

Avaliação Preliminar de Resposta Chuva-Vazão com o Modelo SWAT em Microbacia Experimental-Representativa na Região Noroeste do Estado do Rio de Janeiro

Ernani Bellon^{1} & Luciene Pimentel da Silva²*

Resumo – O presente estudo teve por objetivo utilizar o modelo hidrológico SWAT (Soil and Water Assessment Tool) à microbacia experimental e representativa de Santa Maria e Cambiocó localizada na região Noroeste Fluminense. Os testes de simulação visaram à resposta chuva-vazão e tiveram como base os dados sub-diários observados no primeiro semestre de 2006. O SWAT tem sido aplicado para simulação hidrológica em bacias rurais/agrícolas de grandes, e também em bacias de menores dimensões, sobre os aspectos relacionados com a produção de água e sua qualidade, assim como a simulação de cenários de manejo, uso e ocupação do solo, nos processos decisórios, políticas públicas no planejamento e gestão do território. Os dados utilizados na simulação decorreram de esforço multidisciplinar nos anos de 2003 a 2005 no contexto do Projeto “Gestão Participativa da Bacia do Rio São Domingos” (GEPARMBH) com recursos do GEF e FINEP. Os resultados indicaram que os hidrogramas simulados parecem representar bem as respostas às chuvas, assim como o regime hidrológico é bem preservado. No entanto, não se poderá prescindir de esforço considerável na calibração e ajuste de parâmetros, sobretudo em face da necessidade de preservação da identidade e caracterização física-ambiental dos mesmos.

Palavras-chave: Modelo SWAT. Microbacia Experimental. Gestão de Recursos Hídricos.

Preliminary Assessment of Rainfall-Runoff Response using SWAT Model in an Experimental-Representative Catchment in the Northeast of State of Rio de Janeiro, Brazil

Abstract – The present study aimed at using the hydrological model SWAT (Soil and Water Assessment Tool) to the experimental and representative catchment of Santa Maria and Cambiocó located in the northwestern Rio de Janeiro. The simulation tests aimed to rainfall-runoff response and were based on sub-daily data observed in the first half of 2006. SWAT has been applied hydrologic simulations in rural / agricultural large basins, and also in small catchments on aspects related to the production of water and its quality, as well as the simulation of management scenarios, land use and occupation, in decision making, planning and public policy in land management. The data used in the simulation were the result of a multidisciplinary effort in the years 2003-2005 in the context of the Project "Participatory River Basin São Domingos" (GEPARMBH) with funding from GEF and FINEP. The results indicated that the simulated hydrographs seem to represent well the responses to rainfall, as well as the hydrological regime is well preserved. However, it cannot be done without considerable effort on calibration and parameter setting, especially in view of the need to preserve identifiability and physical-environmental characterization of them.

Keywords: SWAT Model. Experimental Microwatershed. Water Management.

¹ Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental – PEAMB/FEN/UERJ. E-Mail: ernanibellon@gmail.com

² Professora-Adjunto do PEAMB/UERJ. E-Mail: Luciene.pimenteldasilva@gmail.com

INTRODUÇÃO

A importância das bacias hidrográficas como unidades de estudos para a gestão dos recursos hídricos pode ser constatada através de inúmeras recomendações em diferentes documentos de nível internacional. É no espaço das bacias que se identificam os limites espaciais para o entendimento dos fenômenos relacionados com os processos físicos que controlam o balanço hídrico. Nelas, os componentes do ciclo hidrológico podem ser isolados para melhor compreensão do funcionamento e interação dos mecanismos envolvidos na produção, armazenamento e perda de água dentro do sistema.

Os estudos relacionados com as bacias hidrográficas são conduzidos com a utilização de modelos hidrológicos para representar os seus componentes e as interações dos processos físicos. Os modelos, quando associados com Sistemas de Informações Geográficas (SIG), ferramentas computacionais projetadas para trabalhar com dados referenciados por coordenadas espaciais ou geográficas, oferecem uma maneira adequada para a investigação e monitoramento dos processos naturais e/ou antrópicos que nelas ocorrem, uma vez que facilitam a aquisição e o processamento de grande quantidade de dados que precisam representar a bacia nos aspectos como de uso e cobertura, solo, declividade, clima e atividades agrícolas.

