

PREDIÇÃO DE VAZÕES EM UMA PEQUENA BACIA HIDROGRÁFICA DO BIOMA CERRADO COM UTILIZAÇÃO DO MODELO SWAT

Flávio Hermínio de Carvalho¹; Marilusa Pinto Coelho Lacerda²; Cícero Lopes da Silva³; Jorge Enoch Furquim Werneck Lima⁴; Aurélio Alves Amaral Chaves⁵; Manuel Pereira de Oliveira Júnior⁶

RESUMO - O modelo hidrológico SWAT (Soil and Water Assessment Tool), desenvolvido para simulações hidrológicas em grandes e complexas bacias, teve seu desempenho avaliado numa pequena bacia hidrográfica de apenas 1.400 hectares, situada em área bem preservada do bioma cerrado, no Distrito Federal. Foram feitas simulações para a estimativa de vazões médias mensais num período de dez anos, utilizando-se três anos para aquecimento do modelo e com utilização de calibração manual. Os resultados obtidos na simulação foram comparados aos dados observados em um posto de monitoramento localizado próximo ao exutório da bacia, onde há um linígrafo em funcionamento desde o ano de 1996. O desempenho do SWAT em simular as vazões desta bacia foi avaliado utilizando-se o Coeficiente de Eficiência de Nash e Sutcliffe (NS). Os resultados mostram que, após a calibração dos parâmetros, o modelo simulou as vazões de forma adequada, exceto nos meses de estiagem severa, em que houve subestimação dos valores.

Palavras-chave: Modelagem hidrológica, SWAT, bacia hidrográfica.

ABSTRACT - The SWAT (Soil and Water Assessment Tool) model, developed for hydrologic simulations in large and complex watersheds, had its performance evaluated in a small watershed of only 1,400 hectares, located in a well-preserved area of Cerrado, in the Federal District, a central area in Brazil. Simulations were made to estimate monthly average stream flow in a period of ten years, using three years of warming period and manual calibration. The simulation results were compared to the observed data at a monitoring station located near the basin's outlet, where a recording stage gauge is in operation since 1996. The performance of SWAT in simulating the flow of the basin was evaluated using the Nash and Sutcliffe Efficiency (NS) coefficient. The results show that after parameter calibration, the model simulated the flow adequately, except in the months of severe drought, where there was an underestimation of the values.

Key words: Hydrologic modeling, SWAT, watershed.

¹ Mestrando da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília. Campus Universitário Darcy Ribeiro, 70910-960, Brasília, DF. flavioherminio@hotmail.com

² Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária – Universidade de Brasília – UnB. Professora Associada. Campus Universitário Darcy Ribeiro, 70910-960, Brasília, DF. marilusa@unb.br

³ Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária – Universidade de Brasília – UnB. Professor Associado. Campus Universitário Darcy Ribeiro, 70910-960, Brasília, DF. cicero@unb.br

⁴ Pesquisador da EMBRAPA Cerrados; BR 020, Km 18, Planaltina, DF, CEP 73301-970. jorge@cpac.embrapa.br

⁵ Doutorando da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília. Campus Universitário Darcy Ribeiro, 70910-960, Brasília, DF. aaa.chaves@hotmail.com

⁶ Doutorando da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília. Campus Universitário Darcy Ribeiro, 70910-960, Brasília, DF. manuelprj@yahoo.com.br

INTRODUÇÃO

O modelo SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*) foi desenvolvido para prever o impacto das alterações no uso, no tipo e no manejo do solo sobre o escoamento superficial e subterrâneo, produção de sedimentos, carga de poluentes e qualidade da água em bacias hidrográficas, em geral, de grande extensão (SRINIVASAN *et al.*, 1998). Opera em passo de tempo diário e é capaz de simular longos períodos de dados. Divide a bacia modelada em sub-bacias e estas em áreas ainda menores, chamadas de Unidades de Resposta Hidrológica (HRUs – *Hydrological Response Units*), unidades espaciais básicas para as quais o modelo gera resultados.

Sua base conceitual exige informações precisas quanto à bacia estudada, requerendo vários dados de entrada que estão relacionados com as características físicas da bacia, tais como informações sobre propriedades do solo, topografia, vegetação e uso e cobertura do solo – além de dados climáticos. Tais especificidades permitem a simulação em bacias sem dados de vazão, erosão e evaporação (NEITSCH, 2005) – mesmo que isto impossibilite a validação dos resultados. A figura 1 abaixo ilustra os dados necessários ao funcionamento do SWAT.

