

## **METODOLOGIA PARA ANÁLISE DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA DE BACIA HIDROGRÁFICA POR MEIO DE SIMULAÇÕES HIDROLÓGICAS DE CENÁRIOS PROVÁVEIS**

*Jorge Luiz Barbarotto Junior<sup>1\*</sup> & Antonio Carlos Zuffo<sup>2</sup>*

**Resumo** – Diante da importância dos recursos hídricos para os ecossistemas e para o desenvolvimento das atividades humanas, adotar uma forma de gerenciamento deste recurso é fundamental para garantir uma alocação adequada destes e evitar conflitos entre os seus diferentes usos e usuários. Uma forma de levantar informações e prever o comportamento dos processos hidrológicos para o seu gerenciamento é o uso da modelagem hidrológica, a qual desde que devidamente estruturada, pode gerar informações rápidas e confiáveis para o sistema de informações da bacia. Neste trabalho é apresentada uma metodologia para a modelação de bacias hidrográficas utilizando um SIG e um modelo hidrológico de forma integrada visando à análise da disponibilidade hídrica para diferentes cenários futuros. Este método será testado na bacia do rio Jundiaí, no estado de São Paulo, situada entre duas regiões metropolitanas, com forte escassez hídrica devido à sua alta concentração populacional e industrial. Deste modo o trabalho pretende ser também um subsídio de informações para futuros planejamentos da bacia.

**Palavras-Chave** – disponibilidade hídrica, modelagem hidrológica, SWAT.

## **METHODOLOGY FOR WATERSHED WATER AVAILABILITY ANALYSIS BY HYDROLOGIC SIMULATION OF PROBABLE SCENARIOS**

**Abstract** – Given the importance of water resources for ecosystems and the development of human activities, adopt a form of management of this resource is fundamental to assure appropriate allocation of these and avoid conflicts between their different uses and users. One way to obtain information and predict the behavior of hydrological processes for their management is the use of the hydrological modeling, which if properly structured can generate fast and reliable informations to the information system of the basin. This paper presents a methodology for watershed modeling using GIS and a hydrological model in an integrated way in order to analyze water availability for different future scenarios. This method will be tested in Jundiaí river basin in the state of São Paulo, located between two metropolitan areas with strong water scarcity due to high concentration of population and industry. Thereby the job also meant to be a subsidy of information for future planning of the basin.

**Keywords** – water availability, hydrological modeling, SWAT.

## **INTRODUÇÃO**

A água encontra-se disponível no planeta em diferentes estados físicos, sendo uma das substâncias mais comuns na natureza. Ela é caracterizada como um recurso natural renovável por meio do ciclo hidrológico, apresentando-se como uma substância fundamental à sobrevivência de todos os organismos e sua disponibilidade, em quantidade e qualidade, é um dos fatores mais importantes para a manutenção dos ecossistemas (BRAGA *et al.*, 2005).

<sup>1\*</sup> Afiliação: Mestrando em Engenharia Civil na Universidade Estadual de Campinas, jrbarbarotto@hotmail.com.

<sup>2</sup> Afiliação: Livre-docente na Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo – UNICAMP, zuffo@fec.unicamp.br.

A manutenção ou alteração nos usos da água em uma bacia, entre vários fatores, está vinculada à disponibilidade hídrica. Uma base de dados que permita analisar a disponibilidade hídrica de modo geral deve conter dados sobre as características físicas da bacia, bem como dados climáticos, principalmente séries temporais de precipitação, sendo esta um componente essencial dos processos do ciclo hidrológico. Por meio da integração entre a modelagem hidrológica e o geoprocessamento, o qual tem por ferramenta os sistemas de informação geográfica (SIG), torna-se possível o agrupamento dos diferentes dados necessários ao entendimento do comportamento hidrológico da bacia. Neste sentido, Martin *et al.* (2005) aponta que há um interesse específico dos tomadores de decisão pela capacidade dos SIGs apresentarem visualmente as informações para interpretação das entradas e saídas dos modelos de recursos hídricos, favorecendo uma abordagem mais dinâmica para lidar com os dados, modificações, desenvolvimento de cenários e avaliações.

