

Características Práticas e Teóricas da Geomática

Ingrid Aparecida Gomes
(Organizadora)

 **Atena**
Editora

Ano 2019

Ingrid Aparecida Gomes
(Organizadora)

Características Práticas e Teóricas da Geomática

Atena Editora
2019

2019 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Lorena Prestes e Geraldo Alves

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)

C257 Características práticas e teóricas da geomática [recurso eletrônico] /
Organizadora Ingrid Aparecida Gomes. – Ponta Grossa (PR):
Atena Editora, 2019.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader.

Modo de acesso: World Wide Web.

Inclui bibliografia

ISBN 978-85-7247-211-1

DOI 10.22533/at.ed.111192803

1. Geomática – Estudo e ensino. 2. Topografia. 3. Sistemas de
informação geográfica. I. Gomes, Ingrid Aparecida.

CDD 526.98

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.

2019

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 “Características Práticas e Teóricas da Geomática” aborda uma série de livros de publicação da Atena Editora, em seu I volume, apresenta, em seus 8 capítulos, discussões de diversas abordagens acerca os meios utilizados para a aquisição e gerenciamento de dados espaciais, com ênfase nas Geotecnologias.

A Geomática engloba, atualmente, alguns dos campos mais promissores em termos de pesquisas atuais. Esta ciência estuda as diversas relações existentes da Cartografia, Topografia, Mapeamento Digital, Sensoriamento Remoto, Sistemas de Informação Geográfica, GPS, dentre outros.

A percepção espacial possibilita a aquisição de conhecimentos e habilidades capazes de induzir mudanças de atitudes, resultando na construção de uma nova visão das relações do ser humano com o seu meio, e, portanto, gerando uma crescente demanda por profissionais atuantes nessas áreas.

A ideia moderna da Geomática refere-se a um processo de avanço tecnológico, formulada no sentido positivo e natural, temporalmente progressivo e acumulativo, segue certas regras, etapas específicas e contínuas, de suposto caráter universal. Como se tem visto, a ideia não é só o termo descritivo de um processo e sim um artefato mensurador e normalizador de estudos espaciais.

Neste sentido, este volume é dedicado a Geomática. A importância dos estudos dessa vertente, é notada no cerne das análises espaciais, tendo em vista o volume de artigos publicados. Nota-se também uma preocupação dos profissionais de áreas afins, em desvendar a realidade dos espaços geográficos.

Os organizadores da Atena Editora, agradecem especialmente os autores dos diversos capítulos apresentados, parabenizam a dedicação e esforço de cada um, os quais viabilizaram a construção dessa obra no viés da temática apresentada.

Por fim, desejamos que esta obra, fruto do esforço de muitos, seja seminal para todos que vierem a utilizá-la.

Ingrid Aparecida Gomes

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
ANÁLISE SOBRE A EFICÁCIA DE DADOS DE CADASTRO TERRITORIAL EM 3D EM AVALIAÇÃO EM MASSA DE IMÓVEIS	
<i>Andersonn Magalhães de Oliveira</i> <i>Clériston Silva dos Anjos</i> <i>Daniel Quintino Silva</i> <i>Phablo Costa da Nóbrega Benício</i>	
DOI 10.22533/at.ed.1111928031	
CAPÍTULO 2	11
ANÁLISE COMPARATIVA DE AJUSTE DE COORDENADAS PARA UMA ESTAÇÃO DE REFERÊNCIA: MÉTODO DE POSICIONAMENTO RELATIVO ESTÁTICO COM ESTAÇÕES DA RBMC E MÉTODO PPP – APLICADA AO GEORREFERENCIAMENTO DE IMÓVEIS RURAIS	
<i>Léo Vitor Peron</i> <i>Vitor Verona Ceni</i> <i>Adão Robson Elias</i> <i>Daniel Carvalho Granemann</i> <i>Henrique dos Santos Felipetto</i>	
DOI 10.22533/at.ed.1111928032	
CAPÍTULO 3	19
ANALYSIS OF THE INTRODUCTION OF GEOTECHNOLOGIES FOR THE VALUATION OF FOREST ENVIRONMENTAL SERVICES AND THE INTEGRATION OF CLEAN DEVELOPMENT MECHANISM FOR A SUSTAINABLE ECONOMY	
<i>Sidnei Fonseca Guerreiro</i> <i>Anderson Antonio da Conceição Sartori</i> <i>Rosane Maria Kaspary</i> <i>Martha Santana Martins</i> <i>Camila do Carmo Sanchez</i> <i>Luan Matheus Marchiori</i>	
DOI 10.22533/at.ed.1111928033	
CAPÍTULO 4	33
O USO DO SENSORIAMENTO REMOTO PARA DETERMINAR O USO DO SOLO NO MUNICÍPIO DE SANTIAGO - RS	
<i>Eduardo Pereira Shimoia</i> <i>Paulo Fernando Martins</i> <i>Vanius Ventorini Veiga</i> <i>Júlio Cesar Wincher Soares</i> <i>Danie Martini Sanchotene</i>	
DOI 10.22533/at.ed.1111928034	
CAPÍTULO 5	41
MODELO E SIMULAÇÃO DE VAZÃO COM A FERRAMENTA SWAT – ESTUDO DE CASO DA PARTE ALTA DA BACIA DO RIBEIRÃO CAFEZAL, LONDRINA, PARANÁ	
<i>Fábio Eidi Kataoka</i> <i>Ligia Flávia Antunes Batista</i>	
DOI 10.22533/at.ed.1111928035	

