

XI SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

APLICAÇÃO DO MODELO SWAT PARA A CALIBRAÇÃO DE VAZÕES DIÁRIAS NA MICROBACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO DO JERIVÁ, BRASÍLIA DF

Diana Jimena Monsalve Herrera¹; Luis Carlos Hernández Hernández²;

RESUMO – Este estudo se enquadra num projeto maior de modelagem de qualidade das águas do lago Paranoá, em Brasília, que inclui a modelagem quali-quantitativa das bacias hidrográficas que drenam para o mesmo. O presente estudo teve como objetivo a calibração do modelo SWAT (Soil and Water Assessment Tool) na microbacia hidrográfica do Córrego do Jerivá, localizada em Brasília, Distrito Federal, no período de 1977-2008. Para a aplicação do modelo foi empregada uma base dados de clima, precipitação e geologia da área de estudo. Foi feita uma calibração manual de alguns dos parâmetros resultantes da análise de sensibilidade realizada pelo SWAT, comparando a vazões diárias calculadas pelo modelo com dados observados na estação JERIVÁ - EPPR 005, da CAESB (Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal), utilizando o coeficiente de eficiência de Nash e Sutcliffe (COE). A maior dificuldade neste estudo foi a escassa série de dados. Obteve um COE de 0.4, evidenciando a influência da qualidade dos dados observados na calibração do modelo.

ABSTRACT– the main objective of this study was the calibration of the SWAT (Soil and Water Assessment Tool) model for the Jerivá watershed, located in Brasilia, Federal District, in the period 1977-2008. In the application of model was used a database of weather, precipitation and geology of study area. Was made a manual calibration of some the sensibility analysis parameters of SWAT, comparing the calculated daily flow model with observed time series of JERIVÁ-EPPR 005 CAESB (Environmental Sanitation Company of the Federal District) station, using the coefficient of efficient of Nash e Sutcliffe (COE). The result obtained was a COE of 0.4, showing the influence of quality observed data of model calibration.

Palavras-chave: SWAT, calibração, vazões diárias.

1- INTRODUÇÃO

A necessidade de compreender melhor os processos físicos que ocorrem nas bacias hidrográficas motivou o desenvolvimento de modelos de simulação hidrológica. Com esses modelos é possível obter informações importantes sobre vazões, evaporação, infiltração, cargas poluidoras entre outros fluxos e estados do sistema hidrológico. As simulações destes processos são feitas com o objetivo de obter resultados rápidos e de qualidade para representar o que acontece nas bacias hidrográficas a uma escala real.

¹ Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Universidade de Brasília-UnB. Bolsista CNPQ, Campus Universitário Darcy Ribeiro, Brasília/DF. E-mail: dianajmonsalve@gmail.com

² Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Universidade de Brasília-UnB. Bolsista CNPQ, Campus Universitário Darcy Ribeiro, Brasília/DF, E-mail: flecks85@gmail.com

O modelo SWAT- Soil and Water Assessment Tool (Arnold *et al.*, 1998) é uma ferramenta útil no processo de simulações hidrológicas. O modelo foi desenvolvido pelo Serviço de Pesquisa Agrícola (ARS) dos Estados Unidos e pela Texas A&M University. O SWAT utiliza diversos modelos matemáticos que representam os processos que se desenvolvem nas bacias hidrográficas.

Este modelo permite a simulação de processos hidrológicos, produção e transporte de sedimentos, pesticidas e nutrientes etc., considerando também o tipo e uso de solo e as práticas de manejo em períodos determinados. O SWAT utiliza a plataforma *ArcGis* para processar, armazenar e analisar os input e output do modelo. A calibração pode ser automatizada ou manual, precedida de um análise de sensibilidade feita pelo modelo, que facilita o processo.

O modelo foi desenvolvido para condições diferentes das brasileiras, que se caracterizam por apresentar escassez de dados hidrológicos. Portanto, se torna imprescindível realizar a calibração dos parâmetros, que pode ser difícil e demorado, pois a resposta dada pelo modelo não é igualmente sensível a todas estas variáveis (Bonumá, 2010).

No Brasil, começaram-se a preocupar pela disponibilidade de dados do recurso hídrico devido à variabilidade climática que limita o seu uso, onde o valor da quantidade de água representa uma variável importante para as políticas de saneamento e gerenciamento do recurso hídrico e para facilitar os estudos hidrológicos.