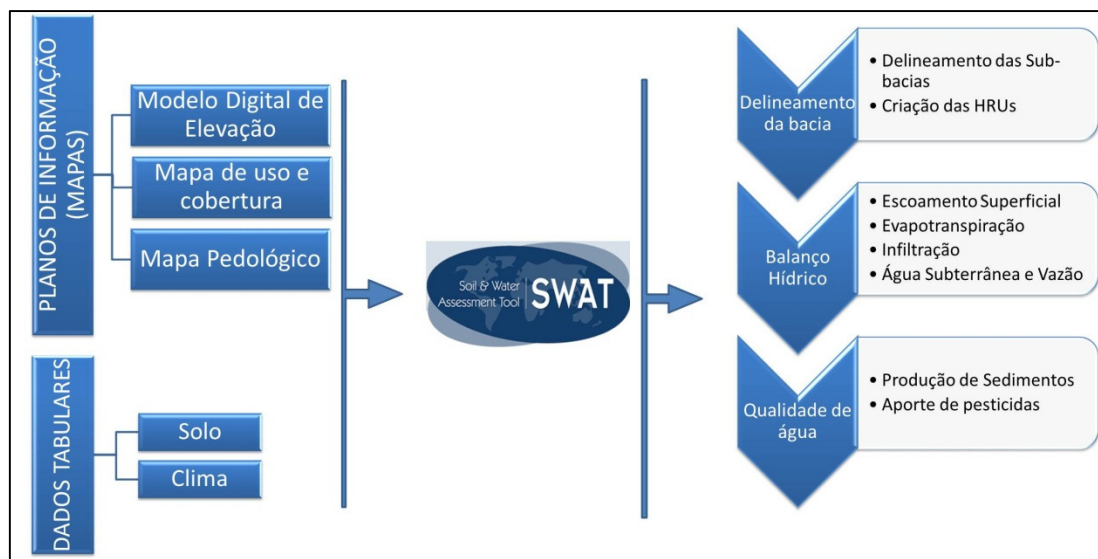


Figura 1 - Dados de entrada no SWAT e resumo de processos.

O SWAT foi desenvolvido para a modelagem de grandes e complexas bacias hidrográficas. No entanto, pesquisadores têm aplicado o modelo em bacias cada vez menores, no intuito de verificar seu comportamento. Seguindo essa tendência, o presente estudo tem como objetivo a análise do desempenho do modelo SWAT na simulação de vazões médias mensais para uma pequena bacia hidrográfica do Planalto Central Brasileiro, pertencente ao bioma Cerrado. Neste estudo foi realizada a calibração do modelo de forma manual e a qualidade dos resultados foi avaliada através de comparação com dados observados, utilizando-se o Coeficiente de Eficiência de Nash e Sutcliffe (NS).

MATERIAIS E MÉTODOS

Para o presente estudo foi utilizado o software ArcSWAT 2012 para ArcGIS 10.1.

Área de estudo e dados de entrada

A área selecionada para esse estudo foi a bacia hidrográfica do Córrego Capetinga, afluente ao Lago Paranoá, Distrito Federal, com uma área de 1.405 ha (Figura 2). Essa bacia está quase toda localizada dentro da Fazenda Água Limpa, de propriedade da Universidade de Brasília (UnB). Seu centro aproximado corresponde a uma latitude de 15°52' S e 47°52' W de longitude. A altitude varia de 1057 a 1200 m, a declividade média é de aproximadamente 3,3%, enquanto a declividade do principal curso d'água é de 1,8%. O coeficiente de compactidade da bacia é de 1,09, indicando que a bacia em estudo é bastante arredondada e, conseqüentemente, propicia a cheias elevadas e de curta duração (SILVA, 2003).

