

## RESSALVA

Atendendo solicitação do(a)  
autor(a), o texto completo desta tese  
será disponibilizado somente a partir  
de 12/06/2019.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
“Júlio de Mesquita Filho”  
Instituto de Geociências e Ciências Exatas  
Campus de Rio Claro

MARCELO ELIAS DELANEZE

ANÁLISE DAS MUDANÇAS DO USO E COBERTURA DA TERRA E DO ESTADO  
DE TEMPO SOBRE OS COMPONENTES HIDROLÓGICOS EM UMA BACIA  
HIDROGRÁFICA NO NOROESTE DO ESTADO DE SÃO PAULO

Tese de Doutorado apresentada ao  
Instituto de Geociências e Ciências Exatas  
do Campus de Rio Claro, da Universidade  
Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”,  
como parte dos requisitos para obtenção  
do título de Doutor em Geociências e Meio  
Ambiente

Orientadora: Profa. Dra. Paulina Setti Riedel

Rio Claro - SP  
2017

551.48 Delaneze, Marcelo Elias  
D337a Análise das mudanças do uso e cobertura da terra e do estado de tempo sobre os componentes hidrológicos em uma bacia hidrográfica no noroeste do estado de São Paulo / Marcelo Elias Delaneze. - Rio Claro, 2017  
170 f. : il., figs., gráfs., tabs., quadros, fots., mapas

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas  
Orientador: Paulina Setti Riedel

1. Hidrologia. 2. Modelagem hidrológica. 3. Pesos de evidência. 4. SWAT. 5. SUFI-2. 6. Dinamica-EGO. I. Título.

MARCELO ELIAS DELANEZE

ANÁLISE DAS MUDANÇAS DO USO E COBERTURA DA TERRA E DO ESTADO  
DE TEMPO SOBRE OS COMPONENTES HIDROLÓGICOS EM UMA  
BACIA HIDROGRÁFICA NO NOROESTE DO ESTADO  
DE SÃO PAULO

Tese de Doutorado apresentada ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas do Campus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Geociências e Meio Ambiente.

**Comissão Examinadora**

Profa. Dra. Paulina Setti Riedel  
(IGCE/UNESP)

Profa. Dra. Cláudia Maria de Almeida  
(DSR/INPE)

Prof. Dr. Marcelo de Oliveira Latuf  
(ICN/UNIFAL)

Prof. Dr. Rodrigo José Pisani  
(ICN/UNIFAL)

Prof. Dr. Sérgio dos Anjos Ferreira Pinto  
(IGCE/UNESP)

Rio Claro, 12 de junho de 2017

À minha esposa, Marina, por  
seu amor, apoio e  
companheirismo.

## **AGRADECIMENTOS**

À minha orientadora, profa. Dra. Paulina Setti Riedel, pela orientação, incentivo e amizade em mim depositados durante todos esses anos de orientação.

Aos meus pais, Jair e Lourdes, e ao meu irmão, André, por todo apoio que sempre me deram.

Aos amigos Mateus, Thaís e Rodrigo. Obrigado pela amizade, risadas e trocas de conhecimento.

À Rosângela Vacello, pela atenção, apoio e colaboração com as tarefas acadêmicas.

Ao Consórcio Intermunicipal Ribeirão Lajeado (CIRL), pelas informações compartilhadas e auxílio durante todas as atividades de campo.

À AES Tietê, pela disponibilização dos dados.

A todos os membros da comissão examinadora, pelas dúvidas esclarecidas e importantes contribuições dadas ao trabalho.

Ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas pela possibilidade de desenvolver o trabalho.

À Nallah, Cairo e Marvin, pela companhia e alegria que proporcionam.

Ao CNPq e CAPES, pelo auxílio financeiro e bolsa concedidos durante a pesquisa.

## RESUMO

A variabilidade climática e as mudanças no uso e cobertura da terra são dois fatores fundamentais que afetam a hidrologia das bacias hidrográficas, fortemente relacionada à disponibilidade de recursos hídricos e à sustentabilidade dos ecossistemas locais. Este trabalho estudou as mudanças do uso e cobertura da terra em uma área selecionada da UGRHI Baixo Tietê e analisou como essas mudanças influenciam a disponibilidade hídrica da bacia do ribeirão Lajeado, localizada nos municípios de Penápolis e Alto Alegre, estado de São Paulo. As mudanças no uso e cobertura da terra foram estudadas de 1985 a 2014, através da interpretação de imagens Landsat, e gerados prognósticos para os anos de 2020 e 2050, utilizando o modelo Dinamica EGO. Foram utilizados dois cenários de mudanças do estado de tempo, baseados no Relatório Especial sobre Cenários de Emissões do IPCC, o A1B, que corresponde ao cenário de médias emissões de CO<sub>2</sub> na atmosfera, e o A2, que é um cenário de altas emissões. O modelo de circulação geral adotado foi o CM2.1, desenvolvido pela NOAA. Este modelo foi selecionado por ser um dos modelos mais indicados para subescalonamento de mudanças climáticas para a América do Sul e devido ao seu baixo erro médio quadrático relativo as observações de temperatura e precipitação. Os impactos potenciais no futuro foram explorados usando padrões de uso e cobertura da terra projetados e cenários de tempo hipotéticos estabelecidos com base na análise de observações climáticas de longo prazo. Assim, foram estabelecidos três cenários para avaliar a disponibilidade hídrica na bacia do ribeirão Lajeado: o Cenário 1 representa a continuação da tendência histórica observada no período 2008 – 2014 até 2020; o Cenário 2 corresponde ao cenário de médias emissões de CO<sub>2</sub> na atmosfera projetado para o ano de 2050, e o Cenário 3 é o cenário de altas emissões de CO<sub>2</sub> projetado também para o ano de 2050. O ano de 2014 foi adotado como referência para as comparações com os cenários gerados. Para avaliar as mudanças na hidrologia da bacia foi utilizado o modelo hidrológico SWAT. Esse modelo, de base física, utiliza o Modelo Digital de Elevação (MDE) para delimitar as bacias, e também são necessários dados de parâmetros físico-químicos de solos e dados climáticos. A análise de sensibilidade do modelo hidrológico foi realizada através do SWAT CUP, utilizando o algoritmo *Sequential Uncertainty Fitting* (SUFI-2) e utilizando 12 parâmetros na análise. Os resultados do modelo de mudanças de uso e cobertura da terra mostraram que a partir de 2002 a expansão da

cana-de-açúcar torna-se mais expressiva, ocupando 14,55% da área, e a classe área urbana aumentou mais de 118% em todo o período analisado. Na vegetação arbórea, perdas sucessivas de área ocorreram entre os anos de 1990, 1996 e 2002, mas houve regeneração a partir de 2008. Em 2014, esta classe apresentava área maior do que em 1985. O modelo hidrológico mostrou que no Cenário 1 a substituição de áreas de pastagem (-11,08%) por cana-de-açúcar (+8,13%) apresentou variações no escoamento superficial, principalmente nas áreas de borda da bacia, onde a declividade é mais acentuada. As áreas que apresentam maior descarga de água subterrânea neste cenário são as áreas de cabeceiras de drenagem, caracterizadas por superfície freática rasa e rios efluentes, influenciados pela elevação regional dos níveis d'água devido à proximidade da barragem de Nova Avanhandava. No Cenário 2 (A1B), os impactos foram mais pronunciados, apresentando aumento em todos os componentes hidrológicos, influenciado principalmente pela taxa de precipitação mais elevada (33,6%) em relação a 2014. No Cenário 3 (A2), destaca-se o aumento da descarga de água subterrânea e escoamento subsuperficial na maioria das sub-bacias, que conseqüentemente reduziu o escoamento superficial. A descarga de água subterrânea ocorre principalmente ao longo dos sistemas de drenagem e zonas úmidas, incluindo lagos, planícies e planícies de inundação.

**Palavras-chave:** Modelagem hidrológica; Pesos de evidência; SWAT; SUFI-2; Dinamica-EGO



## ABSTRACT

Title: Analysis of land use/cover change and weather patterns on hydrological components in a stream watershed in the northwest of São Paulo state, Brazil.

Climate variability and Land Use/Land Cover Changes (LULCC) are two key factors affecting hydrology of watershed, strongly related to water availability resources and the sustainability of local ecosystems. This work evaluated the impacts of LULCC and weather patterns on water availability in Lajeado stream watershed, located in Penápolis and Alto Alegre municipalities, São Paulo state. LULCC was studied from 1985 to 2014 through the interpretation of Landsat images and forecasts were generated for the years 2020 and 2050 using the Dinamica EGO model. Two scenarios of climate change were adopted, based on the IPCC Special Report on Emissions Scenarios, the A1B, which corresponds to the scenario of average CO<sub>2</sub> emissions in the atmosphere, and A2, which is a scenario of high emissions. The General Circulation Model (GCM) adopted was CM2.1, developed by National and Atmospheric Administration (NOAA). This model was selected because it is one of the most suitable models for downscaling of climatic changes for South America and due to its low mean error relative to temperature and precipitation observations. Potential impacts on the future were explored using projected land use patterns and scenarios based on long-term climate observations. Thus, three scenarios were established to evaluate the water availability on the watershed: The first one represents the continuation of the historical trend observed in the 2008 - 2014 period until 2020; the second one corresponds to a scenario of average CO<sub>2</sub> emissions in the atmosphere projected for the year 2050, and Scenario 3 is a high CO<sub>2</sub> emissions scenario, projected also for the year 2050. The land use map of 2014 was adopted as a reference for the comparisons with the generated scenarios. To evaluate the hydrology changes in the watershed, the SWAT hydrological model was adopted. This physical model uses a digital elevation model (DEM) to delimit watersheds, and requires physical-chemical parameters of soils and climatic data. The sensitivity analysis was performed using SWAT CUP adopting the SUFI-2 algorithm and using 12 parameters in the analysis. The results of the LULCC model showed that as of 2002 the expansion of sugarcane became more expressive, occupying 14.55% of the area, and the urban area class increased by more than 118% in all the analyzed period. In the forest-mixed class,

successive losses of area occurred between 1990, 1996 and 2002, but forest recovery has been observed since 2008. In 2014, this class had a larger area than in 1985. The hydrological model showed that in Scenario 1 the replacement of grazing land areas (-1.08%) by sugarcane (+ 8.13%) presented variations on the surface runoff, mainly in the edge areas of the watershed, where slope is steeper. The areas with the highest groundwater discharge in this scenario are in headwaters, characterized by shallow water table and effluent rivers, influenced by the regional elevation of water levels due to the proximity of the Nova Avanhandava dam. In Scenario 2 (A1B), impacts were more pronounced, showing an increase in all hydrological components, mainly influenced by the highest precipitation rate (24.69%) in relation to 2014. In Scenario 3, there was an increase in groundwater discharge and subsurface flow in most of the subwatersheds, which consequently reduced runoff. Groundwater discharge occurs mainly along drainage systems and wetlands, including lakes, plains and flood plains.

