

MODELAGEM HIDROLÓGICA DA BACIA DO RIO CUBATÃO DO SUL COM O MODELO SWAT – *SOIL AND WATER ASSESSMENT TOOL*¹

*Djesser Zechner Sergio*²; *Davide Franco*³; *Luis Hamilton Pospissil Garbossa*^{4*}

Resumo - A Bacia Hidrográfica do Rio Cubatão do Sul (BHRCS) é responsável por mais de 85% do abastecimento de água da Região Metropolitana da Grande Florianópolis. O presente trabalho teve por objetivo estimar o balanço hídrico da BHRCS com uso do modelo SWAT, com base nas características previamente levantadas de uso e ocupação, características de solos e dados meteorológicos no entorno. O modelo não calibrado apresentou resultados satisfatórios na comparação entre os valores de vazão observados na Estação Fluviométrica da Agência Nacional de Águas ETA CASAN Montante. Foram obtidos valores, para as médias mensais, de R^2 igual a 0,75 e coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliffe igual a 0,78. Para o balanço hídrico, o modelo estimou uma precipitação anual, na área da bacia, de 1.872,8 mm, sendo 47,2% convertidos em evapotranspiração e 50,6% em escoamento total.

Palavra-chave – Balanço hídrico, SWAT, Cubatão do Sul.

HYDROLOGICAL MODELING OF CUBATÃO DO SUL CATCHMENT USING THE SWAT MODEL – *SOIL AND WATER ASSESSEMNT TOOL*

Abstract -The Cubatão do Sul river catchment (BHRCS) supplies more than 85% of the Florianópolis city region water need. The objective of the study was to estimate the BHRCS water balance using SWAT model, using land use and soil database set as well as weather data from the catchment region. The model was not calibrated but presented good results when compared with the ETA CASAN Montante gauge observed discharge data. For monthly averages, the R^2 and Nash-Sutcliffe efficiency coefficient were 0.75 and 0.78, respectively. The annual precipitation calculated for the catchment area was 1,872.8 mm where 47.2 % was estimated to be converted into evapotranspiration and 50.6% into total runoff.

Keywords – Water balance, SWAT, Cubatão do Sul.

INTRODUÇÃO

A escassez resultante de um sistema de recursos finitos força a sociedade a buscar saídas para controlar e explorar de forma sustentável os bens e serviços naturais, a fim de garantir que estes continuem à disposição das gerações futuras. Para tanto é necessário o conhecimento da disponibilidade hídrica em termos quantitativos e qualitativos.

A análise global da condição ambiental em uma bacia hidrográfica é complexa e trabalhosa. A aplicação de modelos matemáticos hidrológicos de base física, aliados a Sistemas de Informação Geográfica – SIGs permitem estimar a produção hídrica, produção de sedimentos e qualidade da água são ferramentas adequadas para a gestão e o planejamento de bacias hidrográficas.

¹ Trabalho de conclusão de curso e desenvolvido com apoio do projeto CNPq, processo n° 561506/2010.

² Engenheiro Sanitarista e Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina, e-mail: djesser.zechner@gmail.com.

³ Professor da Universidade Federal de Santa Catarina, Dr. Davide Franco, e-mail: d.franco.ocean@gmail.com.

⁴ Pesquisador da Empresa de Pesquisa Agropecuária e de Extensão Rural de SC, e-mail: luisgarbossa@epagri.sc.gov.br / garbossa@gmail.com.