Os modelos hidrológicos e de qualidade por sua versatilidade nas últimas duas décadas passaram a ter maior aceitação por pesquisadores, engenheiros e profissionais envolvidos na gestão de recursos hídricos. Dos vários modelos em uso o modelo SWAT, nos últimos vinte anos, tem se tornado objeto de interesse de instituições governamentais que lidam com essa matéria. Vários estudos abrangem diversas condições de clima, área de bacias e condições de solos e ambientais. Em Garbossa *et al.* (2011) foram levantados no período de 1999-2010 diversos estudos com o SWAT no Brasil, entre outros, para estimativas de vazões, cargas de sedimentos e poluentes em bacias agrícolas da região sul e até estudos em plantas de usinas hidrelétricas para avaliação dos sedimentos transportados e qualidade da água.

Neste contexto, relacionado com a necessidade de geração de conhecimentos para o planejamento e a gestão dos recursos hídricos, se insere a região Noroeste Fluminense, cujo quadro de degradação ambiental e decadência econômica tem se agravado nas últimas décadas devido aos vários ciclos agrícolas. Sendo este domínio de grande interesse para o Estado do Rio de Janeiro por sua localização no trecho médio-baixo do rio Paraíba do Sul, cuja população vive em função da atividade primária – pecuária leiteira e de corte e produção agrícola, principalmente cana-de-açúcar e olericultura, a escolha do modelo hidrológico SWAT traz a possibilidade de que os resultados dos testes de chuva-vazão na microbacia experimental-representativa de Santa Maria e Cambiocó (Pimentel da Silva *et al.*, 2005), no município de São José de Ubá – se adequados hidrológicamente, possam ser estendidos para outras bacias na mesma região e seu uso ampliado em termos de outras aplicações relacionadas à sua capacidade de prever questões relacionadas à qualidade da água, cada vez mais influenciadas por processos de erosão do solo e dispersão de fertilizantes e defensivos.

MATERIAIS E MÉTODOS

Modelo SWAT

O SWAT considera as características físicas da bacia hidrográfica, utilizando entradas normalmente disponíveis, tais como Modelo Digital de Elevação (MDE) e mapas de drenagem,

solos, uso/cobertura do solo, além dos dados meteorológicos e hidrológicos em termos de séries temporais. Os dados meteorológicos incluem precipitação, temperatura máxima e mínima, radiação solar, umidade relativa e velocidade do vento, que podem ser fornecidos e/ou gerados através de uma base de dados definida pelo usuário (denominada como gerador climático) que permite a definição de 13 variáveis climáticas a partir de séries históricas climatológicas não inferiores a 5 anos. Os demais dados necessários ao modelo correspondem aos parâmetros físico-hídricos de solos, uso/cobertura, canais, corpos hídricos, aquíferos, operações de manejo, incluindo o consumo de água, aplicação de nutrientes e pesticidas (Neitsch *et al.*, 2000; Gassmann *et al.*, 2007).

O SWAT considera a variabilidade espacial dos parâmetros da bacia hidrográfica. Isso permite que na simulação sejam capturadas as diversas respostas hidrológicas dos processos físicos em relação às diferentes áreas da bacia dominadas pelo uso/cobertura e características físico-hídricas dos solos. A caracterização do solo é do tipo perfil, através da representação de suas diferentes camadas. Os processos físicos que ocorrem na bacia levam em conta a abrangência dos fenômenos no espaço geográfico, segundo as escalas da bacia, das sub-bacias e das Unidades de Respostas Hidrológicas (URH) – estas últimas identificam combinações de uso/cobertura, tipo de solo e declividade para o cálculo do balanço hídrico através dos volumes de controle ou reservatórios na bacia hidrográfica: (1) camada superficial do solo, (2) camada sub-superficial do solo, (3) camada subterrânea (aquífero raso/não confinado) e (4) camada subterrânea (aquífero profundo/confinado).