Existem trabalhos feitos no Brasil aplicando SWAT para simulação de bacias hidrográficas. Garrido (2003) caracterizou processos hidrológicos na bacia do rio Jiquiriça no estado da Bahia, Lino *et al.* (2009) analisou o escoamento superficial na bacia hidrográfica do Rio Preto no estado de São Paulo, por meio do modelo hidrológico SWAT para diferentes cenários de uso de solo, Perazzoli *et al.* (2011) utilizou o SWAT para analisar o regime de vazões considerando cenários futuros de mudanças climáticas, na bacia do ribeirão Concórdia no município de Lontras.

No Distrito Federal a Universidade de Brasília em parceria com outras instituições começaram fazer estudos hidrológicos com SWAT para recopilar dados das quantidades de água que drenam até os principais mananciais, especialmente o lago Paranoá, futura fonte de abastecimento do DF. Entre os estudos feitos no Distrito Federal se tem o estudo de Minoti *et al.* (2011), avaliando a utilização do SWAT para simular poluição difusa em duas sub bacias que contribuem à bacia do lago Paranoá.

Para continuar com os estudos e a recopilção de informações da bacia do Lago Paranoá, foi desenvolvido este estudo derivado do projeto Água DF, que precisa recopilar informação hidrológica no Distrito Federal, para cumprir com alguns dos seus objetivos.

Na presente pesquisa se visa determinar as quantidades de água produzidas pela micro bacia rural do córrego Jerivá, afluente do Lago Paranoá; mediante a calibração das vazões diárias desta zona com o modelo SWAT. O desenvolvimento do trabalho esta constituído pelas etapas de:

simulações, análises de sensibilidade e calibração manual das series de vazões diárias para o período entre os anos 1977 a 2008.

2- MATERIAIS E MÉTODOS

2.1- Área de estudo

A área de estudo esta localizada na cidade de Brasília, no Distrito Federal na zona do Lago Norte (Figura 1.). A bacia de Jerivá é uma afluente do Lago Paranoá, localizada dentro dos limites geográficos 15° 43' 20"S, 47° 50' 56" O, com uma área de drenagem de 6,30 Km² e uma altitude de 1012.00 m.

Faz parte do conjunto de sub-bacias de menor porte que por sua vez fazem parte das sete sub-bacias principais do Lago Paranoá (Setti, 2005). A Bacia do Lago Paranoá apresenta uma área de aproximadamente 1.034,07 Km² e se localiza na região central do Distrito Federal, correspondendo cerca de 18% do DF, recebe drenagens pluviais urbanas e efluentes de duas Estações de Tratamento de Esgotos de Brasília (ETEB Sul e Norte) (Ferrante *et al.*, 2001). As principais classes de solo são Latossolos Vermelho-Escuro, Latossolos Vermelho-Amarelo e Cambissolo os quais ocupam 85,5% do DF.

2.2 - Modelo Swat (*Soil and Water Assessment Tool*)

O SWAT é um modelo a escala de bacia hidrográfica e sua aplicação requer a entrada de dados em uma forma especializada. A ferramenta do SIG possibilita a subdivisão da bacia hidrográfica em áreas homogêneas (sub-bacias). Cada sub-bacia pode ser parametrizada pelo SWAT usando uma série de Unidades de Resposta Hidrológica (*Hydrologic Response Units – HRU's*), conforme o tipo de solos, uso da terra e a declividade. Na simulação da fase terrestre, o ciclo hidrológico é calculado com base na equação (1), de balanço hídrico (Neitsch *et al.*, 2011):

$$SWt = SW_0 + \sum_{i=1}^t (R_{day} - Q_{surf} - E_a - W_{seep} - Q_{gw}) \quad (1)$$

Em que:

- SWt = quantidade final de água no solo (mm);
- SW₀ = quantidade inicial de água no solo no dia i (mm);
- t = tempo (dias);
- R_{day} = precipitação no dia i (mm);
- Q_{surf} = escoamento superficial no dia i (mm);
- E_a = evapotranspiração no dia i (mm);
- W_{seep} = percolação no dia i (mm);
- Q_{gw} = fluxo de retorno (ascensão capilar) no dia i (mm).

