

GESTÃO DE BACIA COM MÚLTIPLOS USOS ATRAVÉS DO USO DA MODELAGEM HIDROLÓGICA DE QUALIDADE DE ÁGUA

PATRÍCIA CARVALHO DO PRADO NOGUEIRA¹; EVERTON BLAINSKI²; IRIA SARTOR ARAUJO³ E LUIS HAMILTON POSPISSIL GARBOSSA⁴

1. Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC (Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, aluna de graduação, Centro Tecnológico – CTC – Trindade, Florianópolis, SC, pati.cpn@hotmail.com)
2. Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina – EPAGRI (Dr. Manejo e conservação do solo e água, Pesquisador, Rod. Admar Gonzaga 1347 – Florianópolis – SC. evertonblainski@epagri.sc.gov.br)
3. Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina – EPAGRI (Dr. em Engenharia Ambiental, Pesquisadora, Rod. Admar Gonzaga 1347 – Florianópolis – SC. iriaaraujo@epagri.sc.gov.br)
4. Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina – EPAGRI (Dr. em Engenharia Hidráulica e Saneamento, Pesquisador, Rod. Admar Gonzaga 1347 – Florianópolis – SC. luisgarbossa@epagri.sc.gov.br)

Resumo

Diversas políticas e recomendações estão implementadas para regulação do uso e gestão da água no Brasil e no mundo. No entanto, para aplicação das políticas é necessário o conhecimento e informações sobre os recursos hídricos. A modelagem hidrológica é uma ferramenta viável para o planejamento e gestão da água, capaz de representar a dinâmica dos corpos hídricos e simular diferentes usos de solo e seus possíveis impactos sobre a qualidade da água. Neste contexto o modelo SWAT foi aplicado para o estudo da bacia do rio Camboriú a qual tem população fixa de 147.000 habitantes e mais de 1.000.000 habitantes no período do verão, o que dificulta a garantia do abastecimento de água e gera conflitos na administração da água na bacia devido à captação de água para a agricultura. A região à montante da captação de água é caracterizada pela atividade agropecuária contando com lavouras temporárias constituídas, principalmente, por culturas de arroz irrigado, a qual usa grande volume de água e faz uso de fertilizantes e agroquímicos, potenciais poluidores do meio ambiente. O estudo consiste na modelagem hidrológica quali-quantitativa da bacia do rio Camboriú como ferramenta para representação do regime hidrológico da bacia do rio Camboriú, a partir de variáveis climáticas e de uso e ocupação das terras. Poucos trabalhos foram realizados no Brasil usando o SWAT para modelagem dos nutrientes. Os resultados preliminares mostram o potencial da ferramenta para apoio a tomada de decisão por órgãos ambientais, gestores municipais e comitês de bacias. O modelo foi calibrado para vazão, resultando em coeficiente de Nash-Sutcliffe (C_{NS}) de 0,64. Porém ainda não foi calibrado para nutrientes, apresentando valores aproximadamente 22 e 30 vezes maiores do que a carga de nitrogênio medida. Esta dificuldade é devida à falta de dados hidrológicos percebida em todo o Brasil, deste modo as séries de dados ainda estão em construção. Também verificou-se a necessidade de adaptação no modelo numérico para bacias com produção de arroz irrigado.

Palavras-chave: gestão, bacias, modelagem hidrológica, nutrientes.

Tema: A utilização das TIC na gestão de recursos hídricos

1. INTRODUÇÃO

A crescente preocupação com o meio ambiente e o incremento da disputa pelo uso dos recursos hídricos em face da disponibilidade hídrica e qualidade da água é evidente. Desta forma, a gestão de recursos hídricos se torna mais complexa, uma vez que os fornecimentos de água locais, regionais e nacionais se encontram cada vez mais pressionados para suprir recursos necessários para diferentes usos como irrigação, produção de energia, usos industriais, uso doméstico e para o ambiente (Abbaspour et al, 2015).

Diversas políticas e recomendações estão implementadas para regulação do uso e gestão da água no Brasil e no mundo. No entanto, para aplicação destas políticas é necessário o conhecimento e informações confiáveis sobre os recursos hídricos.

