



Estimativa de vazões médias por meio do modelo *Soil and Water Assessment Tools* (SWAT) na bacia hidrográfica do rio Jucu

Luana Lavagnoli Moreira¹, Dimaghi Schwambach², Huiner Reis Araújo³

¹Instituto Jones dos Santos Neves/IJSN (lavagnoliluana@gmail.com)

²Universidade Federal de São Paulo/USP (dimaghis@gmail.com)

²Universidade Federal do Espírito Santo/UFES (huiner.huiner@gmail.com)

Resumo

A simulação hidrológica constitui uma importante ferramenta no planejamento e gestão dos recursos hídricos, podendo ser utilizado para estimativa de vazão em áreas com indisponibilidade ou escasso monitoramento. Dessa forma, este trabalho tem como objetivo estimar a vazão média do rio Jucu por meio do modelo *Soil and Water Assessment Tools* (SWAT). Os resultados obtidos por simulação superestimaram as vazões médias aferidas em campo (triplo), ressaltando a necessidade de calibração. Acrescenta-se a importância por maior nível de detalhamento os dados de entrada, considerando características de solos locais, dados geográficos de maior escala disponível e visitas a campo para verificar a veracidade de dados representados em mapas.

Palavras-chave: Modelo hidrológico. Simulação. Recursos hídricos.

Área Temática: Recursos Hídricos.

SWAT-Based stream flow estimation applied to Jucu river basin

Abstract

Hydrological simulation is a powerful tool in the planning and management of water resources, which can be used for stream flow estimation in areas with unavailability or scarce monitoring. The main goal of this work is to estimate the Jucu's mean flow rate through the Soil and Water Assessment Tools (SWAT) model. The results obtained by simulation overestimated the field measurements (triple), emphasizing the requirement for calibration. Additionally, it is important to highlight the relevance of higher level of input data detail and quality, considering characteristics of local soils, geographic data of larger scale available and field visits to verify the accuracy of data represented in maps.

Key words: Hydrologic models. Simulation. Water resources.

Theme Area: Water Resources



1 Introdução

A gestão dos recursos hídricos exige um planejamento técnico dependente de estimativas confiáveis de vazões, bem como de suas distribuições espacial e temporal. Nesse contexto, modelos computacionais vêm sido desenvolvidos e constituem instrumentos técnicos para representar sistemas, processos e fenômenos associados a parâmetros do ciclo hidrológico de uma bacia hidrográfica. Sendo, portanto, alternativas para aquisição de subsídios à dinâmica comportamental, previsão de eventos e impactos ambientais (TUCCI, 1998).

Um grande número de incertezas se associam ao processo de modelagem de vazões, isso devido ao nível de detalhamento dos dados climáticos e fisiográficos inserido da área de estudo. Essas incertezas são pertinentes à distribuição randômica espaço-temporal de dados climáticos, principalmente relacionadas a precipitação, escala espacial de informações pedológicas e de uso e ocupação do solo, deficiência de dados locais medidos de solos, nível de resolução espacial de dados altimétricos, escolha de valores que representem informações fisiográficas da bacia dependendo do método de estimativa de vazões utilizado, entre outras variáveis (MOREIRA, 2017; VAN GRIENSVEN et al., 2006).

A calibração permite um aprimoramento da resposta do modelo em uma bacia hidrográfica quando os dados estimados se ajustam aos dados registrados. Esse resultado depende de uma série de fatores, principalmente de um bom conjunto de dados observados. Um processo importante anterior à calibração é a análise de sensibilidade dos parâmetros, a qual permite identificar os parâmetros que influem significativamente nos dados simulados (VANROLLEGHEM et al., 2015, WAINWRIGHT et al., 2014; VAN GRIENSVEN et al., 2006).

Dentre os modelos hidrológicos, o *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT) tem sido destaque no mundo devido à sua ampla utilização (GASSMAN et al., 2007). O modelo foi desenvolvido afim de simular o comportamento hidrológico, a produção de água e sedimentos, a qualidade da água e contribuição ou perda de nutrientes em função das alterações do uso e ocupação do solo (WU & XU, 2006). Ademais, o SWAT viabiliza a projeção de tendências e decorrências sob alterações climáticas e no uso do solo, assim como a prevenção de efeitos em longos períodos resultante das modificações naturais ou antrópicas no meio ambiente que afetam os recursos hídricos em uma bacia (NEITSCH et al., 2011).