O modelo considera ainda em cada sub-bacia um canal tributário, este usado nos cálculos dos processos que envolvem tempo de concentração; um canal principal (“reach” ou “main channel”) e três tipos de corpos hídricos opcionais: (1) lago (“pond”) e (2) várzea (“wetland”), localizados fora da área de drenagem, mas que recebem suprimento de água (e outras cargas) provindas da própria sub-bacia; e (3) represas (“reservoirs”) representadas na área de drenagem da sub-bacia no domínio de um canal principal, e recebem água (e outras cargas) dela e das sub-bacias à montante.

O escoamento superficial, incluindo a carga de sedimentos e nutrientes, é calculado separadamente em cada URH e depois integrado pelo somatório, determinando o total da sub-bacia. As opções fornecidas pelo modelo para o cálculo do escoamento superficial, ao nível de cada URH, são o método da Curva Número (precipitações diárias) e o método do excesso da infiltração (precipitações sub-diárias), sendo neste caso adotada a equação de Green & Ampt. Se houver necessidade de incorporar maior complexidade à bacia, os autores sugerem que deve ser definido um número maior de sub-bacias, em vez de muitas URH em poucas sub-bacias (Neitsch *et al.*, 2000; Gassmann *et al.*, 2007).

Interface SIG/SWAT

O SWAT está disponível com várias interfaces, tais como DOS, GRASS, ArcView, ArcGIS, GRAM++ e AVSWAT-X.. O ambiente SIG proporciona aplicação mais rápida e precisa do modelo sem o qual a implementação é muito trabalhosa, uma vez que requer enorme quantidade de dados relacionados aos processos físicos que ocorrem na bacia hidrográfica. As funcionalidades SIG facilitam a construção dos arquivos e a entrada desses dados, uma vez que utilizam uma interface gráfica baseada no Windows. As diversas etapas do projeto são automatizadas. Além das funções tradicionais de aquisição, armazenamento, organização e exibição, o componente SIG do sistema usa métodos analíticos avançados e como consequência melhora a qualidade dos resultados (SWAT User's Guide 2005).

Quando a interface SIG/SWAT é carregada os módulos SWAT são acoplados no ambiente SIG. As ferramentas dos módulos são acessadas através de menus “pulldown” e outros controles que são introduzidos pelas interfaces gráficas e caixas de diálogo customizadas (SWAT User’s Guide 2005).

Processos e Simulação no SWAT

Uma aplicação SWAT necessita de uma grande quantidade de dados para a caracterização de uma bacia hidrográfica, desde mapas a tabelas de atributos que caracterizem as entidades nela presentes, assim como topografia, solos, clima, ocupação, cobertura e operações de manejo. A preparação dos dados é uma etapa muito importante e trabalhosa.

A simulação realizada pelo SWAT ao nível da URH segue uma sequência de passos desde a interceptação da precipitação pela cobertura vegetal até a água que retorna do aquífero raso para as camadas superficiais do solo. Em cada uma delas o modelo implementa diversos processos físicos através dos reservatórios por meio de equações matemáticas. Os diferentes processos físicos podem ser simulados em uma bacia com base nas duas fases do ciclo hidrológico: fase superficial (“land phase”) e fase de transporte (“routing phase”).

Ao contrário do trabalho e esforço inicial na identificação, coleta e preparação dos dados, após a simulação os resultados são organizados no mesmo nível de parametrização que os dados de entrada com poucos arquivos de saída (“output files”), que podem ser facilmente manipulados. Os arquivos são gerados considerando as duas fases do ciclo hidrológico (terrestre / transporte). Os resultados são fornecidos no formato ASCII (facilmente convertidos em planilhas) cujos dados podem também ser transferidos para o formato de tabelas dBase.

Descrição da Área de Estudo

A área de estudo corresponde à microbacia hidrográfica experimental-representativa de Santa Maria e Cambiocó, inserida na região hidrográfica do rio São Domingos com cerca de 280 km² (afluente do rio Muriaé e este do rio Paraíba do Sul) com seus limites praticamente coincidentes com o município de São José de Ubá, que faz parte da Região Noroeste Fluminense – que engloba outros 12 municípios.