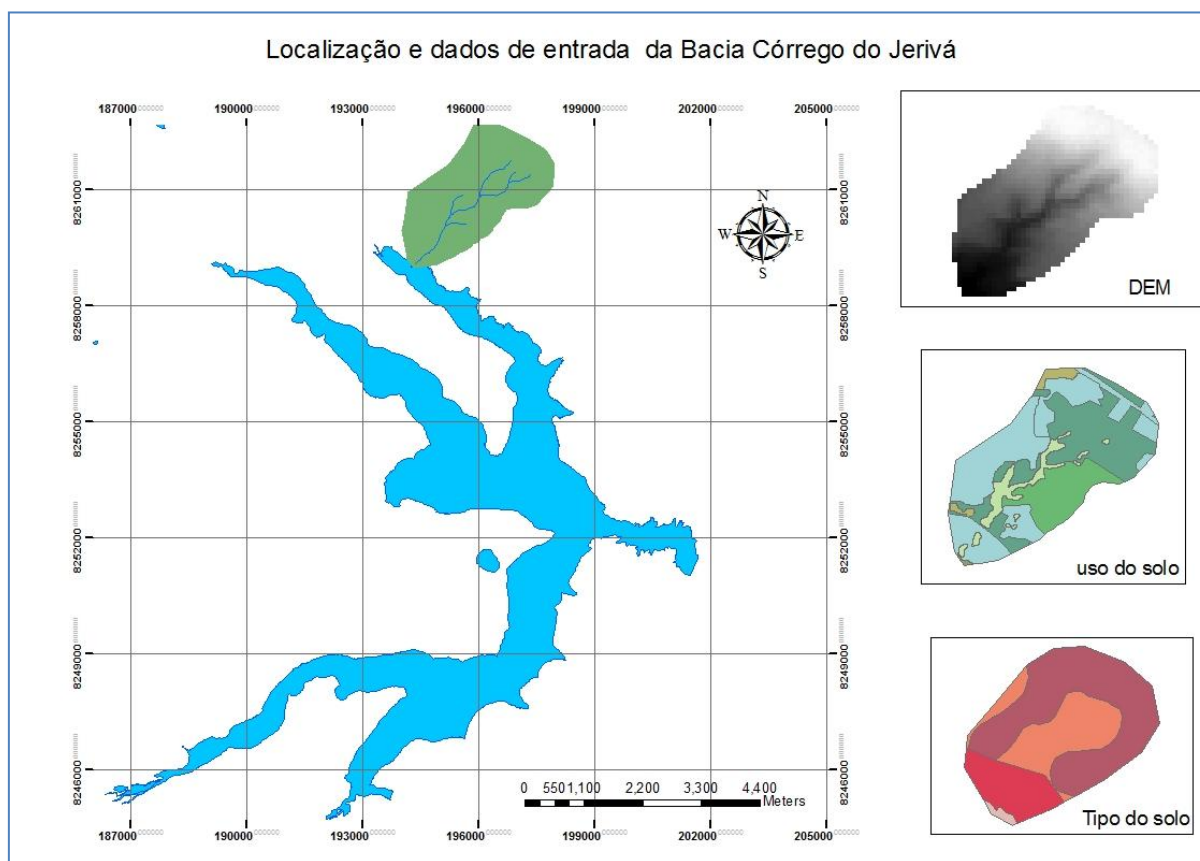


Figura 1- Área de Estudo.

Os processos hidrológicos simulados são: interceptação, infiltração, redistribuição da água no solo, evapotranspiração, escoamentos sub-superficial e superficial, armazenamento, escoamento em canais principais e tributários e vazão de base. Igualmente o modelo permite obter dados de crescimento de plantas, efeitos de nutrientes, pesticidas, manejo da agricultura, erosão etc.

O programa calcula o escoamento superficial a través da curva numero do método do *Soil Conservation Service* (SCS) ou pelo método de infiltração de *Green- Ampt*, incluindo componentes de clima como precipitação diária, temperatura do ar, radiação solar, velocidade do vento e umidade relativa (Neitsch *et al.*, 2011)

Os dados de entrada utilizados no modelo foram o mapa hidrográfico, o modelo digital de elevação, o mapa uso de solos, mapa tipo de solos, dados de precipitação, temperatura, radiação, umidade, entre outros, fornecidos pelo projeto Água DF por parte do pessoal vinculado ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental - Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília, que atualmente estão desenvolvendo estudos com SWAT no Distrito Federal.

Uma vez introduzidos os dados e feita a simulação realizou-se o análise de sensibilidade que o programa desenvolve automaticamente para verificar os parâmetros que tinham mais influencia no

modelo. Foram analisados 16 parâmetros, que contem um valor de ranking definido. O menor valor do ranking indica uma maior influência do parâmetro estudado sobre o resultado final da simulação para determinada variável, neste caso, a vazão diária.

