



Estudo de aplicação do modelo Soil and Water Assessment Tool (SWAT) na bacia hidrográfica do rio Vacacaí-Mirim-RS

Bruna Gabriela Schöninger¹, Henrique Haas², Marielle Medeiros de Souza³, Maria do Carmo Cauduro Gastaldini⁴

¹ Universidade Federal de Santa Maria (brunaschoninger@gmail.com)

² Universidade Federal de Santa Maria (henrique.haas@gmail.com)

³ Universidade Federal de Santa Maria (mariellers@yahoo.com.br)

⁴ Universidade Federal de Santa Maria (mcarmocg@gmail.com)

Resumo

Este trabalho consiste de um estudo da aplicação do modelo *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT). É proposta e discutida a aplicabilidade do modelo SWAT na modelagem da qualidade da água na bacia hidrográfica do rio Vacacaí-Mirim, localizada no centro do estado do Rio Grande do Sul, no Sul do Brasil, com uma área de aproximadamente 1145.7 Km². A área de estudo conta com o agravamento de problemas de enchentes resultantes de um rápido processo de urbanização na bacia hidrográfica, sobre tudo em sua parte média, e problemas de redução das vazões do curso d'água nos períodos de estiagem em função das altas demandas de água para irrigação. Tais problemas, aliados a falta de planejamento e práticas não sustentáveis de uso e manejo do solo, resulta em sérios problemas de qualidade da água na bacia hidrográfica. Em virtude de tal cenário, propõem-se o estudo da aplicação do modelo SWAT na modelagem da qualidade da água da bacia hidrográfica do rio Vacacaí-Mirim como uma ferramenta para mitigar os problemas já citados e auxiliar no planejamento e gestão da bacia.

Palavras-Chave: Modelagem da qualidade da água. SWAT. Bacia do Vacacaí-Mirim.

Recursos hídricos.

Application study of the Soil and Water Assessment Tool (SWAT) model at the Vacacaí-Mirim-RS watershed

Abstract

This paper consists in an application study of the Soil and Water Assessment Tool (SWAT) model. It is proposed and discussed its applicability in the water quality simulation of the Vacacaí-Mirim watershed, which is located in the middle of Rio Grande do Sul State, in Southern Brazil, with an area of approximately 1145.7 Km². The field of study has flooding issues related with a fast urbanization process, especially in the middle of the watershed area, and also low flow problems in the waterbody during the dry season, which are a consequence of high water demands for crop irrigation. These problems, together with a lack of planning and not sustainable land use practices results on serious problems related to water quality in the watershed. As a consequence, it is proposed the application of SWAT model for water quality simulation in the Vacacaí-Mirim watershed as a tool to mitigate the existing water quality problems and assist the planning and management of the watershed.



Keywords: *Water quality modelling. SWAT. Vacacaí-Mirim watershed.*

Water resources.

1 Introdução

A interferência antrópica na qualidade dos recursos hídricos é hoje tão expressiva que pode ser caracterizada em função das práticas de uso e manejo do solo na bacia hidrográfica. Neste contexto, estudos da qualidade da água na escala de bacias hidrográficas são fundamentais no que tange ao monitoramento, gestão e uso racional dos recursos naturais, bem como na tomada de decisões por parte dos órgãos públicos com relação à identificação de pontos críticos e fontes poluidoras, de modo que soluções eficientes de controle e combate à degradação dos recursos hídricos sejam tomadas.

Reconhecida a importância de tais estudos, a modelagem da qualidade da água surge como uma ferramenta extremamente útil nesta abordagem e também como uma alternativa ao monitoramento extensivo e economicamente dispendioso da qualidade da água em bacias hidrográficas. Além disso, a modelagem da qualidade da água possui a vantagem de ser uma ferramenta flexível e aplicável na simulação de múltiplos cenários físicos, incluindo a previsão de futuros impactos de práticas de uso e ocupação do solo na qualidade das águas de uma bacia hidrográfica e proposição de cenários ideais de desenvolvimento.

A realização de estudos hidrológicos em bacias hidrográficas vem da necessidade de se compreender o funcionamento do balanço hídrico, os processos que controlam o movimento da água e os impactos de mudanças do uso da terra sobre a quantidade e qualidade da água (WHITEHEAD; ROBINSON, 1993). A importância de se adotar a bacia como unidade hidrológica está ligada ao fato de que suas características estão intimamente relacionadas com a produção de água. Segundo Zakia (1998), a área de uma bacia hidrográfica tem influência sobre a quantidade de água produzida.