A microbacia de Santa Maria e Cambiocó (12,89 km²) foi escolhida entre outras comunidades de São José de Ubá (no âmbito do GEPARMBH) como representativa tanto das características físico-ambientais quanto da realidade socioeconômica desta região, considerados fatores como localização, degradação ambiental, sistema organizacional da comunidade, conflito de uso de recursos hídricos, população e biodiversidade.

O clima nesta área é do tipo tropical semiúmido, com estação chuvosa entre outubro e abril, e estação seca entre maio e setembro, possuindo uma precipitação pluviométrica de 1.100 mm/ano. As baixas altitudes dos morros não favorecem o barramento de frentes frias nos meses mais críticos de estiagem. As temperaturas variam entre 15°C (mínima) e 40°C (máxima), sendo a temperatura média 25°C. No ano de 1999 o município passou por situação crítica devido, tendo apresentado quadro de escassez hídrica comparado ao Nordeste brasileiro.

A microbacia se estende por uma vale com relevo acidentado nas bordas. As cotas variam de 120 a 600 metros. Nela há predomínio de pastagens da mesma forma que nas demais áreas deste

domínio do Estado do Rio de Janeiro, que foi ao longo do tempo ocupado pelos vários ciclos agrícolas e conseqüente desmatamento, situação que tem contribuído para o agravamento da do déficit hídrico e degradação ambiental. No trecho fluminense da região hidrográfica do rio Paraíba do Sul, existem 19 municípios com menos de 5% de cobertura florestal.

A maior parte da população do município (cerca de 7 mil habitantes) vive em pequenas propriedades ou pequenas vilas e suas atividades são essencialmente rurais ligadas ao plantio de tomate, pimentão, pepino entre outros produtos e a pecuária leiteira. O plantio do tomate se desenvolveu a partir da década de 60, tornando-se predominante, sendo a base da economia do município, situando-o como o 2º maior produtor do Estado do Rio de Janeiro, com uma produção anual média de 7 milhões de caixas de 23 kg.

Dados da Área de Estudo

A aquisição de entradas necessárias à modelagem hidrológica teve como base os dados gerados pelo GEPARMBH através dos levantamentos topográficos e de solos, bem como os dados climatológicos e fluviométricos monitorados com intervalos de 15 minutos no período de 2005-2008 (Moraes *et al.*, 2007) – nas estações termo-pluviométricas localizadas em três pontos da área e na estação hidrossedimentológica no exutório da bacia. Foram também utilizados os dados das Normais Climatológicas relativas ao posto de Itaperuna (INMET, 1961-1990), os dados climatológicos de 2004-2008 cedidos pelo INMET, além da série de precipitação em Itaperuna de 1990-2010 também do INMET. Os dados espaciais referem-se ao Modelo Digital de Elevação (MDE) e ao mapa de solos.

Com o mapa de solos e os perfis levantados (Embrapa) foi possível estabelecer um agrupamento das principais classes de solos que ocorrem na área. Os ensaios de laboratório realizados (Embrapa Solos) determinaram a porcentagem em peso dos componentes granulométricos e a umidade das amostras em cada horizonte. Os parâmetros físico-hídricos como capacidade de campo, ponto de murcha permanente, capacidade de água disponível e condutividade hidráulica saturada foram obtidos através da aplicação de equações de pedotransferência a partir dos dados dos ensaios (Pimentel da Silva *et al.*, 2007). Com relação às características do aquífero superficial composto por sedimentos aluviais quaternários foram considerados os valores existentes na literatura, definido por uma camada de espessura variável (de 2 a 12 metros).

APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS PARCIAIS

O presente estudo teve como objetivos: (1) a verificação dos hidrogramas relativos ao monitoramento de chuvas e vazões na microbacia com intervalos de 15 minutos e (2) a pré-análise dos resultados da simulação das vazões que foram comparadas com os valores das vazões observadas no exutório da microbacia. O período correspondeu aos meses de janeiro a junho de 2006.