Considerando esta viabilidade de integração dos dados espaciais e temporais de uma bacia hidrográfica o objetivo deste trabalho é apresentar uma metodologia para analisar a disponibilidade hídrica de bacias por meio da modelagem hidrológica e da simulação de cenários futuros.

### **Área de estudo**

A metodologia proposta neste trabalho será aplicada na bacia do rio Jundiáí, situada no estado de São Paulo entre as regiões metropolitanas de São Paulo e Campinas. Esta região é caracterizada por uma grande concentração industrial e populacional, atributos que expõem os recursos hídricos a um alto grau de vulnerabilidade devido aos usos industrial e urbano. Ainda em parte da bacia localiza-se a Serra do Japi, uma região constituída por várias áreas de preservação ambiental responsável pela manutenção da qualidade de contribuintes do rio Jundiáí.

### **REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

A base teórica desta metodologia firma-se principalmente em duas áreas do conhecimento, sendo elas o gerenciamento de recursos hídricos, no intuito de entender os conceitos, técnicas e as formas de gestão deste recurso, e a modelagem hidrológica, ramo da hidrologia que fornece o ferramental para representar os processos hidrológicos de forma espacial e/ou temporal.

### **Gerenciamento de recursos hídricos**

O princípio da gestão dos recursos hídricos está na ordenação destes recursos, de modo a controlar os conflitos entre seus usuários. De modo natural a água altera suas características ao interagir-se com o meio ambiente, porém essa alteração se torna muito mais acentuada devido ao uso da água para o suprimento dos múltiplos usos das sociedades. A partir do momento em que os recursos hídricos passam para um estado de quantidade e qualidade inadequada aos usos propostos iniciam-se os conflitos entre os seus usuários, necessitando assim do estabelecimento de uma forma gestão dos recursos hídricos como forma de solucioná-los tratando o recurso como um bem econômico (BARTH; POMPEU, 1987).

O estabelecimento de um modelo de gestão, segundo Barth e Pompeu (1987) e Setti (2001) deve seguir os procedimentos integrados de planejamento e administração. Neste sentido o planejamento age de forma a prever disponibilidades e demandas e propor as alternativas de alocação dos recursos, já a administração atua como um meio suporte técnico, jurídico e administrativo para efetivar as propostas do planejamento.

Como unidade de planejamento o gerenciamento de recursos hídricos considera a bacia hidrográfica por integrar nesta delimitação aspectos semelhantes do meio físico, permitir o recorte na escala adequada ao estudo e por viabilizar relações de causa e efeito entre a disponibilidade e qualidade dos recursos hídricos com seus usos e usuários. A desvantagem desta delimitação está na

diferença entre esta e a delimitação político-administrativa, podendo assim ter que considerar aspectos externos da bacia para solucionar problemas internos (PORTO M. e PORTO R. 2008).

Dentro dos instrumentos utilizados no gerenciamento de recursos hídricos o sistema de informações é o que tem maior ligação com este estudo por ser este o meio de se incluir dados e informações consistentes para subsidiar as tomadas de decisões.

### **Modelagem Hidrológica**

De acordo com Tucci (2005, p.17), “modelo é a representação de algum objeto ou sistema, numa linguagem ou forma de fácil acesso e uso, com o objetivo de entendê-lo e buscar suas respostas para diferentes entradas”.

Entre várias classificações possíveis os modelos podem ser classificados quanto a sua representação espacial em concentrados, distribuídos e semi-distribuídos. De acordo com Beven (1989) o modelo concentrado desconsidera a variabilidade espacial dos parâmetros envolvidos e suas equações são aproximações do mundo real, apresentando limitações para representar as heterogeneidades espaciais. Já o modelo distribuído apresenta seus parâmetros dependentes da variação no espaço e no tempo por meio de pequenas subdivisões que representam um mesmo sistema (JENSEN e MANTOGLU, 1992). Uma vez que o tamanho da bacia pode ser grande demais para ser aplicado um modelo distribuído, o que exigiria grande capacidade de memória e processamento, uma alternativa é a utilização dos modelos semi-distribuídos, os quais dividem uma grande bacia em sub-bacias menores para a execução dos processos do modelo.