Os principais estudos envolvendo o SWAT estão relacionados à avaliação da qualidade da água, seja com relação aos nutrientes, matéria orgânica, sedimentos, e outros compostos químicos. O processo que antecede esses estudos consiste na estimativa de vazões médias. Portanto, é importante investigar os elementos primitivos envolvidos nessa estimativa e nos procedimentos para obtenção de uma calibração adequada e coerente com determinada região de estudo (MOREIRA, 2017).

Diante do exposto, o presente trabalho visa estimar as vazões médias na bacia hidrográfica do rio Jucu por meio do modelo matemático *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT).

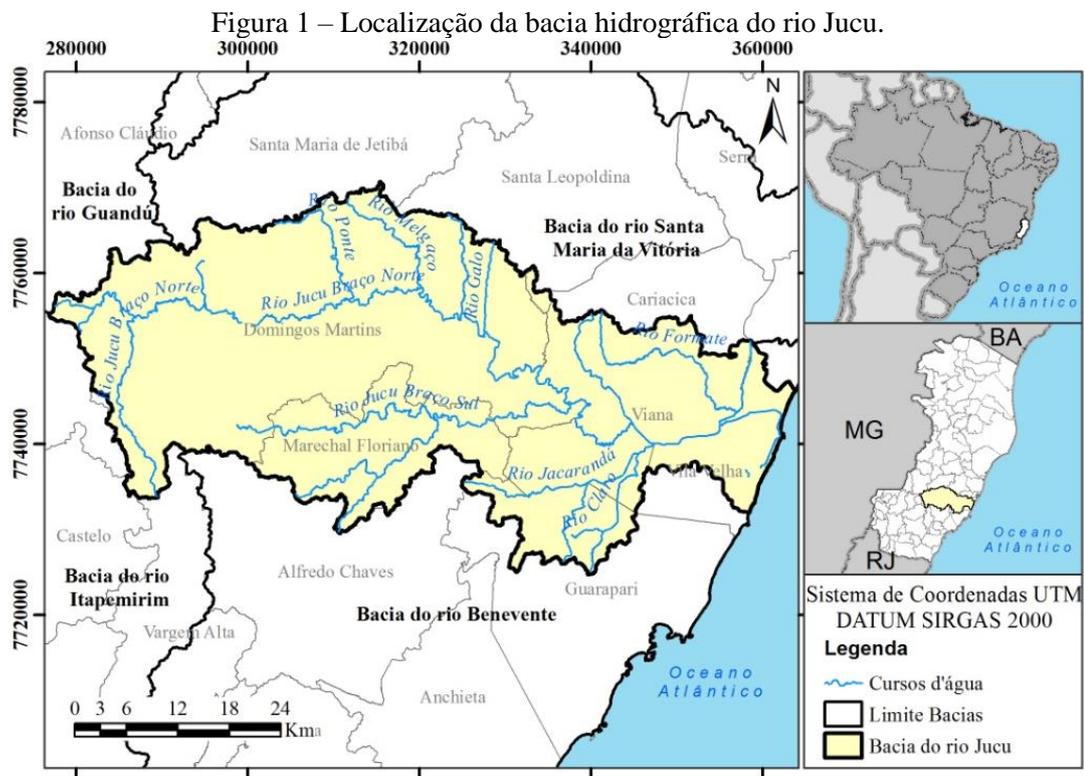
2 Metodologia

2.1 Área de estudo

O estudo foi aplicado para a bacia hidrográfica do rio Jucu, localizada na porção sudeste do estado do Espírito Santo, com área de drenagem de 2.183 km² e abrange os municípios de Domingos Martins, Marechal Floriano, Viana, Vila Velha, Cariacica e Guarapari. A bacia limita-se a norte com a bacia hidrográfica do rio Santa Maria da Vitória, a



leste com Oceano Atlântico, a sul com a bacia do rio Benevente, a sudoeste com a bacia do rio Itapemirim, e a noroeste com a bacia do rio Guandu (Figura 1).



2.2 Modelagem hidrológica no SWAT

O primeiro passo da modelagem no SWAT consistiu no delineamento da bacia hidrográfica, das sub-bacias e da rede de drenagem através de um modelo digital de elevação (MDE) com resolução espacial de 30 metros (Figura 2a), obtido pelo *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer* (ASTER), desenvolvido em outubro de 2011, através de cooperação conjuntado *Ministry of Economy, Trade, and Industry of Japan* (METI) e a *United States National Aeronautics and Space Administration* (NASA).