No caso da bacia hidrográfica do rio Vacacaí-Mirim, localizada no centro do Estado do Rio Grande do Sul, tem-se observado ao longo dos últimos anos a deterioração na qualidade dos recursos hídricos. Isto pode ser explicado, entre outros fatores, pela falta de planejamento e gestão da bacia hidrográfica e pelas práticas não conservacionistas de uso e manejo do solo desenvolvidas em sua área. Como uma consequência, evidencia-se a importância da modelagem da qualidade da água na bacia hidrográfica do Vacacaí-Mirim e seu potencial para o desenvolvimento sustentável da mesma. A aplicabilidade do modelo hidrológico SWAT para tanto será discutida a seguir. Este modelo permite a análise temporal das condições hidrológicas e de qualidade da água de toda a bacia hidrográfica, de modo que as fontes poluidoras pontuais e difusas possam ser espacializadas e correlacionadas com as práticas de uso e manejo do solo desenvolvidas nos limites da mesma.



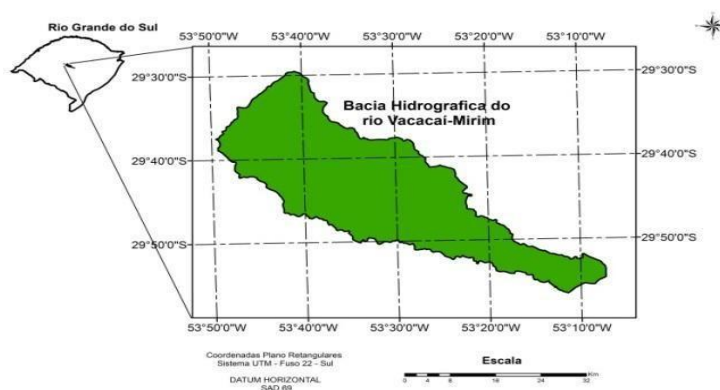
2 Materiais e métodos

2.1 Área de Estudo

A bacia hidrográfica do rio Vacacaí-Mirim está situada entre as coordenadas geográficas 53° 46' 30" a 53° 49' 29" de longitude Oeste e 29° 36' 55" a 29° 39' 50" de latitudes Sul, abrangendo uma área total de 1145.7 km² (CASAGRANDE, 2004). O clima, na área da bacia hidrográfica, pela classificação climática de Köppen, é do tipo Cfa, subtropical, com chuvas bem distribuídas ao longo do ano e os solos predominantes são Argissolos Vermelhos Distróficos, Neossolos Litólicos Eutróficos e Planossolos Háplicos Eutróficos, de acordo com o atual Sistema Brasileiro de Classificação de Solo (SIBCS, EMBRAPA 2006). A vegetação natural é constituída, majoritariamente, de florestas do tipo subtropical e de campos de pastagem natural. Na Figura 1 está representada a localização da bacia hidrográfica do rio Vacacaí-Mirim.

Na parte alta da bacia está localizado o reservatório de abastecimento público do Vacacaí-Mirim, o qual conta com uma área inundada de 0.74 Km², volume de 3.8 X 10⁶ m³ e capta água de uma área de aproximadamente 29 Km², sendo responsável pelo abastecimento público de água de cerca de 30% da cidade de Santa Maria.

Figura 1: Mapa de localização da bacia hidrográfica do Rio Vacacaí-Mirim.



2.2 O modelo *Soil and Water Assessment Tools* – SWAT

O modelo *Soil and Water Assessment Tool* - SWAT foi desenvolvido pelo Serviço de Agricultura dos Estados Unidos, com o objetivo de analisar os impactos gerados pela alteração do uso e manejo do solo em bacias hidrográficas complexas, e que possuem diferentes combinações de uso, manejo e tipo de solos. É um modelo matemático que permite que diferentes processos físicos sejam simulados, em escala de bacia hidrográfica, tais como: movimento de água, movimento de sedimentos, crescimento das culturas, ciclagem e transporte de nutrientes.