CAPÍTULO 6	53
MAPEAMENTO E AVALIAÇÃO DE SERVIÇOS DOS ECOSISTEMAS DO SÍTIO DE IMPORTÂNCIA COMUNITÁRIA “DUNAS DE MIRA, GÂNDARA E GAFANHAS”	
<i>Luís Carlos Roseiro Leitão</i>	
<i>José Gomes dos Santos</i>	
<i>Maria Alexandra de Sousa Aragão</i>	
DOI 10.22533/at.ed.1111928036	
CAPÍTULO 7	65
CERTIFICAÇÃO DE IMÓVEIS RURAIS GERADA PELO INCRA/SIGEF: TRANSCRIÇÃO DA CERTIFICAÇÃO EM SERVIÇO DE REGISTRO DE IMÓVEIS	
<i>Marco Lima Fontes</i>	
DOI 10.22533/at.ed.1111928037	
CAPÍTULO 8	76
CARACTERIZAÇÃO, ANÁLISE DO USO DA TERRA E COBERTURA VEGETAL NATIVA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO SÃO DOMINGOS, CATALÃO, (GO)	
<i>Antonio Santiago da Silva</i>	
<i>Mileni Cano Gusson</i>	
<i>Roberto Rosa</i>	
DOI 10.22533/at.ed.1111928038	
SOBRE A ORGANIZADORA	90

MODELO E SIMULAÇÃO DE VAZÃO COM A FERRAMENTA SWAT – ESTUDO DE CASO DA PARTE ALTA DA BACIA DO RIBEIRÃO CAFEZAL, LONDRINA, PARANÁ

Fábio Eidi Kataoka

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Londrina
Londrina - PR

Ligia Flávia Antunes Batista

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Londrina
Londrina – PR

RESUMO: Informações que possam contribuir para o processo de tomada de decisão são subsídios muito importantes para a gestão ambiental de uma forma geral. Devido a isso, a possibilidade de utilizar modelagem e simulação pode auxiliar na compreensão do problema, bem como permitir a reprodução de cenários que sirvam de previsões futuras. Neste estudo de caso, foi realizada a modelagem hidrológica com o intuito de simular a vazão na parte alta da bacia hidrográfica do Ribeirão Cafezal, no município de Londrina, Paraná, por meio do modelo espaço-temporal SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*). Este modelo requer a caracterização física e climática da área de estudo. Os registros diários de vazão simulada no ano de 2004 foram calibrados e comparados à vazão observada em uma estação fluviométrica da ANA (Agência Nacional das Águas), localizada no exutório da bacia estudada. Os resultados da simulação da vazão foram avaliados com a soma dos quadrados

dos resíduos, cujo valor obtido foi de 0,17 e uma boa representação da tendência geral da curva se comparada aos dados da estação fluviométrica, demonstrando a aplicabilidade do modelo aplicado para a previsão de cenários e geração de informação complementar que auxilie a gestão de bacias.

PALAVRAS-CHAVE: Hidrologia, Dados climáticos, Uso e Cobertura do Solo, Pedologia, Altimetria.

ABSTRACT: Information that can contribute to decision support process are very important for environmental management. Because of this, the possibility of using modeling and simulation can help in problem understanding, as well as to permit scenarios reproduction which be useful as future predictions. In this study case, it was performed hydrological modeling in order to simulate flow rate in watershed of Ribeirão Cafezal, city of Londrina, Paraná State, with the spatiotemporal model SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*). This model requires physical and climatic characterization of study area. The daily simulated discharge results, for 2004 year, were calibrated and compared to observed output at the point of fluviometric public station, situated in outlet of studied watershed. The results were evaluated with residual sum of squares of flow rate, and the value obtained was 0.17, and a good representation of general

trend, if compared to the fluviometric station data. This shows the applicability of the used model to scenario simulation and information generation that can help to manage watersheds.

KEYWORDS: Hidrology, Climate data, Land use and cover, Pedology, Altimetry.

1 | INTRODUÇÃO

A modelagem ambiental proporciona auxílio no entendimento das mudanças ambientais, a fim de prevê-las em sequências de tempo e espaço (MOORE, 1993). Dessa forma, a criação de modelos matemáticos tem como propósito auxiliar na visualização dos comportamentos dos sistemas ambientais, representando um determinado fenômeno em um ambiente controlado e eficiente (ARAL, 2010).

Os modelos podem ser aproximações altamente subjetivas, no sentido de não incluírem todas as observações ou medidas associadas ao fenômeno, mas, como tais, são valiosos por permitirem análises e estudos dos aspectos fundamentais da realidade. Para uma gestão adequada dos recursos naturais é imprescindível a utilização de bases de dados confiáveis, os quais, por sua vez, são frequentemente insuficientes ou inexistentes (HAGGET e CHORLEY, 1967; CASTRO, 2013).

Deste modo, os modelos matemáticos modernos voltados para a área ambiental, foram desenvolvidos para sustentar o entendimento dos complexos processos e conceitos de aplicações, como a Hidrologia, Climatologia, Topografia, Geologia e Pedologia (GHORABA, 2015).

Na perspectiva da Hidrologia, a simulação é utilizada normalmente para gerar hidrógrafos de escoamento a partir de dados climáticos e das propriedades físicas da bacia de drenagem (CHRISTOFOLETTI, 1999). Refere-se ainda, à simulação de eventos hidrográficos que possam ter relação com riscos de inundação associados à impermeabilização dos solos (XU, 2002).