O espaço geográfico considerado foi de toda a bacia sem discretizá-la. Como predomina um único tipo de cobertura (pastagens) e foi mantida a abrangência original das classes de solos agrupadas com base no mapeamento de solos, as URH's possuem os mesmos limites dessas classes de solos. Elas são os menores elementos agregadores dos cálculos gerados durante a simulação dos processos físicos que ocorrem na bacia.

Na Figura 1 são apresentados os gráficos que mostram os dados (precipitação e vazão) monitorados e consistidos por Moraes (2007). O conjunto de gráficos mostra a relação entre os eventos de chuva e as correspondentes vazões observadas no exutório em intervalos de 15 minutos. Estes hidrogramas confirmam a qualidade dos monitoramentos.

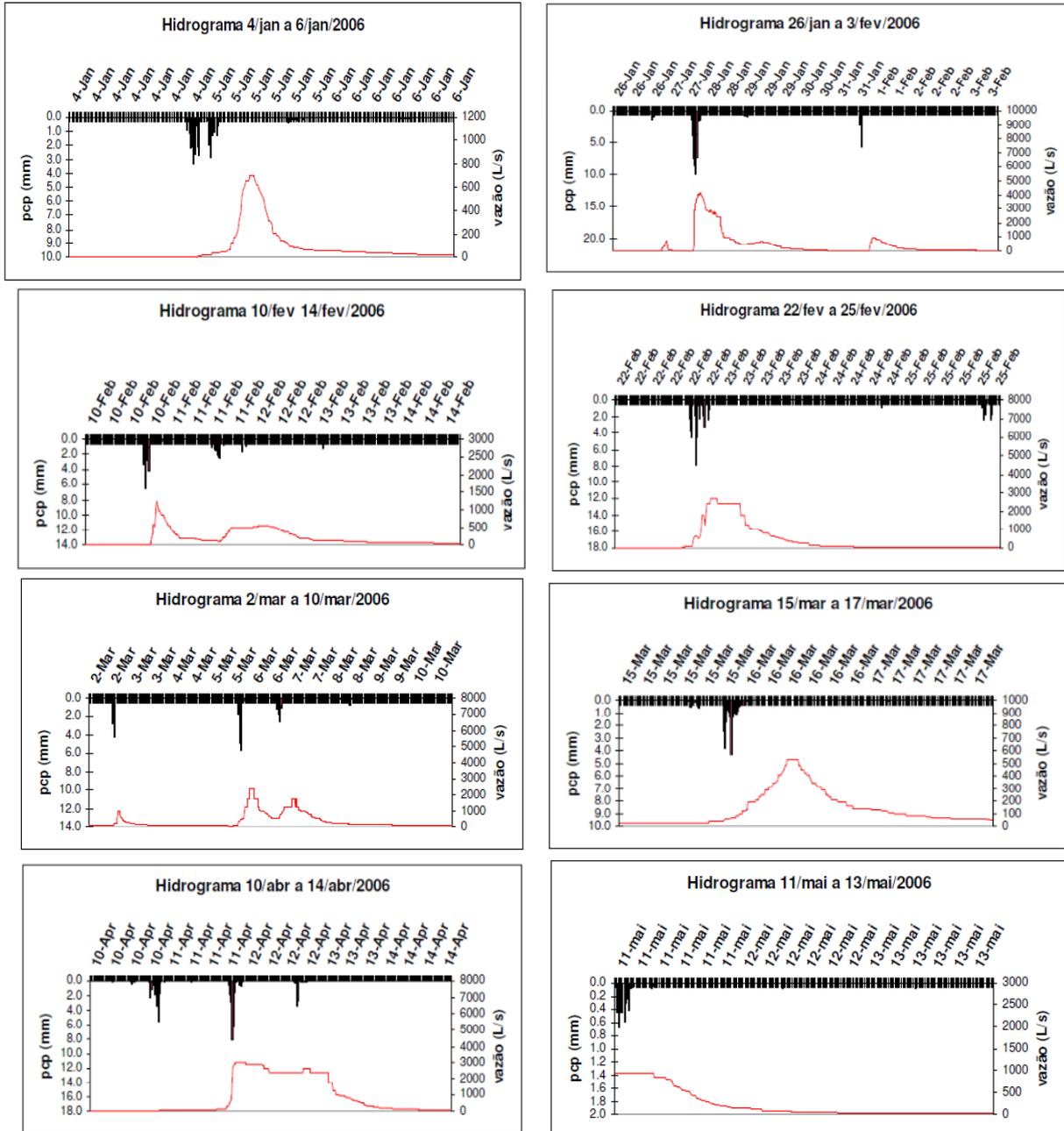


Figura 1 – Hidrogramas diários de chuva x vazão observadas no período de janeiro a junho de 2006
 Fonte: os autores

Os dados mostram que os monitoramentos nas estações têm uma correlação satisfatória, considerando que o tempo de concentração da microbacia é da ordem de 40 minutos (Moraes, 2007).