A bacia Hidrográfica do Rio Cubatão do Sul – BHRCS apresenta significativa importância estratégica e ambiental do ponto de vista hidrológico, pois é a principal fonte de abastecimento de água da Região Metropolitana da Grande Florianópolis. Os municípios de Águas Mornas, Santo Amaro da Imperatriz e São Pedro de Alcântara, integrantes da BHRCS, estão localizados a montante do ponto de captação de água do Rio Cubatão do Sul e desenvolvem principalmente atividades agrícola e pecuária. Os municípios também geram despejos domésticos, bem como desenvolvem atividades extrativistas de areia e argila da calha e das margens do Rio Cubatão do Sul. Essas atividades contribuem para produção de sedimentos, contaminação por agrotóxicos e pressão sobre a vegetação remanescente podendo também resultar na redução da produção hídrica e da qualidade de água da bacia hidrográfica. A jusante do ponto de captação, próximo a sua foz está localizado o município de Palhoça. O rio Cubatão do Sul é o maior rio afluente à Baía Sul da Ilha de Santa Catarina, na qual é desenvolvida uma das principais atividades de aquicultura do Estado de Santa Catarina, a produção de moluscos bivalves. A quantidade e qualidade da água proveniente da BHRCS influencia no desenvolvimento desta atividade, uma vez que esses organismos são filtradores de água.

O SWAT é uma ferramenta eficiente para a representação os fenômenos físicos que ocorrem em uma bacia hidrográfica e dessa forma, sua aplicação tem potencial como ferramenta de apoio a tomada de decisões para o planejamento da região e implantação de políticas públicas.

Neste contexto, o presente trabalho teve por objetivo verificar o potencial do modelo para uso na Bacia como ferramenta de modelagem e também fazer uma estimativa do balanço hídrico da BHRCS.

MATERIAL E MÉTODOS

A BHRCS está localizada no Estado de Santa Catarina, englobando integralmente os municípios de Águas Mornas e Santo Amaro da Imperatriz, e parcialmente os municípios de São Pedro de Alcântara e Palhoça. Dentre as oito macrobacias hidrográficas brasileiras, está inserida na Bacia Hidrográfica do Sudeste. De acordo com a classificação atual de bacias hidrográficas catarinenses (SANTA CATARINA, 1998), está inserida na Região Hidrográfica 8, juntamente com as bacias do Rio Tijucas, Rio Madre, Rio Biguaçu e demais microbacias da região, incluindo a Ilha de Santa Catarina (Figura 1). A BHRCS possui área de 746 km² e está localizada entre as latitudes 27°35'46" S e 27°52'50" S e longitudes 48°38'24" W e 49°02'24" W (Kobiyama e Chaffe, 2008). Do total da área da BHRCS, 342 km² estão inseridos no Parque Estadual da Serra do Tabuleiro (Pereira e Zanin, 2002).

O Rio Cubatão do Sul é o principal rio da bacia e é originado da confluência dos rios do Cedro e Bugres, com extensão total de 62 km. Possui vazão Q_{90} (vazão com 90% de permanência) de 11,41 m³.s⁻¹, e $Q_{7,10}$ (vazão média de estiagem de 7 dias de duração e 10 anos de período de retorno) de 4,75 m³.s⁻¹ (SANTA CATARINA, 2007). A rede de drenagem possui sentido Leste, sendo seus principais afluentes os rios do Salto, dos Bugres, das Águas Claras, Forquilhas, Ribeirão Vermelho, Rio Matias e Rio Vargem do Braço. A foz possui característica de meandros e ecossistema de manguezal, denominado manguezal da Palhoça (Pereira e Zanin, 2002). A Figura 1 apresenta a divisão da bacia em 33 sub-bacias definidas através do modelo. O contorno vermelho representa a área total da bacia e o contorno amarelo representa a área considerada na modelagem. As estações fluviométricas da ANA estão localizadas no exutório das sub-bacias 7 e 6. A sub-bacia 12 representa o local do exutório final da área da modelagem.

1.200 m de altitude (Pico do Cambirela 1.275 m), protegendo a bacia de ventos polares, e retendo massas de ar quente do norte (Pereira e Zanin, 2002).

Base de dados

O SWAT requer séries temporais de médias diárias de precipitação, temperatura do ar média, máxima e mínima, radiação solar, velocidade do vento e umidade relativa. As estações pluviométricas, fluviométricas e meteorológicas selecionadas são apresentadas na Tabela 1. Os dados Pluviométricos e Fluviométricos foram obtidos junto ao site <http://hidroweb.ana.gov.br/>. Os dados meteorológicos foram obtidos junto à EPAGRI/CIRAM, para as estações meteorológicas de Florianópolis e São José. Os dados hidrológicos da ANA (Agência Nacional de Águas) são dados diários entre 01/01/2000 e 31/12/2011. As estações pluviométricas da ANA possuem dados consistidos somente nos períodos de 2000 e junho de 2004 até dezembro de 2006. Os demais anos foram preenchidos com dados brutos sem a realização de análise de consistência.

