

Gestão de Recursos Hídricos e Sustentabilidade

Luis Miguel Schiebelbein
(Organizador)

Luis Miguel Schiebelbein
(Organizador)

Gestão de Recursos Hídricos e Sustentabilidade

Atena Editora
2018

2018 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Geraldo Alves e Natália Sandrini

Revisão: Os autores

Conselho Editorial

- Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

G393 Gestão de recursos hídricos e sustentabilidade / Organizador Luis Miguel Schiebelbein. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2018.
– (Gestão de Recursos Hídricos e Sustentabilidade; v.1)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-85-7247-024-7

DOI 10.22533/at.ed.247190901

1. Desenvolvimento de recursos hídricos. 2. Política ambiental – Brasil. 3. Sustentabilidade. I. Schiebelbein, Luis Miguel. II. Título. III.Série.

CDD 343.81

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

2018

Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

www.atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

A obra “Gestão de Recursos Hídricos e Sustentabilidade” aborda uma série de artigos e resultados de pesquisa, em seu Volume I, contemplando em seus 21 capítulos, os novos conhecimentos científicos e tecnológicos para as áreas em questão.

Estrategicamente agrupados na grande área temática de GESTÃO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS, ne nas seções de Meteorologia, Modelagem, Conceitos Aplicados & Estudos de Caso, traz à tona informações de extrema relevância para a área dos Recursos Hídricos, assim como da Sustentabilidade.

Os capítulos buscam de maneira complementar, abordar as diferentes áreas além de concentrar informações envolvendo não só os resultados aplicados, mas também as metodologias propostas para cada tipo de estudo realizado.

Pela grande diversidade de locais e instituições envolvidas, na realização das pesquisas ora publicadas, apresenta uma grande abrangência de condições e permite, dessa forma, que se conheça um pouco mais do que se tem de mais recente nas diferentes áreas de abordagem.

A todos os pesquisadores envolvidos, autores dos capítulos inclusos neste Volume I, e, pela qualidade e relevância de suas pesquisas e de seus resultados, os agradecimentos do Organizador e da Atena Editora.

Ressalta-se ainda e indica-se a consulta ao Volume II, o qual aborda as grandes áreas temáticas de QUALIDADE DA ÁGUA, RECURSOS HÍDRICOS NO ABASTECIMENTO, UTILIZAÇÃO AGRÍCOLA DOS RECURSOS HÍDRICOS & SUSTENTABILIDADE.

Complementarmente, espera-se que esta obra possa ser de grande valia para aqueles que buscam ampliar seus conhecimentos nessa magnífica área da Gestão de Recursos Hídricos, associada à Sustentabilidade. Que este seja não só um material de apoio, mas um material base para o estímulo a novas pesquisas e a conquista de resultados inovadores.

Luis Miguel Schiebelbein

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
A FLORESTA E A DINÂMICA HIDROLÓGICA DE NASCENTES	
Jéssica Fernandez Metedieri	
Mariana Santos Leal	
Kelly Cristina Tonello	
DOI 10.22533/at.ed.2471909011	
CAPÍTULO 2	17
REQUALIFICAÇÃO FLUVIAL: CONCEITOS E CASOS DE ESTUDO	
Aline Pires Veról	
Bruna Peres Battemarco	
Matheus Martins de Sousa	
Marcelo Gomes Miguez	
DOI 10.22533/at.ed.2471909012	
CAPÍTULO 3	34
ANÁLISE DA VARIABILIDADE TEMPORAL DE BASE NA PROPAGAÇÃO DA ONDA DIFUSA EM UM RIO	
Maria Patricia Sales Castro	
Patrícia Freire Chagas	
Karyna Oliveira Chaves de Lucena	
Raimundo Oliveira de Souza	
DOI 10.22533/at.ed.2471909013	
CAPÍTULO 4	43
PLANO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL PARA OS ASSENTAMENTOS DOS MUNICÍPIOS DE DELMIRO GOUVEIA E ÁGUA BRANCA NA ÁREA DE INFLUÊNCIA DO CANAL DO SERTÃO ALAGOANO	
Eduardo Jorge de Oliveira Motta	
DOI 10.22533/at.ed.2471909014	
CAPÍTULO 5	53
ZONEAMENTO DE ÁREAS DE RESTRIÇÃO E CONTROLE RELEVANTES PARA A CONSERVAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS: UMA PROPOSTA METODOLÓGICA APLICADA À BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO VELOSO (SUB-BACIA DO RIO PARAPEBA), MINAS GERAIS, BRASIL	
Joselaine Aparecida Ribeiro	
Thiago Vieira da Silva Matos	
Antônio Pereira Magalhães Júnior	
DOI 10.22533/at.ed.2471909015	
CAPÍTULO 6	65
PROJETO DA PAISAGEM NOS SISTEMAS DE DRENAGEM URBANA - CASO DA BACIA DO RIO JOANA	
Isadora Tebaldi	
Ianic Bigate Lourenço	
Aline Pires Veról	
Marcelo Gomes Miguez	
DOI 10.22533/at.ed.2471909016	

