IV CONGRESSO INTERNACIONAL DAS CIÊNCIAS AGRÁRIAS COINTER - PDVAgro 2019

MODELO HIDROLÓGICO SWAT (*SOIL AND WATER ASSESSMENT TOOL*) PARA ANÁLISE RELAÇÃO SOLO-PAISAGEM NA MICROBACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO SECO (SP)

SWAT (*HERRAMIENTA DE EVALUACIÓN DE SUELO Y AGUA*) MODELO DE AGUA PARA ANÁLISIS RELACIÓN DE PAISAJE SOLO EN MICROBACÍA DE AGUA SECA (SP)

SWAT (*SOIL AND WATER ASSESSMENT TOOL*) WATER MODEL FOR ANALYSIS SOLO-LANDSCAPE RELATIONSHIP IN DRY STREAM WATER MICROBACY (SP)

Apresentação: Comunicação Oral

Poliana Mara Reis Freire¹; Profa. Dr. Teresa Cristina Tarlé Pissarra²; Prof. Dr. Marcílio
Vieira Martins Filho³

DOI: <https://doi.org/10.31692/2526-7701.IVCOINTERPDVAgro.2019.0015>

Resumo

O objetivo deste estudo constituiu em analisar a aplicabilidade do modelo SWAT na relação solo-paisagem na microbacia do Córrego Seco. A aplicação do SWAT foi determinada para compreender as unidades hidrológicas de acordo com o solo, uso do solo e declividade no intuito de determinar quais os fatores predominantes na relação solo-paisagem. A natureza desta pesquisa foi caráter quantitativo do tipo experimental. Para a efetivação deste trabalho, inicialmente foi realizado um levantamento dos dados preexistentes na área de estudo, seguido de revisão bibliográfica, manipulação dos dados em sistema de informação geográfica - SIG e pôr fim a determinação e análise dos dados de entrada do modelo SWAT, utilizando ferramentas de geoprocessamento no software ArcGIS, juntamente com o inventário dos pontos coletados da área de estudo. Com a interface do programa SWAT com o software ArcGIS denominado ARCSWAT, foi possível gerar a caracterização morfométrica da microbacia, elaboração e edição de cenários ambientais e sua reprodução em forma de mapas e tabelas nas simulações hidrológicas. A elaboração dos mapas temáticos e a aplicação do modelo matemático foram utilizados para determinar o comportamento

¹Programa de Pós-graduação em Agronomia (Ciência do Solo), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV), Universidade Estadual de São Paulo (UNESP), polianamaraf@hotmail.com

²Departamento de Engenharia Rural, FCAV/UNESP, teresap@fcav.unesp.br

³Departamento de Solos e Adubos, FCAV/UNESP, mfilho@fcav.unesp.br

hidrológico na microbacia e suas modificações na relação solo-paisagem quanto às sub-bacias, uso do solo e solo. A topografia do terreno e suas depressões interferem no processo de escoamento superficial das águas e com isso determina mudanças na paisagem. Diante dos mapas gerados deste trabalho sugere-se que: é necessário manejar e conservar os recursos naturais em áreas onde ocorre intenso uso do solo. E conscientizar o agricultor a compreender a importância da conservação dos recursos naturais. A bacia do Córrego Seco está dividida em 17 sub-bacias, com predomínio do uso do solo com a cultura de cana-de-açúcar, principais classes de solo Argissolo e Latossolo, declividade de 0 a 15% e altitude de 463 a 577 m. O modelo SWAT é de alta relevância para o estudo da relação solo-paisagem em bacias hidrográficas.

Palavras-Chave: Solo-Paisagem, microbacia hidrográfica, SWAT, Geoprocessamento.