Neste estudo foi utilizado o modelo *Soil & Water Assessment Tool* (SWAT), desenvolvido pelo Departamento de Agricultura norte-americano em conjunto com o Instituto de Recursos Hídricos do Texas. O modelo é fundamentado em princípios físicos e possibilita a simulação de escoamento superficial, percolação, fluxo lateral e subterrâneo, evapotranspiração, neve e fluxo de rede de drenagem. Além disso, permite a realização de análises em reservatórios, do ciclo hidrossedimentológico, aspectos climáticos, crescimento vegetal, nutrientes, pesticidas e bactérias, práticas agrícolas e aspectos de qualidade da água (NEITSCH et al., 2005).

Neste trabalho, o foco é a análise hidrológica, em particular a simulação da vazão no exutório da área de estudo. A modelagem hidrológica é realizada pela aplicação de um conjunto de equações que descrevem fisicamente o escoamento superficial, evapotranspiração, umidade no solo e águas subterrâneas. A base para a simulação do ciclo hidrológico é a equação do equilíbrio hídrico (Equação 1). Na expressão (1),

S_{wt} é a quantidade de água no solo no tempo t ; SW_0 é a umidade inicial do solo; R_{day} é a quantidade de água precipitada no dia i ; Q_{surf} refere-se ao escoamento superficial; E_a indica a evapotranspiração; W_{seep} refere-se à percolação e Q_{gw} é o fluxo de retorno para o curso d'água. Cada um destes termos é definido em função de outro conjunto de equações apresentadas por NEITSCH et al. (2005).

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

O objetivo deste trabalho é aplicar o modelo SWAT na parte alta da bacia do Ribeirão Cafezal, no município de Londrina, Paraná, a fim de simular a vazão e compará-la com os dados observados em uma estação fluviométrica da Agência Nacional das Águas (ANA).

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

A área de estudo compreende a parte alta da Bacia do Ribeirão Cafezal, situada no município de Londrina, estado do Paraná. Esta bacia é importante pois possui pontos de captação de água para abastecimento. Sua área é de aproximadamente 205 km², estendendo-se pelos municípios de Londrina, Rolândia e Cambé.

Os limites da área de estudo foram definidos utilizando a própria parte alta da bacia até o ponto de exutório que coincide com uma estação fluviométrica da Agência Nacional das Águas (ANA), situada nas coordenadas 479955E e 7417228N (referenciadas ao sistema SIRGAS 2000, projeção UTM, fuso 22 Sul). Esta estação possui código 64504591, sendo denominada Londrina MTE ETA Sanepar. Na Figura 1, está representada a bacia do Ribeirão Cafezal, a referida estação fluviométrica e a parte definida como área de estudo, cuja área é de aproximadamente 134 km².

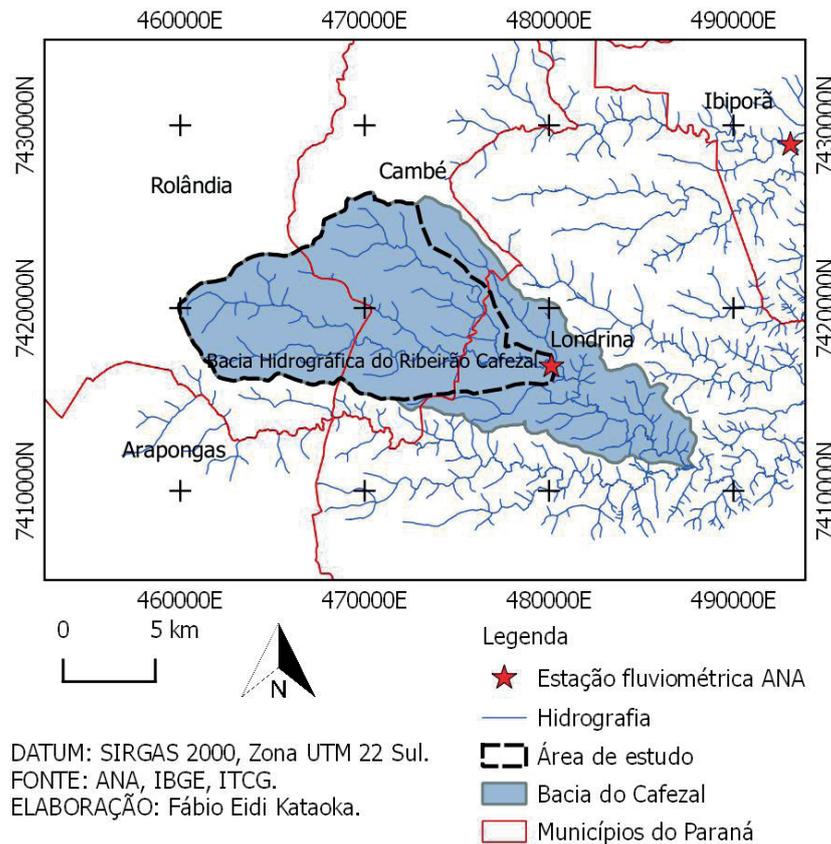


Figura 1 - Área de estudo.

O modelo requer como dados de entrada a representação espacial da altimetria, bem como dados de pedologia e uso e cobertura do solo. Além disso, é necessário fornecer dados climáticos diários de pelo menos um ponto, com valores de precipitação, temperatura, umidade, vento e radiação solar.