De forma a obter estas informações, é necessário elaborar um sistema de monitoramento de qualidade de água, passo fundamental para a gestão hídrica adequada da bacia e basear as estratégias adotadas nestas informações atualizadas destes sistemas (Chang 2014).

De acordo com Biswas (1975), gestores se baseiam na disponibilidade de informação, o tempo admissível e restrições de recursos para tomar decisões adequadas. Estes gestores podem ser entendidos como municípios, companhias estatais, instituições federais, comitês de bacia e organizações ambientais.

Em pesquisas comportamentais, Kiker et al (2005) verifica que humanos não são equipados o suficiente para resolver questões referentes à gestão ambiental sem auxílio, uma vez que estes são complexos e envolvem partes interessadas com objetivos e prioridades diferentes e muitas vezes conflitantes.

Desta forma, “tanto a elaboração de políticas ambientais quanto a implementação de gestão bem-sucedida requerem métodos robustos para avaliar a contribuição de várias fontes de poluição pontuais e difusas de problemas de qualidade de água, bem como métodos para estimar o esperado e alcançado o cumprimento das metas de qualidade da água” (Rode, 2010).

Neste contexto, os modelos de qualidade de água são largamente utilizados pois possibilitam a predição da resposta do ecossistema em função de ações de gestão, criando uma base técnico-científica para gestão ambiental (Arhonditsis et al., 2006). Desta forma, a gestão deixa de ser baseada em opiniões e experiência pessoal e começa a ser fundamentada em dados medidos, diminuindo as incertezas dos resultados.

Os modelos hidrológicos são “ferramentas importantes para o planejamento do uso sustentável de água para satisfazer diversas demandas” (Abbaspour et al, 2015). Diversos modelos são capazes de representar a dinâmica dos corpos hídricos, permitindo a avaliação dos processos atuais e a simulação de cenários futuros e seus possíveis impactos sobre a qualidade da água.

Diversos modelos hidrológicos foram desenvolvidos para suprir demandas específicas por ferramentas de gestão de recursos hídricos. Alguns dos modelos amplamente utilizados são: MIKE SHE (Systeme Hydrologique European), Surface Water Modeling System - SMS, Rainfall-Runoff Model - TOPMODEL (Topography-based hydrological model) e Soil Water Assessment Tool - SWAT.

De acordo com Devia (2015), o melhor modelo é aquele que, ao simplificar ao máximo os processos e utilizar o menor número de parâmetros, ainda apresenta resultados bem próximos da realidade. Contudo, a escolha do modelo deve ser realizada de acordo com o objetivo do estudo. No caso do uso de modelos hidrológicos para gestão de bacias, este deve ser robusto para permitir a geração de cenários hidrológicamente representativos das alterações planejadas para a bacia em estudo.

O SWAT é um modelo hidrológico que apresenta resultados promissores, capaz de simular o regime hidrológico de corpos hídricos através da utilização de parâmetros distribuídos e contínuos e com a possibilidade de representar diversos processos físicos de forma sequencial (Tim e Jolly, 1994), quantificando os impactos das alterações de uso do solo no escoamento superficial e subsuperficial, produção de sedimentos e qualidade de água (Srinivasan e Arnold, 1994). Ademais, apresenta código-fonte aberto, o que possibilita a implementação de modificações e auxilia no desenvolvimento do modelo.

Este modelo apresenta uma boa performance quando aplicado a bacias hidrográficas brasileiras, porém ainda são poucas as aplicações práticas como ferramenta de auxílio a tomada de decisão, sendo mais utilizado com objetivos acadêmicos (Garbossa et al., 2011).

A área de estudo selecionada é a bacia do rio Camboriú. Segundo dados do censo de 2010 do IBGE, a população fixa da bacia é de 147.000 habitantes e no período do verão a população aumenta, ultrapassando 1.000.000 habitantes, o que dificulta a garantia do abastecimento de água e gera conflitos na administração da água na bacia devido à captação de água para a agricultura. A região à montante da captação é caracterizada pela intensa atividade agropecuária contando com lavouras temporárias constituídas por culturas de arroz irrigado, que consome grandes volumes de água e faz uso de fertilizantes e agroquímicos, o que a torna uma atividade potencialmente poluidora do meio ambiente.