**Keywords:** Hydrological model; Weights of evidence; SWAT; SUFI-2; Dinamica-EGO

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 - Vizinhança de Von Neumann e Moore.....   | 29 |
| Figura 2 - Classificação de modelos chuva-vazão de acordo com sua abordagem dos processos físicos. ....   | 31 |
| Figura 3 - Localização da área de estudo.. ....   | 33 |
| Figura 4 - Mapa das Unidades Litoestratigráficas.. ....   | 36 |
| Figura 5 - Mapa Unidades de Relevô.....   | 37 |
| Figura 6 - Mapa Pedológico... ..  | 39 |
| Figura 7 - Mapa altimétrico e isoietas.....   | 40 |
| Figura 8 - Área total plantada com cana-de-açúcar para os municípios da área de estudo. ....  | 42 |
| Figura 9 - Precipitação média mensal acumulada no período de 2010 a 2015.....   | 50 |
| Figura 10 - Localização das estações pluviométricas e fluviométricas utilizadas no modelo hidrológico. ....   | 52 |
| Figura 11 - Exemplo de sequência plotada An por An. eW+ da variável “distância às estradas”. ....   | 64 |
| Figura 12 - Mecanismo de funcionamento da função <i>patcher</i> .....   | 66 |
| Figura 13 – Método de comparação <i>fuzzy</i> usando os mapas de diferença em uma função de decaimento exponencial. ....  | 69 |
| Figura 14 - Fluxograma ilustrando as principais etapas de trabalho no modelo hidrológico.....   | 70 |
| Figura 15 - Componentes do balanço hídrico simulado dentro de uma sub-bacia no SWAT.....  | 71 |
| Figura 16 - Distribuição das classes de uso e cobertura da terra na UGRHI Baixo Tietê nos períodos estudados. ....  | 85 |
| Figura 17 - Comportamento dos pesos de evidência para a variável “distância à drenagem” na transição vegetação arbórea para pastagem, relativa ao período entre 1985 e 1990 para a UGRHI Baixo Tietê..... | 88 |
| Figura 18 - Comportamento dos pesos de evidência para a variável “altimetria” na transição cana-de-açúcar para pastagem, relativa ao período entre 1985 e 1990 para a UGRHI Baixo Tietê.....              | 89 |
| Figura 19 - Mapa de uso e cobertura da terra para o ano de 1990 referente à UGRHI Baixo Tietê, obtido pela classificação (esquerda) e mapa simulado (direita). ....                                       | 90 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 20 – Índice adaptado de similaridade <i>fuzzy</i> com decaimento constante para a paisagem simulada (1990) da UGRHI Baixo Tietê.....   | 91  |
| Figura 21 - Comportamento dos pesos de evidência para a variável “altimetria” na transição vegetação arbórea para cana-de-açúcar, relativa ao período entre 1990 e 1996 para a UGRHI Baixo Tietê.....         | 93  |
| Figura 22 - Comportamento dos pesos de evidência para a variável “distância aos centros urbanos” na transição solo exposto para pastagem, relativa ao período entre 1990 e 1996 para a UGRHI Baixo Tietê..... | 93  |
| Figura 23 - Mapa de uso e cobertura da terra do ano de 1996 referente à UGRHI Baixo Tietê, obtido pela classificação (esquerda) e mapa simulado (direita). ....   | 94  |
| Figura 24 – Índice adaptado de similaridade <i>fuzzy</i> com decaimento constante para a paisagem simulada (1996) da UGRHI Baixo Tietê.....   | 95  |
| Figura 25 - Comportamento dos pesos de evidência para a variável declividade na transição cana-de-açúcar para área urbana, relativa ao período entre 1996 e 2002 para a UGRHI Baixo Tietê.....                | 96  |
| Figura 26 - Comportamento dos pesos de evidência para a variável “altimetria” na transição vegetação arbórea para pastagem, relativa ao período entre 1996 e 2002 para a UGRHI Baixo Tietê.....               | 97  |
| Figura 27 - Mapa de uso e cobertura da terra do ano de 2002 referente à UGRHI Baixo Tietê, obtido pela classificação (esquerda) e mapa simulado (direita). ....   | 98  |
| Figura 28 – Índice adaptado de similaridade <i>fuzzy</i> com decaimento constante para a paisagem simulada (2002) da UGRHI Baixo Tietê.....   | 99  |
| Figura 29 - Comportamento dos pesos de evidência para a variável “altimetria” na transição vegetação arbórea para cana-de-açúcar, relativa ao período entre 2002 e 2008 para a UGRHI Baixo Tietê.....         | 100 |
| Figura 30 - Mapa de uso e cobertura da terra do ano de 2008 referente à UGRHI Baixo Tietê, obtido pela classificação (esquerda) e mapa simulado (direita). ....   | 102 |
| Figura 31 – Índice adaptado de similaridade <i>fuzzy</i> com decaimento constante para a paisagem simulada (2008) da UGRHI Baixo Tietê.....   | 103 |
| Figura 32 - Comportamento dos pesos de evidência para a variável “litologia” na transição vegetação arbórea para solo exposto, relativa ao período entre 2008 e 2014 para a UGRHI Baixo Tietê.....            | 104 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 33 - Comportamento dos pesos de evidência para a variável “distância aos centros urbanos” na transição cana-de-açúcar para pastagem, relativa ao período entre 2008 e 2014 para a UGRHI Baixo Tietê..... | 105 |
| Figura 34 - Mapa de uso e cobertura da terra do ano de 2014 referente à UGRHI Baixo Tietê, obtido pela classificação (esquerda) e mapa simulado (direita). .....  | 106 |
| Figura 35 – Índice adaptado de similaridade <i>fuzzy</i> com decaimento constante para a paisagem simulada (2014) da UGRHI Baixo Tietê.....   | 107 |
| Figura 36 - Gráfico ilustrando as alterações de área ocorridas para as paisagens simuladas da UGRHI Baixo Tietê.....  | 107 |
| Figura 37 - Mapa de hierarquia de drenagem. ....  | 109 |
| Figura 38 - Densidade de drenagem da bacia do ribeirão Lajeado.....   | 110 |
| Figura 39 - Curva hipsométrica da bacia do ribeirão Lajeado. ....   | 111 |
| Figura 40 - Mapa de uso e cobertura da terra na bacia do ribeirão Lajeado no ano de 2014. ....  | 112 |
| Figura 41 - Delimitação das sub-bacias na bacia do ribeirão Lajeado. ....   | 113 |
| Figura 42 - Análise de sensibilidade dos parâmetros de vazão para calibração do modelo hidrológico. ....  | 114 |
| Figura 43 - Hidrograma com as vazões observadas e simuladas com o registro de precipitação para a bacia do ribeirão Lajeado.....  | 115 |
| Figura 44 - Comparação da vazão acumulada observada e estimada para a bacia do ribeirão Lajeado: (a) período de calibração (05/2013 - 09/2014); (b) período de validação (10/2014 - 12/2015).....               | 116 |
| Figura 45 - Coeficientes de avaliação de desempenho do modelo para a calibração e validação da vazão (SUFI-2).....  | 117 |
| Figura 46 - Valores mensais de precipitação e temperatura para o ano de 2014 e para os cenários gerados para o ano de 2050. ....  | 118 |
| Figura 47 - Variações médias mensais na vazão para o ano de 2014 e cenários criados.....  | 120 |
| Figura 48 - Padrões espaciais de mudanças do escoamento superficial, descarga de água subterrânea, evapotranspiração e escoamento subsuperficial para o mês de janeiro. ....                                    | 122 |
| Figura 49 - Padrões espaciais de mudanças do escoamento superficial, descarga de água subterrânea, evapotranspiração e escoamento subsuperficial para o mês de julho.....                                       | 123 |

## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1 - Dados populacionais da área de estudo. ....  | 41 |
| Tabela 2 – Folhas das cartas topográficas que compõem a base cartográfica.....  | 43 |
| Tabela 3 - Imagens da plataforma Landsat utilizadas para obter os mapas de uso e cobertura da terra.....  | 44 |
| Tabela 4 - Descrição dos parâmetros dos solos necessários no SWAT.....  | 47 |
| Tabela 5 - Informações dos postos pluviométricos utilizados no trabalho.....  | 49 |
| Tabela 6 – Quantidade de falhas no registro de precipitação no período de 2010 a 2015. ....   | 50 |
| Tabela 7 - Variáveis espaciais relatadas em 16 estudos <sup>1</sup> utilizando o Dinamica-EGO .....   | 53 |
| Tabela 8 - Variáveis espaciais utilizadas na elaboração do modelo de mudanças de uso e cobertura da terra .....   | 53 |
| Tabela 9 - Parâmetros utilizados na análise de sensibilidade com os valores absolutos dos intervalos iniciais. ....   | 76 |
| Tabela 10 - Classes de uso e cobertura da terra e respectivas superfícies relativas e absolutas na UGRHI Baixo Tietê.....   | 85 |
| Tabela 11 - Classes de uso e cobertura da terra e respectivas superfícies relativas e absolutas para a bacia do ribeirão Lajeado.....   | 86 |
| Tabela 12 - Matriz total de transições de uso e cobertura da terra entre 1985 e 1990 para a UGRHI Baixo Tietê.....  | 87 |
| Tabela 13 - Matriz anual de transições de uso e cobertura da terra entre 1985 e 1990 para a UGRHI Baixo Tietê.....  | 87 |
| Tabela 14 - Valores dos testes entre pares de variáveis para a transição cana-de-açúcar para solo exposto, relativo ao período entre 1985 e 1990 para a UGRHI Baixo Tietê. .... | 89 |
| Tabela 15 - Matriz total de transições de uso e cobertura da terra entre 1990 e 1996 para a UGRHI Baixo Tietê.....  | 91 |
| Tabela 16 - Matriz anual de transições de uso e cobertura da terra entre 1990 e 1996 para a UGRHI Baixo Tietê.....  | 92 |
| Tabela 17 - Valores dos testes entre pares de variáveis para a transição solo exposto para pastagem, relativa ao período entre 1990 e 1996 para a UGRHI Baixo Tietê. ....       | 94 |

|  |     |
|--|-----|
| Tabela 18 - Matriz total de transições de uso e cobertura da terra entre 1996 e 2002 para a UGRHI Baixo Tietê.....   | 95  |
| Tabela 19 - Matriz anual de transições de uso e cobertura da terra entre 1996 e 2002 para a UGRHI Baixo Tietê.....   | 96  |
| Tabela 20 - Valores dos testes entre pares de variáveis para a transição solo exposto para cana-de-açúcar, relativa ao período entre 1996 e 2002 para a UGRHI Baixo Tietê. ....      | 97  |
| Tabela 21 - Matriz total de transições de uso e cobertura da terra entre 2002 e 2008 para a UGRHI Baixo Tietê.....   | 99  |
| Tabela 22 - Valores dos testes entre pares de variáveis para a transição pastagem para área urbana, relativa ao período entre 2002 e 2008 para a UGRHI Baixo Tietê. ....             | 101 |
| Tabela 23 - Matriz total de transições de uso e cobertura da terra entre 2008 e 2014 para a UGRHI Baixo Tietê.....   | 103 |
| Tabela 24 - Valores dos testes entre pares de variáveis para a transição vegetação arbórea para cana-de-açúcar, relativa ao período entre 2008 e 2014 para a UGRHI Baixo Tietê. .... | 105 |
| Tabela 25 – Parâmetros morfométricos e fisiográficos da bacia do ribeirão Lajeado. ....  | 108 |
| Tabela 26 - Variações na temperatura nos Cenários 1 (A1B) e 2 (A2). ....   | 119 |
| Tabela 27 - Matrizes de erro para as classificações de uso e cobertura da terra. ..  | 158 |
| Tabela 28 - Resultados estatísticos para as classificações de uso e cobertura da terra.....  | 160 |
| Tabela 29 - Área por classe de uso e cobertura da terra das paisagens simuladas para a UGRHI Baixo Tietê.....  | 162 |
| Tabela 30 - Área por classe de uso e cobertura da terra das paisagens simuladas para a bacia do ribeirão Lajeado .....   | 163 |

## LISTA DE QUADROS

|   |    |
|---|----|
| Quadro 1 - Descrição das unidades litoestratigráficas. ....                                       | 36 |
| Quadro 2 - Formas de relevo e suas principais características.....                                | 38 |
| Quadro 3 - Descrição das classes pedológicas.....   | 39 |
| Quadro 4 - Feições das classes de uso e cobertura da terra. ....                                  | 46 |
| Quadro 5 - Cenários SRES de mudanças climáticas com base em concentração de CO <sub>2</sub> ..... | 81 |



## LISTA DE EQUAÇÕES

|                 |    |
|-----------------|----|
| Equação 1.....  | 48 |
| Equação 2.....  | 48 |
| Equação 3.....  | 51 |
| Equação 4.....  | 54 |
| Equação 5.....  | 54 |
| Equação 6.....  | 55 |
| Equação 7.....  | 55 |
| Equação 8.....  | 55 |
| Equação 9.....  | 57 |
| Equação 10..... | 57 |
| Equação 11..... | 57 |
| Equação 12..... | 57 |
| Equação 13..... | 58 |
| Equação 14..... | 58 |
| Equação 15..... | 58 |
| Equação 16..... | 58 |
| Equação 17..... | 59 |
| Equação 18..... | 59 |
| Equação 19..... | 59 |
| Equação 20..... | 60 |
| Equação 21..... | 60 |
| Equação 22..... | 61 |
| Equação 23..... | 61 |
| Equação 24..... | 62 |
| Equação 25..... | 62 |
| Equação 26..... | 62 |
| Equação 27..... | 62 |
| Equação 28..... | 63 |
| Equação 29..... | 64 |
| Equação 30..... | 65 |
| Equação 31..... | 67 |
| Equação 32..... | 67 |

|                  |    |
|------------------|----|
| Equação 33. .... | 68 |
| Equação 34. .... | 68 |
| Equação 35. .... | 71 |
| Equação 36. .... | 72 |
| Equação 37. .... | 72 |
| Equação 38. .... | 73 |
| Equação 39. .... | 73 |
| Equação 40. .... | 73 |
| Equação 41. .... | 73 |
| Equação 42. .... | 73 |
| Equação 43. .... | 74 |
| Equação 44. .... | 74 |
| Equação 45. .... | 75 |
| Equação 46. .... | 75 |
| Equação 47. .... | 78 |
| Equação 48. .... | 78 |
| Equação 49. .... | 79 |
| Equação 50. .... | 79 |
| Equação 51. .... | 80 |

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

|         |  |
|---------|--|
| ANUDEM  | <i>Australian National University Digital Elevation Model</i> (Modelo Digital de Elevação da Universidade Nacional da Austrália)                                 |
| CA      | <i>Cellular Automata</i> (Autômatos Celulares)   |
| CAD     | <i>Computer-Aided Design</i> (Desenho Auxiliado por Computador)  |
| CIRL    | Consórcio Intermunicipal Ribeirão Lajeado  |
| CLUE    | <i>Conversion of Land Use and its Effects</i> (Conversão do Uso da Terra e seus Efeitos)   |
| CN      | Curva-Número   |
| CMIP3   | <i>Coupled Model Intercomparison Project – Phase 3</i> (Projeto de Intercomparação de Modelos Acoplados - Fase 3)  |
| CPRM    | Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais  |
| CSR     | Centro de Sensoriamento Remoto   |
| DAEE    | Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo  |
| EGO     | <i>Environment for Geoprocessing Objects</i> (Ambiente para Objetos Geoprocessáveis)   |
| EMBRAPA | Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  |
| ENVI    | <i>Environment for Visualizing Images</i> (Ambiente para Visualização de Imagens)  |
| ESA     | <i>European Space Agency</i> (Agência Espacial Europeia)   |
| EUA     | Estados Unidos da América  |
| ETM+    | <i>Enhanced Thematic Mapper Plus</i> (Mapeador Temático Aprimorado)  |
| FEARLUS | <i>Framework for Evaluation and Assessment of Regional Land Use Scenarios</i> (Plataforma para a Avaliação e Determinação de Cenários de Uso da Terra Regionais) |
| FLAASH  | <i>Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes</i> (Análise Rápida de Linha de Visão Atmosférica de Hiper-cubos Espectrais)                   |
| GLUE    | <i>Generalized Likelihood Uncertainty Estimation</i> (Probabilidade Generalizada da Estimativa de Incerteza)   |
| HRU     | <i>Hydrologic Response Unit</i> (Unidade de Resposta Hidrológica)  |

|          |  |
|----------|--|
| IDHM     | Índice de Desenvolvimento Humano Municipal   |
| IDW      | <i>Inverse Distance Weighted</i> (Ponderação pelo Inverso da Distância)  |
| IBGE     | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  |
| IGC      | Instituto Geográfico e Cartográfico  |
| IPCC     | <i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i> (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas)   |
| IPT      | Instituto de Pesquisas Tecnológicas  |
| JRC      | <i>Joint Research Centre</i> (Centro Unificado de Investigação)  |
| LANDSAT  | <i>Land Remote Sensing Satellite</i> (Satélite de Detecção Remota da Terra)  |
| MCG      | Modelos de Circulação Geral  |
| MDE      | Modelo Digital de Elevação   |
| MODTRAN4 | <i>Moderate Resolution Atmospheric Radiance and Transmittance Model</i> (Modelo de Resolução Moderada da Radiância e Transmitância Atmosféricas) |
| MS       | Mato Grosso do Sul   |
| MUSLE    | <i>Modified Universal Soil Loss Equation</i> (Equação Universal de Perda de Solo Modificada)   |
| NDVI     | <i>Normalized Difference Vegetation Index</i> (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada)  |
| NOAA     | <i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i> (Administração Nacional de Oceanos e Atmosfera)   |
| NSE      | <i>Nash-Sutcliffe Efficiency</i> (Coeficiente de Eficiência de Nash-Sutcliffe)   |
| OLI      | <i>Operational Land Imager</i> (Imageador Operacional da Terra)  |
| PBIAS    | <i>Percent bias</i> (Porcentagem de viés)  |
| PARASOL  | <i>Parameter Solution</i> (Solução de Parâmetros)  |
| RCPs     | <i>Representative Concentration Pathways</i> (Caminhos Representativos de Concentração)  |
| RMSE     | <i>Root Mean Square Error</i> (Raiz Quadrada do Erro Médio Quadrático)   |
| SCS      | <i>Soil Conservation Service</i> (Serviço de Conservação dos Solos)  |