Resumen

El objetivo de este estudio fue analizar la aplicabilidad del modelo SWAT en la relación suelo-paisaje en la cuenca Dry Stream. La aplicación de SWAT se determinó para comprender las unidades hidrológicas de acuerdo con el suelo, el uso del suelo y la pendiente con el fin de determinar qué factores predominan en la relación suelo-paisaje. La naturaleza de esta investigación fue el carácter cuantitativo del tipo experimental. Para llevar a cabo este trabajo, se realizó inicialmente una encuesta de datos preexistentes en el área de estudio, seguida de revisión bibliográfica, manipulación de datos en el sistema de información geográfica - SIG y finalización de la determinación y análisis de datos de entrada SWAT, utilizando herramientas de geoprocésamiento en el software ArcGIS, junto con el inventario de puntos recopilados del área de estudio. Con la interfaz SWAT con el software ArcGIS llamado ARCSWAT, fue posible generar la caracterización morfométrica de la cuenca, la elaboración y edición de escenarios ambientales y su reproducción en forma de mapas y tablas en simulaciones hidrológicas. La elaboración de mapas temáticos y la aplicación del modelo matemático se utilizaron para determinar el comportamiento hidrológico en la cuenca y sus modificaciones en la relación suelo-paisaje con respecto a las subcuencas, el uso del suelo y el suelo. La topografía del terreno y sus depresiones interfieren con el proceso de escorrentía superficial y, por lo tanto, determinan los cambios del paisaje. Dados los mapas generados a partir de este trabajo, se sugiere que: es necesario gestionar y conservar los recursos naturales en áreas donde se produce un uso intensivo de la tierra. Y concientizar al agricultor sobre la importancia de conservar los recursos naturales. La cuenca Córrego Seco se divide en 17 subcuencas, con predominio del uso de la tierra con cultivo de caña de azúcar, principales clases de suelo Argisol y Latosol, pendiente de 0 a 15% y altitud de 463 a 577 m. El modelo SWAT es de gran relevancia para el estudio de la relación suelo-paisaje en cuencas hidrográficas.

Palabras Clave: Paisaje del suelo, Cuenca, SWAT, Geoprocésamiento.

Abstract

The objective of this study was to analyze the applicability of the SWAT model in the soil-landscape relationship in the Dry Stream watershed. The application of SWAT was determined to understand the hydrological units according to soil, land use and slope in order

to determine which factors predominate in the soil-landscape relationship. The nature of this research was quantitative character of the experimental type. To carry out this work, a survey of pre-existing data in the study area was initially performed, followed by bibliographic review, manipulation of data in geographic information system - GIS and ending the determination and analysis of SWAT input data, using geoprocessing tools in ArcGIS software, along with the inventory of points collected from the study area. With the SWAT interface with ArcGIS software called ARCSWAT, it was possible to generate the morphometric characterization of the watershed, elaboration and editing of environmental scenarios and their reproduction in the form of maps and tables in hydrological simulations. The elaboration of thematic maps and the application of the mathematical model were used to determine the hydrological behavior in the watershed and its modifications in the soil-landscape relationship regarding the sub-basins, soil use and soil. The topography of the terrain and its depressions interfere with the surface runoff process and thus determine landscape changes. Given the maps generated from this work it is suggested that: it is necessary to manage and conserve natural resources in areas where intense land use occurs. And make the farmer aware of the importance of conserving natural resources. The Córrego Seco basin is divided into 17 sub-basins, with predominance of land use with sugarcane cultivation, main soil classes Argisol and Latosol, slope from 0 to 15% and altitude of 463 to 577 m. The SWAT model is of high relevance for the study of the soil-landscape relationship in watersheds.

Keywords: Soil-Landscape, Watershed, SWAT, Geoprocessing.

1. Introdução

De acordo com Campos (2012), as relações solo-paisagem permitem associar atributos topográficos e tipos de solo, sendo úteis na predição de ocorrência dos tipos de solos nas paisagens e contribuindo no estudo especificado dos solos. Os conceitos das relações solo-paisagem estabelecem as formas da superfície da terra, componentes de superfície e atributos do solo.

O relevo é o elemento de formação que controla a distribuição de matéria no sistema solo. A utilização de seus atributos, como a declividade, para determinar relações com os processos pedogenéticos tem facilitado o entendimento de pedogênese (SILVA,2007). A topografia do terreno controla diversos processos hidrológicos, geomórficos e pedológicos, influenciando a radiação solar, precipitação pluvial, escoamento superficial, evaporação, regime de umidade do solo e tipo de vegetação, entre outros (CHAGAS et al.,2013).

Na lei Estadual Paulista 7.663/91, que determina normas de orientação á Política Estadual de Recursos Hídricos, na Lei Federal 9.433/97 que institui a Política Nacional de

Recursos Hídricos, a utilização da bacia hidrográfica é determinada como unidade físico-territorial para o planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos. Dessa forma, a bacia hidrográfica, como unidade de planejamento, permite o estudo dos elementos da natureza e da sociedade (água, relevo, solo, fauna e flora, urbanização, agropecuária, dentre outros) de forma integrada (SOARES,2015).

Estudos hidrológicos em bacias hidrográficas tem sido amplamente realizado a partir do entendimento dos processos que influenciam no movimento da água e sedimentos. Deste modo, os modelos hidrológicos constituem ferramentas de representação desses processos com alta eficiência para simulação de cenários de mudanças climáticas, de modificações do uso do solo e de ações antrópicas em diversas escalas espaciais e temporais (BLAINSKI,2017).