Tabela 1 – Localização das estações na região da BHRCS.

Código	Nome da Estação	Município	Alt. (m)	Tipo*	Orgão
2748001	Major Gercino	Major Gercino	40	P	ANA
2748001	Angelina	Angelina	215	P	ANA
2748004	ETA Casan Montante	Palhoça	20	P	ANA
2748006	FPolis**	São José	5	P	ANA
2748016	Antônio Carlos	Antônio Carlos	34	P	ANA
2748017	Paulo Lopes	Paulo Lopes	2	P	ANA
2748018	São Bonifácio	São Bonifácio	410	P	ANA
2748020	Rancho Queimado	Rancho Queimado	820	P	ANA
84100000	Poço Fundo	Sto Amaro	5	F	ANA
84150100	ETA Casan Montante	Palhoça	20	F	ANA
Epagri	Fpolis**	Fpolis**	5	M	EPAGRI
Epagri	São José	São José	5	M	EPAGRI

* M=Meteorológica, P=Pluviométrica, F=Fluviométrica; **Fpolis = Florianópolis

O modelo numérico do terreno (MNT) foi elaborado através das curvas de nível das cartas topográficas digitais dos municípios de Anitápolis, Rancho Queimado, São Bonifácio, Paulo Lopes, Santo Amaro da Imperatriz e Florianópolis. Foram encontradas falhas nas junções das cartas dos municípios, sendo as mesmas corrigidas para a interpolação das cotas. O método utilizado foi o de interpolação de rede triangular irregular (TIN – Triangular Irregular Network), do 3D analyst tool, no ArcGIS 10. O TIN gerado foi convertido para Raster, nas propriedades cell size 15, float e natural neighbor. As cartas topográficas estão disponíveis em meio digital pela EPAGRI na escala é 1: 50.000. A projeção utilizada foi South American Datum 1969 UTM Fuso 22 S.

O mapa de uso e ocupação do solo utilizado foi o produzido pelo Projeto de Proteção da Mata Atlântica da FATMA (FATMA, 2007). Para o presente estudo foi considerando que o uso e ocupação do solo são constantes ao longo do período de análise. O mapa possui escala 1:50.000. O banco de dados de uso e ocupação associado ao mapa da FATMA é proveniente do próprio SWAT, sendo FRST (Floresta Mista Intermediária entre Tropical e Temperada Decídua) 76% e PAST (Pastagens) 20% as duas coberturas de maior representatividade.

Para a avaliação estatística dos resultados do modelo foram utilizados os seguintes métodos: coeficiente de determinação (R^2), o coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliffe (NSE), o percentual

BIAS (PBIAS) e o variância normalizada pelo desvio padrão (RSR), conforme recomendações de Moriasi *et al.* (2007).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O modelo gerou 33 sub-bacias através da delimitação automática. Com a definição do exutório da bacia a ser modelada pelo SWAT no km 55,5 do Rio Cubatão do Sul, a área modelada foi de 728 km² contra 746 km² de área total da bacia. O exutório está localizado imediatamente depois do encontro entre os Rios Cubatão do Sul e Vargem do Braço. As bacias de número 7, 6 e 12 representam respectivamente os pontos da Estação Pluviométrica ANA 84100000 Poço Fundo; Estação Pluviométrica ANA 84150100 ETA CASAN Montante e Exutório da delimitação do SWAT para toda BHRCS. Devido a grande falha nos dados da estação ANA Poço Fundo para o período, somente os exutórios 6 e 12 foram avaliados. Na geração das HRU (*Hydrological Response Unit*), o mapa de uso do solo cobriu 99,92% da bacia, o mapa de solos 100% e as classes de declividades definidas foram os limites 5%, 20% e >20%. A sensibilidade entre as camadas para a geração das HRU foi definida em 10% para cada relação, utilizando a opção de múltiplas HRU por sub-bacia. O programa gerou 720 HRU com a intersecção das três camadas, solos, uso e ocupação e declividade. Para a rede de drenagem foi atribuído coeficiente de atrito de Manning n igual a 0,14 para toda a rede de drenagem.