|                |   |
|----------------|---|
| SDSM           | <i>Statistical DownScaling Model</i> (Modelo de Subescalonamento Estatístico)   |
| SIRGAS         | Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas  |
| SLEUTH         | <i>Slope, Land cover, Exclusion, Urbanization, Transportation, and Hillshade</i> (Declividade, Uso da Terra, Exclusão, Urbanização, Transportes e Relevô) |
| SPAW           | <i>Soil, Plant, Air, Water</i> (Solo, Planta, Ar, Água)   |
| SPRING         | Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas  |
| SRES           | <i>Special Report on Emissions Scenarios</i> (Relatório Especial sobre Cenários de Emissões)  |
| SUFI-2         | <i>Sequential Uncertainty Fitting version 2</i> (Ajuste Sequencial de Incertezas)   |
| SWAT           | <i>Soil and Water Assessment Tool</i> (Ferramenta de Avaliação de Solo e Água)  |
| SWAT-CUP       | <i>SWAT Calibration and Uncertainty Programs</i> (Calibração e Programas de Incerteza do SWAT)  |
| TM             | <i>Thematic Mapper</i> (Mapeador Temático)  |
| U              | <i>Joint Information Uncertainty</i> (Incerteza da Informação Conjunta)   |
| UFMG           | Universidade Federal de Minas Gerais  |
| UGRHI          | Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos   |
| UHE            | Usina Hidrelétrica  |
| UNESP          | Universidade Estadual Paulista  |
| USGS           | <i>United States Geological Survey</i> (Serviço Geológico dos Estados Unidos da América)  |
| USLE           | <i>Universal Soil Loss Equation</i> (Equação Universal de Perda de Solo)  |
| UTM            | Sistema Universal Transverso de Mercator  |
| V              | Coefficiente de Cramer  |
| W <sup>+</sup> | <i>Positive Weight of Evidence</i> (Peso de evidência positivo)   |
| W <sup>-</sup> | <i>Negative Weight of Evidence</i> (Peso de evidência negativo)   |

## SUMÁRIO

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1     | INTRODUÇÃO .....   | 24 |
| 1.1   | OBJETIVOS .....  | 25 |
| 2     | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....   | 27 |
| 2.1   | MODELOS DE SIMULAÇÃO DE MUDANÇAS DE USO E COBERTURA DA TERRA.....                | 27 |
| 2.1.1 | Modelos Usando Autômatos Celulares .....   | 28 |
| 2.2   | MODELOS HIDROLÓGICOS.....  | 29 |
| 3     | CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....  | 32 |
| 3.1   | LOCALIZAÇÃO.....   | 32 |
| 3.2   | ASPECTOS GEOLÓGICOS.....   | 33 |
| 3.2.1 | Formação São José do Rio Preto .....   | 34 |
| 3.2.2 | Formação Vale do Rio do Peixe .....  | 34 |
| 3.2.3 | Formação Araçatuba .....   | 35 |
| 3.2.4 | Formação Serra Geral.....  | 35 |
| 3.3   | ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS.....  | 37 |
| 3.4   | ASPECTOS PEDOLÓGICOS.....  | 38 |
| 3.5   | O CLIMA.....   | 39 |
| 3.6   | POPULAÇÃO E USO DA TERRA .....   | 40 |
| 4     | MATERIAL E MÉTODOS.....  | 43 |
| 4.1   | BANCO DE DADOS .....   | 43 |
| 4.1.1 | Produtos Cartográficos.....  | 43 |
| 4.1.2 | Produtos de Sensoriamento Remoto.....  | 44 |
| 4.1.3 | Solos .....  | 47 |
| 4.1.4 | Dados Pluviométricos.....  | 49 |
| 4.1.5 | Dados Fluviométricos .....   | 51 |
| 4.1.6 | Variáveis Espaciais .....  | 52 |
| 4.2   | CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS E FISIOGRÁFICAS DA BACIA DO RIBEIRÃO LAJEADO ..... | 54 |
| 4.2.1 | Coeficiente de Compacidade .....   | 54 |

|         |   |    |
|---------|---|----|
| 4.2.2   | Fator de Forma.....   | 54 |
| 4.2.3   | Índice de Circularidade.....  | 54 |
| 4.2.4   | Densidade de Drenagem.....  | 55 |
| 4.2.5   | Extensão Média do Escoamento Superficial .....  | 55 |
| 4.2.6   | Curva Hipsométrica .....  | 55 |
| 4.3     | MODELO DINAMICA EGO.....  | 56 |
| 4.3.1   | Modelagem com Pesos de Evidência.....   | 56 |
| 4.3.2   | Cálculo das Taxas de Transição .....  | 57 |
| 4.3.3   | Parametrização do Modelo.....   | 58 |
| 4.3.3.1 | Testes de Independência Espacial .....  | 60 |
| 4.3.4   | Calibração do Modelo.....   | 63 |
| 4.3.4.1 | Funções de Transição .....  | 65 |
| 4.3.5   | Testes de Validação.....  | 66 |
| 4.4     | MODELO SWAT.....  | 69 |
| 4.4.1   | Componentes do Modelo .....   | 70 |
| 4.4.1.1 | Hidrologia.....   | 71 |
| 4.4.1.2 | Percolação.....   | 73 |
| 4.4.1.3 | Escoamento Subsuperficial .....   | 74 |
| 4.4.1.4 | Evapotranspiração .....   | 74 |
| 4.4.2   | Análise de Sensibilidade .....  | 75 |
| 4.4.3   | Calibração e Validação.....   | 77 |
| 4.5     | SIMULAÇÃO DOS IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS E DO USO<br>E COBERTURA DA TERRA NO REGIME HIDROLÓGICO ..... | 80 |
| 5       | RESULTADOS.....   | 84 |
| 5.1     | AVALIAÇÃO DAS IMAGENS CLASSIFICADAS .....   | 84 |
| 5.2     | MUDANÇAS DO USO E COBERTURA DA TERRA .....  | 84 |
| 5.3     | MODELO DE USO E COBERTURA DA TERRA.....   | 86 |
| 5.3.1   | Mudanças do Uso e Cobertura da Terra no Período 1985 – 1990<br>para a UGRHI Baixo Tietê.....                | 86 |

|       |   |     |
|-------|---|-----|
| 5.3.2 | Mudanças do Uso e Cobertura da Terra no Período 1990 – 1996 para a UGRHI Baixo Tietê.....     | 91  |
| 5.3.3 | Mudanças do Uso e Cobertura da Terra no Período 1996 – 2002 para a UGRHI Baixo Tietê.....     | 95  |
| 5.3.4 | Mudanças do Uso e Cobertura da Terra no Período 2002 – 2008 para a UGRHI Baixo Tietê.....     | 99  |
| 5.3.5 | Mudanças do Uso e Cobertura da Terra no Período 2008 – 2014 para a UGRHI Baixo Tietê.....     | 103 |
| 5.3.6 | Prognósticos.....   | 107 |
| 5.4   | PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS E FISIAGRÁFICOS DA BACIA DO RIBEIRÃO LAJEADO .....                   | 108 |
| 5.5   | MODELO HIDROLÓGICO.....   | 111 |
| 5.5.1 | Delimitação das Sub-Bacias.....   | 111 |
| 5.5.2 | Análise de Sensibilidade .....  | 113 |
| 5.5.3 | Calibração e Validação do Modelo .....  | 115 |
| 5.5.4 | Projeções de Precipitação e Temperatura .....   | 117 |
| 5.5.5 | Impactos dos Cenários Gerados na Vazão .....  | 119 |
| 5.5.6 | Efeitos do Uso e Cobertura da Terra e dos Estados de Tempo nos Componentes Hidrológicos ..... | 120 |
| 5.5.7 | Relação Entre Precipitação, Temperatura e Uso e Cobertura da Terra na Vazão .....             | 126 |
| 6     | DISCUSSÃO .....   | 128 |
| 7     | CONCLUSÃO .....   | 135 |
|       | REFERÊNCIAS .....   | 137 |
|       | APÊNDICE A.....   | 153 |
|       | APÊNDICE B.....   | 154 |
|       | APÊNDICE C .....  | 156 |
|       | APÊNDICE D .....  | 158 |
|       | APÊNDICE E.....   | 162 |
|       | APÊNDICE F .....  | 164 |
|       | APÊNDICE G .....  | 165 |



|                  |     |
|------------------|-----|
| APÊNDICE H ..... | 166 |
| APÊNDICE I ..... | 167 |

## 1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, as mudanças do uso e cobertura da terra ocorreram em uma escala global, principalmente com a conversão de áreas florestadas em agrícolas e o crescimento contínuo de áreas urbanas (FOLEY et al., 2005). Além disso, mudanças do uso e cobertura da terra tornaram-se foco de vários estudos, tanto relacionados à redução de áreas florestadas (TURNER, MEYER e SKOLE, 1994; GEIST e LAMBIN, 2002), como à influência no fornecimento de água (BROOK et al., 2011; ZHANG, 2015).

A provisão dos recursos hídricos está intimamente relacionada aos processos hidrológicos, enquanto as mudanças climáticas e do uso e cobertura da terra são considerados como os dois principais fatores que afetam os processos hidrológicos nas bacias (CHANG e FRANCZYK, 2008; AL-BAKRI et al., 2013).

Mudanças no uso e cobertura da terra são amplamente reconhecidas como capazes de acelerar a erosão do solo (URSIC e DENDY, 1965; HOOKE, 2000), e também de alterar alguns fatores hidrológicos, como a interceptação pela vegetação, o conteúdo de água no solo e a evapotranspiração de superfície; por conseguinte, os mecanismos de precipitação e regime de escoamento hídrico também são alterados (LI et al., 2007).