Dentre os modelos hidrológicos, o modelo SWAT se destaca-se por ser um modelo completo. O SWAT é um modelo matemático semidistribuído que permite que vários processos físicos sejam simulados na bacia, com o intuito de analisar os impactos causados pelas ações antrópicas e por processos naturais. O modelo possibilita avaliar alterações no uso e ocupação do solo nas bacias sobre o escoamento superficial e subterrâneo, a produção e transporte de sedimentos e nutrientes e a qualidade de água (PINTO,2011).

As técnicas de Geoprocessamento, implementadas nos Sistemas de Informações Geográficas, são importantes aliadas do planejamento e avaliação do uso e degradação do solo, permitindo a realização de estimativas de perdas de solos por erosão, a classificação das terras segundo a capacidade de uso, a simulação da degradação do solo através de cenários e diversas análises espaciais com rapidez e precisão, através da álgebra de mapas (DEMARCHI,2012).

O modelo hidrossedimentológico SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*-Ferramenta de Avaliação de Solo e Água) possui uma junção com o Sistema de Informações Geográficas (SIG), com o software ArcGIS e equações matemáticas, que configuram o comportamento hidrológico de uma determinada bacia, e por meio da interface denomina-se ArcSWAT. Onde possibilita que o modelo seja sustentado de modo mais fácil e direto, proporcionando melhor entendimento dos resultados adquiridos nas simulações.

Neste contexto para implantar sistemas auto-sustentáveis é importante conhecer as características do solo e dentre elas a sua estabilidade. Tal cenário fez necessário a realização desta pesquisa que contribuirá não só como base de conhecimento científico, como também, suporte para o planejamento e melhor uso/ocupação da área, visando a proteção dos recursos naturais. Com isso o objetivo deste estudo constituiu em analisar a aplicabilidade do modelo SWAT na relação solo-paisagem na microbacia do Córrego Seco.

2. Materiais e Métodos

2.1 Caracterização da Área de Estudo

A área de estudo é delimitada pela microbacia do Córrego Seco, pertence a Bacia Hidrográfica do rio São Domingos que é definida como Unidade Hidrográfica de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI-15). Apresenta área territorial de 14.2 km², situa-se no Noroeste do estado de São Paulo, cujas coordenadas em UTM (Universal Transversa de Mercator) são: longitudes 694000 m E 703000 m E latitudes 7679200 m N e 7674800 m N, fuso 22 K, Meridiano Central 51° W Gr. (Figura 1).

Figura 1 - Localização da área de estudo.

Fonte: Própria (2019)

A área em estudo localiza-se no município de Tabapuã, trata-se de uma região cuja economia se sustenta, fundamentalmente, pelas atividades agropecuárias, produção agrícola e o comércio. A indústria canavieira tem contribuído, nos últimos anos, devido à grande valorização do mercado. O município também se sobressai na produção agrícola, com participação do café e laranja.

Tabapuã possui uma área de 345,792 km², e com relação às suas características demográficas, de acordo com IBGE (2018) apresenta uma população estimada de 12.328 mil habitantes, PIB per capita (2016) de R\$ 21.014,42 anuais e IDHM 0,735 do ano de 2010, o que situa esse município na faixa de Desenvolvimento Humano Alto (IDMH entre 0,700 e 0,799).

O relevo é classificado como suave ondulado a ondulado, (3 a 20%), de acordo com as classes da Embrapa (1999). A geologia da área de estudo envolve principalmente rochas da Bacia do Paraná. Os solos predominantes, segundo o Mapa de Solos do estado de São Paulo, são Gleissolos Hápticos GX5, Latossolos Vermelhos - LV21, Argissolos Vermelho-Amarelos - PVA4.

A vegetação natural da área corresponde a VS-AA. F Vegetação Secundária e Atividades Agrárias, Floresta Estacional Semidecidual, e bioma da Mata Atlântica. O clima é da Zona tropical Brasil central, considerado úmido, conforme os mapas de Vegetação, Bioma e Clima do estado de São Paulo.

Modelo SWAT

O modelo hidrológico *Soil and Water Assessment Tools* (SWAT), foi desenvolvido no Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA), serviço de Pesquisas Agrícolas (ARS). Este modelo matemático permite que diferentes processos físicos sejam simulados, em escala de bacia hidrográfica, capaz de prever o efeito de diferentes usos do solo (cenários) com relação a qualidade e quantidade de água, e na produção de sedimentos e agroquímicos (NEITSH et al., 2005).

A aplicação do modelo SWAT foi determinada para compreender as unidades hidrológicas de acordo com o solo, uso do solo e declividade no intuito de determinar quais os fatores predominantes na relação solo-paisagem.