Considerando uma abordagem sistêmica aplicada à hidrologia, os sistemas hidrológicos delimitados por bacias hidrográficas podem ter seus processos modelados por equações matemáticas devidamente parametrizadas durante o processo de calibração. Com um modelo estruturado pode-se realizar a simulação, que é o processo de utilização do modelo, ou ainda a descrição matemática da resposta de um sistema hidrológico de recursos hídricos a uma série de eventos durante um período de tempo (CHRISTOFOLETTI, 1999).

Com a necessidade de representação espacial dos dados a modelagem hidrológica desenvolveu-se integradamente com os sistemas de informação geográfica, ferramenta que permite interação entre dados de diferentes naturezas. Mendes e Cirilo (2001) afirmam que a combinação entre modelos matemáticos, sensoriamento remoto, SIG, entre outras, permitem representar diferentes soluções, monitorar e simular situações possíveis para se atingir as melhores condições de disponibilidade hídrica. E por fim, de forma ampla, Christofoletti (1999), apresenta os modelos como um instrumento para o planejamento, o qual envolve a realização de previsões, viabilizando a elaboração de decisões alternativas mediante diferentes situações futuras, constituídas pelos cenários.

### **METODOLOGIA**

A metodologia proposta por este trabalho se apresenta com caráter multidisciplinar por utilizar diferentes áreas do conhecimento para se atingir o objetivo proposto, de analisar a disponibilidade hídrica de uma bacia hidrográfica. Neste âmbito, esta metodologia se divide em três fases: tratamento preliminar de dados hidrológicos, composição da base cartográfica e modelagem hidrológica por meio do modelo SWAT.

#### **Tratamento de dados hidrológicos**

Esta primeira etapa do trabalho consiste na obtenção e tratamento dos dados hidrológicos necessários para a calibração validação do modelo hidrológico e posteriores simulações. Os dados hidrológicos para esta pesquisa correspondem às séries históricas de precipitação da bacia em questão.

Duas formas de critérios, uma temporal e outra espacial, foram usadas na escolha dos postos pluviométricos. Espacialmente foram escolhidos os postos que estavam dentro da bacia ou com no máximo 15 quilômetros de distância de seu limite. Ainda foi verificado se estes postos não estavam inseridos em um compartimento de relevo muito diferente do interior da bacia, evitando assim grandes variações climáticas entre os postos. Como critério temporal para escolher os postos a serem inseridos no SWAT buscou-se o maior período comum e mais recente entre os postos, de modo que fosse obtida uma série mínima de 30 anos.

Após a escolha dos postos os dados foram tratados em sequência pelo preenchimento de falhas anuais pelo método da ponderação regional, análise de consistência pelo método da dupla-massa (USGS, 1960) e ultimamente pela correção mensal. Para auxiliar nestas análises outros postos não inseridos na modelagem foram usados.

O preenchimento das falhas anuais selecionou no mínimo três postos próximos ao posto a ser corrigido e cada falha foi corrigida pelas médias dos 10 anos mais próximos desta em cada posto, garantindo assim que a falha corrigida siga a média de sua época e região mais próxima.

Com todas as séries preenchidas anualmente procedeu-se a análise de consistência pelo método da dupla massa (USGS, 1960). Este método comprova a homogeneidade dos dados de um determinado posto com relação aos dados regionais ou de um posto de referência próximo. No estudo da bacia do Jundiaí o método da dupla massa foi aplicado a cada posto tendo como referência para correção os postos em um raio de 25 quilômetros. A aplicação da dupla massa gerou uma série anual corrigida para cada posto.

Os dados mensais foram corrigidos tendo como base o anual corrigido pela dupla massa. Inicialmente as falhas mensais foram preenchidas pela diferença entre o anual original e o original corrigido. Porém em muitos casos essa diferença é muito discrepante com um valor mensal de precipitação ou o ano tem mais de um mês com falha, nestes casos utilizaram-se os métodos seguintes:

- soma das precipitações diárias do mês quando as falhas deste não forem mais que três dias;
- média do mês nos 10 anos mais próximos a falha.