As vazões simuladas no exutório 6 foram comparadas com os dados observados na estação ETA CASAN Montante. A Tabela 2 apresenta o resultado da análise estatística para a simulação diária e para as médias mensais. O coeficiente de determinação obtido para dados diários e mensais é de 0,49 e 0,75, respectivamente. Estes resultados demonstram baixa correlação linear para os dados diários, porém, isso é minimizado para as médias mensais. Interpretação similar é feita para o coeficiente de eficiência NSE onde os dados modelados diários apresentam valores muito reduzidos. No entanto, para as médias mensais, o resultado é classificado como muito bom, segundo Moriasi *et al.* (2007), com valor acima de 0,75.

Em termos do RSR, variância padronizada pelo desvio padrão dos dados observados, o resultado para médias mensais é classificado como muito bom. Isto indica que a relação entre os dados observados com os dados modelados, comparada com a diferença entre os dados observados e sua média é em 54% verificada para o passo mensal.

Tabela 2 – Resultados dos métodos estatísticos (Exutório 6 e estação ETA Casan Montante).

Método estatístico	Diário	Média mensal	Moriasi <i>et al.</i> (2007) (mensal)
R ²	0,49	0,75	R ² > 0,5 (aceitável)
NSE	0,16	0,78	NSE > 0,75 (muito bom)
PBIAS	-4,9 %	15,8 %	$\pm 10 \leq \text{PBIAS} \leq \pm 15$ (bom)
RSR	0,91	0,46	RSR < 0,5 (muito bom)

Ao analisar graficamente os resultados (Figura 2) é possível identificar que as médias mensais seguem a tendência dos valores medidos. Considerando que os resultados estatísticos e gráficos apresentados se referem à execução inicial do modelo, sem calibração, foi considerado que o modelo apresentou boa aderência para os valores médios mensais e tem grande potencial para ser usado na BHRCS.