A Figura 2 mostra o gráfico comparativo entre a vazão observada e a simulada pelo modelo relativo ao período de janeiro a junho de 2006.

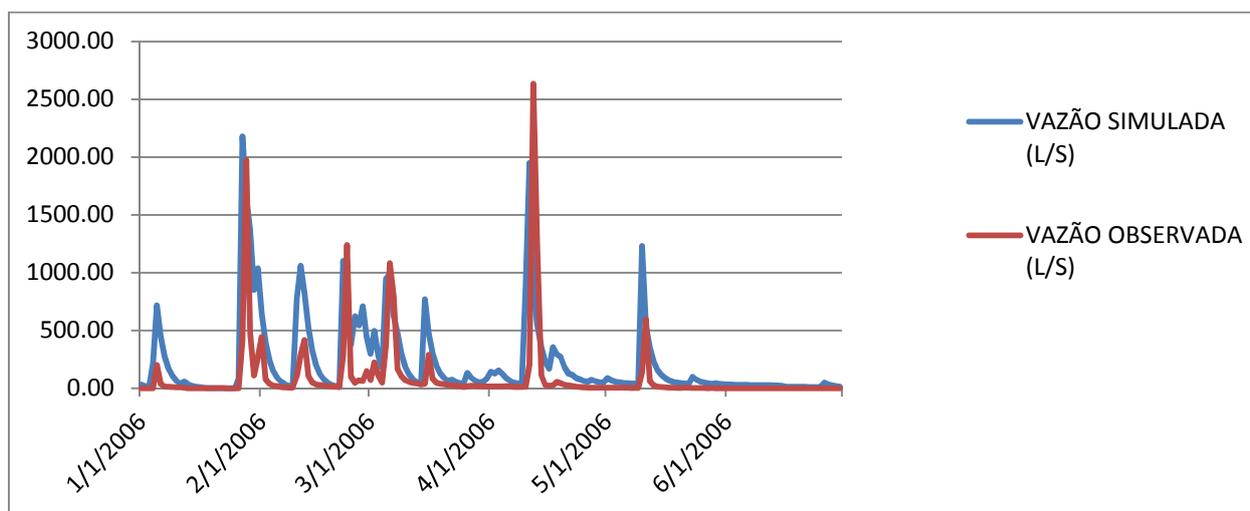


Figura 2 – Vazões observadas x simuladas com os parâmetros apropriados nos estudos de monitoramento da bacia e default do modelo, sem ajuste de calibração
Fonte: os autores

Os registros diários das vazões simuladas mostraram uma tendência parecida com aquelas observadas no exutório da bacia, apesar de terem valores superiores como era de se esperar, tendo em vista que as vazões observadas têm embutidas as perdas pelos usos consuntivos da água, ainda não simulados nessa fase. Além de não ter sido aplicada a calibração para adequar esta variação dos picos que podem estar associadas a outras características como parâmetros físico-hídricos de solos e outros que dizem respeito ao aquífero. Deve ainda ser considerado, que as simulações levaram em conta o método de Penman-Monteith para o cálculo da evapotranspiração baseado, nesse caso, na base de dados simulada pelo gerador climático, mais adequado para previsões/simulações na escala regional do que na local.

