

Utilização de dados espaciais para estimativa de vazão do Ribeirão da Posse no município de Guapó - Goiás

Aldrei Marucci Veiga¹
Wellington Nunes de Oliveira²
Rubens Villar Siqueira³

¹ Serviço Geológico do Brasil (CPRM/SGB)
Rua 148, n.485 - 74170-110 - Goiânia - GO, Brasil
aldrei.veiga@cprm.gov.br

² G3 Geotecnologias
Rua 64 c/ T64, Setor Bela Vista - 748232-350 - Goiânia - GO, Brasil
wellington@g3geotecnologias.com

³ Universidade Federal de Goiás- PPGEMA - UFG
Praça Universitária s/n – Setor Universitário - 74605-220 - Goiânia-GO, Brasil
rubens.villar@gmail.com

Abstract. The absence of nearby fluviometric stations places of interest where hydrological studies are needed, most often is supplied by means of the Streamflow Regionalization method, but for this study has a higher reliability degree is necessary to have updated flow data available in those same stations. In the absence of such updated data the hydrological modeling can be considered as an option to supply that deficiency because it allows the flow data simulation to perform several hydrological studies. Currently the Geographic Information Systems allow integration with these hydrologic modeling software, thus allowing better analysis of the data by using climate data associated with particular spatial characteristics of each study area. In this sense, the fluviometric stations were used as CPRM, which the data consisted were obtained by the year 2005 for Anicuns and Farm Boa Vista Station, which served as input data for hydrological modeling software Soil and Water Assessment Tool - SWAT generating as a result the estimated flow in the Stream of Posse, the municipality of Guapó. The Hydrological modeling of the area in question then allowed a flow simulation of closer to the observed data, which were calibrated and validated through statistical analysis.

Palavras-chave: geographic information system, hydrological modeling, estimated flow, sistema de informações geográficas, modelagem hidrológica, estimativa de vazão.

1. Introdução

O SWAT (Soil and Water Assessment Tool) é um modelo matemático de parâmetro semi-distribuído que foi desenvolvido em escala de bacia hidrográfica com a finalidade de prever o impacto de práticas do solo em relação à água, sedimentos e produção química agrícola em bacias hidrográficas complexas não instrumentadas com diversas combinações de solos, usos e coberturas do solo e condições de manejo sobre longos períodos de tempo (NEITSCH et al., 2005). Para satisfazer a estes objetivos o modelo é baseado em características físicas da bacia e usa dados de entrada normalmente disponíveis, é computacionalmente eficiente para operar sobre médias a grandes bacias (>1.000 km²) e é contínuo no tempo, sendo capaz de simular longos períodos (>100 anos) de forma a computar os efeitos das alterações no uso do solo (MACHADO, 2002).

Com de cerca de 30 anos de trabalho conduzidos pelo USDA-ARS (United States Department of Agriculture - Agricultural Research Service), o modelo hidrossedimentológico SWAT agrega em si diversos fundamentos de outros modelos além de diversas modificações que proporcionaram maior avanço para realizar as simulações. Com isto, é possível perceber que o modelo foi concebido já com uma vasta gama de experiência intrínseca, haja vista que

tais modificações, agregada pelos diversos modelos, foram feitas visando a superação de obstáculos (GASSMAN, 2007).

A ausência de estações fluviométrica próximas a locais de interesse onde se faz necessários estudos hidrológicos, na maioria das vezes é suprido por meio do método de Regionalização de Vazões, porém para que esse estudo tenha um maior grau de confiabilidade é necessário que haja dados de vazão atualizados disponíveis nessas mesmas estações. Na ausência desses dados atualizados a modelagem hidrológica pode ser considerada uma opção para suprir essa carência, pois a mesma permite a simulação de dados de vazão para realização de diversos estudos hidrológicos. Nesse sentido, foram utilizadas as estações fluviométricas da CPRM, onde os dados consistidos foram obtidos até o ano 2005 para a Estação Anicuns e para Estação Fazenda Boa Vista, as quais serviram como dados de entrada pra software de modelagem hidrológica SWAT gerando como resultado o estudo de Vazão Q-95 no Ribeirão da Posse, em Guapó no Estado de Goiás.