Posteriormente foram compatibilizados dados fisiográficos de pedologia (Figura 2b), uso e ocupação do solo (Figura 2c) e classes de declividades. As informações pedológicas foram adquiridas pelo levantamento de solo do estado do Espírito Santo de 1978 realizado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). Por sua vez, os dados de uso e ocupação do solo foram obtidos pelo levantamento realizado em 2007 pelo Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IEMA). Então foram definidas as unidades de resposta hidrológica (*hydrologic response units* – HRU).

Os solos encontrados na bacia do rio Jucu correspondem a:

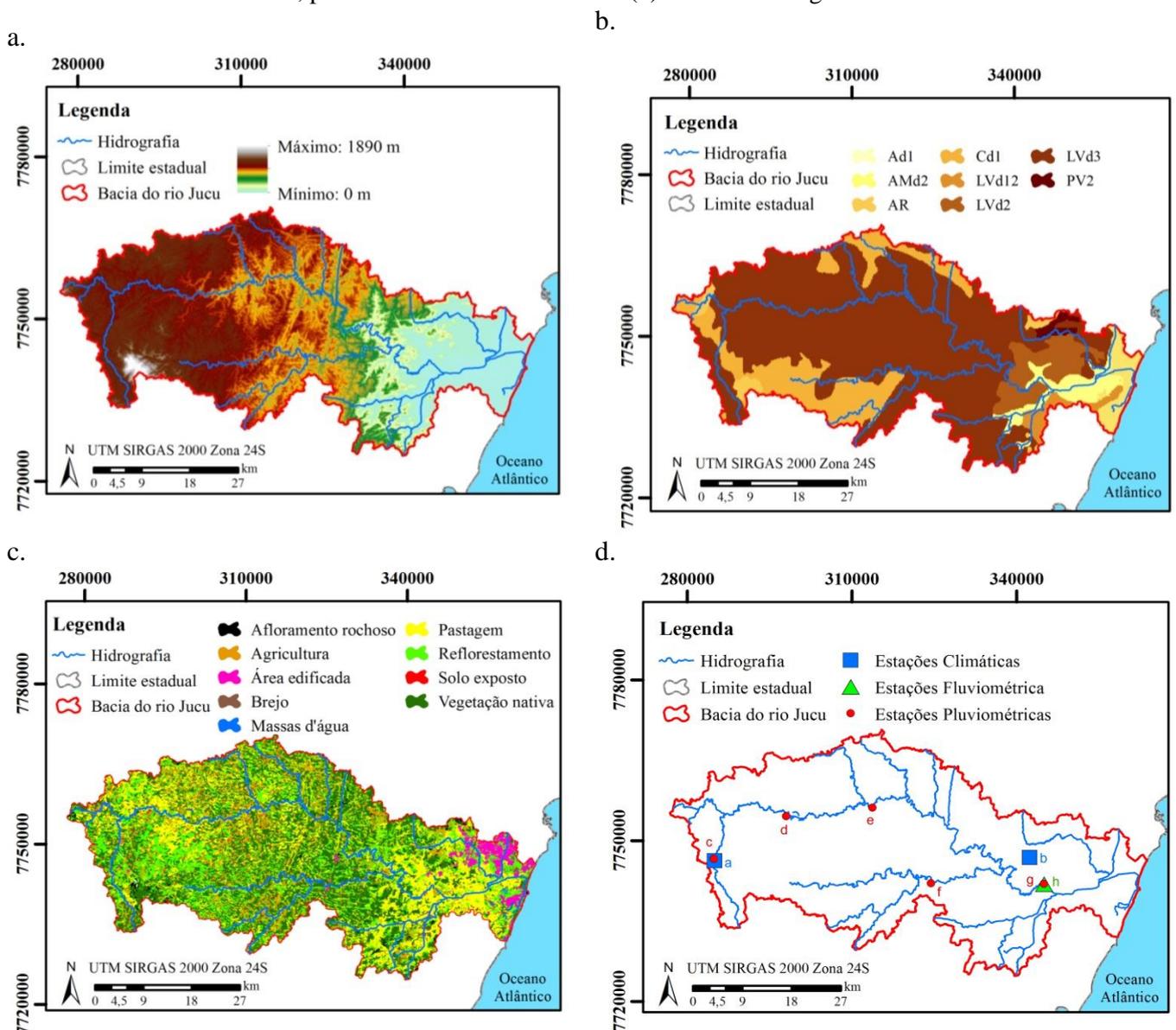
- LVd2: latossolo vermelho amarelo distrófico A moderado textura argilosa relevo forte ondulado;
- LVd3: latossolo vermelho amarelo distrófico A moderado textura argilosa relevo montanhoso e forte ondulado;
- LVd12: latossolo vermelho amarelo distrófico A moderado textura argilosa relevo suave ondulado;
- Cd1: cambissoloháplico distrófico A moderado textura argilosa e média relevo montanhoso e forte ondulado;
- PV2: argissolo vermelho amarelo álico A moderado textura argilosa relevo ondulado;