Foi realizada a caracterização do meio físico por meio da elaboração de um banco de dados geográfico composto pelas seguintes camadas necessárias como entrada do modelo: altimetria, pedologia e uso e cobertura do solo.

Os dados altimétricos utilizados foram disponibilizados pelo projeto Topodata, dados refinados da missão SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*), cuja resolução espacial original de 90m, para 30m por krigagem (BRASIL, 2008). A partir da altimetria, são geradas, conforme os parâmetros especificados, as sub-bacias, a rede de drenagem, a declividade da área e as unidades de resposta hidrológicas ou *Hydrologic Response Units* (HRUs), que são a unidade em que os cálculos hidrológicos são realizados, sendo caracterizadas por uniformidade de classes de pedologia e uso e ocupação do solo, bem como declividade.

O mapa de uso e cobertura do solo foi desenvolvido por Sacramento (2016), que utilizou classificação supervisionada de imagem Landsat 8, sensor OLI, do ano de 2016. Foi utilizado método híbrido na classificação, aplicando Bhattacharya, para delimitar a área urbana e o método de Máxima Verossimilhança para definir as demais classes.

O mapa de pedologia utilizado foi disponibilizado pelo Instituto de Terras, Cartografia e Geociências do Paraná (ITCG), o qual permitiu identificar as classes de solo existentes na área de estudo. O modelo requer ainda uma série de parâmetros que caracterizem física e quimicamente estas classes. Os parâmetros necessários para a simulação são da tipagem de solo, profundidade das camadas de solo, grupos hidrológicos pertencentes de cada solo, teor de carbono orgânico, areia total, argila, silte e rocha (NEITSCH et al., 2005 ;CASTRO, 2013). Conforme Saxton e Rawls (2006), esses parâmetros podem ser estimados a partir de dados de solo referentes a: horizonte, composição granulométrica e carbono orgânico. Tais dados foram obtidos a partir do Sistema de Informação de Solos Brasileiros da Embrapa (SISOLOS, 2017).

Os dados climáticos foram obtidos de uma estação do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), referentes ao ano de 2004, com periodicidade diária.

Para a etapa de calibração, foram utilizados os dados de vazão da estação fluviométrica da ANA. O modelo é composto por uma grande quantidade de parâmetros e foram selecionados para calibração aqueles que possuem maior influência no resultado da vazão, segundo Castro (2013) e Abbaspour et al. (2015), os quais são:

- a) CN2 (valor do curva número SCS – *Soil Conservation Service*) para a condição de umidade, parâmetro associado ao modelo de escoamento superficial;
- b) Surlag (coeficiente de retardo do escoamento superficial, em dias);
- c) Sol_awc (capacidade de água disponível na camada de solo);
- d) Esco (fator de compensação de evaporação do solo);
- e) Gwqmn (limite entre a profundidade de água em aquífero raso e a superfície (mm H₂O));
- f) Gw_revap (coeficiente revap de água subterrânea. O termo revap refere-se ao modo como o SWAT representa o deslocamento da água em camadas sobrepostas não saturadas em um aquífero);
- g) Revapmn (profundidade em aquífero profundo para que haja “revap”);
- h) Hru_slp (valor médio da declividade);
- i) Ov_n (coeficiente de Manning para fluxo superficial);
- j) Slsbbsn (comprimento da declividade média, em metros).

Todos estes parâmetros e as equações em que são utilizados são detalhadamente explicados em Neitsch et. (2005).

Há uma ferramenta própria para o modelo SWAT, para ser utilizada nas etapas de calibração e análise de sensibilidade, denominada SWAT_CUP, a qual foi utilizada neste trabalho (ABBASPOUR, 2015). Foram realizadas 500 simulações no processo de calibração e a métrica utilizada para verificar o ajuste do modelo foi a soma dos quadrados dos resíduos (SQR).

O método executado para o processo de calibração foi o SUFI-2 (*Sequential Uncertainty Fitting*, versão 2) (ABBASPOUR et al., 2004). Este método procura a melhor faixa de valores para cada parâmetro realizando uma busca global, otimizada para calibrar simultaneamente um grande número de parâmetros, por meio da amostragem por hipercubo latino, semelhante ao método de Monte Carlo.

As etapas metodológicas do processo de modelagem e simulação consistiram de: a) seleção, preparação e carga dos dados no banco de dados do SWAT; b) definição das sub-bacias e das Unidades de Resposta Hidrológica (HRU's); c) simulação; d) calibração do modelo; e) análise de sensibilidade e f) avaliação dos resultados pela comparação da vazão observada em relação à simulada.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

As classes pedológicas encontradas foram: Nitossolo vermelho eutroférico (Nvef3), Latossolo vermelho distroférico (LVdf14) e Latossolo vermelho eutroférico (Lvef3), sendo este último predominante na região, conforme a carta da Figura 2.

Para as classes de solo da área de estudo, os valores de granulometria, horizontes e carbono orgânico obtidos de Sisolos (2017) estão listados na Tabela 1. A partir destes parâmetros, Saxton e Rawls (2006), indicam como gerar outros 12 parâmetros por horizonte de solo para serem utilizados no modelo SWAT.

O mapa de uso e cobertura foi categorizado em área urbana, cultivo agrícola, fragmentos de mata e corpos d'água. Percebe-se que a classe predominante na área de estudo é a agrícola, notando-se área urbanizada próximo às bordas da área de estudo, conforme a carta da Figura 3.