2. Metodologia de Trabalho

A metodologia utilizada para atender aos objetivos propostos compreendeu uma combinação de procedimentos organizados:

2.1. Sistemas Computacionais

Foi utilizado o modelo hidrológico ArcSWAT-2009 com a interface de Sistemas de Informações Geográficas – SIG's. O modelo é integrado com o ArcGis (ESRI). A implementação do SIG neste trabalho tem por função a integração e a manipulação das informações importantes, de maneira organizada em diferentes planos de informação temáticos na forma de mapas digitais, com tabelas de dados associados. Os sistemas computacionais utilizados foram os seguintes:

- Software de processamento digital de imagens Envi, desenvolvido pela *ITT Visual Information Solutions*, versão 4.7;
- Software ArcGis, desenvolvido pela ESRI – *Environmental Systems Research Institute*, versão 9.3;
- Interface ArcGis/SWAT- *Soil and Water Assessment Tool*, ArcSWAT versão 2009.93.5 desenvolvido pelo *Blackland Research Center da Texas Agricultural Experiment Station e USDA Agriculture Research Service*.

Na tabulação dos dados e análises estatísticas, foi utilizado o Microsoft Excel (MICROSOFT® EXCEL, 2007).

2.2. Construção da base de dados

2.2.1. Modelo Digital de Elevação

Para realização desse estudo foi utilizado o Projeto TOPODATA com resolução espacial de 30 metros, derivado do processamento de dados SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*). Esse DEM serviu como base para delimitação da bacia hidrográfica Ribeirão da Posse assim como dado de entrada essencial para o modelo ArcSWAT.

2.2.2. Imagens de Satélite

Para determinação do uso e cobertura do solo na bacia foram adquiridas por meio do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) imagens do satélite Landsat-8 sensor TM (*Thematic Mapper*) o qual produz imagens com 30 metros de resolução espacial. As imagens adquiridas foram datadas do março de 2014 as quais foram registradas (georreferenciadas) utilizando a base de dados do mosaico *Geocover* que disponibiliza imagens obtidas no ano 2000 pelo sensor ETM+, que está a bordo do sensor Landsat-7.

2.2.3. Uso e cobertura do Solo

Conforme apresentado no tópico anterior foram utilizadas como base para geração do mapa de uso e cobertura do solo a classificação da imagem multiespectral do satélite Landsat-8 órbita/ponto 222/72 datada março de 2014 com a qual foi possível mapear cinco diferentes tipos de uso e cobertura do solo presentes na área em estudo servindo como base para alimentar o modelo SWAT conforme apresentado na Figura 1:

