Arroio Lino são

XVIII REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA

Novos Caminhos para Agricultura Conservacionista no Brasil

Neossolo, Chernossolo, Cambissolo, Argissolo e Planossolo.

O local tem por características áreas declivosas e solos frágeis, onde há intensa exploração agrícola, principalmente com a cultura do fumo. O manejo do solo utilizado é parte no sistema tradicional e parte no sistema conservacionista.

Para estimativa do escoamento superficial e aporte de sedimentos na bacia hidrográfica do Arroio Lino foram feitas simulações com o modelo SWAT versão 2009 associado a um Sistema de Informações Geográficas (SIG).

O SWAT é um modelo em escala de bacia hidrográfica e sua aplicação requer a entrada dos dados na forma espacializada. A ferramenta do SIG possibilita a subdivisão da bacia hidrográfica em áreas homogêneas (sub-bacias). Cada sub-bacia pode ser parametrizada pelo SWAT usando uma série de Unidades de Resposta Hidrológica (*Hydrologic Response Units – HRU's*), conforme o relevo, tipo de solos e uso da terra.

O escoamento superficial pode ser calculado por meio do método do Soil Conservation Service (SCS) (método usado neste trabalho) ou pelo método de Green & Ampt (NEITSCH et al., 2005).

O aporte de sedimento é computado para cada sub-bacia com a MUSLE (*Modified Universal Soil Loss Equation*):

$$sed = 11,8 \cdot (Q_{sup} \cdot q_p \cdot area_{hru})^{0,56} \cdot K \cdot C \cdot P \cdot LS \cdot CFRG \quad (1)$$

em que: sed = aporte de sedimento (t); Q_{sup} = escoamento de superfície (m^3); q_p = vazão de pico ($m^3 s^{-1}$); $area_{hru}$ = área da HRU (ha); K = fator de erodibilidade do solo; C = fator de uso e manejo do solo; P = fator de práticas conservacionistas; LS = fator topográfico; CFRG = fator de fragmento grosseiro.

Para a entrada de dados no modelo, necessita-se de informações topográficas, tipo de solos, uso e manejo do solo e dados de clima. Grande parte desses dados já haviam sido obtidos na área de estudo (GONÇALVES; RHEINHEIMER, 2005; PELLEGRINI et al., 2008; RHEINHEIMER, 2003; SEQUINATTO, 2007). Os dados climáticos foram obtidos na estação climatológica da UFSM, pertencente a rede do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Para identificar quais parâmetros são mais sensíveis na calibração do escoamento superficial e

aporte de sedimentos foi utilizado um algoritmo que combina dois métodos de análise de sensibilidade: *Latin-Hypercube* (LH) e *One-factor-At-a-Time* (OAT) (VAN GRIENSVEN et al., 2005).

A técnica LH é baseada no método estatístico de simulação estocástica Monte Carlo, que utiliza a redução de variância como a amostragem estratificada para melhorar a eficiência computacional. Este subdivide a distribuição de cada parâmetro em N escalas, cada um com a probabilidade de ocorrência igual a 1/N. São gerados valores randômicos dos parâmetros tal que cada variação é amostrada somente uma única vez. O modelo roda N vezes com a combinação randômica dos parâmetros.

O método OAT é um método de integração de sensibilidade do local para o global, no qual, em cada simulação, somente um fator é mudado por vez. Assim, com as mudanças no resultado em cada *loop*, o modelo pode encontrar a solução para as ambiguidades que são atribuídas ao parâmetro de contribuição que foi alterado.

O método combinado LH-OAT opera por *loops*, em cada *loop* é calculado o efeito parcial da variação do parâmetro, e o efeito final é a média desses efeitos parciais. O número de simulações requerido é:

$$Ns = N * (P + 1) \quad (2)$$

em que: Ns é o número de simulações; N é o número de intervalos; P é o número de parâmetros.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi realizada a análise de sensibilidade de 32 parâmetros do modelo SWAT, totalizando 660 simulações. Os efeitos finais da variação dos parâmetros foram ranqueados sendo que o maior efeito (maior sensibilidade) obteve rank 1. Foram feitos 2 ranqueamentos dependendo da função objetiva utilizada: a) soma dos quadrados dos resíduos entre valores de vazão simulados e medidos (SQR1); b) soma dos quadrados dos resíduos entre valores de sedimentos simulados e medidos (SQR2). A Tabela 1 mostra os resultados dos parâmetros que mostraram alguma sensibilidade.