CAPÍTULO 7	82
GESTÃO DA DRENAGEM URBANA EM MUNICÍPIOS DE PEQUENO PORTE: ESTUDO DE CASO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITAJAÍ AÇU	
<ul style="list-style-type: none"> Fabiane Andressa Tasca Roberto Fabris Goerl Jakcemara Caprário Aline Schuck Rech Alexandra Rodrigues Finotti 	
DOI 10.22533/at.ed.2471909017	
CAPÍTULO 8	92
ANÁLISE AMBIENTAL DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DO ESPAÇO URBANO DE CAMPO GRANDE/MS	
<ul style="list-style-type: none"> Eva Faustino da Fonseca de Moura Barbosa 	
DOI 10.22533/at.ed.2471909018	
CAPÍTULO 9	108
APLICAÇÃO DO MÉTODO SIMPLIFICADO A BARRAGENS DO ESTADO DE MINAS GERAIS	
<ul style="list-style-type: none"> Carlos Eugenio Pereira Maria Teresa Viseu Marcio Ricardo Salla Kevin Reiny Rocha Mota 	
DOI 10.22533/at.ed.2471909019	
CAPÍTULO 10	117
INFLUÊNCIA PLUVIOMÉTRICA NA SUSCETIBILIDADE A MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS NO MUNICÍPIO DE IPOJUCA - PE	
<ul style="list-style-type: none"> Fernanda Soares de Miranda Torres Enjôlras de Albuquerque Medeiros Lima Margarida Regueira da Costa Alexandre Luiz Souza Borba Pedro Augusto dos Santos Pfaltzgraff Roberto Quental Coutinho 	
DOI 10.22533/at.ed.24719090110	
CAPÍTULO 11	125
CARACTERIZAÇÃO ESTRUTURAL DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DOS AQUÍFEROS JUROCRETÁCEOS DO OESTE DO RIO GRANDE DO SUL	
<ul style="list-style-type: none"> Guilherme Vargas Teixeira Antonio Pedro Viero Romelito Regginato 	
DOI 10.22533/at.ed.24719090111	
CAPÍTULO 12	134
AVALIAÇÃO DA EFETIVIDADE DOS INSTRUMENTOS DE GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS NO ESTADO DO TOCANTINS	
<ul style="list-style-type: none"> Fernán Enrique Vergara Viviane Basso Chiesa Cecília Amélia Miranda Costa 	
DOI 10.22533/at.ed.24719090112	

CAPÍTULO 13 143

ATENUAÇÃO DE ONDAS EM MARGENS DE RESERVATÓRIOS DE BARRAGENS PELA PRESENÇA DE VEGETAÇÃO NO FUNDO – ANÁLISE NUMÉRICA ATRAVÉS DO MODELO SWAN-VEG

Adriana Silveira Vieira
Germano de Oliveira Mattosinho
Geraldo de Freitas Maciel

DOI 10.22533/at.ed.24719090113

CAPÍTULO 14 153

MODELO DE FRAGILIDADES AMBIENTAIS COMO INSTRUMENTO DE TOMADA DE DECISÃO PARA CONTROLE DE CHEIAS NA ÁREA URBANA DE ITAQUI-RS

Francisco Lorenzini Neto
Marcelo Jorge de Oliveira
Nájila Souza da Rocha
Raul Todeschini
Rafael Cabral Cruz

DOI 10.22533/at.ed.24719090114

CAPÍTULO 15 163

PREVISÃO DE VAZÃO DE CHEIA EM UM TRECHO DA BACIA DO RIO POTENGI

Patrícia Freire Chagas
Maria Patricia Sales Castro
Fernando José Araújo da Silva
Mário Ângelo Nunes de Azevedo Filho
Raimundo Oliveira de Souza

DOI 10.22533/at.ed.24719090115

CAPÍTULO 16 173

SENSIBILIDADE DOS PARÂMETROS HIDROSEDIMENTOLÓGICOS DO MODELO SWAT EM UMA BACIA NA AMAZÔNIA OCIDENTAL: BACIA DO RIO MACHADINHO/RO

Vinicius Alexandre Sikora de Souza
Marcos Leandro Alves Nunes
Otto Corrêa Rotunno Filho
Claudia Daza Andrade
Vitor Paiva Alcoforado Rebello

DOI 10.22533/at.ed.24719090116

CAPÍTULO 17 183

ABASTECIMENTO HUMANO DE ÁGUA EM COMUNIDADES RURAIS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CEARÁ MIRIM RN

Vera Lucia Rodrigues Cirilo
João Abner Guimarães Junior
Lara Luana Cirilo Silva
Priscila Gosson Cavalcanti