Tendo preenchido todas as falhas, as séries mensais são corrigidas pela equação 1, de modo que a soma das precipitações mensais corrigidas sejam iguais ao anual corrigido:

$$P_{mc} = P_{mo} \times P_{ac} / P_{ao} \quad (1)$$

$P_{mc}$  – Precipitação mensal corrigida;  $P_{mo}$  – Precipitação mensal original;  $P_{ac}$  – Precipitação anual corrigida;  $P_{ao}$  – Precipitação anual original.

Os métodos da ponderação regional e da dupla massa são indicados para tratamentos de séries anuais ou mensais por considerarem postos regionais próximos ao posto corrigido, pois dados diários podem apresentar grandes variações mesmo entre pequenas distâncias. Deste modo esta metodologia apresentará em seu final a disponibilidade hídrica em tempos discretizados temporalmente por meses ou ano.

### **Base cartográfica**

Considerando o uso do modelo SWAT o sistema de informação geográfica (SIG) utilizado é o ArcGIS, o qual permite a instalação deste modelo como uma extensão. Dentro do SIG a primeira etapa é a padronização do *datum* e da projeção a ser utilizada. No caso do estudo da bacia do Jundiaí, o *datum* escolhido é o SIRGAS 2000, sistema de referência geocêntrico oficialmente adotado pelo Brasil desde 2005. A projeção inicialmente utilizada é a Universal Transversa de Mercator (UTM).

Para compor a base cartográfica deste trabalho são exigidos no mínimo um modelo digital de elevação (MDE), um mapa de solo e um mapa do uso da terra para a bacia. O MDE considerado no estudo da bacia do Jundiá é proveniente dos dados ASTER com resolução espacial de 30 metros. A utilização dos dados ASTER inseridos no SWAT foi avaliada por Lin *et al.* (2013) e apesar da semelhança dos resultados com dados SRTM, que possuem 90 metros de resolução espacial, os dados ASTER foram indicados para evitar erros de simulação.

O mapa pedológico foi obtido elaborado pelo Instituto Agrônomo de Campinas. Por último foram obtidos dois mapas de uso da terra, um para o ano de 1984 elaborado por classificação supervisionada baseada em uma imagem LANDSAT, e o outro de 2007 elaborado pela Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo em 2013. Demais mapas como limites da bacia e hidrografia foram obtidos no SIG-PCJ disponibilizado pela Agência das Bacias Hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá (Agência-PCJ).

### **Modelagem no SWAT**

O modelo *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT) foi desenvolvido pelo *Agricultural Research Service* (ARS/USDA) dos Estados Unidos, com o objetivo de analisar os impactos gerados pela alteração do uso e manejo do solo em bacias hidrográficas que possuem diferentes combinações de uso, manejo e tipos de solos. Devido à representação por sub-bacias o SWAT pode ser considerado um modelo semi-distribuído, tomando esta forma de representação para considerar a variabilidade espacial e temporal dos tipos e usos do solo, das feições topográficas e dos parâmetros climatológicos. O modelo SWAT trabalha com o conceito de Unidade de Resposta Hidrológica (HRU, conforme utilizado nos trabalhos originais do modelo em inglês), que representam divisões internas das sub-bacias que apresentam um mesmo tipo de solo, uso da terra e intervalo de declividade. Esta é a forma do modelo representar de maneira integrada a heterogeneidade espacial da bacia, em termos pedológicos e de uso da terra, que alteram os processos hidrológicos (NEITSCH *et al.*, 2005).

A modelagem ocorre pela interface ArcSWAT, que executa o modelo por meio dos dados inseridos no banco de dados do ArcGIS. As etapas principais no ArcSWAT são: seleção dos mapas e critérios cartográficos, definição de parâmetros, calibração e validação, e simulação.