O SWAT foi desenvolvido no início da década de 1990, e desde então, passou por várias versões as quais aumentaram a sua capacidade de processamento, como por exemplo o



SWAT94.2 que incorpora múltiplas unidades de resposta hidrológica (HRU), e o SWAT 2000 que incorporou métodos de *Green & Ampt* e de *Muskingum* para simulação do escoamento superficial e da propagação de água pelos canais, respectivamente. Recentemente uma extensão do programa ArcGis 9.3 e QGIS 2.6.1 foi acrescentada, permitindo a integração do modelo com softwares de geoprocessamento e uma interface de trabalho GIS.

É considerado um modelo de parâmetros distribuídos espacialmente e contínuo em um intervalo de tempo, que simula fenômenos físicos do ciclo hidrológico existentes em uma bacia hidrográfica associados ao uso do solo, como escoamento superficial e subterrâneo, produção de sedimentos e qualidade da água (SRINIVASAN; ARNOLD, 1994).

3 Resultados e discussão

Por ser um modelo físico e contínuo, o SWAT simula os processos físicos do ciclo hidrológico relacionados ao uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica, como o escoamento superficial e subterrâneo, produção de sedimentos e qualidade da água. Neste âmbito, a modelagem da qualidade da água da bacia hidrográfica do rio Vacacaí-Mirim por meio do modelo SWAT, de forma integrada com as práticas de uso e ocupação do solo desenvolvidas na área, representa uma contribuição científica para os fins de planejamento e gestão dos recursos hídricos. Além da análise da qualidade dos corpos d'água de forma contínua e espacialmente distribuída, mas também poderão ser identificados os pontos críticos de poluição e carentes de práticas conservacionistas; as principais fontes poluidoras pontuais e difusas e sua disposição espacial; a relação das cargas poluidoras com as práticas de uso e ocupação do solo; a simulação de cenários futuros e a proposição de um cenário ideal que leve ao desenvolvimento sustentável da bacia hidrográfica.

Dentre os principais problemas observados nesta bacia hidrográfica pode-se destacar o elevado grau de urbanização, sobretudo na parte média da bacia, na região de Santa Maria, que tem acarretado contínuos problemas relacionados a enchentes e deterioração da qualidade da água. Além deste, durante os períodos de estiagem, quando há um aumento na demanda de água para irrigação, as vazões no curso de água ficam extremamente baixas devido aos altos volumes que são bombeados para as lavouras de arroz (PAIVA *et al.*, 2001). Consequentemente, as cargas de poluentes carregadas para o curso da água passam a sofrer um menor efeito de diluição, fato este que pode agravar os problemas da qualidade da água na bacia.

A situação atual exige uma utilização racional dos recursos naturais. Neste panorama, o modelo SWAT aparece como uma excelente ferramenta para avaliar a qualidade da água de forma contínua e distribuída na bacia hidrográfica, relacionar as cargas poluidoras observadas nos corpos d'água com as práticas de uso e ocupação do solo, simular cenários e buscar prognosticar as condições que o meio está sujeito, sendo assim possível a adoção de medidas para a amenização de impactos.

Primeiramente identificou-se um exutório com possibilidade de obtenção de dados de qualidade da água, hidrológicos, sedimentos e climatológicos dentro da área da bacia hidrográfica do Vacacaí-Mirim. O exutório foi selecionado em função dos dados existentes e de sua representatividade geográfica, e está situado entre as coordenadas 53°46'5.08" de Longitude Oeste e 29°41'26.69" de Latitude Sul. A partir da inserção do Modelo Numérico do



Terreno (MNT) e localização do exutório da bacia no modelo SWAT, este delimitou a área de estudo em três sub-bacias e simulou a rede fluviométrica. A partir da área selecionada, elaborou-se os mapas de solo e uso e ocupação do solo.

O mapa de localização da bacia hidrográfica do rio Vacacaí-Mirim (Figura 1), bem como o mapa de solos (Figura 2) são resultados do processamento de imagens e dados com o software de geoprocessamento QGIS 2.6.1 e integram o banco de dados do modelo SWAT. Dentro dos limites da bacia hidrográfica selecionou-se o exutório na última seção de monitoramento, no qual existe dados de monitoramento de qualidade da água e estação fluviométrica, além da estação meteorológica Santa Maria (código 83936) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) localizada nas proximidades. O mapa de solos foi elaborado utilizando-se o software QGIS 2.6.1, cortando-se a camada vetorial Shapefile disponibilizada pela EMBRAPA, a qual contém as classes de solos espacializadas dentro de todo o território brasileiro, com os limites da bacia hidrográfica do rio Vacacaí-Mirim. Como pode ser visto na Figura 2, as classes de solos observadas na área de estudo são: Neossolos Litólicos Eutróficos (RLe27) e Argissolos Vermelhos Distróficos (PvD10), de acordo com o atual Sistema Brasileiro de Classificação de Solo (SIBCS, EMBRAPA 2006). O conhecimento dos tipos de solo e suas características físicas é de fundamental importância para que o modelo possa realizar a modelagem da qualidade da água da bacia hidrográfica, uma vez que tais informações são vitais na simulação de processos físicos do ciclo hidrológico como o escoamento superficial e subterrâneo, a produção de sedimentos, a erodibilidade e o crescimento de plantas.