A altimetria da região varia de 470 a 770 m, cuja variação está ilustrada na Figura 4. Ressalta-se que a partir da grade altimétrica foram derivadas as sub-bacias, a rede de drenagem e as HRUs.

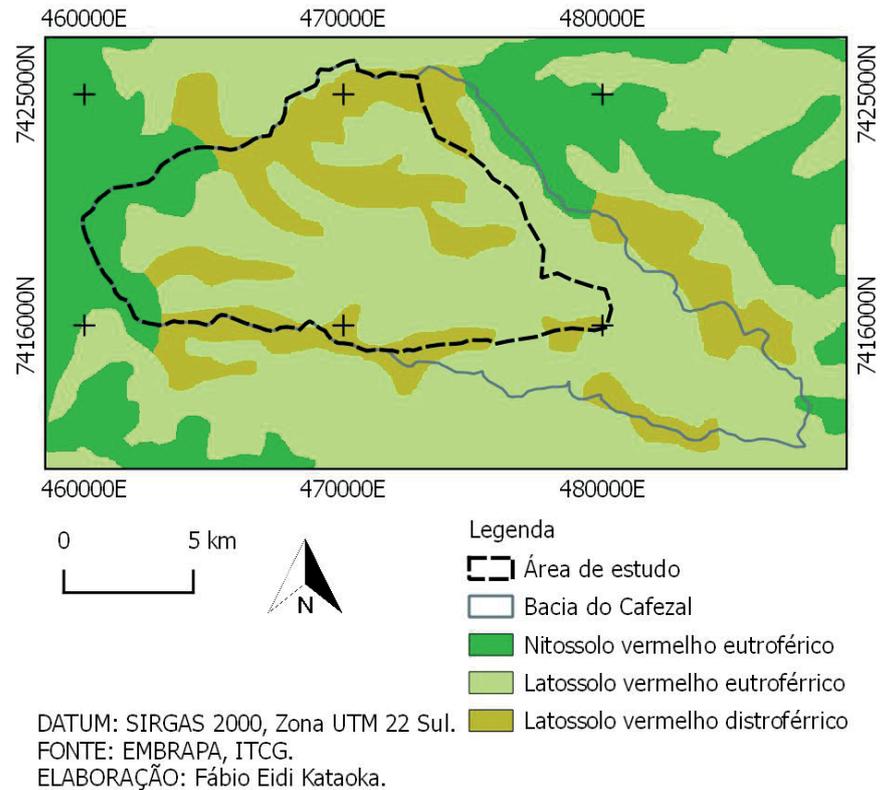


Figura 2 - Carta pedológica.

Solo	Profundidade (cm)	Carbono orgânico (%)	Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)
Nvef3	0-5	19,30	56	30,7	13,3
	5-10	15,36	58	29,75	12,25
	10-20	13,86	66	21,9	12,1
	20-30	13,26	66	23,05	10,95
	60-80	5,72	78	15,75	6,25
LVdf14	0-5	10,96	66	26,15	7,85
	5-10	27,20	70	20,25	9,75
	10-20	21,00	64	26,45	9,55
	20-30	17,31	70	21,25	8,75
	60-80	26,56	64	26,5	9,5
LVef3	0-15	23,8	83	13	4
	15-46	12,7	81	16	3
	48-68	8	82	14	4
	68-135	9,4	81	15	4
	135-350	4,2	82	15	3

Tabela 1 - Parâmetros de solo utilizados.

Foram geradas 15 sub-bacias para os limites da área de estudo. A bacia 15 é a que está na região do exutório, o qual coincide com a estação fluviométrica (Figura 5).

Na calibração do modelo, obteve-se o comportamento entre os valores observados de vazão e os simulados, conforme ilustrado na Figura 6. Observa-se que o modelo representou bem a tendência geral da vazão observada, mesmo apresentando valores de vazão superiores aos medidos na estação da ANA. Até o dia 140, os valores simulados estão pouco acima dos valores observados, com diferença que não atinge $1 \text{ m}^3/\text{s}$. A maior diferença está no dia 148, de quase $7 \text{ m}^3/\text{s}$. Perto do dia 300 e do dia 360, observa-se dois picos de vazão observada que não foram bem representados pelo modelo, com valores simulados bem abaixo do que foi medido. No ano simulado, o SQR calculado foi de 0.17, para os dados calibrados.