DOI 10.22533/at.ed.24719090117

CAPÍTULO 18	191
ELABORAÇÃO DE CONSISTÊNCIA DE DADOS PLUVIOMÉTRICOS: ESTUDO DE CASO DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA AUTOMÁTICA DE TUCURUÍ- PARÁ	
Alcione Batista da Silva	
Laysse Alves Ferreira	
Lucas Rodrigues do Nascimento	
Andressa Magalhães Gonçalves	
Rafael Oliveira da Silva	
DOI 10.22533/at.ed.24719090118	
CAPÍTULO 19	200
ANÁLISE DO IMPACTO DO USO DE DADOS DIÁRIOS OU MÉDIAS CLIMATOLÓGICAS NA SIMULAÇÃO HIDROLÓGICA COM O MODELO MGB-IPH	
Bibiana Rodrigues Colossi	
Daniela Santini Adamatti	
Fernando Mainardi Fan	
Paulo Rógenes Monteiro Pontes	
DOI 10.22533/at.ed.24719090119	
CAPÍTULO 20	211
MÉTODOS NUMÉRICOS E INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL APLICADOS À DETECÇÃO DE ANOMALIAS EM DADOS HIDROLÓGICOS	
Alana Renata Ribeiro	
Mariana Kleina	
DOI 10.22533/at.ed.24719090120	
CAPÍTULO 21	220
CONCEPÇÃO SISTÊMICA PARA SOLUÇÕES DE CONTROLE DE CHEIAS URBANAS EM VILA VELHA, ES	
Paulo Canedo de Magalhães	
Matheus Martins de Sousa	
Antonio Krishnamurti Beleño de Oliveira	
Osvaldo Moura Rezende	
Victor Augusto Almeida Fernandes de Souza	
Marcelo Gomes Miguez	
DOI 10.22533/at.ed.24719090121	
SOBRE O ORGANIZADOR	236

SENSIBILIDADE DOS PARÂMETROS HIDROSSEDIMENTOLÓGICOS DO MODELO SWAT EM UMA BACIA NA AMAZÔNIA OCIDENTAL: BACIA DO RIO MACHADINHO/RO

Vinicius Alexandre Sikora de Souza

Universidade Federal do Rio de Janeiro
Rio de Janeiro – Rio de Janeiro

Marcos Leandro Alves Nunes

Universidade Federal do Rio de Janeiro
Rio de Janeiro – Rio de Janeiro

Otto Corrêa Rotunno Filho

Laboratório de Recursos Hídricos e Meio Ambiente (LABH2O), Programa de Engenharia Civil, Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Campus Ilha do Fundão – Cidade Universitária, Caixa Postal 68540, CEP 21.945-970 – Rio de Janeiro - RJ, Brasil

Claudia Daza Andrade

Universidade Federal do Rio de Janeiro
Rio de Janeiro – Rio de Janeiro

Vitor Paiva Alcoforado Rebelo

Universidade Federal do Rio de Janeiro
Rio de Janeiro – Rio de Janeiro

RESUMO: Este trabalho realiza uma análise de sensibilidade dos parâmetros do modelo SWAT para buscar um conjunto ótimo para o qual o modelo mostre desempenho mais robusto em relação à produção de vazão e de sedimentos para a bacia do rio Machadinho– RO. Inicialmente, foi construído um banco de dados composto por informações de clima, topografia,

uso e classificação do solo a partir do uso de plataformas orbitais, simulando-se, então, o comportamento hidrológico da bacia no período de 1995 a 2000. Posteriormente, empregou-se o método LH-OAT para ordenar, do parâmetro mais sensível para o de menor sensibilidade, os 32 parâmetros que influenciam a geração de vazão e sedimentos no SWAT. De forma geral, a sensibilidade observada para os parâmetros do modelo empregado nesta pesquisa foi similar a de outros estudos conduzidos no território brasileiro, sendo que os dois maiores valores de sensibilidade, no tocante à vazão, foram atribuídos para *Gwqmn* e *SoI_Awc*, relacionados com os escoamentos nas zonas não saturada e saturada do solo enquanto, para os sedimentos, o *SWAT* aplicado na bacia mostrou-se mais sensível para os parâmetros *Cn2* e *Surlag*, associados com o escoamento superficial e capacidade de infiltração no solo.

PALAVRAS-CHAVE: Modelagem hidrossedimentológica; Amazônia Ocidental; SWAT.

ABSTRACT: This work performs a sensitivity analysis of the SWAT model parameters to find an optimal set for which the model proves more robust for the production of flow and sediment in the Machadinho river watershed in Rondônia. Initially, a database was built, including climate information, topography,

land use and soil classification retrieved from orbital platforms, what allowed then to simulate the hydrological behavior of the watershed from 1995 to 2000. In the next step, we used the LH-OAT method to rank from the most sensitive parameter to the one with the lowest sensitivity, the 32 parameters that influence the generation of flow and sediment in SWAT. In general, the sensitivity observed for the model parameters in this research work was similar to the results presented in other studies developed in Brazil, highlighting that the two highest sensitivity values to flow were related to Gwqmn and Sol_Awc, both corresponding to the flow in the vadoze zone and in the saturated zone, while for the sediment component, the SWAT model applied to the studied basis revealed to be more sensitive to CN2 and Surlag, both associated to the surface flow and soil infiltration capacity.

KEYWORDS: Hydrossedimentological modeling; Western Amazon; SWAT.