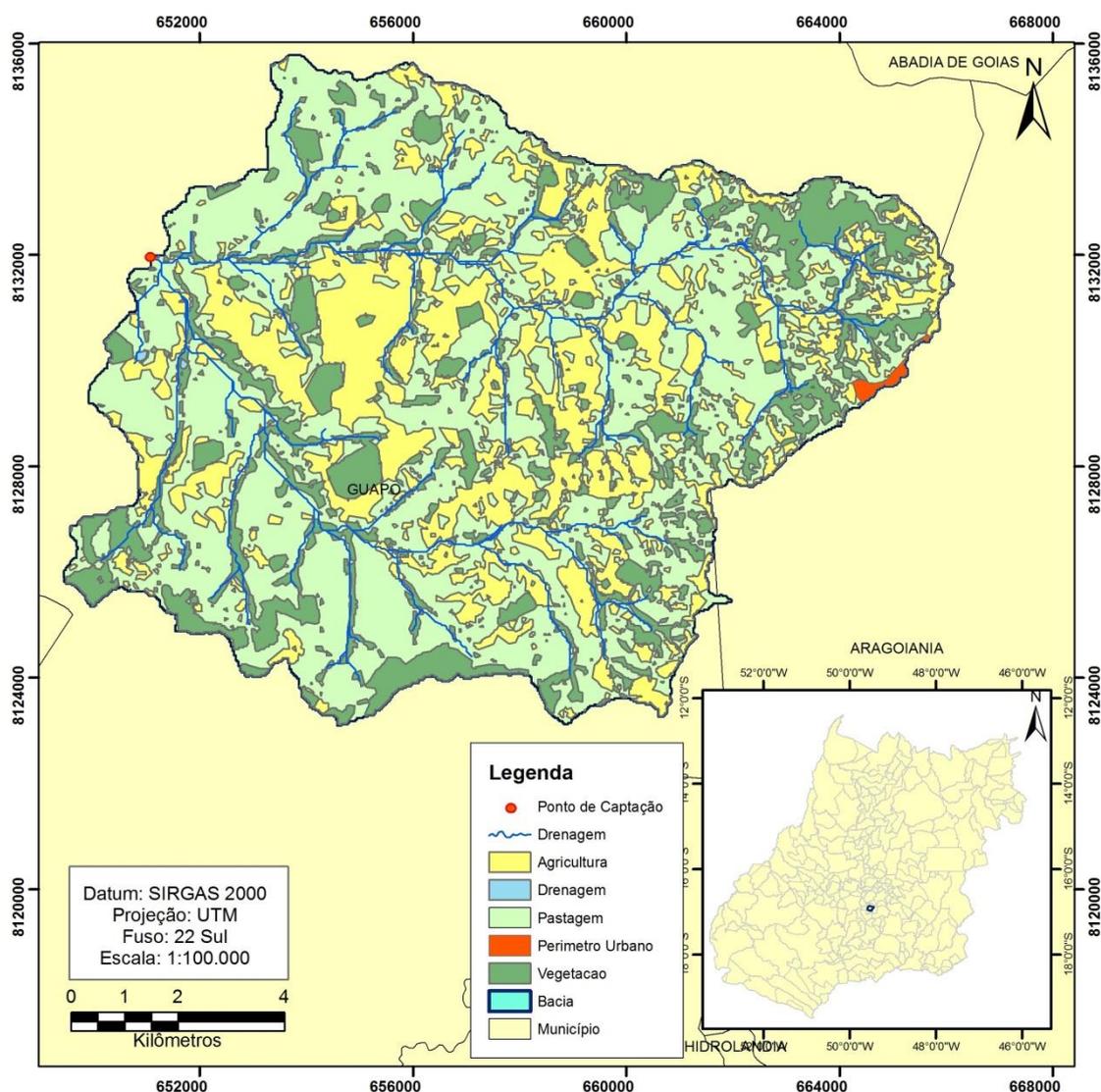


Figura 1 - Uso e cobertura do solo da Bacia do Ribeirão da Posse - Guapó de 2014

2.2.4. Solos

Para a entrada de dados de solos no modelo foi utilizada uma base de dados na escala 1:100.000 (Determinação de áreas prioritárias para unidades de preservação - Imagem/WWF – RADAMBRASIL) disponibilizada no site do Sistema Estadual de Estatísticas e de Informações Geográficas de Goiás - SIEG.

Para relacionar as classes de solo existentes na bacia com o banco de dados de solos do SWAT, foi necessário adicionar as características físicas dos solos exigidas pelo modelo, dentre elas o grupos de saturação ou hidrológico (HYDGRP), profundidade máxima de solo que a raiz alcança (SOL_ZMX), porosidade (ANION_EXCL), profundidade da camada (SOL_Z), densidade aparente (SOL_BD), capacidade de água disponível no solo

(SOL_AWC), condutividade hidráulica saturada (SOL_K), erodibilidade (USLE_K), albedo, sendo este relativo à parcela da radiação solar que é refletida ao atingir a superfície do solo, considerando sua cobertura vegetal (SOL_ALB), conteúdo de carbono orgânico (SOL_CBN), e, percentagem de argila, silte, areia e seixo. Tais características e atributos exigidos pelo modelo SWAT não se encontraram disponíveis para os solos existentes na área objeto, exigindo desta maneira, uma adaptação com a utilização de dados de classes pedológicas similares obtidos do Levantamento Pedológico Semi-detalhado do Projeto Jequitai/MG – CODEVASF/ces (1977), área também de Cerrado, adaptados por Baldissera (2005) e do levantamento de solos do estado de São Paulo, por Bertoni & Lombardi Neto (1990).