2.2 Metodologia

A natureza desta pesquisa é de caráter quantitativo do tipo experimental. Para a efetivação deste trabalho, inicialmente foi realizado um levantamento dos dados preexistentes na área de estudo, seguido de revisão bibliográfica, manipulação dos dados em sistema de informação geográfica - SIG e pôr fim a determinação e análise dos dados de entrada do modelo SWAT, utilizando ferramentas de geoprocessamento no software ArcGIS. Juntamente com o inventário dos pontos coletados da área de estudo, disponíveis no banco de dados do Grupo de pesquisa CSME (Caracterização do Solo para Fins de Manejo Específico). A sistemática de trabalho envolveu as etapas descritas no fluxograma mostrado na Figura 2.

Figura 2 – Principais atividades desenvolvidas.

Fonte: Própria (2019)

Dados de Entrada do Modelo

Para a simulação inicial da microbacia do Córrego Seco, o modelo SWAT necessita de dados de entrada geoespaciais composto pelos dados de altitude, solo e uso do solo. Os dados climáticos foram obtidos no site do SWAT (<https://swat.tamu.edu/>), que são Dados de Reanálise do Sistema de Previsão Climática (CFSR) dos anos de 1979-2014, são diários e mensais, como: temperatura máxima, temperatura mínima, precipitação, velocidade do vento, radiação solar e umidade relativa do ar.

Modelo Digital de Elevação (MDE)

Para obter os dados de altitude, foi utilizado o documento base do Modelo Digital de Elevação, oriundo de imagens da plataforma Alaska do portal de dados Vertex (ASF) da NASA (*National Aeronautics and Space Administration* - Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço) de 2019, com resolução espacial de 12,5 x 12,5 metros, e

georreferenciadas no sistema de coordenadas Datum SIRGAS 2000, no sistema de projeção UTM na zona 22S (quadrante do fuso UTM 22K).

Mapa de Uso e Ocupação do Solo

O uso do solo em um estudo detalhado foi vetorizado manualmente e classificado por técnicas de interpretação visual em imagem orbitais obtidas por satélites no aplicativo Google Earth. As imagens extraídas correspondem ao dia 08.05.2019. A microbacia do córrego Seco foi delimitada a partir do contorno da área por seus pontos de altitude mais altos, e traçados das curvas de nível do terreno, que correspondem aos divisores topográficos. As redes de drenagem principal, os tributários e os pontos de nascentes foram vetorizados por técnicas de interpretação visual na imagem, correspondentes às linhas sinuosas contínuas de coloração verde escura.

Logo após, estas imagens foram importadas por técnicas de geoprocessamento no Sistema de informações geográficas – SIG, programa ArcGIS 10.2 (ESRI, ano 2013), na extensão *KML*, onde foi utilizado ferramentas de edição de comando *KML to Layer* e da ferramenta *Arc toolbox > Conversion Tools > From Kml > Kml to layer*. Com isso foi possível gerar o mapa de uso do solo figura (3).

Figura 3. Mapa com as classes de uso e ocupação do solo da microbacia.

Fonte: Própria (2019)

Classes do Solo

Os dados de solos predominantes na microbacia do Córrego Seco foram obtidos através do Mapa pedológico do estado de São Paulo, com base cartográfica do IBGE 1:50.000, ano 2017. Através das ferramentas do ArcGIS, *Geoprocessin > Clip*, juntamente com os dados de entrada, Mapa do solo do Estado de São Paulo e o limite da bacia. Foi gerado o recorte do mapa e assim foi possível identificar as classes de solo que ocorrem na microbacia, onde apresentou três tipos de solos, sendo: Gleissolos Hápicos GX5, Latossolos Vermelhos - LV21 e Argissolos Vermelho-Amarelos - PVA4, ilustrados na figura 4.

Figura 4: Mapa com as classes de solo presente na microbacia do Córrego Seco.

Fonte: Própria (2019)

Parâmetros de Solo

Para o banco de dados de solo do modelo SWAT são exigidas informações de características físico hídricas de cada classe do solo, para poder realizar a simulação hidrológica. Sendo eles, parâmetros do componente do solo e parâmetros da camada do solo apresentadas na (tabela 1). Além disso foi adicionado características físicas dos solos da microbacia hidrográfica que são requeridos pelo SWAT, o modelo dispõe de um banco de dados próprio com apenas informações referentes aos solos dos Estados Unidos.