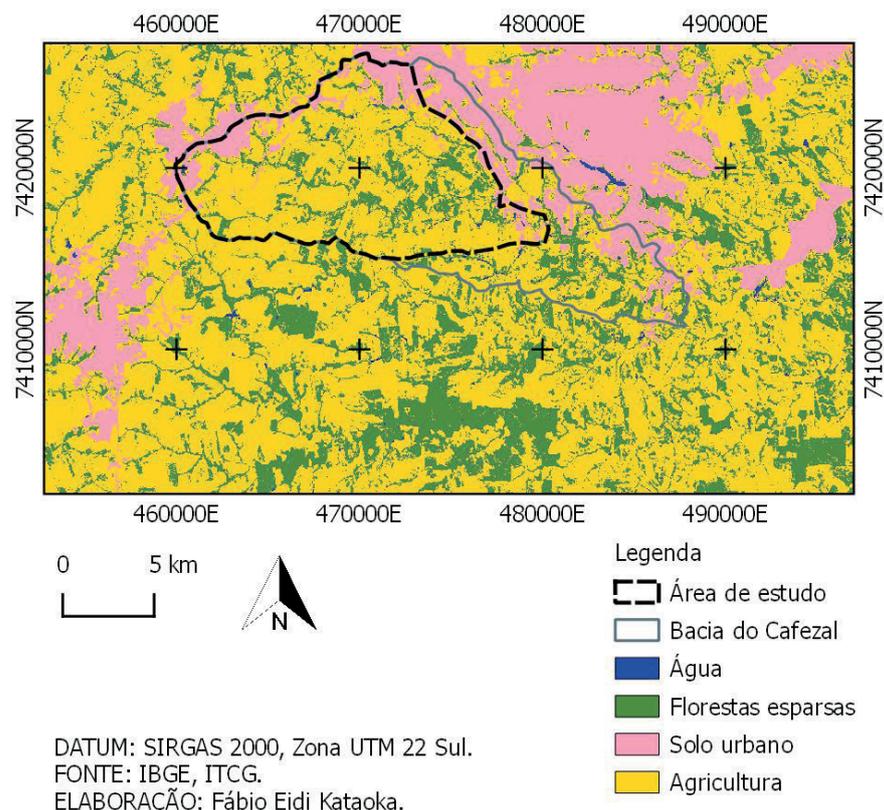


Figura 3 - Carta de uso e cobertura do solo.

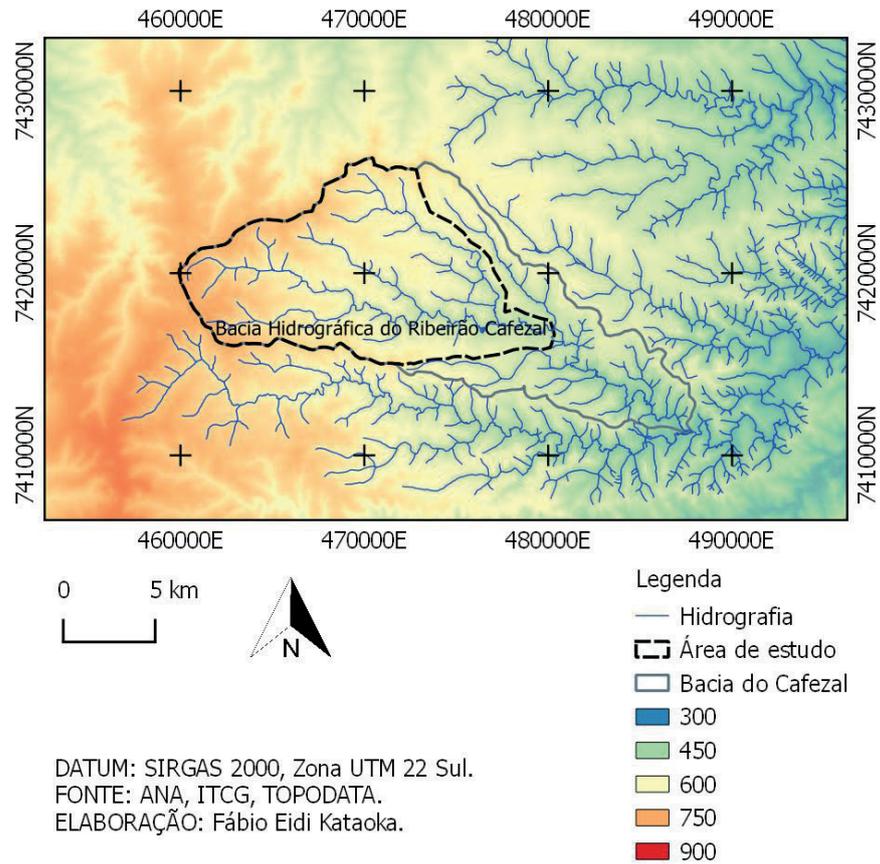


Figura 4 - Carta hipsométrica da região.

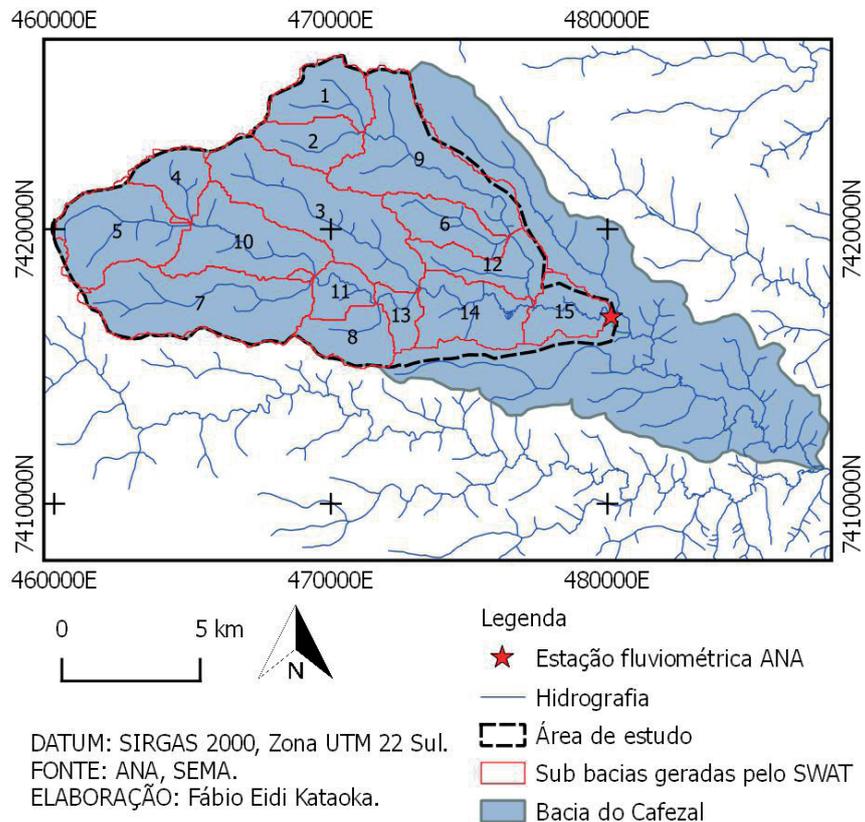


Figura 5 - Sub-bacias da região de estudo.