2.2.4.1. Grupos Hidrológicos

Conforme classificação do *U.S. Natural Resource Conservation Service* (NRCS Soil Survey Staff, 2008) os solos diferem-se em quatro grupos hidrológicos (A, B, C e D). Cada tipo de solo encontrado na bacia de estudo foi reclassificado, de acordo com o grupo hidrológico que mais se identificava.

2.2.5. Parâmetros Climáticos

Para a alimentação do modelo em relação aos dados climáticos, os dados se dividem em dois tipos: dados diários e dados mensais. Os dados diários utilizados foram médias diárias ou somas diárias relacionadas aos seguintes fatores: precipitação, temperatura do ar, velocidade do vento, radiação solar e umidade relativa do ar. Os dados mensais utilizados são médias (do respectivo mês) referentes a todos os anos simulados. As variáveis climáticas solicitadas pelo modelo são: localização geográfica da estação, altitude, número de anos dos dados acumulados, média mensal de temperatura máxima diária (TMPMX), média mensal de temperatura mínima diária (TMPMN), desvio padrão para a temperatura máxima diária de cada mês (TMPSTDMX), desvio padrão para a temperatura mínima diária de cada mês (TMPSTDMN), média mensal da precipitação total (PCPMM) desvio padrão para a precipitação diária do mês (PCPSTD), probabilidade de dia úmidos seguidos de dias secos para o determinado mês (PR_W1), probabilidade de dias úmidos seguidos de dias úmidos para o determinado mês (PR_W2), média mensal de dias de precipitação (PCPD), valor máximo de meia hora de chuva em todo o período de registros de um determinado mês (RAINHHMX), média de radiação solar diária para um determinado mês (SOLARAV), média diária do ponto de orvalho para determinado mês (DEWPT), média diária da velocidade do vento par determinado mês (WNDNAV).

A estação climática utilizada dista 43 quilômetros da bacia hidrográfica do Ribeirão da Posse e foi utilizada para fornecimento dos dados requisitados pelo modelo. Os dados foram disponibilizados pela Estação Climática (83423) do município de Goiânia, operada pelo Instituto Nacional de Meteorologia – INMET.

2.3. Simulações

A simulação foi realizada para o período de 01/01/1993 a 31/03/2014.

2.4. Período de Aquecimento do Modelo

Segundo Carvalho Neto (2011), em trabalhos preliminares, realizou-se um teste no qual o modelo SWAT foi submetido a um mesmo ano de eventos de precipitação, repetidos sete vezes. Assim foi verificado que o modelo comporta-se de forma bastante discrepante no primeiro ano de simulação, para geração do escoamento superficial e produção de sedimentos, o segundo ano apresenta resultados intermediários enquanto que os demais anos possuem seus resultados oscilando em um intervalo bem definido. A razão para tais resultados permanece ainda não totalmente conhecida, podendo ser consequência do processo de crescimento dos

vegetais e/ou variação da umidade na zona radicular. Desta forma, ficou evidenciado a necessidade do uso de um período de aquecimento, conforme a repetição citada.

2.5. Análise de sensibilidade

A análise de sensibilidade é instrumento para previsão dos parâmetros que possuem maior impacto sobre as simulações hidrossedimentológicas, elaborados diretamente pelos modelos ArcSWAT (NEITSCH et al., 2005).

Para tal, o modelo utiliza a combinação do *Latin Hypercube* (LH) e o *One-Factor – At-a-Time* (OAT). O LH utiliza o Método de Monte Carlo permitindo uma análise mais robusta na sensibilidade, pois requer um grande número de variáveis associadas (NEITSCH et al., 2005).

O LH subdivide cada parâmetro de “m” alcance, cada um com probabilidade de ocorrência igual a 1/m. Para cada combinação aleatória de “m” o modelo combina a verificação de uma volta e sua performance.