No entanto a região deste trabalho é no Brasil e os solos são diferentes, desse modo foi necessário que os dados específicos da microbacia do Córrego Seco fossem introduzidos

manualmente no modelo. Algumas destas características foram fundamentadas no trabalho realizado no Brasil por Baldissera (2005) e no portal de Sistema de Informação de Solos Brasileiros da Embrapa.

Conforme U.S. *Natural Resource Conservation Service* (NRCS *Soil Survey Satff*, 1986), os solos são classificados em quatro grupos hidrológicos (A, B, C e D) em função dos valores de condutividade hidráulica (mm/h) de cada classe de solo nos seus distintos Horizontes.

Os solos da microbacia foram classificados como pertencentes ao grupo hidrológico B que são solos com moderada taxa de infiltração, condutividade hidráulica saturada entre 5 e 150 mm/hr, solos constituídos de sedimentos moderadamente grossos a moderadamente finos, e moderadamente bem drenados. Estes solos têm moderada taxa de transmissão de água (BALDISSERA, 2005).

Tabela 1 - Características físicas das classes de solo na área de estudo.

SOIL COMPONENT PARAMETERS	PARÂMETROS DO COMPONENTE DO SOLO	SOLOS DA ÁREA DE ESTUDO		
CLASSES:	SIGNIFICADO DE CADA CLASSE DO MODELO SWAT:	GLEISSOLOS HÁPLICOS <u>GX5</u>	LATOSSOLOS VERMELHOS <u>LV21</u>	ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS <u>PVA4</u>
SNAM - Soil name	Classificação do solo (nome dados a cada classe)	GLEISSOLO	LATOSSOLO	ARGISSOLO
NLAYERS - Number of layers in the soil. Min1 Max 10	Número layers de informação (números de horizontes)	4.00	4.00	3.00
HYDGRP - Soil Hydrologic group	Grupo de mínima saturação hidráulica (A, B, C e D)	B	B	B
SOL_ZMX(mm) - Maximum rooting depth of soil profile. Min 0 Max 3500	Profundidade máxima de solo que a raiz alcança (mm)	1300.00	1500.00	1300.00
ANION_EXCL (fraction) - Fraction of porosity (void space) from which anions are excluded. Min 0.01 Max 1	Fração de porosidade do solo (fração)	0.39	0.38	0.32
SOL_CRK(M3/M3) - [OPTIONAL] Crack volume potential of soil. Min 0 Max 1	Potencial de volume de fissuras(rachadura) do solo	0.00	0.00	0.00
TEXTURE - [OPTIONAL]Texture of soil layer	Textura da camada do solo	Variável/ arenosa à argilosa	Argilosa	Arenosa/Média

Fonte: Própria (2019)

Continuação tabela 1.

SOIL LAYER PARAMETERS	PARÂMETROS DA CAMADA DE SOLO	GX5	LV21	PVA4	GX5	LV21	PVA4	GX5	LV21	PVA4	GX5	LV21	PVA4
SOIL LAYER - Soil Layer	Camada de solo	1	1	1	2	2	2	3	3	3	4	4	Não possui
SOL_Z(mm) - Depth from soil surface to bottom of layer. Min 0 Max 3500	Profundidade de cada horizonte (mm)	80.00	360.00	200.00	450.00	760.00	550.00	750.00	1210.00	1300.00	1300.00	1500.00	-
SOL_BD(g/cm3) - Moist bulk density. Min 0.9 Max 2.5	Densidade do solo (g/cm)	1.40	1.50	1.70	1.50	1.70	1.70	1.60	1.70	1.70	1.70	1.60	-
SOL_AWC(mm/mm) - Available water capacity of the soil layer.Min 0 Max 1	Capacidade de água do solo (mm/mm)	1.00	0.30	0.40	0.10	0.30	0.40	0.70	0.40	0.70	0.50	0.40	-
SOL_K(mm/hr) - Saturated hydraulic conductivity. Min 0 Max 2000	Condutividade hidráulica saturada (mm/hr)	12.50	12.50	90.00	5.00	12.50	90.00	40.00	12.50	12.50	12.50	12.50	-
SOL_CBN(%wt.) Organic carbon content. Min 0.05 Max 10	Conteúdo de carbono orgânico do solo (%peso solo)	2.80	1.10	1.30	0.70	0.20	0.60	0.30	0.50	0.30	0.30	0.40	-
CLAY(%wt.) - Clay content. Min 0 Max 100	Porcentagem de argila no solo (%peso solo)	26.40	30.30	11.70	37.80	29.80	18.80	25.60	29.50	20.80	21.50	35.60	-
SILT(%wt.) - Silt content. Min 0 Max 100	Porcentagem de silte no solo (%peso solo)	71.50	16.00	18.10	56.30	14.30	17.20	62.40	13.80	18.30	57.30	15.90	-
SAND(%wt.) - Sand content. Min 0 Max 100	Porcentagem de areia no solo (%peso solo)	2.10	53.70	70.20	5.90	55.90	64.00	12.00	56.70	60.90	21.20	48.50	-
ROCK(%wt.) - Rock fragment content. Min 0 Max 100	Porcentagem de cascalho no solo (% volume)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-
SOL_ALB (fraction) - Moist soil albedo. Min 0 Max 0.25	Albedo do solo (fração)	0.16	0.15	0.15	0.16	0.15	0.15	0.16	0.15	0.15	0.16	0.15	-
USLE_K - USLE equation soil erodibility(K) factor.Min 0 Max 0.65	Equação da USLE: fator de erodibilidade do solo (K). (0,013 t.m2.hr/m3.t.cm)	0.31	0.13	0.14	0.30	0.14	0.15	0.26	0.14	0.16	0.21	0.14	-
SOL_EC (ds/m) - Electrical conductivity. Min 0 Max 100	Condutividade elétrica	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-
SOL_CAL% -Calcium carbonate content. Min 0 Max 65	Teor de carbonato de cálcio	0.002	0.023	0.035	0.002	0.023	0.035	0.002	0.023	0.035	0.002	0.023	-
SOL_PH - Soil pH Min 3 Max 10	PH do solo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-