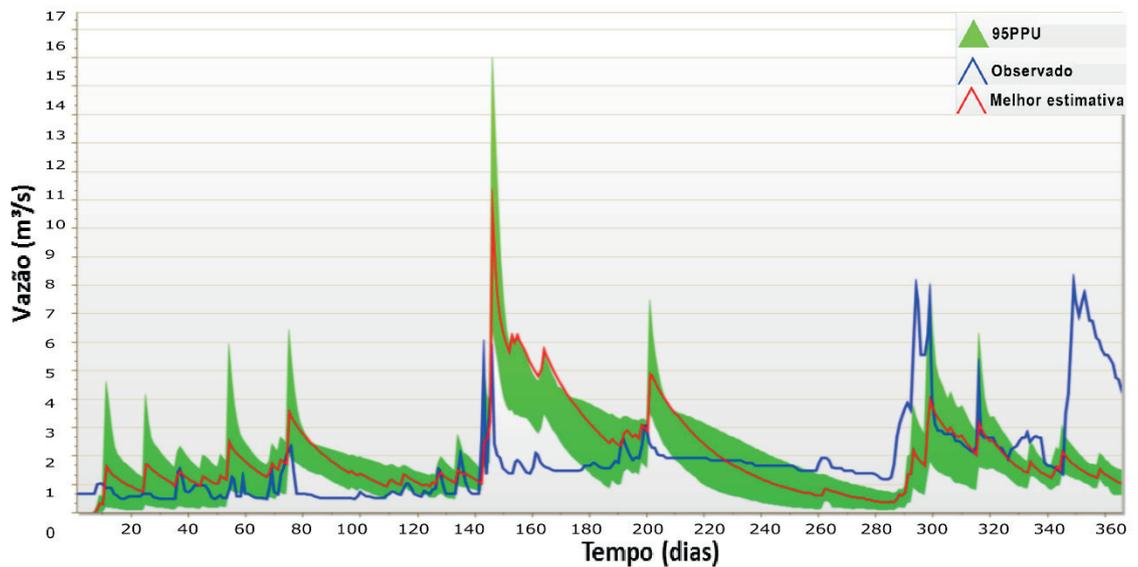


Figura 6 - Gráficos de vazão de valores observados e estimados pelo modelo SWAT.

A análise de sensibilidade, baseada no p-valor e na estatística-t mostrou que o parâmetro que possui maior influência na modelagem da vazão é Gwqmn, associado ao limite entre a profundidade de água em aquífero raso e a superfície, o qual possui maior valor da estatística-t e menor p-valor. O segundo parâmetro que mais afetou os resultados do modelo foi o CN2, associado à condição de umidade do solo. Esta análise mostra que para melhorar os resultados, tais parâmetros devem ser analisados e calibrados com maior cuidado.

4 | CONCLUSÕES

Conclui-se que o modelo SWAT é uma ferramenta muito importante para diversas análises ambientais, por ser de base física e pela possibilidade de representar espacialmente a área de estudo, bem como de analisar a dinâmica temporal do sistema.

A grande quantidade de parâmetros permite a caracterização bastante detalhada da região de interesse, mas ao mesmo tempo dificulta bastante a especificação de seus valores no processo de modelagem e a escolha de quais serão utilizados no processo de calibração.

A ferramenta SWAT_CUP, por sua vez, facilita muito a etapa de calibração, normalmente considerada a mais trabalhosa de todo o processo de modelagem.

Trabalhos futuros incluem não apenas o refinamento do modelo ora apresentado, cuja ênfase foi no ciclo hidrológico, mas também a expansão da análise, incluindo aspectos de sedimentação, qualidade da água e práticas conservacionistas.