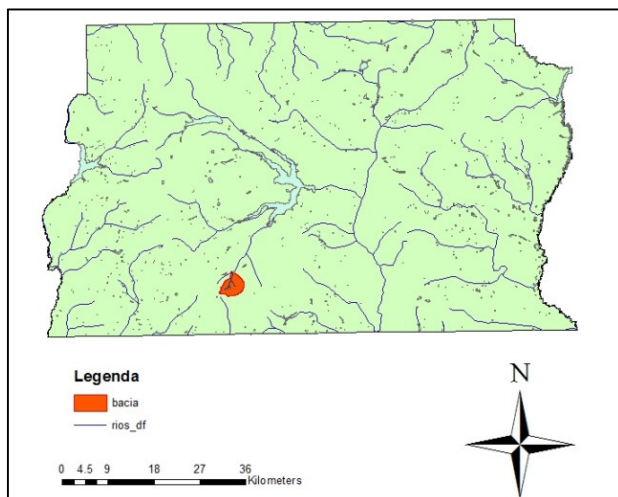


Figura 2 – Localização da bacia do Capetinga (1.405 ha) no Distrito Federal.

O modelo digital de elevação (MDE) foi processado a partir de informações de curvas de nível, hidrografia e pontos cotados, obtidos do Sistema Cartográfico do Distrito Federal – SICAD. O *shape* utilizado possui curvas de nível de 5 em 5 metros.

As informações sobre o uso da terra foram obtidas a partir da classificação de uma imagem multiespectral do satélite SPOT, de 2011, com resolução espacial de 10m. Cinco categorias principais de uso foram identificadas e mapeadas: campo, cerrado, mata de galeria, ocupação urbana e agricultura, em ordem de maior predomínio na área, conforme Figura 3.

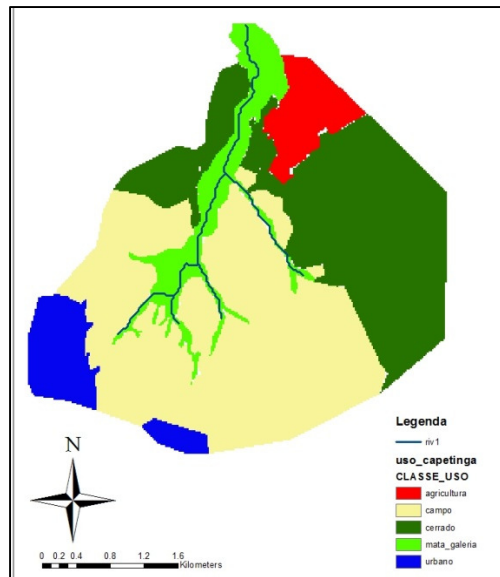


Figura 3 – Uso do solo na Bacia do Capetinga.

O mapa pedológico foi cedido pela Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da UnB. Esse mapa foi gerado através de uma série de coletas de amostras de solo realizadas nos últimos doze anos no âmbito das disciplinas vinculadas às ciências do solo da Universidade. Foi cedido em formato TIFF e, posteriormente, vetorizado. Possui resolução de 10 m.

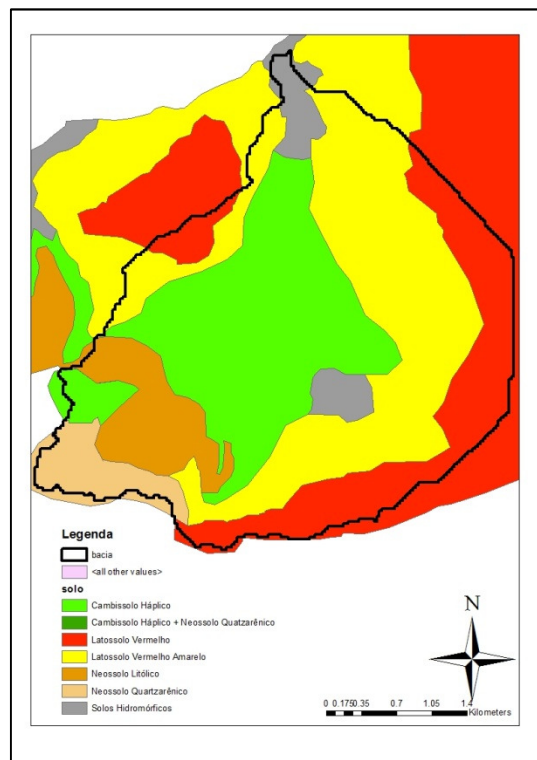


Figura 4 – Mapa Pedológico da Bacia do Capetinga. Fonte: FAV/UnB.