O estudo consiste na modelagem hidrológica da bacia do rio Camboriú a partir da utilização do SWAT e com o módulo de qualidade de água. Assim, é possível representar o regime hidrológico da bacia do rio Camboriú a partir de variáveis climáticas e de uso e ocupação das terras e avaliar o potencial de uso do modelo como ferramenta de gestão em função da situação atual, conflitos e possíveis alterações do uso do solo e demandas por água de qualidade.

2. METODOLOGIA

2.1. Área de estudo

A área de estudo compreende a Bacia Hidrográfica do Rio Camboriú que está localizada no litoral norte do Estado de Santa Catarina e concentra uma das maiores áreas turísticas do Estado. A bacia do rio Camboriú abrange dois municípios (Camboriú e Balneário Camboriú) com área total de 200 km². A bacia do rio Camboriú é uma área constituída por um complexo hidrológico, onde os rios Camboriú, Canoas, Braço, Ribeirão dos Macacos e Pequeno formam a principal rede de drenagem da bacia (Figura 1).

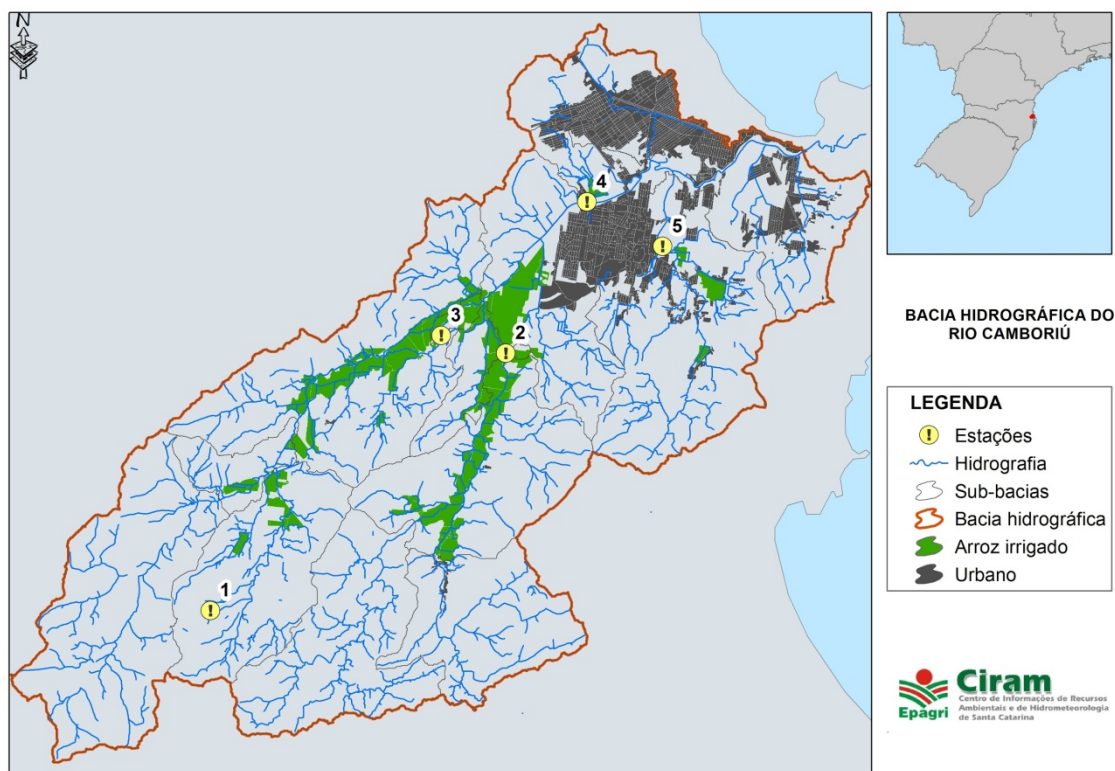


Figura 1 - Bacia do rio Camboriú e pontos de monitoramento hidrológico.

A bacia apresenta terreno com elevação máxima de 758 metros e média de 156 metros. Os principais tipos de uso do solo contidos na bacia são floresta (63%), pastagem (17%), residencial de alta densidade (8%) e arroz irrigado (5%). Os principais tipos de solo que compõem a bacia são cambissolo (49%), argissolo (17%), gleisolo (13%), neossolo (11%) e espodosolo (8%).