A degradação do solo além de afetar a estabilidade dos ecossistemas, muitas vezes causando a degradação irreversível do solo, também está associada à perda da produção agrícola e produtividade econômica, à sedimentação dos reservatórios e à consequente perda na capacidade de armazenamento de água.

Diferentes métodos têm sido utilizados para avaliar o impacto das mudanças do uso e cobertura da terra no balanço hidrológico. No passado, essa avaliação era realizada principalmente fazendo experimentos *in loco* na bacia, mas, por vezes, estes experimentos obtinham resultados contraditórios, além de serem demorados e onerosos. Neste sentido, os modelos hidrológicos estão sendo cada vez mais utilizados para avaliar o impacto das mudanças do uso e cobertura da terra (WANG et al., 2014).

Muitos modelos foram propostos nos últimos anos para investigar a relação entre clima, uso da terra e processos hidrológicos (BERGSTRÖM e FORSMAN, 1973; REFSGAARD, STORM e SHE, 1995; JACOB e PODZUN, 1997; SÁNCHEZ et al., 2004; KJELLSTRÖM et al., 2005). O desenvolvimento de modelos hidrológicos que

consideram as características espaço-temporais das bacias hidrográficas ajuda na previsão mais precisa do equilíbrio dinâmico da água de uma bacia hidrográfica (LØRUP, REFSGAARD e MAZVIMAVI, 1998; COSTA, BOTTA e CARDILLE, 2003). Portanto, modelos hidrológicos tornaram-se ferramentas cada vez mais importantes para a gestão dos recursos hídricos (SULIMAN et al., 2015). Eles são usados para a previsão de vazão, a fim de fornecer suporte à operação de reservatórios, à redução de inundações, em estudos de concepção do vertedouro, e muitos outros fins. A abordagem básica na modelagem hídrica é que o modelo é utilizado para calcular a vazão baseado em dados meteorológicos e nas características de captação, que estão disponíveis em uma bacia ou na sua proximidade (LØRUP, REFSGAARD e MAZVIMAVI, 1998).

Nesta pesquisa, buscou-se integrar dois modelos, o Dinamica EGO (*Environment for Geoprocessing Objects*), que utiliza pesos de evidência (BONHAM-CARTER, 1994) e autômatos celulares para gerar prognósticos de cobertura da terra; e o modelo SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*), que incorpora ações para o gerenciamento do uso e manejo do solo sobre os recursos hídricos, produção de sedimentos, produção de nutrientes e emprego de pesticidas, sendo aplicado em pequenas e grandes bacias. O modelo Dinamica EGO foi escolhido devido à flexibilidade em relação aos dados de entrada (variáveis espaciais), e a possibilidade de utilizar seus prognósticos para alimentar o modelo SWAT.

Este trabalho contribuirá para fornecer subsídios para a avaliação das mudanças do uso e cobertura da terra sobre a disponibilidade hídrica na bacia do ribeirão Lajeado, afluente do rio Tietê. A pesquisa auxilia também na sustentabilidade agrícola da área.

## 7 CONCLUSÃO

No Brasil, ainda é um desafio desenvolver estudos que necessitam de uma grande quantidade de dados, como o modelo hidrológico adotado neste estudo. O SWAT necessita de uma grande quantidade de informações para gerar resultados confiáveis, e essas informações nem sempre estão disponíveis de forma acessível para os usuários. Além da dificuldade na obtenção, outro fator que atrapalha a elaboração desses estudos é a qualidade dos dados, que muitas vezes não estão na escala ou na precisão adequados.

O uso de cenários neste estudo ajudou a entender e visualizar melhor como as mudanças no uso e cobertura da terra e as mudanças climáticas agem em conjunto para alterar a resposta hidrológica da bacia. Infelizmente, o curto período de dados de vazão disponível na área foi um fator limitante para extrapolar a análise para outros períodos, e assim entender melhor a relação entre uso e cobertura da terra e a hidrologia local.

Os resultados das tendências de vazão associados com os cenários de mudanças climáticas indicaram que pode haver um aumento na vazão dos rios da bacia do ribeirão Lajeado, principalmente na estação chuvosa. Embora o modelo utilizado não seja capaz de quantificar o quanto cada fator contribuiu nas mudanças dos componentes hidrológicos, pode-se afirmar que as mudanças no uso e cobertura da terra exercem um papel importante na alteração dos componentes hidrológicos, com destaque para a cana-de-açúcar e a área urbana. Com base nessas informações, estratégias adequadas podem ser implementadas, como planejar desenvolvimento urbano, particularmente ao longo de rios e em áreas de várzea.

As mudanças do uso e cobertura da terra encontradas na área estudada, principalmente o avanço da cultura da cana-de-açúcar nas últimas décadas, são típicas de muitas regiões do Brasil, principalmente no estado de São Paulo. A abordagem adotada neste trabalho pode ser utilizada em outras áreas para auxiliar o planejamento integrado de uso da terra e da hidrologia.

O estudo dos estados de tempo foi baseado em simulações de apenas um modelo climático (CM 2.1) e um método estatístico de *downscaling* (SDSM). Essas limitações devem ser consideradas na avaliação dos resultados e no planejamento de um trabalho futuro, pois, se fossem considerados outros modelos climáticos na análise, eles poderiam proporcionar uma visão e compreensão mais profunda dos

resultados. Outro fator limitante para comparação dos resultados obtidos, é a escassez de trabalhos no Brasil avaliando o impacto das mudanças climáticas sobre os parâmetros hidrológicos nas bacias hidrográficas.

A modelagem climática realizada neste estudo foi feita considerando os cenários SRES. Atualmente, uma abordagem ligeiramente diferente é realizada, considerando a concentração de gases do efeito estufa, e não as emissões, denominada Caminhos Representativos de Concentração (*Representative Concentration Pathways* - RCPs). Assim, recomenda-se aplicar esta nova abordagem na modelagem climática em trabalhos futuros.

Em resumo, as características climáticas principais encontradas na bacia do ribeirão Lajeado para o futuro (2050) foram a temperatura e a precipitação mais elevadas, e ambas, em conjunto, levaram a um aumento da vazão, que pode favorecer inundações nas áreas mais baixas da bacia.

A integração de diferentes modelos, como o realizado neste estudo, fornece uma perspectiva para a compreensão dos possíveis impactos hidrológicos futuros, podendo auxiliar na elaboração de políticas públicas que visem preservar a qualidade e a quantidade de água disponível para uso. Além disso, os resultados quantitativos nas formas de mapas, hidrogramas e dados tabulados podem ser usados alternativamente para facilitar uma maior educação comunitária e engajamento no processo de tomada de decisão.

## REFERÊNCIAS

- ABBASPOUR, K. C.; JOHNSON, C. A.; VAN GENUCHTEN, M. T. Estimating Uncertain Flow and Transport Parameters Using a Sequential Uncertainty Fitting Procedure. **Vadose Zone Journal**, v. 3, n. 4, p. 1340-1352. 2004.
- ABBASPOUR, K. C.; YANG, J.; MAXIMOV, I.; SIBER, R.; BOGNER, K.; MIELEITNER, J.; ZOBRIST, J.; SRINIVASAN, R. Modelling hydrology and water quality in the pre-alpine/alpine Thur watershed using SWAT. **Journal of Hydrology**, v. 333, n. 2-4, p. 413-430. 2/15/, 2007.
- ABBASPOUR, K. C.; VEJDANI, M.; HAGHIGHAT, S. SWAT-CUP calibration and uncertainty programs for SWAT. in: MODSIM 2007 International Congress on Modelling and Simulation, Modelling and Simulation Society of Australia and New Zealand, 2007. **Proceedings**. p. 1603-1609.
- ABBASPOUR, K. C. **SWAT-CUP: SWAT Calibration and uncertainty programs – A user manual**. Department of Systems Analysis, Integrated Assessment and Modelling (SIAM), Eawag. Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, Duebendorf, Switzerland. 100p. 2015.
- AES TIETÊ, **Nova Avanhadava**, Disponível em: <<http://www.aestiete.com.br>> Acesso em: 23 mai, 2014.
- AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES AQUAVIÁRIOS – ANTAQ. **Transporte de cargas nas hidrovias brasileiras 2010**. Hidrovia do Paraná-Tietê. Superintendência de Navegação Interior. 2011.
- AGTERBERG, F. **Geomathematics: Theoretical Foundations, Applications and Future Developments**, Springer International Publishing, v.18, 553p. 2014.
- AGTERBERG, F. P.; BONHAM-CARTER, G. F. Deriving weights of evidence from geoscience contour maps for the prediction of discrete events, In: International Symposium APCOM, 22., 1990, Berlim, **Proceedings...** Berlin: Technical University of Berlin, 1990, Artigos, p, 381-395, CD-ROM.
- AKIN, A.; SUNAR, F.; BERBEROĞLU, S. Urban change analysis and future growth of Istanbul. **Environmental monitoring and assessment**, v. 187, n. 8, p. 1-15. 2015.
- AL-BAKRI, J. T.; SALAHAT, M.; SULEIMAN, A.; SUIFAN, M.; HAMDAN, M. R.; KHRESAT, S.; KANDAKJI, T. Impact of climate and land use changes on water and food security in Jordan: Implications for transcending “the tragedy of the commons”. **Sustainability**, v. 5, n. 2, p. 724-748. 2013.
- ALMEIDA, C. M.; BATTY, M.; MONTEIRO, A. M. V.; CÂMARA, G.; SOARES-FILHO, B. S.; CERQUEIRA, G. C.; LOPES, C. Stochastic cellular automata modeling of urban land use dynamics: empirical development and estimation, **Computers, Environment and Urban Systems**, v, 27, n, 5, p, 481-509, 2003.
- ALMEIDA, C. M.; MONTEIRO, A. M. V.; CÂMARA, G. Perspectiva histórica de modelos de dinâmicas urbanas e regionais, In: ALMEIDA, C. M.; CÂMARA, G.;

MONTEIRO, A. M. V. **Geoinformação em urbanismo: cidade real x cidade virtual**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p.254-285.