No OAT, apenas os parâmetros de entrada são modificados durante os “*looping*” que o modelo realiza na análise. Os parâmetros são aleatoriamente aumentados ou diminuídos com a fração de f , e considerando “ p ”. A performance do fator “ p ” envolve $p+1$, obtendo o parcial efeito de cada parâmetro em uma rodada. O efeito final será estimado pela média do conjunto de “m” efeito parcial. O resultado final é fornecido por meio de um ranking, o LH estima o alcance por meio de $m*(p+1)$ para cada volta na simulação.

A análise de sensibilidade fornece um ranking dos parâmetros que possuem relação com a vazão fluvial, e sua listagem é fornecida pelo manual do SWAT elaborado por NEITSCH et al. (2005).

2.6. Calibração/Validação do modelo

Com o resultado da análise de sensibilidade é possível determinar quais parâmetros são mais influentes no modelo permitindo dessa forma descobrir quais deles são mais propícios a calibração para a melhora da resposta do modelo.

A calibração é uma ferramenta que permite ao usuário editar o desempenho global das variáveis de entrada do modelo (SAMMONS & NEITSCH, 2000). Segundo Arnold et al. (2000) o primeiro passo de uma calibração tradicional é dividir os valores em duas séries temporais, sendo uma usada para calibração e outra para validação.

Um passo importante na calibração e validação é a definição das variáveis que serão utilizadas e a série histórica disponível. No caso para esse estudo foi adquirida uma série de dados observados de vazão referentes ao intervalo de 1993 a 2005 (sendo 1992 a 1999 para calibração e de 2000 a 2005 para validação do modelo) disponibilizada pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM cujos dados são oriundos das estações Anicuns e Fazenda Boa Vista, as quais foram utilizadas para geração desses dados por meio do método de Regionalização de Vazões proposto por CHAVES et al. (2002).

3. Resultados e Discussão

Após o resultado da primeira simulação, com a finalidade de calibrar o modelo realizou-se inicialmente a análise de sensibilidade para 27 parâmetros do modelo SWAT, totalizando 270 simulações. Os efeitos finais da variação dos parâmetros foram hierarquizados por ordem de influência e estão apresentados no Quadro 1. A descrição dos parâmetros foi baseada no manual do SWAT (Neitsh et al., 2005).

Cada parâmetro tem um valor no *ranking* definido após a análise. Um menor valor no *ranking* indica uma maior influência do parâmetro sobre o resultado final da simulação para determinada variável, neste caso, a vazão. Variáveis com *ranking* cujo valor é de 27 não exercem nenhuma influência sobre o valor final do parâmetro analisado.

QUADRO 1 - Descrição dos parâmetros e *ranking* de cada uma das variáveis após a realização da Análise de Sensibilidade do modelo SWAT.

Ranking	Parâmetro	Descrição
1	Esco	Fator de compensação da evaporação do solo
2	Sol_Awc	Capacidade de água disponível (mm H ₂ O / mm solo)
3	Cn2	Valor do curva número inicial do Soil Conservation Service
4	Sol_Z	Profundidade do solo (mm)
5	Blai	Índice máximo de área foliar
6	Canmx	Armazenamento máximo de água no dossel vegetativo (mm)
7	Gw_Revap	Coefficiente de re-evaporação da água subterrânea
8	Ch_K2	Condutividade hidráulica efetiva do canal (mm/ano)
9	Epc	Fator de compensação da retirada das plantas
10	Alpha_Bf	Fator alfa do fluxo de base (dias)
11	Ch_N2	Coefficiente de Manning do canal principal
12	Gwqmn	Concentração de nitrato na água subterrânea contribuinte (mgN/L)
13	Slope	Declividade média mais acentuada (mm/m)
14	Sol_Alb	Albedo do solo
15	Sol_K	Condutividade hidráulica saturada (mm/h)
16	Gw_Delay	Retardo do escoamento subterrâneo
17	Surlag	Tempo de retardo do escoamento superficial
18	Revapmn	Profundidade de água limite no aquífero raso (mm)
19	Biomix	Eficiência da mistura biológica
27	Slsbbsn	Comprimento da declividade média (m)
27	Timp	Fator de retardo da temperatura do bloco de neve
27	Sftmp	Temperatura da neve (°C)
27	Smfmn	Fator de derretimento da neve em dezembro (mmH ₂ O/°C/dia)
27	Smfmx	Fator de derretimento da neve em junho (mmH ₂ O/°C/dia)
27	Smtmp	Temperatura de base para derretimento de neve (°C)
27	Tlps	Taxa de variação da temperatura (°C/km)

Com base no ranqueamento dos parâmetros fornecidos pela análise de sensibilidade e com o manual do SWAT foram realizados ajustes nos parâmetros apresentados no Quadro 2.