- Amd2: neossoloquartzarênico distrófico A moderado fase arenosa relevo plano;
- Ad1: neossoloflúvico distrófico A fraco e moderado textura média relevo plano;
- AR: neossololíticoeutrófico A moderado textura média e argilosa relevo escarpado, montanhoso e forte ondulado.

Após definição das HRU, foram inseridos os dados climatológicos de estações de monitoramento climáticas, pluviométricas e fluviométricas localizadas dentro da bacia hidrográfica do estudo (Figura 2d e Quadro 1), disponibilizados pelo setor de hidrometeorologia do Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural e pela Agência Nacional de Águas. Os dados climáticos referem-se à radiação solar (kJ/m^2), à precipitação pluviométrica (mm), às temperaturas máximas e mínimas do ar ($^{\circ}\text{C}$), à umidade relativa do ar (%) e à velocidade do vento (m/s).

Figura 2 – Mapa de altitude (a), pedologia (b), uso e ocupação do solo (c) e localização das estações climáticas, pluviométricas e fluviométrica (d) da bacia hidrográfica do rio Jucu.



A última etapa de processamento no SWAT consistiu na simulação, onde foram definidos o período de aquecimento, o período de simulação, passo de tempo da simulação mensal, e o dado de saída, neste caso a produção de água (série de vazões médias). O período



de aquecimento é necessário, pois há algumas incertezas sobre o estado do sistema, devido ao desconhecimento de todas as suas condições iniciais. Trata-se de uma parcela inicial do tempo de simulação que será excluída do resultado final.

Quadro 1 - Estações climáticas e pluviométricas.

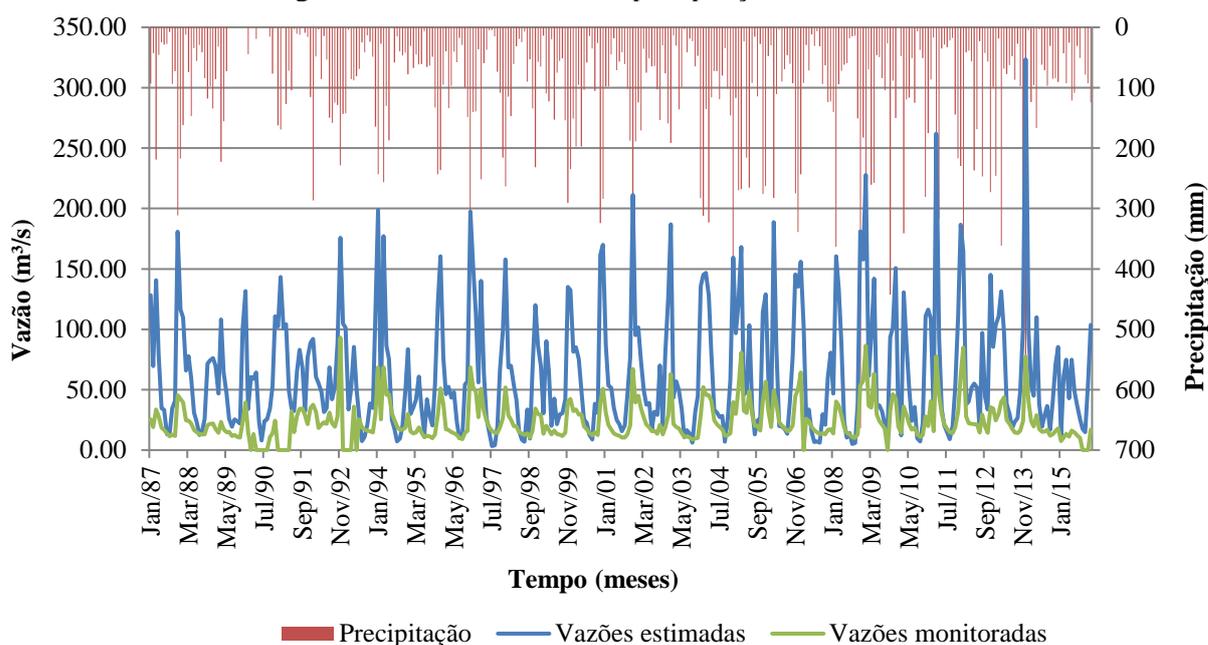
| Tipo | Símbolo | Estação | Código | Operador | Coordenadas* | |
|---------------|---------|-------------------|----------|----------|--------------|-----------|
| | | | | | Latitude | Longitude |
| Climática | a | Domingos Martins | - | INCAPER | 7745121 | 284999 |
| | b | Viana | - | | 7746851 | 342405 |
| Pluviométrica | c | Aracê | 02041020 | ANA | 7718809 | 281119 |
| | d | Marechal Floriano | 02040012 | | 7716039 | 218593 |
| | e | Perobinha | 02040015 | | 7735137 | 260036 |
| | f | Fazenda Jucuruaba | 02040001 | | 7709938 | 310757 |
| | g | Marechal Floriano | 02040012 | | 7716039 | 218593 |
| Fluviométrica | h | Fazenda Jucuruaba | 57230000 | | 7741838 | 344989 |