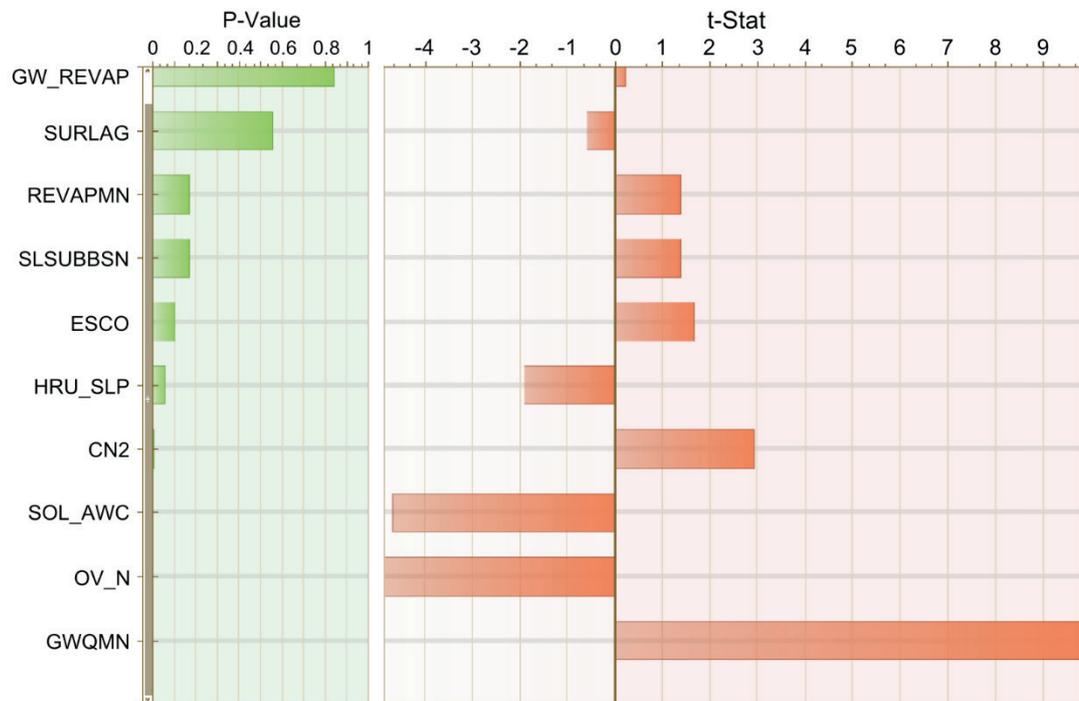


Figura 7 - Resultados da análise de sensibilidade dos parâmetros calibrados, com p-valor e estatística-t.

5 | AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Universidade Tecnológica Federal do Paraná pelo apoio oferecido durante a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- ABBASPOUR, K.C. **SWAT CUP: SWAT Calibration and Uncertainty Programs A User Manual**. Eawag Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, 2015.
- ABBASPOUR, K.C.; JOHNSON, A., van GENUCHTEN, M.Th. **Estimating uncertain flow and transport parameters using a sequential uncertainty fitting procedure**. *Vadose Zone Journal*, v. 3, p. 1340–1352, 2004.
- ABBASPOUR, K. C. et al. **A continental-scale hydrology and water quality model for Europe: Calibration and uncertainty of a high-resolution largescale SWAT model**. *Journal of Hydrology*, v. 524, p. 733-752, 2015.
- ARAL, M. M. Chapter 2: Principles of Environmental Modeling – **Environmental Modeling and Health Risk Analysis (Acts/Risk)**. 2010, p. 37.
- BRASIL. **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Topodata: banco de dados geomorfométricos do Brasil**. Variáveis geomorfométricas locais. São José dos Campos, 2008.
- CASTRO, K. B. **Avaliação do modelo SWAT na simulação da vazão em bacia agrícola do Cerrado intensamente monitorada**. 122 p. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Universidade de Brasília, 2013.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo: Blucher, 1999, 236 p.

GHORABA, S. M. **Hydrological modeling of the Simly Dam watershed (Pakistan) using GIS and SWAT model**. Alexandria Engineering Journal, v. 54, p. 583-594, 2015.

HAGGETT, P. & CHORLEY, R. J. – Chapter One - **Models, paradigms and the New Geography**. In Models in Geography p. 19. (CHORLEY, R. J. & HAGGETT, P., Eds.). Londres, Methuen & Co., 1967.

MOORE, I. D., TURNER, A. K., WILSON, J. P., JENSON, S. K., BAND, L. E. (1993) **GIS and land surface-subsurface process modeling**, in M. F Goodchild, B. O. Parks and L. T Steyaert (eds) *Environmental Modelling with GIS*, Oxford University Press, New York, p. 196.

NEITSCH, S. L. et al. **Soil and water assessment tool: theoretical documentation – version 2005**. Temple: Blackland Research Center, Texas Agricultural Experiment Station, 2005, 506p.

SACRAMENTO, B. H. **Análise multicritério aplicada ao zoneamento ambiental em parte da Região Metropolitana de Londrina**. 66 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2016.

SAXTON, K.E.; RAWLS, W.J. **Soil Water Characteristic Estimates by Texture and Organic Matter for Hydrologic Solutions**. Soil Science Society of Agronomy Journal, v. 70, p. 1569-1578, 2006.
SISOLOS Sistema de Informação de Solos Brasileiros. Campinas: Embrapa. Disponível em <<https://www.sisolo.cnptia.embrapa.br>>. Acesso em Março 2017.

XU, C. Y. **Modelling in hydrology - Hydrologic Models**. Uppsala University, Department of Earth Sciences, Hydrology. 2002.

SOBRE A ORGANIZADORA

Ingrid Aparecida Gomes - Bacharel em Geografia pela Universidade Estadual de Ponta Grossa (2008), Mestre em Geografia pelo Programa de Pós-Graduação Mestrado em Gestão do Território da Universidade Estadual de Ponta Grossa (2011). Atualmente é Doutoranda em Geografia pelo Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal do Paraná (UFPR). Foi professora colaboradora na UEPG, lecionando para os cursos de Geografia, Engenharia Civil, Agronomia, Biologia e Química Tecnológica. Também atuou como docente no Centro de Ensino Superior dos Campos Gerais (CESCAGE), lecionando para os cursos de Engenharia Civil e Arquitetura e Urbanismo. Participou de projetos de pesquisas nestas duas instituições e orientou diversos trabalhos de conclusão de curso. Possui experiência na área de Geociências com ênfase em Geoprocessamento, Geotecnologia, Geologia, Topografia e Hidrologia.

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-211-1



9

788572 472111