Em relação aos efeitos na variável vazão (SQR1), dos 32 parâmetros analisados, 20 apresentaram alguma sensibilidade. A falta de efeito dos outros 12 parâmetros reside no fato de que alguns deles estão

XVIII REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA

Novos Caminhos para Agricultura Conservacionista no Brasil

diretamente relacionados com o cálculo de sedimentos e outros estão relacionados aos processos de derretimento de neve. O parâmetro cuja variação apresentou maior sensibilidade foi o *Valor da curva número do método SCS* (CN2). O CN2 é um parâmetro chave do método SCS, aumento nos valores de CN2 implicam em aumento no escoamento superficial. O segundo parâmetro com maior efeito foi o *Fator de compensação da evaporação do solo* (ESCO), observou-se que pequenas variações no ESCO implicam em alterações no balanço hídrico da bacia. O terceiro parâmetro de maior sensibilidade foi o *Fator alfa do fluxo de base* (Alpha_Bf). Análises similares feitas em outras bacias mostraram que os parâmetros CN2 e Alpha_Bf também tem grande importância na simulação de qualidade da água (VAN GRIENSVEN et al., 2005).

Em relação a variável aporte de sedimentos (SQR2), dos 32 parâmetros analisados, 22 apresentaram alguma sensibilidade. Além dos parâmetros de neve, os parâmetros relacionados ao escoamento subterrâneo não tiveram efeito significativo. O parâmetro com maior sensibilidade no cálculo de sedimentos foi o Fator de práticas conservacionistas (USLE_P), seguido do CN2, que influencia o cálculo da vazão de pico. O terceiro parâmetro com maior efeito é a Declividade média mais acentuada (SLOPE), que influencia na determinação do LS. Os três parâmetros mais sensíveis são relacionados a fatores da MUSLE, isto demonstra a importância da determinação apurada de cada um deles. Cada salientar que o parâmetro SLOPE também tem efeito direto na vazão, já que contribui na determinação do tempo de concentração da bacia.

CONCLUSÕES

Foi feita a análise de sensibilidade dos parâmetros do modelo SWAT. Os parâmetros CN2, ESCO e Alpha_Bf mostraram ter grande importância na simulação do escoamento, e consequentemente no aporte de sedimentos e qualidade da água. Como o aporte de sedimentos é determinado pela MUSLE, os parâmetros de maior efeito são aqueles relacionados aos fatores da MUSLE.

Este trabalho está em andamento, sendo que nas próximas etapas buscar-se-á a utilização de um algoritmo de calibração automática que possibilite um melhor ajuste, principalmente dos parâmetros que demonstraram maior sensibilidade.

O modelo SWAT possui grande potencial de utilização com sucesso no Brasil, entretanto a confiabilidade dos resultados do modelo depende muito da qualidade dos dados de entrada. O conhecimento do efeito dos parâmetros na simulação contribui para diminuir incertezas e aumentar a confiabilidade na geração de cenários alternativos de uso e manejo do solo.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Dr. Jeff Arnold e Dr. Cole Rossi (ARS/USDA) pelos esclarecimentos em relação ao SWAT. Ao INMET pelos dados de clima. E a doutoranda Letícia Sequinatto e ao doutorando André Copetti, pelo auxílio na obtenção dos dados da bacia do Arroio Lino em Agudo.

REFERÊNCIAS

- GONÇALVES, C.S.; RHEINHEIMER, D.S. Qualidade da água numa microbacia hidrográfica de cabeceira situada em região produtora de fumo. *Revista Brasileira de Eng. Agrícola e Ambiental*. Campina Grande, v.49, n.3, p.391-399, 2005.
- NEITSCH, S.L.; ARNOLD, J.G.; KINIRY, J.R.; WILLIAMS, J.R. *Soil and Water Assessment Tool - Theoretical Documentation*. 2005. 494p.
- PELLEGRINI, J.B.R.; RHEINHEIMER, D.S.; GONÇALVES, C.S.; COPETTI, A.C.; BORTOLUZZI, E.C. Adsorção de fósforo em sedimentos e sua relação com a ação antrópica. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, p. 2639-2646, 2008.
- RHEINHEIMER, D.S. (ed). *Caracterização física, química e biológica dos solos na microbacia hidrográfica do Arroio Lino, Nova Boemia, Agudo – RS. Ano II*. 2003. 115p.
- SEQUINATTO, L. A insustentabilidade do uso do solo com fumicultura em terras declivosas. 2007. Dissertação, PPGCS, UFSM, Santa Maria, 2007.
- VAN GRIENSVEN, A.; MEIXNER, T.; GRUNWALD, S.; BISHOP, T.; DILUZIO, M.; SRINIVASAN, R. A global sensitivity analysis tool for the parameters of multi-variable catchment models. *Journal of Hydrology*. 1-14, 2005.