Na primeira etapa são selecionados os mapas e projeções que caracterizarão o espaço estudado. Neste momento, inicialmente escolhe-se o MDE, delimita-se a hidrografia e a bacia hidrográfica principal e em seguida inserem-se os mapas de uso e ocupação, e de solos. O conjunto MDE, uso e ocupação e tipo de solos, é a base para o modelo delimitar as HRUs. A delimitação destas unidades pode ser ajustada pelo usuário para serem mais ou menos específicas quanto às variações de solo, uso ou declividade.

Após a etapa de definição das HRUs são editados os valores que irão compor os parâmetros climáticos, pedológicos e de uso e ocupação que comporão as equações de simulação do modelo. Os parâmetros climáticos exigidos pelo SWAT são: a precipitação diária; a temperatura mínima e máxima; radiação solar; velocidade do vento e; umidade relativa. Estas variáveis podem ser inseridas por meio de registros de estações meteorológicas, tabulados no padrão do SWAT ou ainda, serem simuladas pelo “gerador climático” do próprio SWAT quando houver falhas. O uso e ocupação são parametrizados de acordo com a vegetação, tipos de cultura ou ainda algumas formas de urbanização, para isso podem ser usados os parâmetros já estabelecidos no banco de dados do SWAT ou podem ser inseridos novos usos com os parâmetros definidos pelo usuário. Os parâmetros dos solos, da mesma forma que o uso e ocupação, podem ser obtidos pelo banco de dados do SWAT, porém neste banco de dados predominam as características de solos americanos, havendo assim necessidade de criar novas classes de solos e inserir seus parâmetros de acordo com a região do estudo.

Após inserir os parâmetros exigidos pelo SWAT deve ser realizada a calibração de um período de referência para que as equações internas do modelo sejam parametrizadas de acordo com a variação de dados observados. O processo de calibração no SWAT permite a análise de sensibilidade por parâmetros, ajustando os parâmetros mais sensíveis e relevantes ao estudo, no caso da disponibilidade hídrica os parâmetros envolvendo precipitação e escoamento. Para validar o modelo outro período, diferente da calibração, deve ser selecionado e executado com os parâmetros obtidos na calibração, comparando assim os resultados simulados e observados para este novo período (ARNOLD *et al.*, 2000). Uma vez obtido um bom ajuste entre os dados simulados e observados o modelo está apto a executar simulações passadas e futuras para a área de estudo.

As simulações no SWAT fornecem como resultados dados na forma de texto sobre as características dos fluxos (vazões) nas bacias. Os resultados podem ser diários, mensais ou anuais. Após a tabulação dos dados estes podem ser representados na forma de mapas por meio do ArcGIS para visualização espacial dos valores obtidos.

## RESULTADOS

### Dados Hidrológicos

No estudo da bacia do Jundiá foram obtidos dados históricos de precipitação por meio do site do Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) e por contato direto com representantes do mesmo órgão. Após as análises 9 postos foram escolhidos para compor os dados de precipitação no SWAT, sendo 4 internos à bacia e 5 em seu entorno. O período abrangido pelos postos vai de 1966 a 2005 totalizando 40 anos de série. O Quadro 1 resume algumas características dos postos e resultados de análises.

**Quadro 1** – Características e dos postos pluviométricos

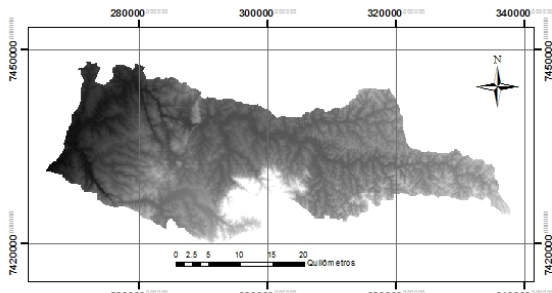
Prefixo	Posição em relação à bacia	Período dos dados	R <sup>2</sup> do gráfico dupla-massa	R <sup>2</sup> após correção
E3-015	Externo ao Norte	1966 – 2005	0,9996	0,9999
E3-047	Externo próximo à nascente	1966 – 2005	0,9993	0,9999
E3-053	Interno	1966 – 2005	0,9995	1
E3-074	Externo próximo à nascente	1966 – 2005	0,9999	0,9999
E4-015	Interno	1966 – 2005	0,9993	1
E4-030	Interno	1966 – 2002	0,9999	1
E4-062	Interno	1966 – 2001	0,9999	1
E4-124	Interno	1970 – 2005	0,9999	0,9999
E4-127	Externo próximo à foz	1971 – 2005	0,9999	1