1 | INTRODUÇÃO

A bacia do rio Machadinho – RO, localizada numa região de intensa antropização ocorrida nas últimas décadas, sofreu a conversão de extensas áreas de florestas em campos destinados às atividades agropastoris, que ocasionaram consideráveis impactos nos corpos hídricos. Tais ações impactaram áreas de grande importância, como as regiões ripárias, que são notadamente consideradas áreas de proteção permanente na legislação ambiental do Brasil. Os principais passivos ambientais são observados com a intensificação dos processos erosivos, assoreamento de cursos de água e degradação da qualidade dos solos e das águas.

Assim, nessa área, construir ferramentas e procedimentos de análise hídrico-ambiental como subsídio à gestão da bacia hidrográfica é muito importante, uma vez que possibilita melhor aproveitamento dos recursos naturais e de sua preservação. Arnold e Srinivasan (1995), por exemplo, apontam o uso da modelagem hidrossedimentológica como ferramenta para o desenvolvimento de uma adequada gestão da bacia hidrográfica.

Nesses termos, o modelo hidrológico *Soil and Water Assessment Tool (SWAT)* destaca-se no cenário internacional e nacional, pois foi desenvolvido para prever e prever como diferentes formas de manejo de uma bacia agrícola influenciam a qualidade da água, a produção de sedimentos e o carreamento de cargas de poluentes. Em uma amostra de 90 publicações revisadas por Souza (2015), vislumbrou-se que o modelo *SWAT* apresenta resultados relevantes para as várias configurações de bacias das regiões brasileiras, e que esse modelo apresenta crescente aplicação ao longo dos últimos anos, embora ainda sejam bastante limitados os estudos conduzidos na região norte e nordeste do país.

Por outro lado, o uso do modelo SWAT pode tornar-se oneroso devido ao alto número de parâmetros que possui para calibração, notando-se que a superfície de resposta por ele produzida revela diferenças em termos de sensibilidade para

esse conjunto diverso de parâmetros. Diante desse referencial, o presente trabalho objetiva buscar definir um grupo reduzido de parâmetros para o qual o modelo é mais sensível por meio da aplicação de uma rotina de análise de sensibilidade automática dos parâmetros com o uso do algoritmo LH-OAT para avaliar os correspondentes efeitos na simulação de escoamento e aporte de sedimentos na bacia do Machadoinho.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Área de Estudo

Abacia hidrográfica do rio Machadoinho (Figura 1) encontra-se inserida totalmente no estado de Rondônia e integra o grupo das principais bacias do estado. Essa bacia localiza-se na Amazônia Ocidental, entre os paralelos de 09° 01' e 10° 12' de latitude sul e meridianos de 61° 39' e 62° 49' de longitude oeste. Ela se encontra na porção centro-leste de Rondônia, abrangendo uma área com extensão de 5.485,41 km², a qual está inserida no domínio de quatro municípios, sendo eles Machadoinho d'Oeste, Vale do Anari, Ariquemes e Theobroma.

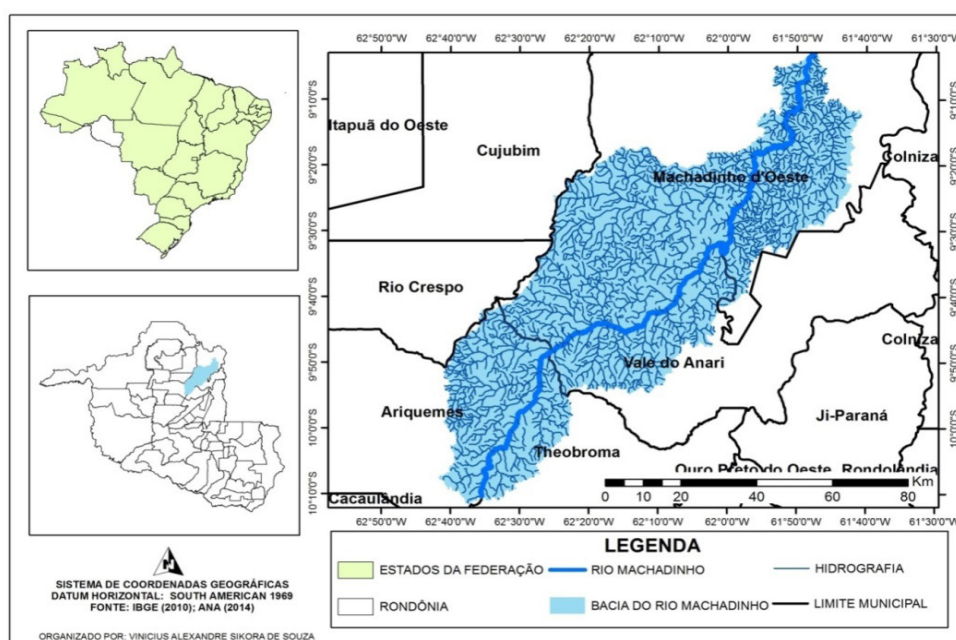


Figura 1. Mapa de localização da bacia hidrográfica do rio Machadoinho

2.2 Simulação SWAT

O registro temporal simulado para o rio Machadoinho abrangeu os anos de 1995 a 2000, sendo utilizado, como período de aquecimento do modelo, o ano de 1995, excluindo-o, então, dos passos seguintes de calibração e validação da

vazão, que foram executados, respectivamente, para os intervalos de 1996 a 1998 e 1999 a 2000. Todavia os dados de sedimentos, por comporem uma série histórica com poucos dados, foram submetidos unicamente ao processo de calibração, visto que não existem dados para avaliar o modelo no período de validação proposto de análise.