A figura 3 ilustra o mapa de uso e ocupação do solo da área de estudo, o qual foi trabalhado no software QGIS 2.6.1, que armazena informações físicas necessárias para simular as condições qualitativas da bacia hidrográfica, de modo que a qualidade da água seja modelada de forma integrada com as práticas de uso e manejo do solo identificadas na área da bacia. Como já mencionado, o modelo SWAT exige uma série de informações de entrada para que o banco de dados seja devidamente construído, permitindo que estas informações sejam acessadas pelo modelo e cenários qualitativos sejam simulados. Entre estes dados pode-se citar séries climatológicas e hidrológicas, sendo que estes podem ser obtidos por meio de estações meteorológicas e fluviométricas instaladas na área da bacia, bem como através de estudos anteriormente realizados na área, os quais provêm dados contínuos em diferentes pontos da bacia hidrográfica.

Figura 2 - Mapa de solos da área de estudo

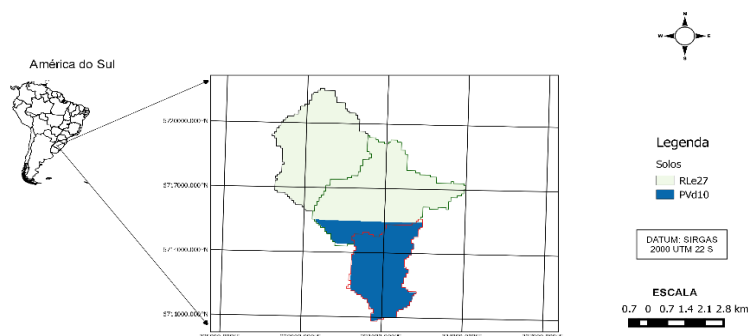
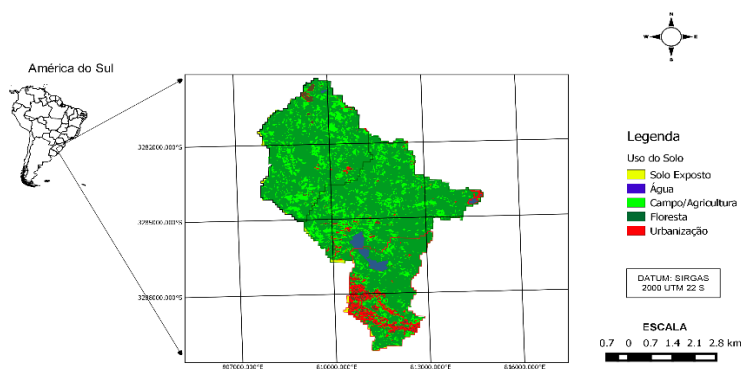




Figura 3 - Mapa de uso e ocupação do solo da área de estudo

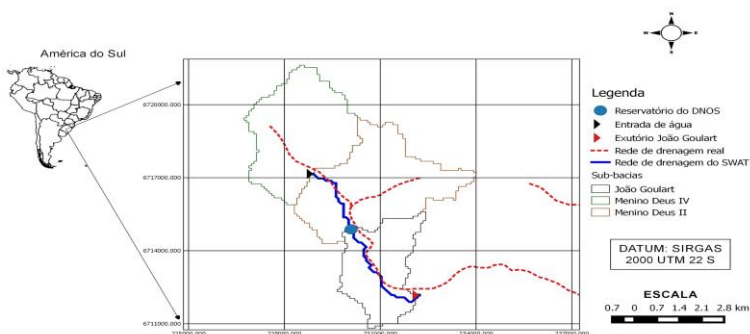


Pode-se observar que existe uma maior porcentagem de mata nativa na cabeceira da bacia. O mapa de uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica foi elaborado por meio de uma composição de bandas RGB 6/5/4 utilizando-se imagens Landsat8 obtidas no site da USGS (United States Geological Survey). O mapa foi trabalhado no software QGIS 2.6.1 através da extensão Semi-Automatic Classification Plugin 4.8.0.1 (SCP-Plugin).