Os parâmetros analisados pelo modelo foram (Arnold *et al.*, 2011):

- Alpha_BF: Fator alfa do fluxo de base (dias)
- Esco: Fator de compensação da evaporação do solo
- Sol_Z: Profundidade do solo (mm)
- Canmx: Armazenamento máximo de água no dosse vegetativo (mm)
- Sol_awc: Capacidade de água disponível (mm H₂O / mm solo)
- Revapmn : Profundidade de água limite no aquífero raso para ocorrer "revap" (mm)
- Gwqmn: Profundidade de agua no aquífero raso para ocorrer fluxo de retorno (mm)
- Slope: Declividade média mais acentuada (mm/m)
- Sol_K: Condutividade hidráulica saturada (mm/h)
- Ch_k2: Condutividade hidráulica efetiva do canal (mm/ano)
- Gw_revap: Coeficiente de re-evaporação da água subterrânea
- Cn2: Valor da curva número inicial do Soil Conservation Service
- Gw_delay: Retardo do escoamento subterrâneo
- Epc: Fator de compensação da retirada das plantas
- Ch_n2: Coeficiente de Manning do canal principal
- Slsbbsn : Comprimento da declividade média (m)

Finalmente foi feita uma calibração manual utilizando dados históricos das vazões diárias fornecidos pela Companhia do Saneamento do Distrito Federal (CAESB) da estação JERIVÁ - EPPR 005 do período de 1979 a 2010, no entanto se realizou a simulação até o ano de 2008, pois, a base de dados apresentava falhas na informação das vazões diárias, não permitindo que SWAT modelasse até o ano 2010.

A série de dados das vazões diárias observadas não era continua, apresentando um máximo de dados por ano nos anos 2003-2007 e um mínimo de três dados para os anos 1980 e 1981, dificultando a calibração.

Na calibração se fez uso do programa *Matlab*, para fazer o calculo do Coeficiente de *Nash-Sutcliffe* (N_s) (equação 2), como função objetivo, e comprovar a eficiência do modelo, igualmente foram plotadas as vazões simuladas com SWAT, para o período 1979-2008 e a calibração das vazões para os três anos consecutivos que tiveram o máximo de dados observados, facilitando o analise dos resultados.

$$N_s = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{obs} - Q_{cal})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{obs} - \bar{Q}_{obs})^2} \quad (2)$$

Sendo:

- Q_{obs} = evento observado para o período analisado;
- Q_{calc} = evento simulado para o mesmo período;
- $\overline{Q_{obs}}$ = média do evento observado,
- n = número de eventos.

O coeficiente N_s pode variar de menos infinito até 1 positivo. O valor de 1 indica que a simulação do evento foi realizada perfeitamente pelo modelo

3- RESULTADOS

O resultado obtido no SWAT para o período 1977-2008 sem calibração, foi de 11,566 dados de vazões diárias, como é apresentado na figura 2. Porém, os dados utilizados na calibração foram pertencentes ao período 1979-2008, para fazer uma correspondência com os dados observados.