QUADRO 2 - Ajuste dos parâmetros posterior a calibração.

Parâmetros	Esco	SOL_AWC			Cn2	Alpha_Bf
		Cx	Lve	PVA		
Originais	1	0.18	0.1	0.1	10	0
Ajustados	0.0896	0.04	0.04	0.04	17.767	0.0322

O resultado da calibração apresentou um razoável ajuste referentes as vazões máximas e mínimas. Porém para determinar o desempenho do modelo, se faz necessário a utilização de critérios estatísticos para essa avaliação, nesse caso o Coeficiente de Nash-Sutcliffe ou COE, o Dv (%) que é o desvio observado entre o evento observado e o simulado e também a correlação entre os mesmos.

Após ajuste dos dados o COE atingiu o valor de 0,723 que indica um bom ajuste dos dados, pois de acordo com Marchioro (2008) um COE acima de 0,7 demonstra que a calibração foi satisfatória.

O COE também foi aplicado no intervalo de dados de vazão destinados a validação do modelo (2000 a 2005) onde o mesmo atingiu o valor de 0,706.

Os resultados obtidos pela aplicação do modelo SWAT, demonstrados a seguir, são referentes à relação entre a precipitação e a vazão simulada dentro do período estudado conforme apresentado na Figura 2.

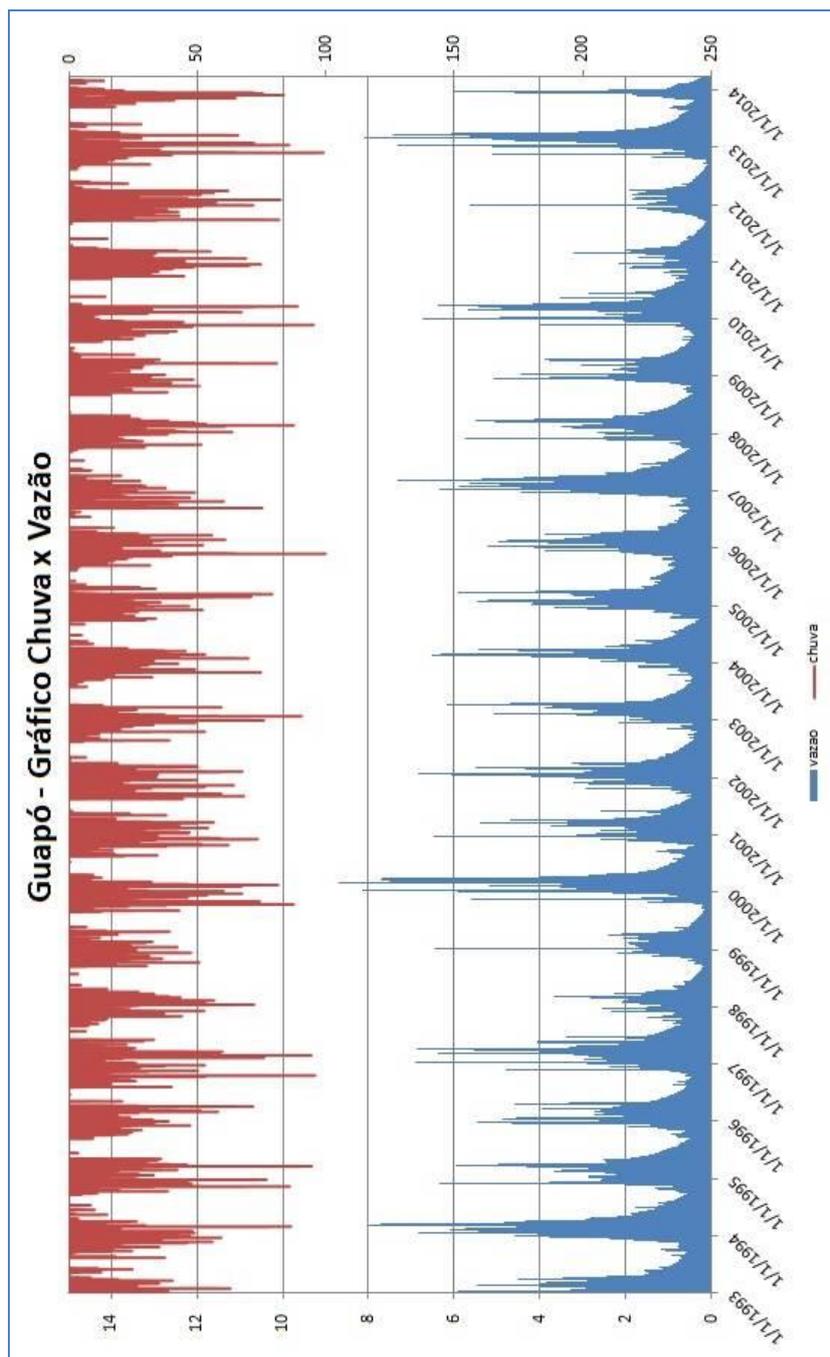


Figura 2 – Relação Chuva x Vazão – Ribeirão da Posse-Guapó

4. Conclusões

Conclui-se que após a calibração com o SWAT, os quatro parâmetros que foram mais sensíveis (mais importante) no modelo foi o Fator de compensação da evaporação do solo (Esco), Capacidade de água disponível (Sol_AWC), Valor da curva-número (Cn2) e Fator alfa do fluxo de base (Alpha_Bf), ou seja, esses parâmetros levam em consideração grupo do solo, cobertura, tipo e estrutura do solo, pois vai influenciar na quantidade de água disponível no mesmo, podendo ser evaporada ou não e até mesmo infiltrar ou ocorrer o retorno do fluxo de base, que é o fluxo de retorno do lençol freático.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Serviço Geológico do Brasil-CPRM e a G3 Geotecnologias pelo apoio e fomento à pesquisa.