O modelo *SWAT* foi utilizado com suporte do código computacional ArcGIS ArcSWAT 9.3.3. Para a realização da simulação, o sistema foi alimentado pelos seguintes dados de entrada: modelo digital de elevação hidrologicamente consistente (MDEHC); solos; uso/manejo do solo; delimitação da bacia hidrográfica; e dados climáticos.

O modelo digital da bacia hidrográfica do rio Machadinho foi gerado através de imagens *ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer)* com resolução de 30 metros na versão 2, disponíveis no sítio da *National Aeronautics and Space Administration (NASA)*, sendo que as imagens são do ano de 2011.

O *SWAT* requer uma série de dados acerca das características físicas dos solos para poder realizar as simulações hidrológicas, sendo que os mesmos foram obtidos nos estudos de ZSEE (2007) e Baldissera (2005).

Na configuração do mapa de uso e ocupação do solo da bacia do rio Machadinho, utilizaram-se imagens de 1997 do satélite Landsat5-TM, fornecidas pela U.S. *Geological Survey Global Visualization Viewer (USGS Glovis)* com o objetivo de identificar e quantificar as diferentes classes de uso da terra encontradas na área da pesquisa

O delineamento da área na bacia do rio Machadinho foi realizado mediante o correspondente MDEHC para a divisão das suas sub-bacias. Procede-se automaticamente pelo acionamento do modelo *SWAT* nos pontos de confluência de linha de água, que delimitam, então, as sub-bacias a partir do MDEHC e da malha hidrográfica.

Segundo a mesma diretriz, os dados climatológicos foram obtidos para o período temporal analisado. Para aplicação do modelo *SWAT*, como expresso anteriormente, são necessários dados climatológicos diários e mensais. As séries históricas diárias necessárias são para a precipitação (mm), temperatura máxima e mínima (°C), radiação solar ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$), umidade relativa (%) e velocidade do vento (m.s^{-1}). Tais séries diárias foram obtidas por meio da mesma base de dados e metodologia utilizada por Vu *et al.* (2011).

Essa metodologia consiste na criação de estações virtuais para o aferimento de dados provenientes do *Global Precipitation Climatology Project (GPCP)*. De forma simples, tal método consiste em espacializar pontos nas junções de píxeis das imagens adquiridas em tal banco de dados. Cabe destacar que o GPCP é uma estimativa global climatológica completa, que abrange um período histórico de 1979 até os dias atuais, sendo a sua resolução de superfície espacial de 2,5° de latitude

por 2,5° de longitude, levando à adoção, neste trabalho, do distanciamento espacial entre estações virtuais de 2,5°.

2.3 Análise de sensibilidade

Na análise de sensibilidade, foi empregado o método LH-OAT (GRIENSVEN *et al.*, 2005), que se encontra disponível como ferramenta no próprio SWAT, para identificar os parâmetros mais significativos na modelagem. Essa análise foi realizada a fim de buscar compreender melhor o sistema modelado, podendo, assim, identificar quais parâmetros de entrada apresentam maior efeito sobre as respostas do modelo e, de certa forma, indicando quais parâmetros merecem maior atenção no processo de calibração.

Griensven *et al.* (2006) ressaltam que o LH-OAT combina a robustez da amostragem *Latin-Hypercube* (LH), baseada no método estatístico de simulação estocástica Monte Carlo, que garante que a gama completa dos parâmetros foram sujeitas a amostragem, com a precisão de um esquema (*design*) *One-factor-At-a-Time* (OAT), o qual é um método de integração de sensibilidade do local para o global, no qual, em cada simulação, somente um fator é mudado por vez, assegurando, assim, que as alterações na saída de cada execução do modelo podem ser atribuídas ao parâmetro que foi alterado sem haver ambigüidades.

Na Tabela 1, encontram-se exibidos os parâmetros utilizados no processo, juntamente com os métodos utilizados (substituição direta, adição e multiplicação), além do intervalo ao longo do qual esses parâmetros sofreram alterações.