O processo de configuração do mapa pedológico no SWAT é bastante complexo, em função de sua tabela vinculada. Essa tabela contém características de

cada solo, descendo ao nível de cada perfil. Cada característica de cada solo pode ter registros para até 10 camadas, o que torna a tabela bastante extensa e de difícil aquisição no Brasil. Para os solos americanos, já há tabelas prontas no banco de dados do SWAT.

Para o presente trabalho, a maior parte dos dados alimentados nessas tabelas foi retirada do trabalho de Strauch (2012) e complementados com dados disponíveis em levantamentos de campo da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da UnB. O resultado final mostra sete tipos principais de solo na bacia do Capetinga.

Em relação aos dados climáticos exigidos pelo modelo, esses se dividem em dois tipos: dados diários e dados mensais. Os dados diários utilizados foram médias diárias dos seguintes fatores: precipitação, temperatura do ar, velocidade do vento, radiação solar e umidade relativa do ar. A alimentação desses parâmetros no SWAT é opcional, pois o próprio software pode simular os valores a partir dos dados climatológicos mensais, esses sim, obrigatórios. No presente estudo todos os dados diários exigidos foram alimentados com dados medidos.

Esses dados foram obtidos no site “Global Weather Data for SWAT” (<http://globalweather.tamu.edu/>). Trata-se de um serviço provido pelos próprios desenvolvedores do modelo. O site agrega informações de centenas de estações climatológicas localizadas em diversos países e as disponibiliza no formato exigido pelo SWAT, facilitando enormemente as tarefas de preparação de dados. Para a bacia do Capetinga, foram disponibilizadas seis estações climatológicas.

Os dados mensais utilizados pelo modelo são médias (do respectivo mês) referentes a todos os anos simulados. O SWAT utiliza essas informações em seu Gerador Climático para simular cenários hipotéticos e preencher falhas de dados climatológicos diários obtidos das estações. Os parâmetros climatológicos médios foram obtidos da estação meteorológica do Cruzeiro (Brasília), que é operada pelo Instituto Nacional de Meteorologia – INMET. A estação meteorológica do INMET está localizada nas coordenadas 165000 - Latitude e 8250000 – Longitude, com elevação de 1159,54 m.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a modelagem, as vazões simuladas pelo SWAT foram comparadas às observadas na Bacia. Esses dados foram coletados por um linígrafo que está em operação próximo ao exutório da Bacia desde 1996. Utilizou-se um período de três anos para aquecimento do modelo, dessa forma, as simulações foram realizadas para o período compreendido entre 1999 e 2009. A Figura 5 abaixo apresenta os resultados obtidos pelo SWAT na primeira simulação, feita antes de qualquer calibração de parâmetros. A linha azul representa os dados coletados através de medição na bacia.

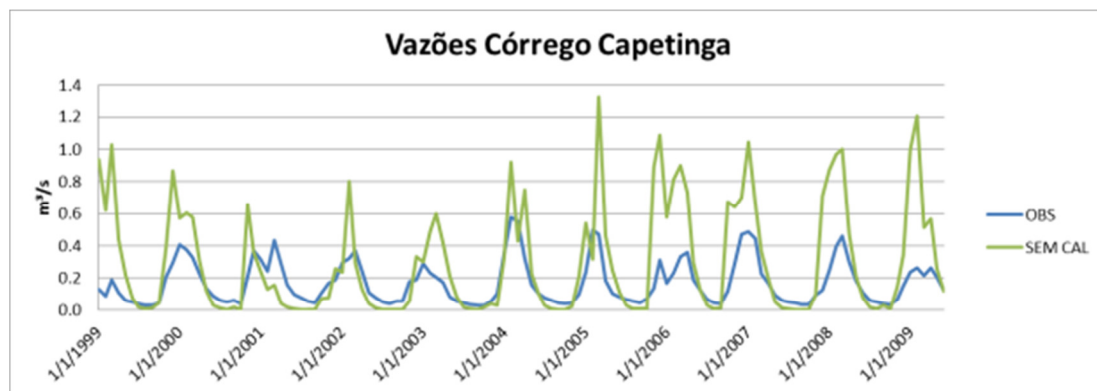


Figura 5: Simulação sem calibração(1999 a 2009). Comparação entre valores simulados e observados. NS = -0,12

Pela análise do gráfico, fica claro que o modelo superestimou os valores de vazão durante os meses chuvosos. Já nos períodos de estiagem, houve menos discrepância, mas, ainda assim, há diferenças marcantes quando os dados são comparados aos valores observados. Nestes períodos observa-se subestimativa de valores por parte do SWAT, chegando-se a valores muito próximos de zero nos meses de estiagem de 2001, 2002 e 2007.