*UTM SIRGAS 2000 Zona 24S

3 Resultados e discussão

A bacia hidrográfica da região de estudo foi dividida em 147 sub-bacias que geraram um total de 2.341 unidades de respostas hidrológicas, estando a estação fluviométrica Fazenda Jucuruaba localizada na sub-bacia 128. As vazões estimadas para cada sub-bacia utilizam dados da estação climática mais próxima. Na Figura 3 é apresentado o gráfico de precipitações registradas na estação pluviométrica Fazenda Jucuruaba e as vazões estimadas pelo SWAT e monitoradas pela estação fluviométrica Fazenda Jucuruaba da sub-bacia 128.

Figura 3 - Vazões estimadas e precipitações na bacia do rio Jucu.





É possível notar a correspondência entre os dados de precipitações e as vazões estimadas, corroborando a competência do modelo em acompanhar aumentos e reduções de vazões. Porém, as vazões simuladas estão superestimadas quando comparadas com as vazões monitoradas (aproximadamente três vezes maiores para ambas as sub-bacias).

Além da influência dos dados de pluviosidade, a estimativa de vazões por meio do SWAT depende também das características físicas, pedológicas e de manejo do solo da bacia hidrográfica em estudo.

Mais de 75% da bacia hidrográfica do rio Jucu é formada pela classe de solo latossolo vermelho amarelo distrófico A moderado textura argilosa, ocupando a porção média e alta da bacia, como pode ser observado na Figura 2b.

Essa classe de solo é caracterizada por solos profundos, chegando a 45 metros de profundidade e até sete horizontes, o que contribui para um menor escoamento superficial, pois solos pouco profundos saturam-se rapidamente, contribuindo para o escoamento superficial.

Neste tipo de solo, verifica-se que a densidade aparente do solo reduz com aumento da profundidade, indicando que essa classe de solo é mais compacta na superfície e há um aumento na porosidade ao longo da profundidade, quanto mais denso o solo, menor a porosidade. Segundo Prado (2013), a porosidade influi na dinâmica da água no solo representando o volume de espaços vazios entre as partículas. Após a drenagem, a água fica armazenada nos microporos e o ar permanece nos macroporos. Quanto maior a porcentagem de macroporos no solo, maior é sua permeabilidade, contribuindo para infiltração.

O elevado índice de vazões também está relacionado a este tipo de solo que está localizando em uma região montanhosa, como pode ser observado na Figura 2a, favorecendo o processo de geração do deflúvio.

A análise da estimativa de vazões não é suficiente quando apenas um fator é considerado, além da classe pedológica, o manejo de solo constitui um fator relevante na produção de água em uma bacia hidrográfica. Sabe-se que o uso do solo predominante na região de estudo é a mata nativa, cobrindo uma área maior que 40% da bacia hidrográfica do rio Jucu e mais de 20% de área de pastagem. Uma das principais influências da mata nativa no escoamento superficial é o processo de interceptação onde parte da precipitação é temporariamente retida pela massa vegetal e em seguida evaporada para a atmosfera. Desse modo, os picos de vazões são amortecidos.