Parâmetro	Sigla	Limite		Método
		Inferior	Superior	
Constante de recessão do escoamento de base (dias)	Alpha_Bf	0	1	Substituição
Eficiência do revolvimento biológico (mm)	Biomix	0	1	Substituição
Índice do potencial máximo de área foliar	Blai	0	1	Substituição
Armazenamento máximo do dossel (mm H ₂ O)	Canmx	0	10	Substituição
Fator de cobertura do canal	Ch_Cov	0	1	Substituição
Fator de erodibilidade do canal	Ch_Erod	0	1	Substituição
Condutividade hidráulica efetiva em aluvião do canal principal	Ch_K2	0	150	Substituição
Valor de Manning “n” para o canal principal	Ch_N2	0	1	Substituição
Curva número para a condição II	Cn2	-25	25	Multiplicação
Fator de compensação de água pelas plantas	Epc0	0	1	Substituição
Fator de compensação de evaporação do solo	Esco	0	1	Substituição
Tempo de retardo da água subterrânea	Gw_Delay	-10	10	Adição
Coeficiente “revap” de água subterrânea	Gw_Revap	-0,04	0,04	Adição

Parâmetro	Sigla	Limite		Método
		Inferior	Superior	
Limite entre a profundidade de água em aquífero raso e a superfície (mm H ₂ O)	Gwqmn	-1000	1000	Adição
Profundidade em aquífero profundo para que haja “revap”	Revapmn	-100	100	Adição
Temperatura de queda da neve	Sftmp	0	5	Substituição
Declividade média (m.m ⁻¹)	Slope	-25	25	Multiplicação
Comprimento da declividade média (m)	Sbsubsn	-25	25	Multiplicação
Taxa mínima para derreter a neve durante o ano.	Smfmn	0	10	Substituição
Taxa máxima de fusão de neve durante o ano.	Smfmx	0	10	Substituição
Derretimento da neve temperatura base.	Smtmp	-25	25	Multiplicação
Albedo do solo úmido	Sol_Alb	-25	25	Multiplicação
Capacidade de água disponível (mm.h ⁻¹)	Sol_Awc	-25	25	Multiplicação
Condutividade hidráulica saturada (mm.h ⁻¹)	Sol_K	-25	25	Multiplicação
Profundidade da camada de solo (mm)	Sol_Z	-25	25	Multiplicação
Parâmetro linear para o cálculo da quantidade máxima de sedimentos.	Spcon	0,00	0,01	Substituição
Parâmetro expoente para o cálculo do sedimento reintroduzido nos canais	Spexp	1	2	Substituição
Coefficiente de retardo do escoamento superficial (dias)	Surlag	0	10	Substituição
Fator defasagem de temperatura da neve	Timp	0	1	Substituição
Taxa de lapso de temperatura.	Tlaps	0	50	Substituição
Valor mínimo do fator C da USLE aplicável à cobertura do solo / planta.	Usle_C	-25	25	Multiplicação
Fator de apoio USLE	Usle_P	0	1	Substituição

Tabela 1 – Parâmetros utilizados na análise de sensibilidade.

Nesta fase, foram efetuadas 1000 simulações do modelo, com intervalos de 50 para o *Latin hypercube*, sendo alterado na proporção de 0,05 o valor de cada parâmetro, em cada ponto dentro de cada intervalo *Latin hypercube* sorteado, um por vez, de acordo com o método OAT. Cabe destacar que a função objetivo escolhida para o ordenamento dos parâmetros mais sensíveis foi a soma dos quadrados dos resíduos ordenada, sendo que foi levada em conta a comparação dos valores médios simulados com os dados observados.

3 | RESULTADOS

Todos os parâmetros para o qual o modelo mostrou-se sensível, ou seja, apresentou maior variabilidade segundo a metodologia LH-OAT, estão contidos na Tabela 2.

Parâmetro	Sigla	Ordem	
		Vazão	Sedimentos
Constante de recessão do escoamento de base (dias)	Alpha_Bf	18	15
Eficiência do revolvimento biológico (mm)	Biomix	15	12
Índice do potencial máximo de área foliar	Blai	8	8
Armazenamento máximo do dossel (mm H ₂ O)	Canmx	5	11
Fator de cobertura do canal	Ch_Cov	33	33
Fator de erodibilidade do canal	Ch_Erod	33	33
Condutividade hidráulica efetiva em aluvião do canal principal	Ch_K2	9	3
Valor de Manning “n” para o canal principal	Ch_N2	17	13
Curva número para a condição II	Cn2	10	2
Fator de compensação de água pelas plantas	Epc0	13	20
Fator de compensação de evaporação do solo	Esco	3	9
Tempo de retardo da água subterrânea	Gw_Delay	12	14
Coeficiente “revap” de água subterrânea	Gw_Revap	6	18
Limite entre a profundidade de água em aquífero raso e a superfície (mm H ₂ O)	Gwqmn	1	21
Profundidade em aquífero profundo para que haja “revap”	Revapmn	7	19
Temperatura de queda da neve	Sftmp	33	33
Declividade média (m.m ⁻¹)	Slope	16	7
Comprimento da declividade média (m)	Ssubbsn	20	10
Taxa mínima para derreter a neve durante o ano.	Smfmn	33	33
Taxa máxima de fusão de neve durante o ano.	Smfmx	33	33
Derretimento da neve temperatura base.	Smtmp	33	33
Albedo do solo úmido	Sol_Alb	19	16
Capacidade de água disponível (mm.h ⁻¹)	Sol_Awc	2	5
Condutividade hidráulica saturada (mm.h ⁻¹)	Sol_K	14	17
Profundidade da camada de solo (mm)	Sol_Z	4	6
Parâmetro linear para o cálculo da quantidade máxima de sedimentos.	Spcon	33	33
Parâmetro expoente para o cálculo do sedimento reintroduzido nos canais	Spexp	33	33
Coeficiente de retardo do escoamento superficial (dias)	Surlag	11	1
Fator defasagem de temperatura da neve	Timp	33	33
Taxa de lapso de temperatura.	Tlaps	33	33
Valor mínimo do fator C da USLE aplicável à cobertura do solo / planta.	Usle_C	33	33
Fator de apoio USLE	Usle_P	33	4