A fim de avaliar a capacidade do modelo em representar a realidade, foi utilizada a função objetivo de Nash e Sutcliffe (NS), que descreve a variância em relação aos dados observados na escala temporal, considerando as diferenças e variâncias dos valores simulados e observados. É um índice muito sensível aos valores extremos devido à segunda potência que o define, mas pouco sensível aos valores perto da média (Legates & McCabe, 1999).

A maior parte dos autores determina que valores de 0,4 ou 0,5 para essa função objetivo já indicariam um desempenho satisfatório do modelo. O valor encontrado para a função objetivo de Nash nesta primeira simulação, feita sem calibração, foi de -0,12, o que indica um desempenho muito ruim do modelo.

A calibração executada neste trabalho foi do tipo manual, precedida de análise de sensibilidade global. Os parâmetros diagnosticados como mais influentes no resultado são os que constam da tabela abaixo. A tabela também informa o valor *default* dos parâmetros no modelo (valores com os quais foi realizada a primeira simulação, sem calibração) e os valores selecionados na melhor calibração realizada neste estudo.

Tabela 1- Parâmetros inseridos na calibração do modelo, com respectivos valores.

PARÂMETRO	VALOR DEFAULT SWAT	VALOR APLICADO NA CALIBRAÇÃO
SURLAG	4	2
GW REVAP	0,02	0,1
ESCO	0,95	0,5
RCH_DP	0,05	0,10
CN2	<i>default</i>	<i>default</i> *0,1
CH_K	0	0
GW_DELAY	31	85

ALPHA_BF	0,048	0,025
CH_N	0,015	0,02
REVAPMN	1	0,85
SOL_AWC	<i>default</i>	6

O resultado final da simulação após a calibração pode ser conferido nos gráficos das Figuras 6 e 7 abaixo. Deve ser ressaltado que a série disponível de vazões (1999 a 2009) foi dividida em duas partes para que os processos de calibração e validação fossem feitos em séries independentes, conforme sugere a literatura sobre o tema.

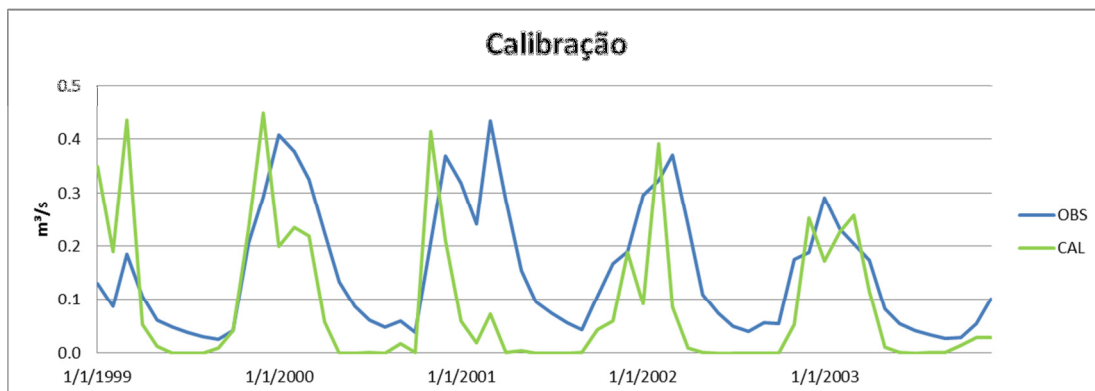


Figura 6 – Calibração do modelo (1999 a 2003). NS = 0,79.