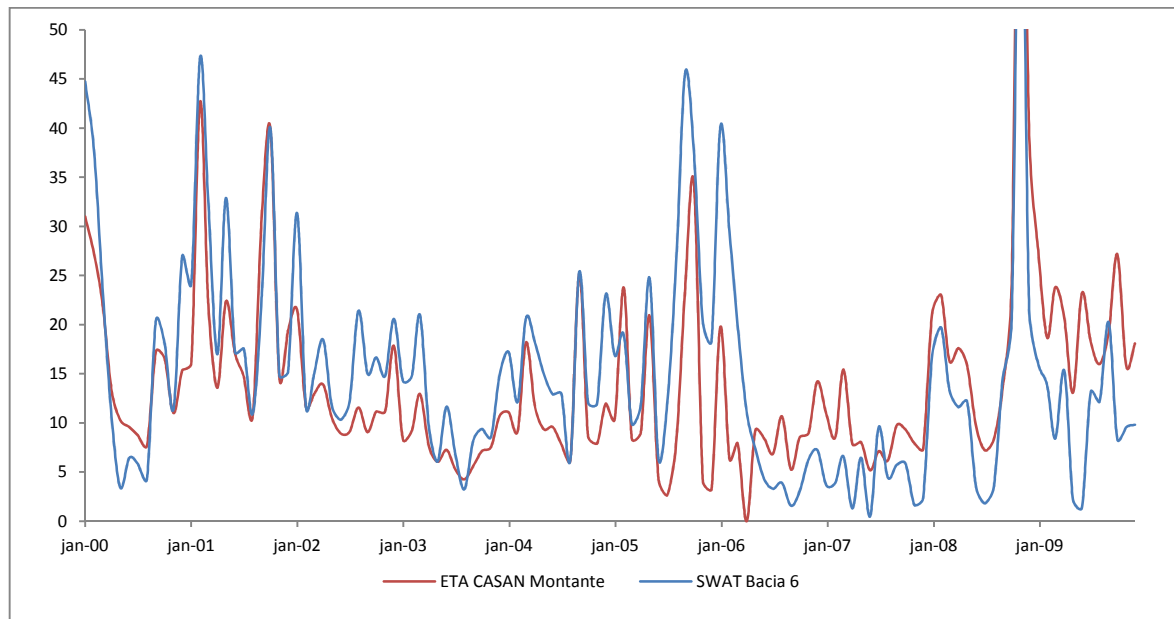


Figura 2 – Séries mensais de descarga líquida modelada e observada (2000-2009).

Em relação à produção hídrica, os valores médios de vazão modelados e não calibrados apresentam médias muito próximas aos valores médios observados. O valor da vazão média diária para a estação ETA Casan Montante e para o exutório 6 é de 14,19 e 15,3 $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, respectivamente.

É importante destacar que esses valores são para o exutório da bacia 6 do modelo. A vazão média para o exutório 12, que compreende praticamente toda a BHRCS é 36% superior em relação ao exutório 6, com valor de 20,81 $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Os resultados apresentados podem passar por refinamento através da análise de sensibilidade, calibração e validação. Ademais, é necessário detalhar melhor o banco de dados de solos, o qual, para essa etapa foi generalizado a partir do banco de dados da Embrapa.

O balanço hídrico resultante da modelagem diária apresentou uma média pluviométrica de 1.872,8 mm anuais. Deste valor, 47,2% são convertidos em evapotranspiração e 50,6% escoamento total, 884,9 mm e 947,47 mm, respectivamente. O escoamento é subdividido em 30,2% de escoamento subsuperficial, 41,2% de escoamento superficial e 28,6% de escoamento de base. O balanço hídrico anual está apresentado na Figura 3.

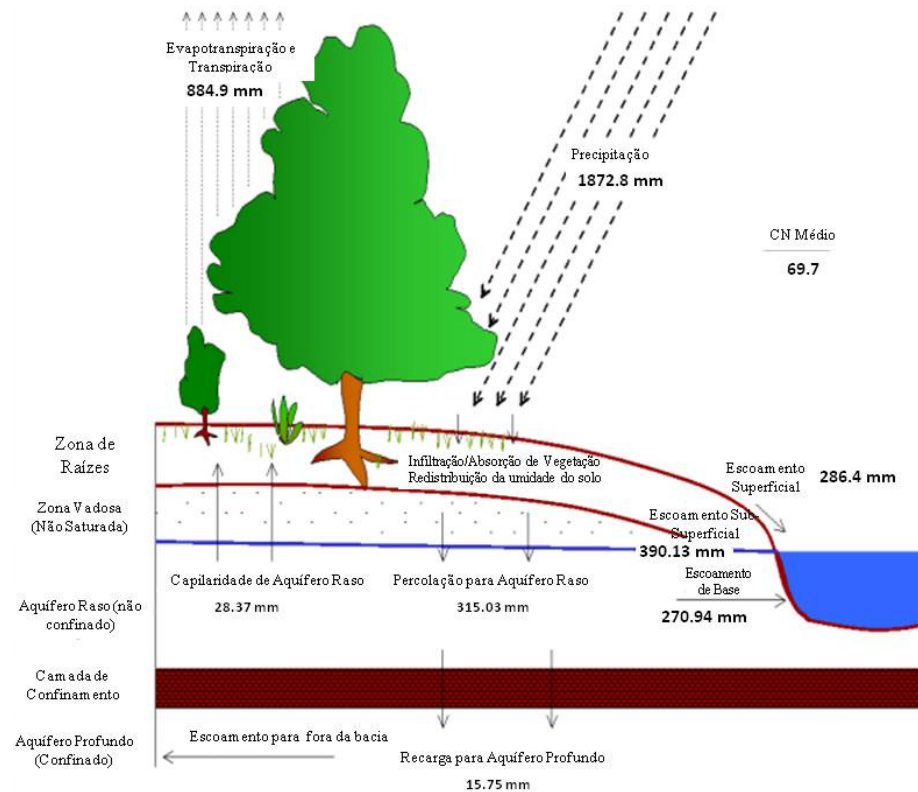


Figura 3 – Balanço Hídrico Anual da BHRCS (Adaptado de: SWATCheck).