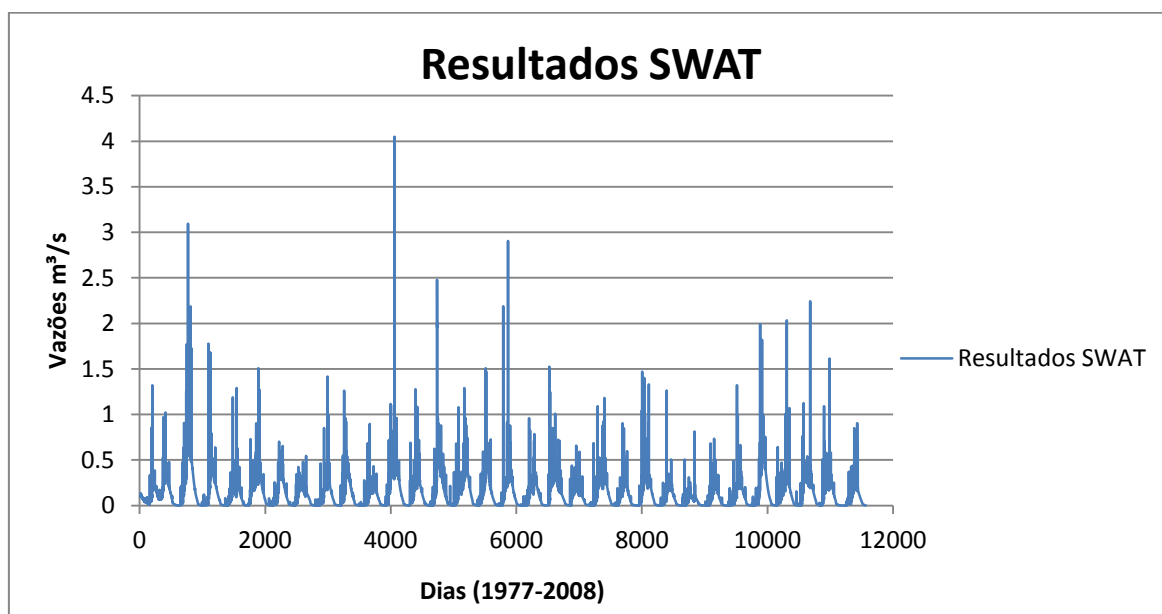


Figura 2-Serie de dados simulados no SWAT sem calibração, para o período de 1977-2008.

O análise de sensibilidade foi feita automaticamente pelo SWAT para 16 parâmetros, obtendo os resultados apresentados na tabela 1. De acordo com estes resultados foram variados os parâmetros CN, GWqmn e Esco para a realização da calibração.

Para identificar a influência dos parâmetros nos resultados, se observaram as mudanças na serie original simulada por SWAT (figura 3) e foi identificada a tendência do comportamento da série, facilitando o trabalho na calibração.

Tabela 1 - Análise de sensibilidade no SWAT

Parâmetro	Ranking	Mean
Alpha_Bf	12	4.62E-03
Canmx	6	4.47E-02
Ch_K2	8	7.44E-03
Ch_N2	15	2.16E-03
Cn2	7	2.91E-02
Esco	1	4.10E-01
Gw_Delay	11	5.90E-03
Gw_Revap	5	5.22E-02
Gwqmn	2	3.48E-01
Revapmn	14	3.58E-03
Slope	9	7.24E-03
Slsbbsn	16	1.60E-04
Sol_Alb	13	4.53E-03
Sol_Awc	4	1.24E-01
Sol_K	10	6.45E-03
Sol_Z	3	1.89E-01

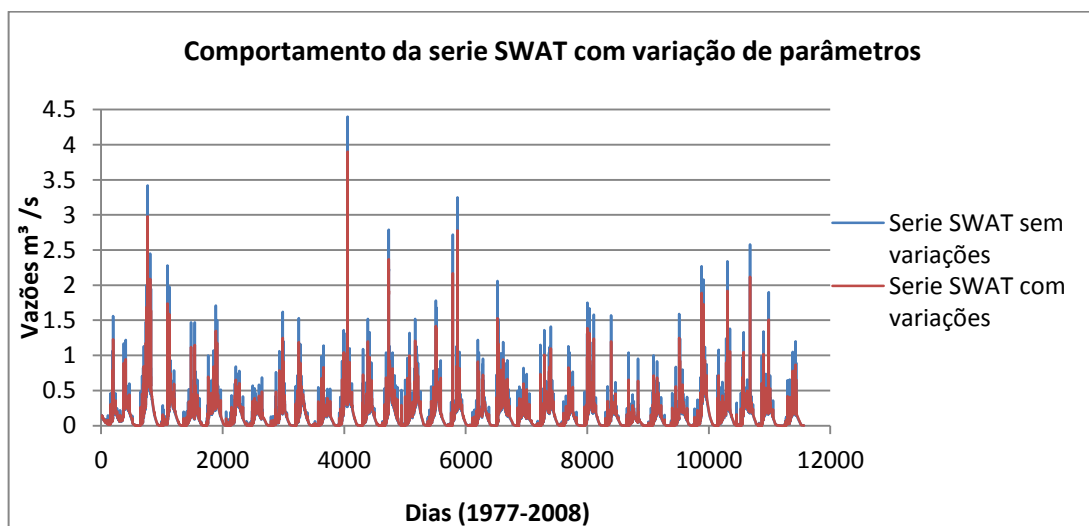


Figura 3- Série de vazões simuladas por SWAT sem variações e série de vazões simulada no SWAT com variação dos parâmetros CN e GWqmn e Esco para identificação do comportamento da série.

Uma vez feita a simulação e o análise de sensibilidade no modelo, foram tomados os dados da série simulada correspondentes as datas que tinham dados observados, obtendo uma serie de dados não continua no período 1979-2008 (figura 4).

Com essa serie de dados simulados e com os dados observados se fez a calibração manual, variando o valor dos parâmetros mais influentes na serie estudada, fornecidos pelo análise de sensibilidade. As variações dos valores dos parâmetros forma feitas segundo, o processo recomendado pelo Neitsch *et al* (2011).