ALMEIDA, F. F. M. Fundamentos geológicos do relevo paulista, **Bol, Inst, Geogr, e Geol.**, São Paulo, v, 41, p, 169-263, 1964.

ANDERSEN, J.; REFSGAARD, J, C.; JENSEN, K, H, Distributed hydrological modelling of the Senegal River Basin - model construction and validation, **Journal of Hydrology**, v, 247, n, 3, p, 200-214, 2001.

ARNOLD, J. G.; SRINIVASAN, R.; MUTTIAH, R. S.; WILLIAMS, J. R. Large area hydrologic modeling and assessment part I: Model development. **Journal of the American Water Resources Association**, v. 34, n. 1, p. 73-89. 1998.

ARNOLD, J. G.; MORIASI, D. N.; GASSMAN, P. W.; ABBASPOUR, K. C.; WHITE, M. J.; SRINIVASAN, R.; SANTHI, C; HARMEL, R. D.; VAN GRIENSVEN, A; VAN LIEW, M. W.; KANNAN, N.; JHA, M. K. SWAT: Model use, calibration, and validation. **Transactions of the ASABE**, v. 55, n. 4, p. 1491-1508. 2012.

ARNOLD, J. G., KINIRY, J. R., SRINIVASAN, R., WILLIAMS, J. R., HANEY, E.B., & NEITSCH, S. L. (2012a). **Soil and water assessment tool input/output documentation version 2012**. Texas Water Resources Institute.

ASSAD, E.D.; PINTO, H.S. **Aquecimento Global e a Nova Geografia da produção Agrícola no Brasil**. 1. ed. Brasília: Embaixada Britânica, 2008. v.1. 82 p.

BARBOSA, H. M. J.; MARENGO, J. A. Análise preliminar da TSM dos modelos acoplados utilizados no IPCC-AR4. Anais... CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA , São Paulo: SBMet, 2008.

BARNI, P. E. **Reconstrução e asfaltamento da Rodovia BR-319: Efeito “dominó” pode elevar as taxas de desmatamento no Sul do Estado de Roraima**. 2009. 137f. Dissertação (mestrado em Ciências de Florestas Tropicais). Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus-AM.

BATEZELLI, A.; SAAD, A. R.; ETCHEBEHERE, M. L. C.; PERINOTTO, J. A. J.; FULFARO, V. J. Análise Estratigráfica aplicada à Formação Araçatuba (Grupo Bauru-Ks) no centro-oeste do Estado de São Paulo. **Geociências**, v. 22, n. 1, p. 5-32. 2003.

BATTY, M. Cellular automata and urban form: a primer, **Journal of the American Planning Association**, v. 63, n. 2, p. 266-274, 1997.

BATTY, M.; XIE, Y.; SUN, Z. Modeling urban dynamics through GIS-based cellular automata, **Computers, environment and urban systems**, v. 23, n. 3, p. 205-233, 1999.

BELL, E. J.; HINOJOSA, R. C. Markov Analysis of Land-Use Change - Continuous Time and Stationary Processes, **Socio-Economic Planning Sciences**, v. 11, n. 1, p. 13-17, 1977.

- BENEDETTI, A. **Modelagem dinâmica para simulação de mudanças na cobertura florestal das serras do sudeste e campanha meridional do Rio Grande do Sul**. 2010. 167f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal). Santa Maria, RS, Universidade Federal de Santa Maria, 2010.
- BERGSTRÖM, S.; FORSMAN, A. Development of a conceptual deterministic rainfall-runoff model. **Hydrology Research**, v. 4, n. 3, p. 147-170. 1973.
- BISHOP, M. P.; SHRODER JR, J. F.; BONK, R.; OLSENHOLLER, J. Geomorphic change in high mountains: a western Himalayan perspective. **Global and Planetary change**, v. 32, n. 4, p. 311-329. 2002.
- BONHAM-CARTER, G. F. **Geographic information systems for geoscientists: modelling with GIS**, Pergamon, 1994.
- BONHAM-CARTER, G. F.; AGTERBERG, F. P.; WRIGH, D. F. Weights of evidence modeling: a new approach to mapping mineral potential, In: AGTERBERG, F,P,;; BONHAM-CARTER, G, F, (Eds,) **Statistical Applications in the Earth Sciences: Geol, Surv, Of Canada, Paper**, pp, 171–183, 1989.
- BRANCO, S. M. **Água: origem, uso e preservação**. 2. ed. São Paulo: Moderna, 1993. 71p.
- BRASIL, Ministério da Agricultura, Centro Nacional de Ensino e Pesquisas Agronômicas, Comissão de solos, **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado de São Paulo**, Rio de Janeiro, Serviço Nacional de Pesquisas Agronômicas, 1960, 634p, (SNPA, Boletim 12).
- BRONSTERT, A. Floods and climate change: interactions and impacts. **Risk Analysis**, v. 23, n. 3, p. 545-557. 2003.
- BROOK, H.; ARGAW, M.; SULAIMAN, H.; ABIYE, A. The Impact of Land Use/Land Cover Change on Hydrological Components due to Resettlement Activity: SWAT Model Approach. **International Journal of Ecology and Environmental Sciences**, v. 37, n. 1, p. 49-60. 2011.
- BRUIJNZEEL, L. A. **Hydrology of moist tropical forests and effects of conversion: a state of knowledge review**. Paris, UNESCO International Hydrological Programme. 1990.
- CEPAGRI, Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura. **Clima dos municípios paulistas**. Disponível em: <<http://www.cepagri.unicamp.br/outras-informacoes/clima-dos-municipios-paulistas.html>>. Acesso em: 22 de abril de 2014.
- CETEC, Centro Tecnológico de Fundação Paulista de Tecnologia e Educação, CBH-BT – Comitê da Bacia Hidrográfica do Baixo Tietê, **Situação dos Recursos Hídricos do Baixo Tietê – UGRHI 19**, Minuta Preliminar do Relatório Técnico Final, Diretor – CTEC: Wiltevar Verati, Lins, 1999.



CHADID, M. A.; DÁVALOS, L. M.; MOLINA, J.; ARMENTERAS, D. A Bayesian Spatial Model Highlights Distinct Dynamics in Deforestation from Coca and Pastures in an Andean Biodiversity Hotspot. **Forests**, v. 6, n. 11, p. 3828-3846. 2015.

CHANG, H.; FRANCIK, J. Climate Change, Land-Use Change, and Floods: Toward an Integrated Assessment. **Geography Compass**, v. 2, n. 5, p. 1549-1579. 2008.

CHEN, H.; XU, C.Y.; GUO, S. Comparison and evaluation of multiple GCMs, statistical downscaling and hydrological models in the study of climate change impacts on runoff. **Journal of hydrology**, v. 434, p. 36-45. 2012.

COLLISCHONN, W. **Simulação hidrológica de grandes bacias**, 2001, 270 p, Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, 2001.

CONGALTON, R. G.; GREEN, K. **Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices**, CRC press, 2009.

COSTA, M. H.; BOTTA, A.; CARDILLE, J. A. Effects of large-scale changes in land cover on the discharge of the Tocantins River, Southeastern Amazonia. **Journal of Hydrology**, v. 283, n. 1, p. 206-217. 2003.

COSTANZA, R. Model Goodness of Fit - a Multiple Resolution Procedure, **Ecological Modelling**, v. 47. n. 3-4, p. 199-215, Sep 15, 1989.

CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/Serviço Geológico do Brasil. **Banco de Dados GEOBANK**. 2000. Disponível em: <<http://geobank.sa.cprm.gov.br/>>.

CROOKS, A. T. The repast simulation/modelling system for geospatial simulation. **CASA Working Paper**, v. 123, 38p, 2007.

DELANEZE, M. E.; RIEDEL, P. S.; MARQUES, M. L.; FERREIRA, M. V. Modelagem dinâmica espacial para o monitoramento do crescimento urbano no entorno do duto orbel. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 1, n. 66/3. 2014.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA – DAEE. **Banco de dados hidrológicos**. 2016. Disponível em: <<http://www.hidrologia.daee.sp.gov.br/>>.

EMBRAPA, **Sistema brasileiro de classificação de solos**, Rio de Janeiro, v, 412, 1999.

EMURPE - Empresa Municipal de Urbanização de Penápolis, Disponível em: <<http://www.penapolis.sp.gov.br/secretarias.php?codigo=15>>, Acesso em: 21 de abril de 2014.

ENVI, Environment for Visualizing Images. FLAASH, User's Guide. **Atmospheric Correction Module**: QUAC and FLAASH User's Guide, Version 4,7, ITT Visual Information Solutions Inc, 2009.

ESRI, Environmental Systems Research Institute. **ArcGIS Desktop**. Versão 10.3.1 Redlands: ESRI Inc., 2015.

FAMIGLIETTI, J.; WOOD, E. Multiscale modeling of spatially variable water and energy balance processes. **Water Resources Research**, v. 30, n. 11, p. 3061-3078. 1994.

FERNANDES, A. J. **Tectonica cenozóica na porção média da bacia do rio Piracicaba e sua aplicação à hidrogeologia**. 1997. 269f. Tese (doutorado em Recursos Minerais e Hidrogeologia). Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.

FERNANDES, L. A.; COIMBRA, A. M. Revisão estratigráfica da parte oriental da Bacia Bauru (Neocretáceo), **Revista Brasileira de Geociências**, n.30 (4), 717-728, 2000.