A análise do quadro mostra que alguns postos não abrangem o período total de 1966 a 2005, porém esta permissão de no máximo 5 anos de ausência de dados foi concedida para garantir uma boa distribuição espacial na bacia. Cabe considerar também que nestes casos o gerador climático do SWAT preencherá as falhas. Quanto aos valores do R<sup>2</sup> estes mostram que os postos estão bem consistidos e aptos a serem inclusos na modelação.

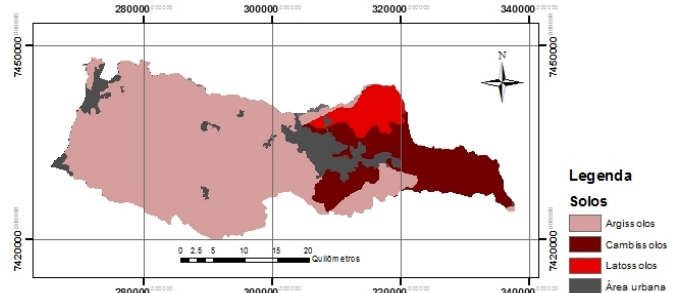
### Base cartográfica

A Figura 1 mostra visualmente a bacia do Jundiá na imagem ASTER usada como MDE, onde as regiões mais altas estão representadas pelas cores mais claras e as mais baixas por cores escuras. A análise do MDE mostra que a variação de altura na bacia é de 800 metros com o ponto mais alto a 1293m e o ponto mais baixo a 493m.

A Figura 2 apresenta o mapa de solos utilizado o qual defini 3 grandes classes de solo para a bacia do Jundiá: Argissolo, Cambissolo e Latossolo. Além dessas 3 classes é incluída uma classe especial para as áreas urbanas.

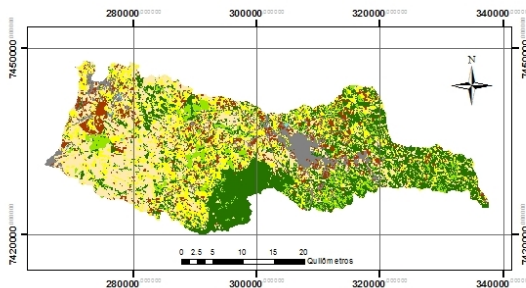


**Figura 1** – Imagem ASTER para a bacia do Jundiá.

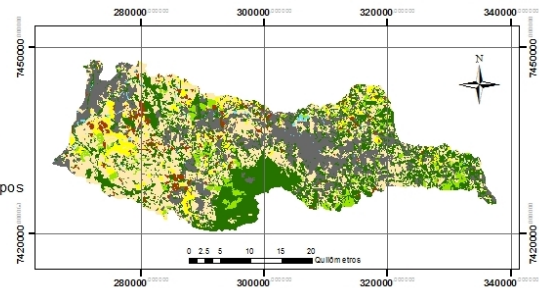


**Figura 2** - Mapa de solos. Adaptado de IAC

Os dois mapas de uso da terra são apresentados nas Figuras 3 e 4. A representação dos anos de 1984 (3) e 2007 (4) foi a forma de representar no SWAT a variação dos usos da terra de forma temporal, para isso os dois mapas foram elaborados e padronizados com 7 classes gerais de uso da terra.



**Figura 3** – Uso da terra no ano de 1984



**Figura 4** – Uso da terra no ano de 2007.  
Adaptado de SMA-SP (2013)

Uma rápida visualização dos usos da terra mostra que a grande mudança entre os dois anos está no crescimento urbano da região, que provavelmente influenciará bastante no aumento do escoamento superficial da bacia.