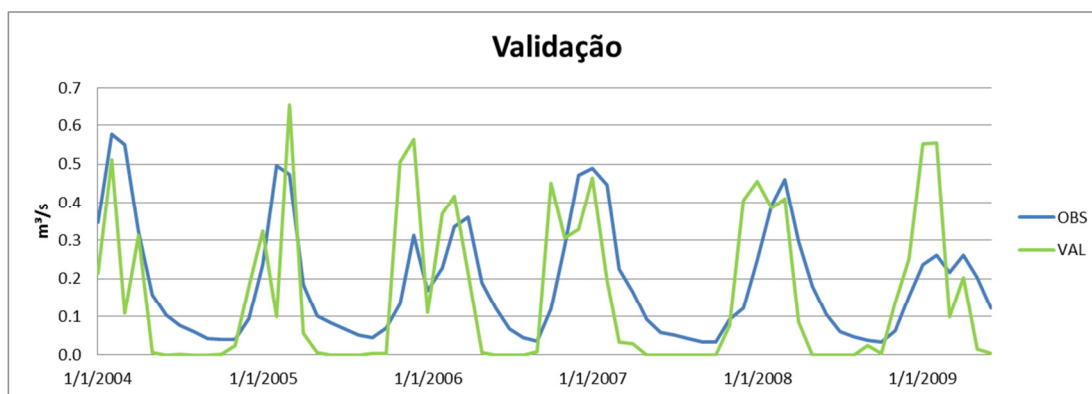


Figura 7 – Validação do modelo (2004 a 2009). NS = 0,67.

Nas etapas de calibração e validação, os valores para a Função objetivo de Nash e Sutcliffe (NS) foram, respectivamente, 0,79 e 0,67. A leitura “fria” dos números mostra uma boa sintonia entre os dados observados e os simulados. No entanto, a análise dos gráficos de vazão expõe alguns sérios problemas na simulação.

Neste estudo, o problema das superestimativas dos valores de pico pode ser melhor percebido na primeira simulação, realizada ainda sem calibração. Deste modo, a etapa de calibração foi orientada, majoritariamente, para a adequação dessas incongruências. Ao analisar o gráfico das vazões após a calibração, é facilmente perceptível que este problema foi minimizado.

O segundo problema se refere à subestimativa das vazões durante os meses de forte estiagem. Este problema, que já era perceptível na primeira simulação, agravou-se nas etapas de calibração e validação, devido ao tipo de calibração, que foi voltada,

majoritariamente, para adequação dos picos. Parâmetros relacionados à água subterrânea como ALPHA_BF, GW_DELAY, GWQMN, GW_REVAP, SHALLST e GWHT, tiveram seus valores alterados, visando sanar este problema, mas o modelo não respondeu adequadamente.

Tanto o problema da tendência à superestimativa dos valores de pico como o da subestimativa de valores nos meses de estiagem têm constantes relatos na literatura.

COSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados deste estudo demonstram que, com utilização apenas de calibração manual, o modelo SWAT estimou de forma razoavelmente adequada os valores de vazão média mensal na bacia estudada, atingindo valores para a Função objetivo de Nash e Sutcliffe (NS) de 0,79 e 0,67 para as etapas de calibração e validação, respectivamente.

No entanto, sérios problemas foram diagnosticados na simulação de eventos de baixas magnitudes, situações nas quais o modelo gerou vazões iguais a zero, num curso d'água que é perene.

Há oportunidades para aprimoramento deste estudo principalmente no que diz respeito aos dados climatológicos e à tabela de solos, além do que, pode-se verificar como o modelo funcionaria com posterior calibração automática de seus parâmetros, ao invés da calibração manual.

REFERÊNCIAS

LEGATES, D. R.; MCCABE, G. J. (1999). Evaluating the use of "goodness of fit" measures in hydrologic and hydroclimatic model validation. *Water Resources Research*, v.26, n.1, p.69-86.

NEITSCH, S.L.; ARNOLD, J.G.; KINIRY, J.R.; WILLIAMS, J.R. (2005). Soil and Water Assessment Tool: Theoretical Documentation, Version 2005. Agricultural Research Service. Texas. 476p.

SILVA, C. L. (2003). Análise estatística das características de vazão do córrego Capetinga. *Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental*, Campina Grande, v. 7, n. 2.

SRINIVASAN, R.; RAMANARAYANAN, T.S.; ARNOLD, J.G.; BEDNARZ, S.T. (1998) Large area hydrologic modeling and assessment Part II: Model Application. *American Water Resources Association*, v.34, n.01, p. 91-101.

STRAUCH, M. ; BERNHOFER, C.; KOIDE, S.; VOLK, M.; LORZ, C.; MAKESHIN, F.(2012). Using precipitation data ensemble for uncertainty analysis in SWAT streamflow simulation. *Journal of Hydrology* 414–415.