FERNANDES, L. A. Mapa litoestratigráfico da parte oriental da Bacia Bauru (PR, SP, MG), escala 1:1,000,000, **Boletim Paranaense de Geociências**, n. 55, 53-66, 2004.

FIGUEIREDO, E. E. Estimativa de Parâmetros Físicos do Solo da Bacia Representativa de Sumé com Base na Textura, **Anais do IV Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste**, Campina Grande, Paraíba, ABRH, 1998.

FOLEY, J. A.; DEFRIES, R.; ASNER, G. P.; BARFORD, C.; BONAN, G.; CARPENTER, S. R.; CHAPIN, F. S.; COE, M. T.; DAILY, G. C.; GIBBS, H. K.; HELKOWSKI, J. H.; HOLLOWAY, T.; HOWARD, E. A.; KUCHARIK, C. J.; MONFREDA, C.; PATZ, J. A.; PRENTICE, I. C.; RAMANKUTTY, N.; SNYDER, P. K. Global consequences of land use. **Science**, v. 309, n. 5734, p. 570-574. 2005.

FUNK, C. C.; BROWN, M. E. Declining global per capita agricultural production and warming oceans threaten food security. **Food Security**, v. 1, n. 3, p. 271-289. 2009.

GARCÍA, G. C. **Aplicación de un modelo espacial para la elaboración de escenarios de uso/cobertura del suelo en la Huacana, Michoacán**. 2008. 70f. Dissertação (mestrado em Geografia). Facultad de Filosofía y Letras. UNAM, Cidade do México.

GAYLORD, R. J.; NISHIDATE, K. **Modeling Nature: Cellular Automata Simulations with Mathematica**, Springer-Verlag, Inc., 1996.

GEIST, H. J.; LAMBIN, E. F. Proximate Causes and Underlying Driving Forces of Tropical Deforestation Tropical forests are disappearing as the result of many pressures, both local and regional, acting in various combinations in different geographical locations. **BioScience**, v. 52, n. 2, p. 143-150. 2002.

GIUDICE, R. **Conservation in southeastern Peruvian Amazon: two approaches**. 2009. 234f. Dissertação (mestrado em Ciências Biológicas). University of East Anglia, Norwich.

GOODACRE, A. K.; BONHAM-CARTER, G. F.; AGTERBERG, D. F.; WRIGHT, D. F. A statistical analysis of the spatial association of seismicity with drainage patterns and magnetic anomalies in western Quebec. **Tectonophysics**, v. 217, n. 3-4, p. 285-

305, 1993.

GRAVELIUS, H. Grundrifi der Gesamten Gewcisserkunde. Band I: Flufkunde. **Compendium of Hydrology**, vol. I. Rivers. German. Goschen, Berlin. 1914.

HAGEN, A. Fuzzy set approach to assessing similarity of categorical maps, **International Journal of Geographical Information Science**, v, 17, n, 3, p, 235-249, Apr-May, 2003.

HAMBY, D. M. A review of techniques for sensitivity analysis of environmental models. **Environ. Monitoring and Assessment**, 32(2): 135-154, 1994.

HAMILTON, L. S.; KING, P. N. **Tropical forested watersheds: hydrologic and soils response to major uses or conversions**. Westview Press Boulder. 1983.

HARGREAVES, G. L.; HARGREAVES, G. H.; RILEY, J. P. Agricultural benefits for Senegal River basin. **Journal of irrigation and Drainage Engineering**, v. 111, n. 2, p. 113-124. 1985.

HOOKE, R. L. On the history of humans as geomorphic agents, **Geology**, v, 28, n, 9, p, 843-846, 2000.

HORTON, R. E. Drainage-basin characteristics. **Eos, Transactions American Geophysical Union**, v. 13, n. 1, p. 350-361. 1932.

HOSSAIN, M.; CHIKITA, K.; MIYAMOTO, T. **Sediment loading processes in a tectonic and forested catchment**: field observations and modelling. In: Japan Geoscience Union Meeting, 2014, Kanagawa, Japão.

HUSSAIN, M.; NADYA, S.; CHIA, F. Estimating Probable Maximum Precipitation for Linau River Basin in Sarawak. **UNIMAS e-Journal of Civil Engineering**, v. 5, n. 3, p. 5. 2015.

HUTCHINSON, M. F. Calculation of hydrologically sound digital elevation models. In: Proceedings of the Third International Symposium on Spatial Data Handling. International Geographical Union Columbus, Ohio, 1988. **Proceedings**. v. p. 117-133.

HUTCHINSON, M. F. A new procedure for gridding elevation and stream line data with automatic removal of spurious pits. **Journal of Hydrology**, v. 106, n. 3-4, p. 211-232. 1989.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico 2010**, Rio de Janeiro: IBGE, 2010.

IMBEAU, M.E. **La Durance**: Regime. Crues et inundations. Ann. Ponts Chausses Mem. Doc. Ser., 3(1), 5-18, 1892.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA, Portal Ipeadata. **Produção - cana-de-açúcar**. Disponível em: <<http://ipeadata.gov.br/>>, Acesso em: 4 jan 2016.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA, Portal Ipeadata. **Índice de Desenvolvimento Humano Municipal**. Disponível em: <<http://ipeadata.gov.br/>>, Acesso em: 16 ago 2014.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO – IPT. **Mapa geomorfológico do estado de São Paulo**, São Paulo, 1981.

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2001: the scientific basis**. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [HOUGHTON, J.T.; DING Y.; GRIGGS, D.J.; NOGUER, M.; VAN DER LINDEN, P.J.; DAI, X.; MASKELL, K.; JOHNSON, C.A. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 881p., 2001.

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2007: the physical science basis**. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [SOLOMON, S.; QIN, D.; MANNING, M.; CHEN, Z.; MARQUIS, M.; AVERYT, K.; TIGNOR, M.M.B.; MILLER, H.L. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 p., 2007.

JACOB, D.; PODZUN, R. Sensitivity studies with the regional climate model REMO. **Meteorology and Atmospheric Physics**, v. 63, n. 1, p. 119-129. 1997.

JAKEMAN, A.; LITTLEWOOD, I.; WHITEHEAD, P. Computation of the instantaneous unit hydrograph and identifiable component flows with application to two small upland catchments. **Journal of hydrology**, v. 117, n. 1-4, p. 275-300. 1990.

JENSEN, J.R.; RAMSEY, E.W.; HALKARD, E.M.; CHRISTENSEN, E.J.; SHARITZ, R.R. Inland wetland change detection using aircraft MSS data. **Photogramm. Eng. Remote Sensing**, 53, 521–529, 1987.

JHA, M.; PAN, Z.; TAKLE, E. S.; GU, R. Impacts of climate change on streamflow in the Upper Mississippi River Basin: A regional climate model perspective. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 109, n. D9. 2004.

JRC - Joint Research Centre – European Commission/Institute for Remote Sensing Applications, ESA - European Space Agency/ESRIN – Earthnet Programme Office, **Modelling Deforestation Processes – A Review**, Trees Series B: Research Report n° 1, Luxembourg: ECSC-EC-EAEC, 1994.

JUDGE, G. G.; SWANSON, E. R. Markov chains: basic concepts and suggested uses in agricultural economics, **Australian Journal of Agricultural Economics**, v, 6, n. 2, p. 49-61, 1962.

KAYASTHA, N. **Refining the committee approach and uncertainty prediction in hydrological modelling**. 2014. 195f. Tese (doutorado em Ciência da Água e Hidroinformática). Institute for Water Education. Delft University of Technology, Holanda.

KJELLSTRÖM, E.; BÄRRING, L.; GOLLVIK, S.; HANSSON, U.; JONES, C.; SAMUELSSON, P.; ULLERSTIG, A.; WILLÉN, U.; WYSER, K. **A 140-year**

**simulation of European climate with the new version of the Rossby Centre regional atmospheric climate model (RCA3).** SMHI. 2005.

KNUTTI, R.; MASSON, D.; GETTELMAN, A. Climate model genealogy: Generation CMIP5 and how we got there. **Geophysical Research Letters**, v. 40, n. 6, p. 1194-1199. 2013.

KRONKA, F. J. N.; NALON, M. A.; BAITELLO, J. B.; MATSUKUMA, C. K.; PAVÃO, M.; YWANE, M. S. S.; LIMA, L. M. P. R.; KANASHIRO, M. M.; BARRADAS, A. M. F.; BORGIO, S. C. Levantamento da vegetação natural e caracterização de uso do solo no estado de São Paulo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11, 2003. Belo Horizonte-MG. **Anais...** Belo Horizonte: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2003. p. 2779-2785.

LADERACH, P.; EITZINGER, A.; OVALLE, O.; RAMIREZ, J.; JARVIS, A. **Climate Change Adaptation and Mitigation in the Kenyan Coffee Sector.** Final Report. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) A.A. 6713, Cali, Colômbia, 2010.

LAMBIN, E. F.; ROUNSEVELL, M.; GEIST, H. Are agricultural land-use models able to predict changes in land-use intensity? **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 82, n. 1, p. 321-331, 2000.

LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, p. 159-174. 1977.

LI, K. Y.; COE, M. T.; RAMANKUTTY, N.; JONG, R. Modeling the hydrological impact of land-use change in West Africa. **Journal of hydrology**, v. 337, n. 3, p. 258-268. 2007.

LIDÉN, R.; HARLIN, J. Analysis of conceptual rainfall-runoff modelling performance in different climates. **Journal of hydrology**, v. 238, n. 3, p. 231-247. 2000.

LIEW, M. W.; VEITH, T. L.; BOSCH, D. D.; ARNOLD, J. G. Suitability of SWAT for the Conservation effects assessment project: A comparison on USDA- ARS watersheds. **Journal of Hydrological Research**, v.12, p.173 - 189, 2007.