Foram instaladas estações (E) de monitoramento hidrológico automáticas (E1 até E5) ao longo da bacia (Figura 1) para monitoramento de variáveis hidrológicas. A E1 coleta dados de precipitação e temperatura, enquanto as demais também coletam dados de nível dos rios. Nas estações E2 e E4 foram acopladas sondas de qualidade de água com parâmetros físico-químicos como turbidez, pH, oxigênio dissolvido, temperatura, condutividade, nitrogênio amoniacal e nitrato (Garbossa et al., 2015). A E4 está localizada justamente na captação de água da Empresa Municipal de Água e Saneamento de Balneário Camboriú (EMASA), a qual fica em um barramento para prevenir a mistura com água salobra do estuário. A E5 está localizada no rio Pequeno em local sob influência da maré.

2.2. SWAT

O SWAT é um modelo numérico contínuo no tempo e semi distribuído, o que possibilita a diferenciação e classificação de solos, topografia e uso e ocupação do solo. Foi desenvolvido pela Texas A&M University e o Agricultural Research Service capaz de simular os efeitos de alterações no uso do solo e da água de uma bacia hidrográfica. É uma ferramenta capaz de fornecer dados de escoamento superficial e subterrâneo, produção de sedimentos e de qualidade da água para diversos cenários. O modelo é de domínio público e pode ser acessado via internet pelo endereço <http://swat.tamu.edu/>. A versão do modelo

utilizada neste estudo foi o SWAT 2012 com interface ArcSWAT 2012.10_1.15 para ArcGIS 10.11.

Os dados de entrada do modelo podem ser agrupados em dados espaciais como o mapeamento do solo e o mapa de uso e cobertura e em séries temporais como os dados climáticos e hidrológicos.

As variáveis climáticas utilizadas no modelo são: precipitação diária, temperatura do ar máxima e mínima diária, radiação solar, umidade relativa e velocidade do vento. Estes dados foram obtidos a partir de plataformas de coleta de dados (PCD's) localizadas no município de Itajaí, adjacente à área de estudo, assim como pelos pontos de monitoramento (E1 à E5) instalados na área de estudo.

O modelo digital do terreno (MDT) obtido através do levantamento aerofotogramétrico de Santa Catarina realizado pela Secretaria de Desenvolvimento Sustentável (SDS/SC) no ano de 2010 foi utilizado para criação do relevo da área de estudo, com resolução de 3 metros.

O mapeamento de uso e ocupação das terras foi gerado a partir da análise de ortofotos do levantamento aerofotogramétrico de Santa Catarina do ano de 2010 realizado pela SDS/SC. Foi utilizado o método de análise visual para a vetorização em tela, assim como critérios específicos para a definição das classes de uso e ocupação.

O mapa do solo foi gerado com base no mapeamento de solos do Estado de Santa Catarina realizado pela Embrapa com escala de 1:250.000 e a variação espacial das variáveis inseridas no modelo foi refinada através da realização de amostragens físicas e químicas de solo.

Todas as informações espaciais são organizadas em unidades de resposta hidrológica (HRU), as quais agrupam área com informações semelhantes. O modelo permite a inserção das operações de manejo realizadas em HRU.

Neste estudo foram inseridas as operações referentes à cultura de arroz irrigado, por ser a principal atividade presente na bacia. São realizados três períodos de plantio anualmente, com suas respectivas datas de irrigação, operações de revolvimento do solo, fertilização, adubação e colheita.