Fonte: Própria (2019)

Após todos os parâmetros obtidos digita-se direto no banco de dados do modelo SWAT cada classe de solo para cada horizonte, como é mostrado na figura 5. O modelo relaciona os dados a classe de solo determinada no plano de informação (PI) pedológico e cria o cadastro de entrada.

Figura- 5 Entrada do modelo onde são inseridos os dados do solo requeridos para cada classe de solo e cada horizonte.

Fonte: Própria (2019)

3. Resultados e Discussão

Utilizando a interface do programa SWAT com o software ArcGIS, denominado ARCSWAT, foi possível gerar a caracterização morfométrica da microbacia, elaboração e edição de cenários ambientais e sua reprodução em forma de mapas e tabelas nas simulações hidrológicas.

A elaboração dos mapas temáticos e a aplicação do modelo matemático foram utilizados para determinar o comportamento hidrológico na microbacia e suas modificações na relação solo-paisagem quanto às sub-bacias, uso do solo e solo. Para Oliveira (2016), o estudo das relações entre os solos e os elementos da paisagem, sejam estes de superfície ou subsuperfície, apresentam uma abordagem analítica com vistas a auxiliar a identificação e o mapeamento de solos. A grande variabilidade de solos mapeados está relacionada principalmente à diversidade litológica e topográfica da bacia.

Sub-bacias geradas na concretização para aplicação do SWAT

De acordo com as altitudes do Modelo Digital de Elevação, o ArcSWAT gerou a rede de drenagem e os divisores topográficos da área. A área foi dividida em 17 sub-bacias por delimitação automática e foram calculados os parâmetros da área, declividade média, elevação média, máxima e mínima para cada sub-bacia (Tabela 2).

No mapa (Figura 6) pode-se observar a elevação média da área da microbacia do Córrego Seco e as suas sub-bacias delimitadas pelo ArcSWAT. Verifica-se que as altitudes da bacia variam de 463 m região foz e 577 m região da cabeceira (nascente principal) e observa-se que grande parte da microbacia está em região de relevo suave ondulado a ondulado.

Figura 6. Modelo Digital de Elevação da concretização do modelo SWAT.

Fonte: Própria (2019)

Na aplicação do modelo SWAT, a microbacia hidrográfica do Córrego Seco foi subdividida em 17 sub-bacias (Figura 7) em unidades Hidrológicas de Resposta (HRU'S) tendo como base o número de tributários, onde estas unidades territoriais apresentam importante aplicabilidade no sistema de drenagem das águas superficiais e são utilizadas para conduzir as atividades entre os fatores topográficos de uso e conservação dos recursos naturais e dentre os processos de escoamento superficial das águas das chuvas.

Figura 7. Sub-bacias em unidades Hidrológicas de Resposta (HRU'S).

Fonte: Própria (2019)

Pode-se observar (Tabela 2) e Figura 7, que as sub-bacias que mais se destacaram quanto na área e elevação foram a sub-bacia 17 com a maior área 231,59 ha, e a sub-bacia 5, com a menor área 5,78 ha e menor elevação 482,84 m. A sub-bacia 8 apresentou maior elevação 558,04 m.