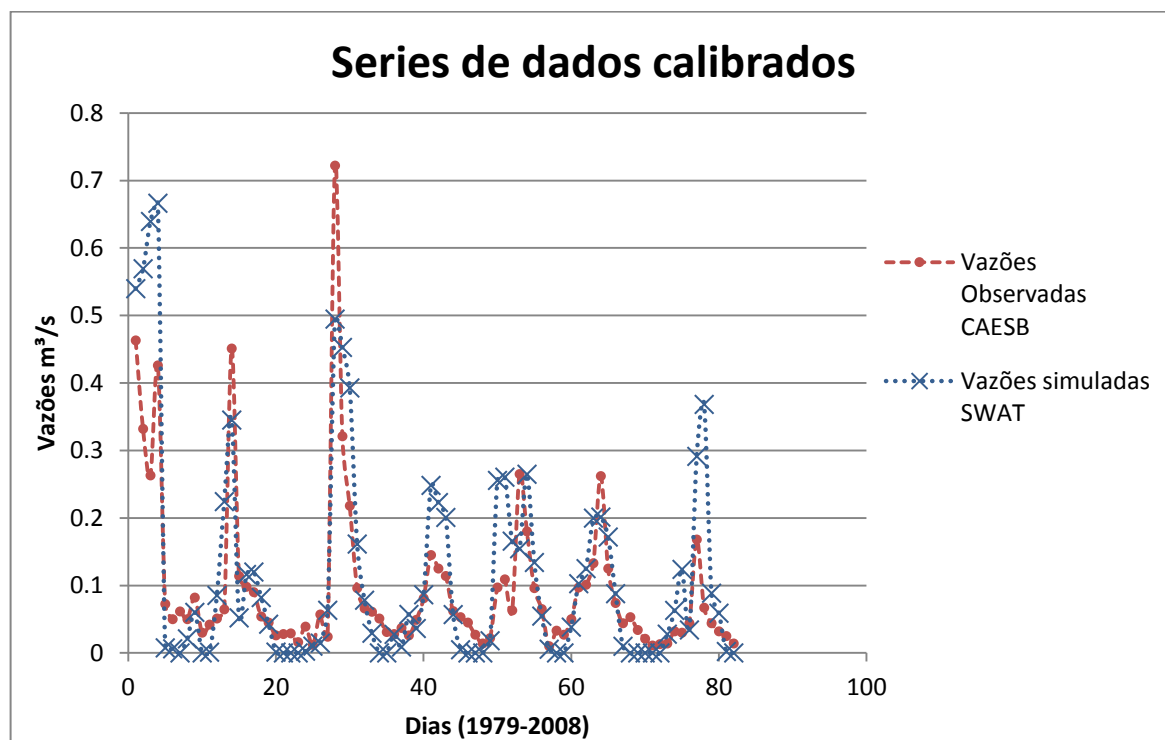


Figura 4- Séries finais da calibração no período 1979-2008.

Depois do processo de calibração, o melhor resultado foi obtido reduzindo o CN2 em 30%, atribuindo um valor de 0,1 para ESCO e 25 para GWqmn. O número de Nash alcançado no final foi de 0,4154 que ainda foi o melhor resultado entre os análises feitos, não foi ótimo para a calibração devido a que seu valor foi menor a 0,75. Este resultado reflete a qualidade dos dados observados, pois, esta série tinha dados faltantes e a informação não era continua no tempo.

Na figura 5, na primeira coluna, se apresenta as séries simuladas e calibradas para os anos 1979, 2005, 2006 e 2007, mostrando o comportamento da serie por ano, e ressaltando com pontos vermelhos os dias correspondentes as datas dos dias de coleta das informações observadas. Esses pontos foram considerados para fazer a comparação posterior com os dados observados e concluir a calibração.

Nessa coluna se pode visualizar mediante os pontos vermelhos, que a coleta de dados na estação de monitoramento da CAESB, foi feita tanto em épocas de chuva como de estiagem, mas só

para alguns dias no ano. Estes dados pontuais foram plotados e comparados com os dados observados da CAESB, para visualizar a melhor calibração nos anos com mais numero de dados por ano.

Na segunda coluna se apresenta a comparação entre os dados observados e calibrados para o ano 1979 com menor numero de dados e os anos consecutivos de 2005-2007 com maior número de dados por ano. Nessas figuras se pode observar que o modelo superestimou as vazões diárias na maioria dos casos, mas a tendência da série simulada comparada com a série observada é similar.