O período modelado abrange de janeiro de 1981 a dezembro de 2014, com as séries temporais fornecidas em intervalos de tempo diários. Ademais, os primeiros 5 anos de execução do modelo foram usados como aquecimento, para que seja estabelecido um equilíbrio dinâmico.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados do modelo para estimativa da descarga líquida estão apresentados na Figura 2. Ali é possível observar os valores de precipitação, vazão gerados pelo modelo para a E2 e os resultados da descarga líquida observada, estimada a partir das medições automáticas do nível do rio e da curva-chave, para o ano de 2014. A vazão média observada é igual a $1,37 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ enquanto a vazão média simulada é igual a $1,33 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

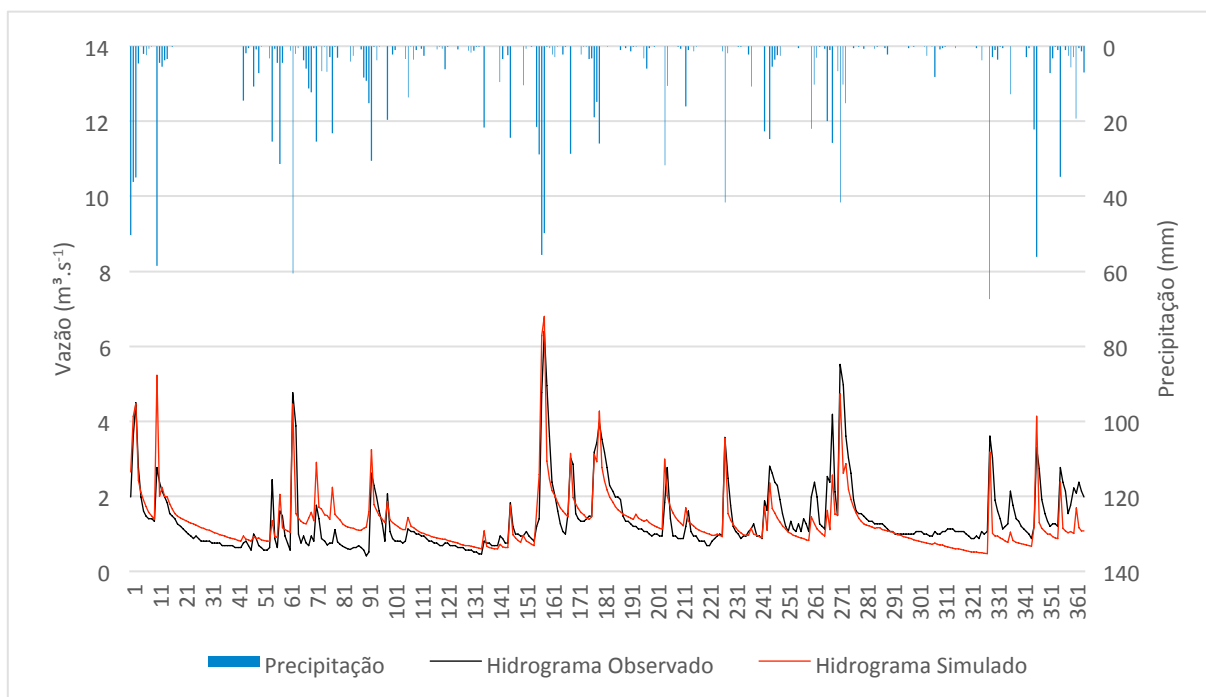


Figura 2- Hidrograma observado e simulado para a E2 na Bacia do rio Camboriú no ano de 2014.

A análise de sensibilidade e a calibração foram realizadas com auxílio do programa SUFI-2 do SWAT-CUP (Procedimentos de calibração e incerteza), que facilita a execução de análise de sensibilidade, calibração e validação em projetos do SWAT (Abbaspour et al, 2007). O valor do C_{NS} obtido para vazão em intervalo de tempo diário foi de 0,64. Os parâmetros ajustados na calibração da vazão e seus valores são descritos na tabela 1. Como as curvas-chave estão em construção, o modelo ainda não pôde ser validado para vazões de cheia. É preciso destacar que geralmente, quanto maior o passo de tempo utilizado como saída da simulação, diário, mensal e anual, melhores são os valores do C_{NS} .