Tabela 2. Sub-bacias geradas pelo modelo SWAT, com área em hectares e elevação média

Sub-bacias	Área (ha)	Elevação média (m)
1	32,375	524,82
2	41,375	531,29
3	147,0625	506,29
4	89,40625	487,30
5	5,78125	482,84
6	38,421875	493,98
7	44,703125	554,49
8	86,296875	558,04
9	130,79688	523,83
10	101,07813	526,53
11	29,375	541,69
12	204,75	537,93
13	126,14063	498,26
14	19,90625	494,70

15	53	522,71
16	37,703125	524,21
17	231,59375	509,67

Fonte: Própria (2019)

Nos trabalhos realizados por Pissarra (2004), a morfometria é diversa entre as sub-bacias caracterizadas pelo SWAT, principalmente na área e no comprimento da rede de drenagem, isto é, ocorre um comportamento hidrológico especificado.

Mapa de Uso

O uso e ocupação do solo na microbacia do Córrego Seco foram destacados por mata e pela exploração agrícola, como a cana-de-açúcar, pequenas áreas de citrus e eucalipto, pastagens e edificação rural (Figura 8, tabela 3). Pode-se observar que a classe de cana-de-açúcar é predominante na área, com tratos culturais intensivos e em anos específicos ocasionados por rotações de culturas tendo em vista as reformas dos canaviais. De acordo com Pelisson (2017), destaca-se que a cana de açúcar vem se desenvolvendo sobre o meio rural tabapuanense, devido à grande valorização no mercado, com instalação de usinas na região.

Tabela 3. A tabela 1 apresenta a junção dos usos do solo do SWAT com os usos presentes na bacia do Córrego Seco.

Usos do solo no SWAT	Uso e ocupação do solo	Área (ha)	Área (%)
FRST	MATA	203,7188	14,35
URLD	EDIFICAÇÃO RURAL	1,9375	0,14
PAST	PASTAGEM	18,7813	1,32
EUCA	EUCALIPITO	16,4063	1,16
ORAN	CITRUS	76,2031	5,37
SUGC	CANA-DE-AÇÚCAR	1102,7188	77,67

Fonte: Própria (2019)

Figura 8. Mapa com as classes de uso e ocupação do solo da microbacia, nos compartimentos do modelo SWAT.

Fonte: Própria (2019)

Solo

Foi gerado pelo modelo o mapa pedológico com as classes de solo (Figura 9), intercalados com o banco de dados dos solos introduzidos anteriormente, com os valores das características físicas das três classes de solo determinadas para cada horizonte que foram apresentados na tabela 1. Na tabela 4 estão presentes as três classes de solo com a área ocupada na microbacia.

Tabela 4. Áreas ocupadas por cada tipo de solo presente na bacia segundo o modelo SWAT.

Tipos de Solo	Área (ha)	Área (%)
ARGISSOLO	1229,8125	86,62
GLEISSOLO	12,9531	0,91
LATOSSOLO	177,0000	12,47

Fonte: Própria (2019)

Figura 9. Mapa das Classes de Solo nos compartimentos do SWAT.

Fonte: Própria (2019)

A aplicação de modelos de paisagem com o objetivo de compreender o comportamento dos atributos do solo, apresenta-se como alternativa eficaz nos estudos das relações solo-paisagem, dado que, esses modelos permitem compreender o solo no sentido conceitual como corpo natural, juntamente em que se relaciona todas as possíveis razões de variação (CAMPOS,2012).

Declividade

O modelo gerou o mapa (figura 10) com as classes de declividade (SLOPE), neste estudo foi adotado o método adaptado pela Embrapa (1999), onde 3-8 e 8-20% o relevo é classificado como suave ondulado a ondulado. As classes de declive da microbacia do Córrego Seco variam de 0 a 15 %, declividade baixa/média. Na tabela 5 apresenta-se as áreas com as classes de declividade (SLOPE) na microbacia do Córrego Seco gerado pelo ArcSWAT.

Tabela 5. Classes de declividade na microbacia segundo o modelo SWAT.

Declividade (SLOPE)	Área (ha)	Área (%)
0-8	1062,3906	74,83
8-15	315,2188	22,20
15-999	42,1563	2,97

Fonte: Própria (2019)

Figura 10. Mapa de Declividade nos compartimentos do modelo.

Fonte: Própria (2019)

A topografia do terreno e suas depressões interferem no processo de escoamento superficial das águas e com isso determina mudanças na paisagem.