Referências Bibliográficas

Arnold, J. G.; Fohrer, N. **SWAT2000: Current capabilities and research opportunities in applied watershed modeling**. Hydrological Processes, v.19, p.563-572, 2005.

Baldissera, G.C. **Aplicabilidade do modelo de simulação hidrológica SWAT (Soil and Water Assessment Tool), para a bacia hidrográfica do Rio Cuiabá/MT**. 2005. 144 p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Mato Grosso, 2005.

Bertoni, J., Lombardi Neto, F. **Conservação do solo**. São Paulo: Ícone, 1990. 355p.

Carvalho Neto, J. G. **Simulação hidrossedimentológica da Bacia do Riacho dos Namorados com o modelo SWAT**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental)-Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. Campina Grande, 2011.

Chaves, H. M. L., Rosa, J. W. C., Vadas, R. G., Oliveira, R. V. T.(2002) “**Regionalização de Vazões Mínimas em Bacias Através de Interpolação em Sistemas de Informações Geográfica**”. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v.7, n. 3, 2002. p. 43-51.

Gassman, P. W. et al. **The Soil and Water Assessment Tool: Historical Development, Applications, and Future Research Directions**. American Society of Agricultural and Biological Engineers. 2007. Vol. 50(4): 1211-1250.

Machado, R. E. **Simulação de Escoamento e de Produção de Sedimentos em uma Micro Bacia Hidrográfica Utilizando Técnicas de Modelagem e Geoprocessamento**. 2002, 150p. Tese de Doutorado – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2002.

Neitsch, S. L.; Arnold, J. G.; Kiniry, J.R.; Williams, J.R. **Soil and water assessment tool - Theoretical documentation version 2005**. Temple: Blackland Research Center, Texas Agricultural Experiment Station. 2005. 541p.

Sammons, N. & Neitsch, S. L. **Until interface for SWAT2000 – User guide**. SERVICE, G.U.A.R.: 14 p. 2000.