Tabela 1 - Parâmetros ajustados no modelo SWAT

Parâmetro	Nome	Valor	Variação
GW_DELAY	Tempo de retardo da água subterrânea (dias)	0,65	0 a 500
GWQMIN	Profundidade de água subterrânea requerida para que o retorno do fluxo ocorra (mm H ₂ O)	1000	0 a 5000
ALPHA_BF	Fator alfa de recessão do fluxo de base (dias)	0,60	0 a 1
REVAPMN	Profundidade de água no aquífero para que ocorra percolação (mmH ₂ O)	1000	0 a 1000
ESCO	Fator de compensação da evaporação do solo	0,90	0 a 1
LAT_TIME	Tempo de retorno do fluxo lateral (dias)	42	0 a 180

Considerando que a gestão de recursos hídricos pode ser considerada como a promoção do equilíbrio entre a disponibilidade e a demanda e a busca pela minimização dos conflitos de uso, é possível analisar o balanço hídrico da bacia hidrográfica, quantificar todos os

componentes da equação do balanço (os valores das demandas e a disponibilidade hídrica) e desta forma quantificar o problema.

Considerando a população permanente de Balneário Camboriú e Camboriú, a estimativa é de que a demanda por água para abastecimento público seja próximo de 375 L.s^{-1} . Contudo, no período de verão este valor pode passar de 2.500 L.s^{-1} . Os resultados do modelo mostram que a capacidade máxima da disponibilidade hídrica para a bacia, representada pelo valor da vazão Q_{50} no local de captação, que é de 2.950 L.s^{-1} . Ademais, a demanda por água tende a aumentar nos próximos anos, considerando o intenso processo de urbanização e crescimento imobiliário da região.

A vazão utilizada nos canais de irrigação das culturas de arroz irrigado, nos períodos de irrigação, é igual a 1.000 L.s^{-1} . O conflito da região é intensificado devido ao período de maior demanda por água do arroz irrigado coincidir com o período de maior demanda por água para abastecimento público, entre o final de novembro e metade de fevereiro.

Os resultados do modelo mostram que a mediana das concentrações de nitrato nos pontos E2 e E4 são de 3.37 e 10.73 kg.d^{-1} , respectivamente, enquanto que os valores medidos (Araújo et al, 2015) foram aproximadamente 22 e 29 vezes maiores, respectivamente.

O ponto E4 é o último ponto que pode ser representado pelo modelo, pois a partir deste ocorre a mistura com água salobra do estuário. Portanto, duas contribuições importantes, em termos de nutrientes não podem ser modeladas dentro do curso do rio pois estão a jusante da E4. Uma delas é pontual e se refere ao lançamento dos efluentes da Estação de Tratamento de Esgoto da cidade de Balneário e a outra contribuição se refere a poluição difusa proveniente de regiões sem sistema de coleta e tratamento de efluentes, caso da cidade de Camboriú.

Os resultados do modelo se mostram promissores. Contudo, para que o modelo da bacia do rio Camboriú possa ser usado como ferramenta de apoio a decisão na gestão da bacia é necessário que duas etapas sejam concluídas. A primeira é a adequada representação do cultivo de arroz irrigado pelo modelo. A documentação teórica (Neitsch et al, 2011) do SWAT recomenda a utilização do algoritmo de poças (*potholes*) presente no modelo para representar áreas de arroz irrigado, por serem hidrologicamente semelhantes às áreas depressionais fechadas para as quais este foi criado. Porém, foi observado que este tipo de representação não é apropriado para arrozais (Xie e Cui, 2011), pois não simula corretamente a dinâmica que ocorre nestes campos.

Desta forma, para a correta representação de áreas de arroz irrigado é necessário realizar algumas alterações nos algoritmos do módulo de poças (Boulangue et al, 2014) ou então criar um módulo exclusivo para a rizicultura, atualmente em desenvolvimento.

As principais adaptações sugeridas abordam a forma das poças, os quais devem ser considerados como cubos ao invés de cones, o cálculo da percolação e irrigação, além da forma de liberação da água represada (Sakaguchi et al, 2014).

Outra fonte de dificuldade na modelagem de bacias que contém áreas de arroz irrigado no SWAT é a representação do manejo hídrico, principalmente do ciclo do nitrogênio. Neste estudo foi usada a irrigação automática do modelo, o que subestimou a concentração de nitrogênio no talvegue.