Tabela 2 – Ordenamento dos parâmetros segundo o teste de sensibilidade

Essa avaliação permitiu identificar os parâmetros que influenciam quantitativamente e qualitativamente nos resultados, dado que os mesmos receberam um ordenamento, ou seja, um número de ordem que denota qual parâmetro foi mais sensível ou não em relação ao restante para a variável analisada.

Assim, dos parâmetros analisados, verificou-se que os parâmetros para os quais o modelo possui uma menor sensibilidade, tanto para a vazão quanto para os sedimentos, são os que se encontram relacionados, de alguma forma, com a neve, algo que, para a região de estudo, é uma constatação plausível visto a inexistência

desse fenômeno climático. Quanto ao restante dos parâmetros, observa-se que as duas maiores sensibilidades para a vazão foram para Gwqmn e Sol_Awc; ambos são representantes da grande influência que a água que permeia o solo tem para a bacia em estudo.

A alta sensibilidade da vazão para com o parâmetro Gwqmn denota uma característica latente da área de estudo, que é a maciça presença de lençóis freáticos e aquíferos de baixa profundidade, pois, dado o que é elucidado por Opere e Okello (2011), o Gwqmn representa o fluxo da água do solo, que apenas é operado de forma significativa para o canal principal, no modelo *SWAT*, quando a profundidade da água na camada aquífera é pouco profunda, sendo esta igual ou maior do que o limite de profundidade necessária para que o fluxo de retorno possa ocorrer

Segundo Ferrigo (2014), para valores baixos do Gwqmn, haverá maior fluxo de base; logo, valores baixos desse parâmetro são necessários para induzir valores diários de vazão mais altos.

A capacidade de água disponível na camada de solo (Sol_Awc) indica, segundo Abbaspour *et al.* (2011), a subtração da fração de água presente no ponto de murcha permanente daquele conteúdo de água presente na capacidade de campo. Para Opere e Okello (2011), esse parâmetro afeta tanto o escoamento superficial quanto o fluxo de base. Assim, para esses autores, um aumento na Sol_Awc resulta na diminuição do fluxo superficial, porque o aumento da capacidade do solo incide em um aumento na capacidade deste conter mais água.

Já no que se refere aos sedimentos, o *SWAT* aplicado na bacia mostrou-se mais sensível para o Cn2 e para o Surlag. O Cn2 é um parâmetro importante no cálculo do volume de escoamento superficial. É um número adimensional e é função da capacidade de infiltração, do tipo de solo, do uso do solo, e das condições antecedentes de umidade no solo (FERRIGO, 2014).

Segundo Peterson e Hamlett (1998), o parâmetro mais sensível no modelo *SWAT* é o Cn2, que reflete o potencial do escoamento direto que pode ser gerado a partir de um evento de precipitação.

O parâmetro Surlag controla a fração total de água disponibilizada no escoamento superficial, correspondendo, assim, na estratégia adotada pelo modelo em incorporar o recurso de armazenamento para parte do escoamento superficial que escoará no canal principal. Como evidencia Abbaspour *et al.* (2011), tal estratégia embutida nesse parâmetro provém do comportamento de grandes sub-bacias, com um tempo de concentração superior a um dia, em que apenas uma parte do escoamento superficial atingirá o canal principal no dia em que é gerado.

Cabe destacar, ainda, que de forma geral, a sensibilidade observada no modelo deste estudo para com os parâmetros foi similar ao de outros estudos no território brasileiro, tal como expõe o levantamento realizado no estudo de FERRIGO (2014), onde a autora constatou a presença das variáveis acima mencionadas entre as cinco de maiores frequências dos trabalhos abordados pela mesma. Além disso,

a referida autora em seu levantamento verificou, dentre os trabalhos analisados, que o parâmetro Sol_Awc posicionou-se entre as cinco primeiras colocações de sensibilidade em 40% dos estudos, e o parâmetro Cn2 é o que apresenta maior frequência nas primeiras cinco posições de sensibilidade.