O Modelo Digital de Elevação (MDE), possibilita observar nitidamente informações referentes a topografia (grau de inclinação do declive e direção da drenagem), fato que caracteriza grande avanço para os estudos de erosão do solo, visto que dessa maneira é capaz de realizar a predição da taxa de erosão (CAMPOS,2006). Os mapas evidenciaram a importância de estudar a formação e o desenvolvimento dos processos erosivos. Conhecer todos os fatores envolvidos na sua formação torna-se necessário para que possa recomendar o uso de técnicas preventivas e medidas de contenção, remediando as perdas de solos e nutrientes e os impactos decorrentes.

Somente a partir do entendimento da dinâmica de fenômeno da erosão em determinadas áreas será possível estabelecer práticas conservacionistas mais complexas.

4. Conclusão

A bacia do Córrego Seco está dividida em 17 sub-bacias, com predomínio do uso do solo com a cultura de cana-de-açúcar, principais classes de solo Argissolo e Latossolo, declividade de 0 a 15% e altitude de 463 a 577 m. O modelo SWAT é de alta relevância para o estudo da relação solo-paisagem em bacias hidrográficas.

Referências

BALDISSERA, G. C. 2005. Aplicabilidade do modelo de simulação hidrológica SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*), para a Bacia Hidrográfica do Rio Cuiabá/MT. 132f. Dissertação de Mestrado em Física e Meio Ambiente, Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, Mato Grosso, Brasil, 132p.

BLAINSKI, Éverton; ACOSTA, Eileen; NOGUEIRA, Patrícia Carvalho do Prado. Calibração e validação do modelo SWAT para simulação hidrológica em uma bacia hidrográfica do litoral norte catarinense. *Rev. Ambient. Água*, Taubaté, v. 12, n. 2, p. 226-237. Acesso 01 agosto. 2019. <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1951>.

CAMPOS, M. C. C.; CARDOZO, N. P.; MARQUES JÚNIOR, J. Modelos de Paisagem e sua Utilização em Levantamentos Pedológicos. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, Sergipe, v. 6, n. 1, p. 104-114, 2006.

CAMPOS, M. C. C. Relação solo-paisagem: conceitos, evolução e aplicações. *Ambiência*, v. 8, n. 3, p. 963-982, 2012.

CHAGAS, César da Silva et al. Atributos topográficos na diferenciação de Argissolos. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, Viçosa, v. 37, n. 6, p. 1441-1453, 2013.

DEMARCHI, J. C. Geotecnologias aplicadas à estimativa de perdas do solo por erosão hídrica na sub-bacia do Ribeirão das Perobas, Município de Santa Cruz do Rio Pardo – SP. 2012. xv, 150 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu, 2012. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/90559>>. Acesso em 10 de maio de 2019.

EMBRAPA. Classificação de Solos do Estado de São Paulo. 1999.

EMBRAPA (Sistema de Informação de Solos Brasileiros). Disponível em: <http://www.sisolos.cnptia.embrapa.br/>. 2019. Acesso em: 10/07/2019.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/sp/tabapua.html>>. 2019. Acesso em: 10/07/2019.

OLIVEIRA, A. R. Relações solo-paisagem e modelo de predição de solos na bacia do Córrego Marinheiro, Sete Lagoas (MG). 2016. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Minas Gerais.

NEITSCH, S.L. et al. Soil and water assessment tool: theoretical documentation version 2005. Temple: Blackland Research Center, 2005. 541 p.

PELISSON, G. V. A expansão da cana-de-açúcar pelo território do município de Tabapuã/SP. In: VIII SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE GEOGRAFIA AGRÁRIA e IX

SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOGRAFIA AGRÁRIA, 2017, Curitiba. Reestruturação produtiva e processos migratórios no campo, 2017. p. 1-16.

PINTO, D.B. F. Aplicação do modelo SWAT (*Soil Water Assessment Tool*) na simulação hidrossedimentológica em bacias hidrográficas da Serra da Mantiqueira, MG. 2011.Tese (doutorado)-Universidade Federal de Lavras.

PISSARA, T.C.T.; POLITANO, W.; FERRAUDO, A. S. Avaliação de características morfométricas na relação solo-superfície da bacia hidrográfica do córrego Rico, Jaboticabal (SP). Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa-MG, v.28, n.2, p.297-305, mar./abr.2004.

SILVA, Alexandre Christofaro et al. Relações entre matéria orgânica do solo e declividade de vertentes em topossequência de Latossolos do Sul de Minas Gerais. Rev. Bras. Ciênc. Solo, Viçosa, v.31,n.5, p.1059-1068, Oct. 2007.

SOARES, F. B. Planejamento e Zoneamento Ambiental da Bacia Hidrográfica do Manancial Balneário da Amizade nos municípios de Álvares Machado e Presidente Prudente – São Paulo/ Brasil. Dissertação de mestrado. FCT/UNESP, 2015.