A segunda etapa a ser concluída é a calibração e validação. Esta etapa trata da comparação dos resultados calculados com dados medidos de forma contínua na bacia em

um ou mais pontos. Conforme relatado por Bersiani et al (2015) diversos estudos com o uso do SWAT estão limitados justamente devido à falta de base de dados de qualidade ou mesmo devido a inexistência de dados hidrológicos necessários a esta etapa crucial na utilização de modelos hidrológicos. Para a bacia do rio Camboriú não foi diferente, as séries temporais com dados de precipitação, clima, nível de rio e qualidade de água estão em construção. No Brasil, para o uso de modelos hidrológicos, a etapa de coleta de dados é a que consome mais tempo, pois muitas vezes estes dados não existem e devem ser gerados a partir de monitoramento hidrológico.

Com o modelo validado, é possível usá-lo como ferramenta de auxílio à elaboração do plano de bacia e outros instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) (Brasil, 1997). Souza et al (2009) utilizou o modelo na definição da vazão de referência para concessão de outorga de uso de recursos hídricos, a Q98, para o Estado de Santa Catarina. Também é possível realizar a simulação de cenários de qualidade da água de forma a subsidiar o enquadramento de corpos de água em classes, outro instrumento da PNRH.

Segundo Bersiani et al. (2015) até 2014 menos de 10% de todos os estudos com SWAT foram desenvolvidos avaliando o comportamento dos nutrientes na bacia e um percentual ainda menor de estudos calibraram ou validaram o modelo para questão de nutrientes. O trabalho que está em desenvolvimento na bacia visa ajudar a preencher a lacuna sobre o uso do SWAT como ferramenta de gestão de bacias, inclusive para avaliação da carga de nutrientes.

Conhecer de maneira aprofundada o balanço hídrico permite propor alternativas sustentáveis de uso compartilhado dos recursos hídricos. Uma das possíveis aplicações do modelo é a otimização da captação de água para as demandas existentes. Verificar cenários com diferentes datas de plantio do arroz e conseqüentemente datas de irrigação e o efeito na disponibilidade hídrica. Ademais, como a gestão possui um aspecto político muito forte, a negociação é parte essencial na minimização dos conflitos.

4. CONCLUSÕES

Ainda que a utilização do SWAT no Brasil se concentre em propósitos puramente acadêmicos, os resultados preliminares mostram o potencial da ferramenta para apoio a tomada de decisão por órgãos ambientais, gestores municipais e comitês de bacias, assim como na definição dos instrumentos da PNRH, como enquadramento de corpos hídricos e outorga de uso de água.

O monitoramento dos dados hidrológicos no Brasil é escasso, desta forma os dados devem ser criados e esta é uma das etapas mais demoradas da modelagem. Estes dados são essenciais para a realização adequada da calibração e validação do modelo, de modo a torná-lo representativo da bacia hidrográfica.