4 | CONCLUSÕES

A literatura apresenta uma ampla discussão sobre processos de calibração de modelos, seja de forma manual ou automática, embora ainda permaneça um tópico atual para reflexão quando do uso de modelos hidrológicos concentrados, semidistribuídos e distribuídos. Neste artigo, enfocou-se o emprego da metodologia LH-OAT conjuntamente com a aplicação do modelo hidrológico SWAT. Apontaram-se os parâmetros mais sensíveis para a simulação da bacia do rio Machadinho, situada na região ocidental da Amazônia. De forma geral, a sensibilidade observada no modelo SWAT no que concerne aos parâmetros foi similar ao de outros estudos relatados para o território brasileiro, sendo que os dois maiores graus de sensibilidade para a vazão foram atribuídos para Gwqmn e Sol_Awc, associados ao escoamento no meio poroso. Por outro lado, para os sedimentos, o SWAT aplicado na bacia mostrou-se mais sensível para os parâmetros Cn2 e Surlag, associados com o escoamento superficial e capacidade de infiltração do solo. Recomenda-se, ainda, que novos estudos sejam conduzidos para melhor avaliação dos processos de calibração e validação implementados mediante a modelagem hidrológica distribuída em termos de vazão e produção de sedimentos, destacando-se a importância de se dimensionar uma adequada rede de medições para monitoramento e modelagem dos processos físicos do ciclo hidrológico.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos são dirigidos às agências de fomento CAPES, FAPERJ, CNPq e FINEP, que, por meio de bolsa CNPq concedida ao primeiro autor, bem como suporte dos projetos FAPERJ – Pensa Rio – Edital 19/2011 (2012-2014) e Pensa Rio – Edital 34/2014 (2014-2020) – E-26/010.002980/2014, FAPERJ – Processo E-26/103.116/2011 (2012-2014), bem como CNPq Edital Universal No. 14/2013 – Processo 485136/2013-9 (2013-2017) e CNPq Edital nº 12/2016 – Processo 306944/2016, entre outros, estimulam o avanço científico-tecnológico brasileiro na temática que abrange o escopo desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

ABBASPOUR, K. C.; YANGA, J.; MAXIMOVA, I.; SIBERA, R.; KONRAD BOGNERB, K.; MIELEITNERA, J.; ZOBRISTA, J.; SRINIVASANC, R.. Modelling hydrology and water quality in the pre-alpine/alpine Thur watershed using SWAT, **Journal of Hydrology**, v. 333, n. 4, 2007, p. 413-430,

2007.

ARNOLD, J. G.; SRINIVASAN, R. A.. Continuous catchment-scale erosion model. In: BOARDMAN, J.; FAVIS-MORTLOCK, D. **Modelling soil erosion by water**, *Oxford*. Publisher Springer, pp. 413 – 428, 1995.

BALDISSERA, G. C.. **Aplicabilidade do modelo de simulação hidrológica SWAT (Soil and Water Assessment Tool), para a bacia hidrográfica do rio Cuiabá/MT**. Cuiabá: UFMT, 132 p., Dissertação Mestrado, 2005.

FERRIGO, S.. **Análise de consistência dos parâmetros do modelo SWAT obtidos por calibração automática – Estudo de caso da bacia do lago Descoberto – DF**. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, Distrito Federal, 2014.

OPERE, A. O.; OKELLO, B. N.. Hydrologic analysis for river Nyando using *SWAT*, **Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.**, v. 8, pp. 1765–1797, 2011.

PETERSON, J. R.; HAMLETT, J. M.. Hydrologic calibration of the SWAT model in a watershed containing fragipan soils. **Journal of the American Water Resources Association**, vol. 34, n. 3, p.531-544, 1998.

VAN GRIENSVEN, A.; *et al.*. A global sensitivity analysis tool for the parameters of multi-variable catchment models. **J. Hydrol.**, 324:10-23, 2006.

VU, M. T.; RAGHAVAN, S. V.; LIONG, S. Y.. *SWAT* use of gridded observations for simulating runoff – a Vietnam river basin study, **Hydrology and Earth System Sciences Discussions**, v. 8, n. 6, 2001.

ZSEE.. **Zoneamento Socioeconômico-Ecológico do Estado de Rondônia: Um Instrumento de Gestão Ambiental a Serviço do Desenvolvimento Sustentável de Rondônia**. Porto Velho: SEDAM, 2007.

SOBRE O ORGANIZADOR

LUIS MIGUEL SCHIEBELBEIN Possui graduação em Agronomia pela Universidade Estadual de Ponta Grossa (1997) e mestrado em Ciências do Solo pela Universidade Federal do Paraná (2006), Doutorado em Agronomia - Fisiologia, Melhoramento e Manejo de Culturas, pela Universidade Estadual de Ponta Grossa (2017). Atualmente é Professor dos Cursos de Agronomia, Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo e Superior Tecnológico em Radiologia e de Pós-Graduação em Agronegócio e Gestão Empresarial do Centro de Ensino Superior dos Campos Gerais (CESCAGE). É revisor da Revista de Ciências Agrárias - CESCAGE, Professor Colaborador do Curso de Agronomia da Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG) . Tem experiência na área de Agronomia, com ênfase em Agricultura de Precisão, atuando principalmente nos seguintes temas: Agricultura de Precisão, Geoprocessamento, Modelagem e Ecofisiologia da Produção Agrícola, Agrometeorologia, Hidrologia, Mecanização, Aplicação em Taxa Variável, Fertilidade do Solo e Qualidade.

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-024-7