CONCLUSÕES

Os resultados preliminares foram satisfatórios do ponto de vista de que os dados das séries medidas indicam hidrogramas compatíveis com o tempo de concentração da microbacia. Vale neste caso ressaltar que mesmo não tendo sido feitos ajustes de calibração a tendência da curva simulada está bem adequada em relação à série observada. Ressalta-se que os valores dos parâmetros foram estabelecidos a partir de inferências *in situ*, em laboratório, além de valores *default* sugeridos na literatura. Os ajustes a serem feitos sobre determinados parâmetros sugerem a necessidade de se investigar através de calibração das variações relacionadas aos solos como a capacidade de água disponível, condutividade hidráulica saturada, bem como aspectos relacionados aos parâmetros do aquífero raso, além de considerar outros métodos de simulação da evapotranspiração disponíveis no modelo.

Portanto, na próxima etapa do estudo serão abordadas as ferramentas disponíveis do modelo como a análise de sensibilidade e calibração dos parâmetros. A análise de sensibilidade permite que possam ser melhor identificados e hierarquizados os parâmetros mais significativos relacionados à eficiência de um processo em particular ou característica do modelo.

Outro enfoque que se pretende dar aos futuros estudos de dissertação se referem a avaliação do gerador climático na simulação de vazões e outros componentes hidrológicos, quando não se tem nem mesmo precipitações medidas. Esta característica é fundamental, considerando que muitas bacias ainda não dispõem de séries históricas, mas estão na área de influência de postos climatológicos, aos quais se podem atribuir pesos a fim de escolher aquele cujos dados melhor fornecerão os resultados de simulação.

AGRADECIMENTOS

O autor agradece às instituições participantes do Projeto de Gestão Participativa de Sub-bacias do Rio São Domingos-RJ (2003 a 2005) pelos dados e informações utilizados neste estudo. Ao Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro por possibilitar a realização do mestrado do Programa de Mestrado de Engenharia Ambiental da UERJ.

REFERÊNCIAS

- ARCSWAT INTERFACE FOR SWAT2005 (2007). User's Guide. Blackland Research Center, Texas.
- EMBRAPA (2006). Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Embrapa Solos. Rio de Janeiro 2.ed. 306 p.
- GARBOSSA *et al.* (2011). The use and results of Soil and Water Assessment Tool in Brazil: A review from 1999 until 2010. International SWAT Conference & Workshops.
- GASSMAN, P.W.; REYES M.R.; GREEN C.H.; ARNOLD J.G. (2007). The Soil and Water Assessment Tool: historical development, applications, and future research directions. Transactions of the ASABE. Vol. 50(4): 1211-1250. American Society of Agricultural and Biological Engineers.
- GEPARMBH (2003). Relatório 1 do Projeto Gestão Participativa da Bacia do Rio São Domingos. In: Edital CT-HIDRO/FINEP-MCT 02/2002.
- MORAES, M.F. de (2007). Estimativa do balanço hídrico na bacia experimental-representativa de Santa Maria e Cambiocó, município de São José de Ubá, RJ. Tese de Doutorado. UFRJ/COPPE.
- MORAES, M.F. de *et al.* (2007). Estudo do balanço hídrico na bacia experimental-representativa de Santa Maria e Cambiocó, RJ. XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, São Paulo, SP.
- NEITSCH, S.L. *et al.* (2000). Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation, Version 2000.
- PIMENTEL DA SILVA, L. *et al.* (2005). Bacia experimental rural de Santa Maria/Cambiocó – RJ: O monitoramento fluviométrico. Encontro Nacional de Bacias Experimentais. Workshop do Programa PUB da América do Sul. Praia do Forte, BA.
- PIMENTEL DA SILVA, L. *et al.* (2007). Aplicação de funções de pedotransferência na obtenção das curvas de retenção da água nos solos: O caso dos solos da região noroeste do Estado do Rio de Janeiro, Brasil. XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, São Paulo, SP.