O modelo foi calibrado para vazões, mas ainda não para nutrientes. Este apresenta C_{NS} igual a 0,64 para vazão diária e resultados de nitrogênio aproximadamente 22 e 29 vezes menores dos valores medidos. Antes que este seja usado como ferramenta de apoio a decisão, faz-se necessário a conclusão da calibração e validação. Ademais, é necessário aprimorar o algoritmo do modelo para representar as áreas de arroz irrigado de forma adequada e assim tornar o modelo mais representativo para este tipo de cultura.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro através do projeto MCT/CNPq - N ° 14/2012 - 478153/2012 - Sistema de monitoramento hidrológico e modelagem ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Camboriú-SC. Pela bolsa de Iniciação Científica através do projeto 403739/2013-6 - Mudanças climáticas e seus efeitos sobre o regime hídrico, eventos hidrológicos extremos e a qualidade das águas no sul do Brasil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abbaspour K.C., Rouholahnejad E., Vaghefi S., Srinivasan R., Yang H., Klove B. (2015). A continental-scale hydrology and water quality model for Europe: Calibration and uncertainty of a high-resolution large-scale SWAT model. *Journal of Hydrology* 524, pp. 733-752.
- Abbaspour K.C., Vejdani M., Haghigat S. (2007). SWAT-CUP Calibration and Uncertainty Programs for SWAT. In *International Congress on Modelling and Simulation (MODSIM'07)*. Modelling and Simulation Society of Australia and New Zealand.
- Araújo I.S., Blainski E., Garbossa L.H.P, Pereira A.P.E., Klem C. (2015). Impactos do uso do solo e da precipitação na qualidade da água da bacia hidrográfica do rio Camboriú (SC). In *28 Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*. Rio de Janeiro, Brasil.
- Arhonditsis G.B., Adams-Vanharn B.A., Nielsen L., Stow C.A., Reckhow K.H. (2006). Evaluation of the current state of mechanistic aquatic biogeochemical modeling: citation analysis and future perspectives. *Environmental Science and Technology* 40, pp. 6547-6554.
- Bersiani D.A., Gassman P.W., Fernandes J.G., Garbossa L.H.P., Srinivasan R., Bonumá N.B., Mendiondo E.M. (2015). A review of SWAT (Soil and Water Assessment Tool) applications in Brazil: challenges and prospects. *International Journal of Agriculture & Biological Engineering* 8 (3) 9-35.
- Biswas A.K. (1975). Mathematical modelling and environmental decision-making. *Ecological Modelling* 1 31-48.
- Boulangé J., Watanabe H., Inao K., Iwafune T., Zhang M., Luo Y., Arnold J.(2014). Development and validation of a basin scale model PCPF-1@SWAT for simulating fate and transport of rice pesticides. *Journal of Hydrology* 517 146-156.
- Brasil. *Lei Federal nº 9.433*, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9433.htm. (acedido a 5 de Outubro de 2015)
- Chang C.L, Lin Y.T, Chiueh P.T. (2014). Single criterion and multiple criteria analysis: a comparison of water quality monitoring designs for a river system. *Water Resources Management* 28. 645-655.
- Devia G.K., Ganasri B.P., Dwarakish G.S. (2015). A Review on Hydrological Models, *Aquatic Procedia*, Volume 4, 1001-1007.

- Garbossa L.H.P., Vasconcelos L.R.C., Lapa K.R., Blainski E., Pinheiro A. (2011). The use and results of the Soil and Water Assessment Tool in Brazil: A review from 1999 until 2010. In *International SWAT Conference and Workshop*. Toledo, Spain.
- Garbossa L.H.P., Vanz A., Blainski E., Antunes E.N. (2015). Monitoramento on-line da qualidade da água com o uso de sondas multiparâmetros. *Revista Agropecuária Catarinense*, 28, (2), pp. (38-40).
- Kiker G.A., Bridges T.A., Varghese A., Seager T.P., Linkov I. (2005). Application of multicriteria decision analysis in environmental decision making. *Integrated Environmental Assessment and Management* 1 (2), pp. 95–108.
- Neitsch S.L., Arnold J.G., Kiniry J.R., Williams J.R. (2011). *Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation Version 2009: TR-406*. Texas Water Resources Institute, College Station, TX.
- Pinheiro A., Deschamps F.C. (2008). Transporte de ortofosfato e de nitrato na Microbacia do Ribeirão Fortuna, SC. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, 12, 318-325 pp.
- Rode M., Arhonditsis G., Balin D., Kebede T., Krysanova V., Griensven A., Zee S.E.A.T.M. (2010). New challenges in integrated water quality modelling. *Hydrological Processes* 24. 3347-3461.
- Sakaguchi A., Eguchi S., Kato T., Kasuya M., Ono K., Myata A., Tase N. (2014). Development and evaluation of a paddy module for improving hydrological simulation in SWAT. *Agricultural Water Management* 137. 116 - 122.
- Souza R. M., Santos I., Kobiyama M. (2009). O modelo SWAT como ferramenta para a gestão de recursos hídricos: avaliação de vazões de outorga na bacia hidrográfica do Altíssimo Rio Negro. In *Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. Campo Grande, 2009.
- Srinivasan R., Arnold J. G. (1994). Integration of a basin-scale water quality model with GIS. *Water Resources Research* 30 (3-6), pp.453-462.
- Tim U. S., Jolly R. (1994). Evaluating agricultural nonpoint-source pollution using integrad geographic information systems and Hydrology/Water Quality Model. *Journal for Environmental Quality* 23 (1-6), pp.25-35.
- Xie X., Cui Y. (2011). Development and test of SWAT for modeling hydrological processes in irrigation districts with paddy rice. *Journal of Hydrology* 396 61-71.