Um dos parâmetros mais influentes com relação ao uso e ocupação do solo na estimativa de vazões é o CN, parâmetro utilizado pelo método SCS (1972), acoplado ao SWAT, que busca retratar a capacidade de infiltração da área em função do tipo de solo, do uso e ocupação e das condições de umidade de uma área. Muitos estudos na literatura têm apontando que o método SCS tende a superestimar as vazões. Há dificuldades em atribuir valores de CN para a área de estudo, apesar de existirem tabelas disponíveis na literatura, estas não apresentam todas as classes de uso e tipos de solo. Para a aplicação do método, foram realizadas adaptações, procedimentos que podem aumentar os erros na estimativa de vazão.

Fukunaga (2012) obteve vazões estimadas pelo SWAT, para uma série histórica de 3,5 anos da microbacia do córrego Jaqueira, sub-bacia da bacia hidrográfica do rio Itapemirim (a sudoeste da bacia do rio Jucu), muito superiores às vazões observadas.

Guimarães (2016) estimou vazões em três sub-bacias pertencentes à bacia hidrográfica do rio Santa Maria da Vitória para uma série histórica de três anos, localizada ao norte da bacia do rio Jucu, por meio do SWAT. As vazões estimadas em ambas sub-bacias foram superestimadas quando comparadas com as vazões observadas.



4 Conclusão

O SWAT tende a superestimar as vazões médias simuladas, necessitando de calibração. Para melhores resultados na modelagem é importante representar em maior nível de detalhe os dados de entrada com relação à pedologia, ao uso e ocupação do solo, à quantidade de estações climáticas disponíveis, considerando características de solos locais, dados geográficos de maior escala disponível e visitas à campo para verificar a veracidade de dados representados em mapas.

Referências

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA(EMBRAPA). **Levantamento de reconhecimento dos solos do estado do Espírito Santo**. 1978. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/335800/levantamento-de-reconhecimento-dos-solos-do-estado-do-espírito-santo>>. Acesso em: 8 ago. 2016.

FUKUNAGA, D. C. **Estimação de vazão em bacias hidrográficas do sul do Espírito Santo usando o SWAT**, Dissertação de Mestrado em Ciências Florestais, Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro - ES, 2012, 98p.

GASSMAN, P. W.; REYES, M. R.; GREEN C. H.; ARNOLD, J.G. "*The soil and water assessment tool: historical development, applications, and future research directions*". **Transaction of the ASABE**, v.50, 2007, p.1211-1250,.

GUIMARÃES, C. F. **Simulação hidrológica e hidrossedimentológica em uma bacia com reservatórios com o modelo Soil and Water Assessment Tools (SWAT)**, Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória - ES, 2016, 114p.

MOREIRA, L. L. **Análise de sensibilidade de parâmetros e de desempenho do modelo Soil and Water Assessment Tools (SWAT) na estimativa de vazões médias em bacias hidrográficas**, Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória - ES, 2017, 110p.

NEITSCH, S. L.; ARNOLD, J.G.; KINIRY, J.R.; WILLIAMS, J.R. **Soil and Water Assessment Tool- Theoretical Documentation**. Temple: Agricultural Research Service, 2011, 647p.

PRADO, H. do. **Pedologia Fácil**. 4 ed. Piracicaba: Hélio do Prado, 2013.

SOIL CONSERVATION SERVICE (SCS). Section 4: Hydrology. In:_____. **National Engineering Handbook**. U.S. Department of Agriculture, Washington, DC, 1972.

TUCCI, C. E. M. **Modelos hidrológicos**. 2 ed. Porto Alegre: Ed. Universidade; UFRGS; Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1998.

VANROLLEGHEM, P.A.; MANNINA, G.; COSENZA, A.; NEUMANN, M.B. "*Global sensitivity analysis for urban water quality modelling: terminology, convergence and comparison of different methods*". **Journal of Hydrology**, Amsterdam, p.339-352, mar. 2015.



VAN GRIENSVEN, A.; MEIXNER, T.; GRUNWALD, S.; BISHOP, T.; DILUZIO, M.; SRINIVASAN, R. "A global sensitivity analysis tool for the parameters of multi-variable catchment models". **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v.324, n.1/4, p.10-23, jun. 2006.

WAINWRIGHT, H.M.; FINSTERLE, S.; JUNG, Y.J.; ZHOU, Q.L.; BIRKHOEHLER, J.T. "Making sense of global sensitivity analyses". **Computers & Geosciences**, Stanford, v.65p. 84-94, apr. 2014.

WU, K. ; XU, Y.J. "Evaluation of the applicability of the SWAT model for coastal watersheds in southeastern Louisiana". **Journal Of The American Water Resources Association**, Malden, v.42, n. 5, p.1247-1260, out. 2006.