Os mapas de solo e uso e ocupação do solo são de fundamental importância para a composição do banco de dados do modelo SWAT, pois eles caracterizam todo o estudo hidrológico juntamente com as séries climatológicas e hidrológicas, com informações físicas necessárias para simular as condições qualitativas da área de estudo, integrando a modelagem de qualidade da água com o uso e manejo do solo.

A Figura 4 representa a delimitação da área de estudo em três sub-bacias da bacia hidrográfica do Vacacaí-Mirim, bem como a simulação da rede de drenagem da região, realizadas pelo modelo SWAT com base nos dados de entrada inseridos pelos autores, os quais consistem de MNT e localização geográfica do exutório considerado.

Figura 4 - Delimitação da área de estudo e rede de drenagem.





Pode-se inferir, através da comparação entre a rede fluviométrica simulada pelo modelo SWAT e a rede fluviométrica real da bacia hidrográfica, que o modelo possui uma boa capacidade e visibilidade em simular os processos físicos do ciclo hidrológico que ocorrem na área estudada, dada a proximidade dos resultados simulados com os observados.

Conclusão

Com base na caracterização da área de estudo, dados hidrológicos, climatológicos e de qualidade da água existentes, bem como na delimitação da bacia hidrográfica e simulação da rede fluviométrica realizada pelo modelo SWAT, resultados que sugerem uma boa capacidade deste modelo em simular os processos hidrológicos da área, os autores enaltecem o potencial promissor do modelo hidrológico Soil and Water Assessment Tool para a modelagem da qualidade da água nas condições físicas apresentadas pela bacia hidrográfica do Vacacaí-Mirim e sua aplicação como uma ferramenta de planejamento e gestão dos recursos hídricos. Isto será realizado em um próximo estudo, visto que as condições de uso e manejo do solo importantes na avaliação dos parâmetros de qualidade da água foram satisfatórias na bacia hidrográfica de estudo.

Em resumo, ressalta-se a importância de relacionar as cargas poluidoras simuladas pelo modelo com o uso e ocupação do solo na bacia, uma vez que a qualidade das águas dos corpos hídricos na escala de bacias hidrográficas está diretamente relacionada com as atividades majoritariamente desenvolvidas na área da bacia hidrográfica e a poluição gerada por cada uma destas práticas.

Referências

- CASAGRANDE, L. 2004. **Avaliação do parâmetro de propagação de sedimentos do modelo de Williams (1975) na bacia do rio Vacacaí-Mirim com o auxílio de técnicas de geoprocessamento**. 2004. 242 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria-RS.
- PAIVA, J.B.D. et al. **Demandas de água na bacia do rio Vacacaí-Mirim**. Disponível em: <<http://jararaca.ufsm.br/websites/paiva/download/PaivaDemandas.pdf>>. Acesso em: 20 out. 2017.
- PAIVA, R.C.D.; PAIVA, E.M.C.D.; PAIVA, J.B.D. **Estimativa das vazões naturais nas sub-bacias do Vacacaí-Mirim através do modelo simplificado**. Disponível em: <<http://jararaca.ufsm.br/websites/paiva/download/PaivaQnaturais.pdf>>. Acesso em: 20 out. 2017.
- SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; OLIVEIRA, J. B. de; COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. F.; CUNHA, T. J. F. (2006). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2 Ed. EMBRAPA-SPI, Rio de Janeiro - RJ, 306 p.
- SRINIVASAN, R.; J. G. ARNOLD. (1994). **Integration of a basin-scale water quality model with GIS**. Water Resour. Bull. v. 30, n.3, pp. 453-462.



ZAKIA, M.J.B. Identificação e caracterização da zona ripária em uma micro bacia experimental: implicações no manejo de bacias hidrográficas e na recomposição de matas nativas. São Carlos, 1998. (Doutorado – Escola Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo).

WHITEHEAD, P.G.; ROBINSON, M. Experimental basin studies: an international and historic perspective of forest impacts. Journal de Hydrology, 145:217-230, 1993.