Estes resultados mostraram a dificuldade do processo de simulação e calibração de vazões diárias quando se tem poucos dados em bacias de pequeno porte, embora, o modelo consegue uma aproximação na tendência das series observadas, pese a serem séries descontínuas no tempo.

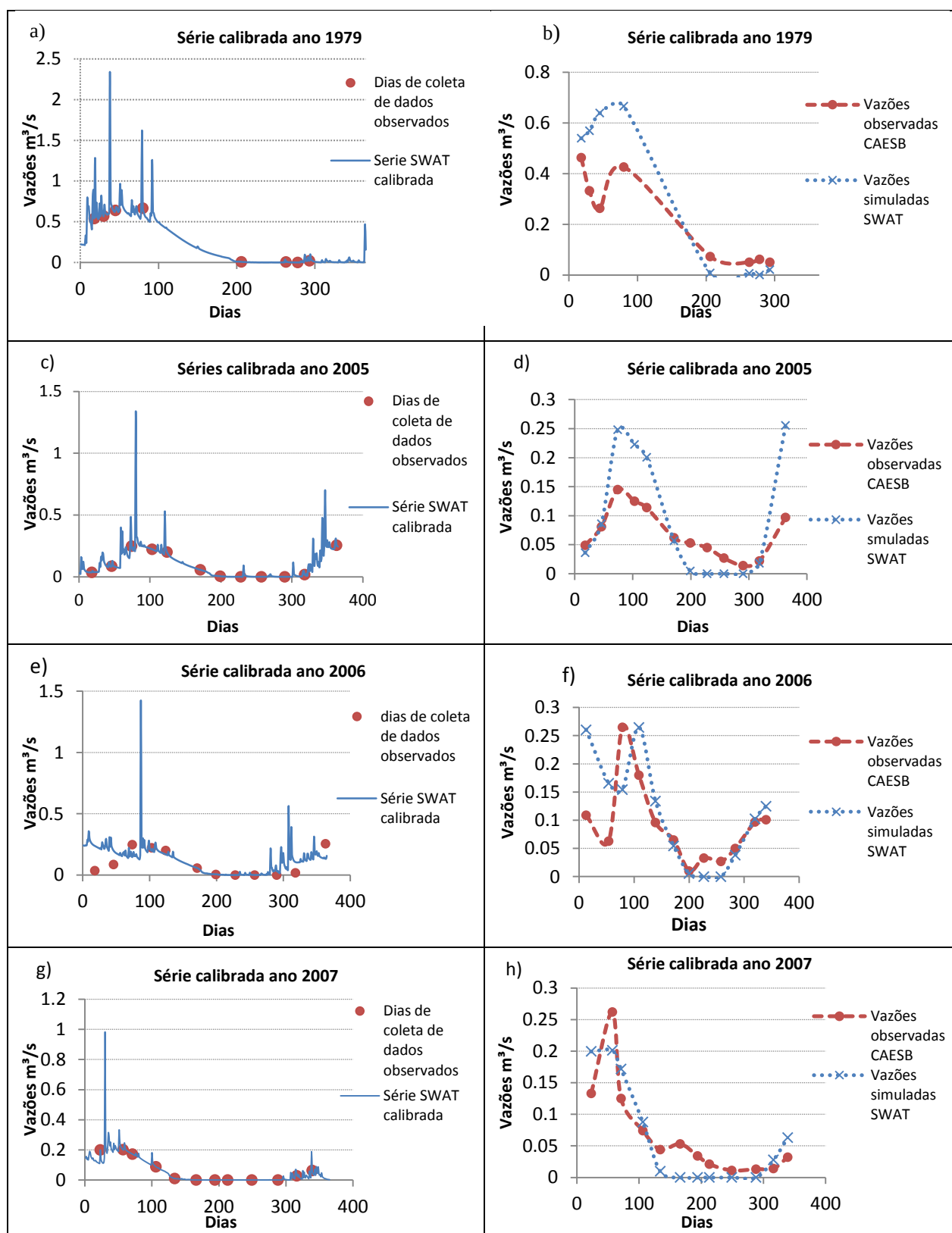


Figura 5- Séries calibradas no SWAT por ano com dias de coleta de dados observados (pontos vermelhos) e calibração das vazões simuladas para as datas correspondentes para cada ano. (a), (c), (e) e (g) Serie calibrada em SWAT para os anos 1979, 2005, 2006 e 2007 respectivamente. (b), (d), (f) e (h) Comparação serie simulada e observada para os anos 1979, 2005, 2006 e 2007 respectivamente.