XVIII REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA
Novos Caminhos para Agricultura Conservacionista no Brasil

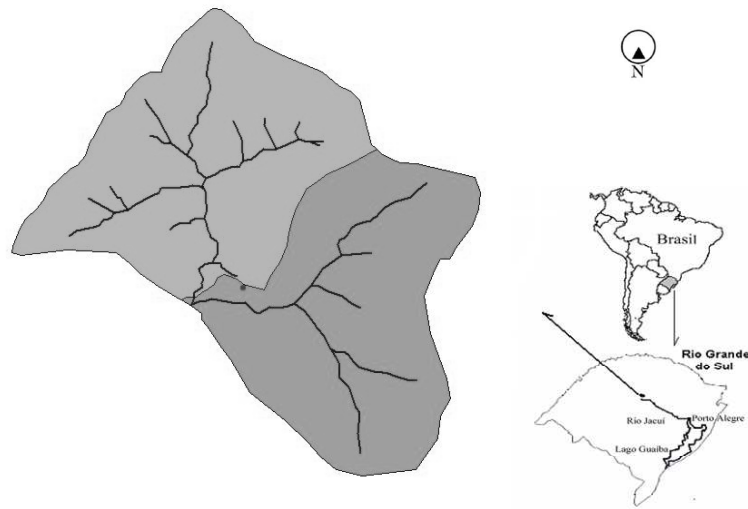


Figura 1. Localização da bacia hidrográfica do Arroio Lino, em Agudo - RS.

Tabela 1. Rank de sensibilidade dos parâmetros em relação à simulação do escoamento (SQR1) e do aporte de sedimentos (SQR2).

Parâmetro	Descrição	SQR1	SQR2
Alpha_Bf	Fator alfa do fluxo de base (dias)	3	16
Biomix	Eficiência da mistura biológica	32	15
Blai	Índice máximo de área foliar	5	11
Canmx	Armazenamento máximo de água no dossel vegetativo (mm)	8	5
Ch_K2	Condutividade hidráulica efetiva no canal (mm ano^{-1})	4	17
Ch_N2	Coefficiente de Manning (n) do canal	12	13
CN2	Valor da Curva Número inicial do método SCS	1	2
Epc	Fator de compensação de retirada das plantas	14	8
Esco	Fator de compensação da evaporação do solo	2	6
Gw_Delay	Retardo do escoamento subterrâneo	16	21
Gw_Revap	Coefficiente de re-evaporação da água subterrânea	17	32
Gwqmn	Profundidade de água no aquífero raso para ocorrer fluxo de retorno (mm)	6	22
Revapmn	Profundidade da água no aquífero raso para ocorrer percolação (mm)	15	32
Slope	Declividade média mais acentuada (m m^{-1})	9	3
Slsbbsn	Comprimento da declividade média (m m^{-1})	19	4
Sol_Alb	Albedo do solo	18	20
Sol_Awc	Capacidade de água disponível ($\text{mm H}_2\text{O mm solo}^{-1}$)	10	10
Sol_K	Condutividade hidráulica saturada (mm h^{-1})	7	14
Sol_Z	Profundidade do solo (mm)	11	9
Spcon	Parâmetro linear para o cálculo da rotina de sedimentos no canal	32	18
Spexp	Parâmetro exponencial para o cálculo da rotina de sedimentos no canal	32	19
Surlag	Tempo de retardo do escoamento superficial	13	7
Usle_C	Fator de uso e manejo do solo (MUSLE)	32	12
Usle_P	Fator de práticas conservacionistas (MUSLE)	20	1