A modelação da bacia no SWAT será a próxima etapa a ser concluída nesta pesquisa o que responderá o quanto a modificação do uso da terra alterou o comportamento hidrológico da bacia. Diante da série de vazões gerada pelo modelo serão analisadas as vazões mínimas identificando a disponibilidade hídrica atual. Posteriormente possíveis cenários futuros de ocupação da bacia serão inseridos no modelo gerando novas séries de vazão mostrando a alteração da disponibilidade hídrica perante a atual.

## CONCLUSÃO

Em um sentido amplo, com a aplicação da metodologia proposta neste trabalho pretende-se obter uma modelação da bacia hidrográfica do Jundiá, como forma de analisar a disponibilidade hídrica, principalmente nos aspectos quantitativos e de forma espacializada na bacia. Cabe notar que o SWAT realiza a simulação de dados diários, porém com os dados hidrológicos disponíveis e devido as suas falhas torna-se mais confiável o estudo na escala mensal ou anual. A aplicação da metodologia aqui proposta pauta-se na utilização de um sistema de informação geográfica conjuntamente com um modelo hidrológico semi-distribuído para estudar de maneira integrada os processos hidrológicos em bacias hidrográficas. Este conjunto compõe um meio viável para levantar informações e subsidiar as tomadas de decisão de modo rápido e confiável favorecendo o gerenciamento dos recursos hídricos da bacia.

## REFERÊNCIAS

- ARNOLD, J.G.; ALLEN, P.M.; MUTTIAH, R.S.; SRINIVASAN, R. (2000). Regional estimation of base flow and groundwater recharge in the Upper Mississippi river basin. *Journal of Hydrology*. v. 227, p. 21-40.
- BARTH, F.T.; POMPEU, C.T. (1987). Fundamentos para a gestão de recursos hídricos. In: *Modelos para gerenciamento de recursos hídricos*. Org. por BARTH F.T. et al., ABRH, ed. Nobel, São Paulo – SP, p.1-91.
- BEVEN, K. (1989). Changing ideas in hydrology – The case of physically-based models. *Journal of Hydrology*. v. 105, p. 157-172.
- BRAGA, B. et al. *Introdução à Engenharia Ambiental: O desafio do desenvolvimento sustentável*. 2. ed., PEARSON PRENTICE HALL, São Paulo – SP, 2005.
- CHRISTOFOLETTI, A. *Modelagem de sistemas ambientais*. 1. ed., EDGARD BLÜCHER, São Paulo – SP, 1999.
- JENSEN, K. H.; MANTOGLIOU, A. (1992). Future of distributed modelling. *Hydrological Processes*. v. 6, p. 255-264.
- LIN, S.; CHAPLOT, V.; COLES, N.A.; JING, C.; MOORE N.J.; WU, J. (2013). Evaluating DEM source and resolutions uncertainties in the Soil and Water Assessment Tool. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*. v. 27, p. 209-221.
- MARTIN, P. H. et al. (2005). Interfacing GIS with water resources models: A state-of-the-art review. *Journal of the American Water Resources Association (JAWRA)*. v. 41, n.6, p. 1471-1487.
- MENDES, C. A. B.; CIRILO, J. A. *Geoprocessamento em recursos hídricos: Princípios, integração e aplicação*. ABRH, Porto Alegre – RS, 2001. v.1, 536 p.
- NEITSCH, S.L.; ARNOLD, J.G.; KINIRY J.R.; WILLIAMS, J.R. *Soil and water assessment tool: Theoretical documentation, version 2005*. Agricultural Research Service. Texas, 2005.
- PORTO M.F.A.; PORTO R.L.L. (2008). Gestão de bacias hidrográficas. *Estudos Avançados*. v. 22, n. 63, p. 43-60.
- SEARCY, J.K.; HARDYSON H.C. *Double-mass curves – Manual of Hydrology: Part 1. General surface-water techniques*. USGS, Washington, 1960.
- SETTI, A.A.; CHAVES, A.G.M.; LIMA, J.E.F.W.; PEREIRA, I.C. *Introdução ao gerenciamento de recursos hídricos*. 2 ed., ANEEL, Brasília – DF, 2001, 207 p.
- TUCCI, C.E.M. *Modelos hidrológicos*. 2. ed., UFRGS, Porto Alegre – RS, 2005.