Ao comparar o balanço hídrico obtido, com o balanço para todo o globo terrestre (Tucci, 2007), o qual apresenta 62,7% de evapotranspiração e 37,3% de escoamento total, os valores modelados apresentam tendência oposta. No entanto, quando comparado ao estudo realizado por Kobayama e Chaffe (2008), os valores simulados apresentam tendência similar a este trabalho, no qual os autores obtiveram 62% de vazão total e 44% de evapotranspiração.

CONCLUSÕES

O modelo SWAT, mesmo não calibrado, apresentou bons resultados indicando uma tendência de adesão entre os dados simulados e observados, com o NSE mensal de 0,78 e R^2 de 0,75. Esses resultados são considerados promissores e são fortes indícios do potencial de uso do modelo na BHRCS. Contudo, para utilizar o modelo como ferramenta de apoio a decisão deve ser alcançado maior detalhamento das características físicas do solo e ser realizada análise aprofundada da consistência dos dados hidrológicos. Ademais é importante que seja realizada a calibração e validação do modelo.

A relação estimada para o balanço hídrico apresenta um total de precipitação anual de 1.872,8 mm. Desse valor, 47,2% são evapotranspirados e 50,6% são convertidos em escoamento total. Destes, 2,2% são armazenados no solo e recarga de aquífero profundo.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq, o qual apoiou este trabalho através de projeto de pesquisa do processo nº 561506/2010.

REFERÊNCIAS

BRASIL. (2012). Ministério do Meio Ambiente. Cobertura Vegetal do Brasil. Disponível em: <http://mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm>. Escala: 1:250.000. Acessado em: 03 de outubro de 2012.

EMBRAPA. (2009). Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Rio de Janeiro- RJ, 412 p.

FATMA. (2007) Fundação do Meio Ambiente de Santa Catarina. Programa de Proteção da Mata Atlântica – PPMA-SC. Mapeamento de Uso e Ocupação. Escala: 1:50.000. Imagens SPOT 4. Disponível em: http://www.fatma.sc.gov.br/index.php?option=com_content&task=view&id=67&Itemid=146. Acessado em: 20 de setembro de 2012.

KOBIYAMA, M.; CHAFFE, P. (2008). *Water Balance in Cubatao-Sul River Catchment, Santa Catarina, Brazil. Ambiente e Água – An interdisciplinary Journal of Applied Science*. Universidade de Taubaté. 3 (1), pp. 5-17.

MORIASI, D. N.; ARNOLD, J. G.; VAN LIEW, M. W.; BINGNER, R. L.; HARMEL, R. D.; VEITH, T. L. (2007) *Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations. American Society of Agricultural and Biological Engineers*. 50 (3), pp. 885-900.

PEREIRA, A.; ZANIN, V. C. (2002). Expedição ao Rio Cubatão. CASAN – Companhia Catarinense de Água e Saneamento. Relatório. Disponível em: <http://www.casan.com.br/menu-conteudo/index/url/expedicao-ao-riocubatao#0>. Acessado em: 17 de setembro de 2012.

SANTA CATARINA. (1998). Lei Estadual No 10.949 - Dispõe sobre a caracterização do Estado em dez regiões hidrográficas. Florianópolis. Disponível em: <http://www.aguas.sc.gov.br/sirhsc/>. Acessado em 23 de junho de 2012.

SANTA CATARINA. (2007) Panorama dos Recursos Hídricos de Santa Catarina. Secretaria de Desenvolvimento Sustentável. Florianópolis: Diretoria de Recursos Hídricos. 283p. Disponível em: <http://www.aguas.sc.gov.br/sirhsc/>. Acessado em: 23 de junho de 2012.

TUCCI, C. E. M. (2007). *Hidrologia: Ciência e Aplicação*. UFRGS/EDUPS/ABRH - 4ª Ed. Porto Alegre – RS, 943 p.