4- CONCLUSÕES

A utilização do modelo SWAT para simulação de vazões depende da qualidade da base de dados de entrada, devido a que o modelo associa diferentes componentes como clima, precipitação, tipos de solo, usos de solo, umidade, vazões entre outros.

Dado que o SWAT possui uma base de dados de uso e tipo de solo baseadas em regiões dos Estados Unidos, que apresentam características diferentes ao Brasil, é preciso fazer a correspondência com o tipo de dados locais.

A calibração manual permitiu visualizar a influencia dos parâmetros na microbacia Jerivá, junto com seu significado físico, embora, os resultados de este processo foram afetados pela falta de uma série de dados observados e contínuos no tempo, refletindo a importância de trabalhar com dados consistentes para calibrar o modelo e a necessidade do Distrito Federal de coletar dados hidrológicos com períodos contínuos, de suas diferentes bacias e sub-bacias para estudos futuros.

Os resultados para a função objetivo não foram satisfatórios, devido que o valor do COE calculado não se aproximou a 1, mostrando a influencia direta das vazões observadas as quais não eram consistentes nem continuas. Pese a este resultado o modelo permitiu representar as vazões observadas de uma maneira aproximada com uma tendência similar, evidenciando a flexibilidade do modelo em bacias de pequeno porte e pouco instrumentadas, ressaltando a importância do modelo para dar continuidade em estudos similares, especialmente no DF que conta com escassez de dados na maioria das suas bacias pequenas.

BIBLIOGRAFIA

- ARNOLD, J. G.;SRINIVASAN, R.,MUTTIAH,R. S. E WILLIAM,J. R.(1998).“*Large area hydrologic modeling and assessment part i: model development*”. Journal of the American Water Resources Association.34(1), pp.73-89
- ARNOLD, J. G.;SRINIVASAN, R.; WILLIAM,J. R.; NEITSCH, S.L.(2011) “*Soil and Water Assessment Tool: Input/Output file documentation, version 2009*”. Texas Water Resources. Institute Technical , College Station.642p.
- BONUMÁ, N. “*Balanço hídrico e sua relação com a modelagem da Produção de sedimentos em uma pequena bacia Hidrográfica rural*”. In anais IX Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos, Brasília, 2010.pp 1-17
- FERRANTE. J. E.; RANCAN,L.; NETTI, P.B.(2001). *Olhares sobre o Lago Paranoá*. Secretaria do Meio ambiente e Recursos Hídricos .Brasília.424p.

- GARRIDO, J. M. (2003). “*Aplicação de modelo matemático de simulação com utilização de SIG à bacia do rio Jiquiriçá- Bahia*”. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília, departamento de Engenharia civil e ambiental.
- LINO, J. F., CORSEUIL, C. W., KOBAYAMA, M., MALUTTA, S. UDA, K., BORTOLOTTI, N.L., SANTOS, I. . (2009). “*Análise da vazão da bacia hidrográfica do rio Preto com o modelo SWAT*”. In anais do XVIII simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos Campo Grande- Mato Grosso do sul. Brasil, pp 1-20
- MINOTI, R., KOIDE, S., LIPORONI, L.(2011). “*Estimativa das cargas de sedimentos e nutrientes em duas sub-bacias do lago Paranoá (Brasília/DF)*”. In anais do XIX Simpósio Brasileiro de Recursos hídricos. Maceió-Al. Nov.2011,pp 1-19.
- NEITSCH, S.L.; ARNOLD, J.G.; KINIRY, J.R.; WILLIAMS, J.R. (2002). “*Soil and Water Assessment Tool - Theoretical Documentation: Version 2000*”. Temple, Blackland Research Center, Texas Agricultural Experiment Station, 483p.
- NEITSCH, S. L., ARNOLD, J. G., KINIRY, J. R., WILLIAMS, J. R., (2011). “*Soil and Water Assessment Tool: Theoretical Documentation. Versão 2009*”. Texas Water Resources. Institute Technical , College Station. 618p.
- PERAZZOLI, M.; KAUFMANN, V.; PINHEIRO, A. (2011). “*Simulação de escoamentos na bacia do ribeirão Concordia (SC) para cenários climáticos futuros: A2 pessimista e B2 otimista*”. In Anais do XIX Simpósio de Recursos Hídricos, Maceió-Al. Nov. 2011, pp. 1-12
- SETTI, A. (2005). *O saneamento no Distrito Federal: Aspectos culturais e socioeconômicos*. Fundação Franco-Brasileira de Pesquisa e Desenvolvimento-FUBRAS, Companhia de Saneamento ambiental do Distrito Federal- CAESB. Brasília. 720p.