LOPES, A.; DRACUP, J. Influence of El Niño and ITCZ on Brazilian River Streamflows. In: AGU Fall Meeting Abstracts, 2010. **Proceedings.**

LØRUP, J. K.; REFSGAARD, J. C.; MAZVIMAVI, D. Assessing the effect of land use change on catchment runoff by combined use of statistical tests and hydrological modelling: case studies from Zimbabwe. **Journal of Hydrology**, v. 205, n. 3-4, p. 147-163. 1998.

MAEDA, E. E.; ALMEIDA, C. M.; XIMENES, A. C.; FORMAGGIO, A. R.; SHIMABUKURO, Y. E.; PELLIKKA, P. Dynamic modeling of forest conversion: Simulation of past and future scenarios of rural activities expansion in the fringes of the Xingu National Park, Brazilian Amazon. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 13, n. 3, p. 435-446. 2010.

MANGO, L. M. **Modeling the effect of land use and climate change scenarios on the water flux of the Upper Mara River flow, Kenya.** 2010. 189f. Dissertação

(mestrado em Estudos Ambientais). Florida International University, Miami, EUA. 2010.

MANNIGEL, A. R.; PASSOS E CARVALHO, M.; MORETI, D.; MEDEIROS, L.R. Fator erodibilidade e tolerância de perda dos solos do Estado de São Paulo, **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 24, n. 5, p. 1335-1340, 2002.

MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A.; SELUCHI, M. E.; CUARTAS, A.; ALVES, L. M.; MENDIONDO, E. M.; OBREGÓN, G.; SAMPAIO, G. A seca e a crise hídrica de 2014-2015 em São Paulo. **Revista USP**, n. 106, p. 31-44. 2015.

MAS, J.F.; SANDOVAL, A. F. Modelación de los cambios de coberturas/uso del suelo en una región tropical de México. **GeoTrópico**, v. 5, n. 1, p. 1-24. 2011.

MAS, J.F.; PÉREZ-VEGA, A.; CLARKE, K. C. Assessing simulated land use/cover maps using similarity and fragmentation indices. **Ecological Complexity**, v. 11, p. 38-45. 2012.

MCGARIGAL, K., MARKS, B. J. **FRAGSTATS**: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. PNW-351, 1995.

MENGISTU, K. T. **Watershed hydrological responses to changes in land use and land cover, and management practices at Hare Watershed, Ethiopia**. 2009. 244f. Tese (doutorado em engenharia). Universität Siegen, Research Institute for Water and Environment, Siegen, Germany. 2009.

MILLER, V. C. **A quantitative geomorphic study of drainage basin characteristics in Clinch Mountain Area, Virginia and Tennessee**. Technical report, 3, Office of the Naval Research. Dept. Geol, Columbia Univ. New York. 1953.

MOLIN, P. G. **Dynamic modeling of native vegetation in the Piracicaba River basin and its effects on ecosystem services**. 2014. 148f. Tese (doutorado em Recursos florestais). ESALQ, Universidade de São Paulo, Piracicaba-SP.

MONTEITH, J.L. Evaporation and environment. In: FOGG, G.E. (Editor), **The State and Movement of Water in Living Organisms**, 19th Symposium of the Society for Experimental Biology. Cambridge University Press, London, UK, pp. 205-234. 1965.

MORIASI, D.; ARNOLD, J. G.; VAN LIEW, M. W.; BINGNER, R. L.; HARMEL, R. D.; VEITH, T. L. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. **Trans. Asabe**, v. 50, n. 3, p. 885-900. 2007.

MORIN, G. CEQUEAU hydrological model. In: SINGH, V.P. (Editor), **Computer Models of Watershed Hydrology**. Water Resources Publications, Highlands Ranch, Colorado, USA., 507– 576, 2002.

MULVANEY, T. J. On the use of self-registering rain and flood gauges in making observations of the relations of rainfall and flood discharges in a given catchment, **Proceedings of the Institution of Civil Engineerings of Irland**, 4:19–31, 1851.

NASH, J.; SUTCLIFFE, J. V. River flow forecasting through conceptual models part I - A discussion of principles, **Journal of hydrology**, v. 10, n. 3, p. 282-290, 1970.

NOVAES, M. R. **ANALISE DA REDUÇÃO DA QUEIMA NA COLHEITA DA CANA-DE-AÇÚCAR POR MEIO DE MODELAGEM DINÂMICA ESPACIAL**. 2010. 155f. Dissertação (mestrado em Sensoriamento Remoto). INPE, São José dos Campos-SP.

NEITSCH, S. L.; ARNOLD, J. G.; KINIRY, J. R.; WILLIAMS, J. R. **Soil and water assessment tool theoretical documentation version 2009**. Texas Water Resources Institute. 2011.

NKONYA, E.; KARSENTY, A.; MSANGI, S.; SOUZA JR, C.; SHAH, M.; VOM BRAUN, J.; GALFORD, G.; PARK, S. **Sustainable land use for the 21st century**. United Nations Department of Economic and Social Affairs. Division for Sustainable Development, 94p. 2012.

NOSENT, J. Sensitivity and uncertainty analysis in view of the parameter estimation of a SWAT model of the River Kleine Nete, Belgium. 2012. 462f. Tese (doutorado em Engenharia). Vrije Universiteit Brussel, Bruxelas.

NTI, I. K. **Geospatial process modelling for land use cover change**. 2013. 233f. Tese (doutorado em computação e ciência matemática). Auckland University of Technology, Auckland.

ODIRA, P.M.A.; NYADAWA, M.O.; NDWALLAH, B.O.; JUMA, N.A.; OBIERO, J.P. Impact of Land Use/Cover dynamics on Stream flow: A Case of Nzoia River Catchment, Kenya. **Nile Basin Water Science & Engineering Journal**, Vol.3, Issuc2, p. 64-78. 2010.

OGDEN, F.L. **CASC2D Version 1.18 Reference Manual**. Dept. of Civil & Environmental Engineering, U-37, University of Connecticut, Storrs, CT 06269, p. 106, 1998.

OLIVEIRA, J. B. Solos do Estado de São Paulo: Descrição das classes registradas no mapa pedológico. Campinas, Instituto Agrônômico de Campinas, 112p, **Boletim Científico**, v. 45, 1999.

OLIVEIRA, J. B.; CAMARGO, M. N.; ROSSI, M.; CALDERANO FILHO, B. **Mapa pedológico do Estado de São Paulo: legenda expandida**, Campinas, Instituto Agrônômico/EMBRAPA-Solos, Campinas, 1999, 64p, Inclui mapas.

PAL, S. K. Statistics for geoscientists: techniques and applications. **Statistics for geoscientists: techniques and applications**. 1998.

PARKER, D. C.; MANSON, S. M.; JANSSEN, M. A.; HOFFMANN, M. J.; DEADMAN, P. Multi-agent systems for the simulation of land-use and land-cover change: A review, **Annals of the Association of American Geographers**, 93(2): 314-337, 2003.

PENALBA, O. C.; RIVERA, J. A. Precipitation response to El Niño/La Niña events in Southern South America—emphasis in regional drought occurrences. **Advances in Geosciences**, v. 42, p. 1-14. 2016.

PERRATON, J.; BAXTER, R. S. **Models, evaluations and information systems for planners**, MTP Construction, 1974.

PISANI, R. J. **Modelagem espacial dinâmica para o monitoramento do aporte de sedimentos na sub-bacia do rio Capivara, município de Botucatu-SP**. 2013. 163f. Tese (doutorado em Geociências e Meio Ambiente). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Rio Claro.

PONTES, L. M.; VIOLA, M. R.; SILVA, M. L. N.; BISPO, D. F. A.; CURI, N. Hydrological Modeling of Tributaries of Cantareira System, Southeast Brazil, with the Swat Model. **Engenharia Agrícola**, v. 36, n. 6, p. 1037-1049. 2016.

POLHILL, J. G.; GOTTS, N. M.; LAW, A. N. Imitative versus nonimitative strategies in a land-use simulation. **Cybernetics & Systems**, v. 32, n. 1-2, p. 285-307. 2001.

PRIESTLEY, C. H. B.; TAYLOR, R. J. On the Assessment of Surface Heat Flux and Evaporation Using Large-Scale Parameters. **Monthly Weather Review**, v. 100, n. 2, p. 81-92. 1972.

REFSGAARD, J. C.; STORM, B. MIKE SHE, In: SINGH, V. P. (editor) **Computer Models of Watershed Hydrology**, Water Resources Publications, Highlands Ranch, Colorado, 809–846, 1995.

REFSGAARD, J. C. Terminology, modelling protocol and classification of hydrological model codes, In: ABBOTT, M. B.; REFSGAARD, J. C. (eds.), **Distributed Hydrological Modelling**, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 17-39, 1996.

REFSGAARD, J. C. Parameterisation, calibration, and validation of distributed hydrological models. **J. Hydrol.** 198 (1): 69-97, 1997.

ROSBJERG, D.; MADSEN, H. **Concepts of Hydrological Modeling**, John Wiley and Sons, Ltd, 2005.

ROSSETTI, L. A. F. G.; ALMEIDA, C. M.; PINTO, S. A. F. Modelagem dinâmica espacial de mudanças no uso da terra da cidade de Rio Claro, SP. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15, 2011. Curitiba-PR. **Anais...** Curitiba: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2011. p. 6703-6710.

ROSTAMIAN, R.; JALEH, A.; AFYUNI, M.; MOUSAVI, S. F.; HEIDARPOUR, M.; JALALIAN, A.; ABBASPOUR, K. C. Application of a SWAT model for estimating runoff and sediment in two mountainous basins in central Iran. **Hydrological Sciences Journal**, v. 53, n. 5, p. 977-988. 2008.

RUDORFF, B. F. T.; AGUIAR, A. A.; SILVA, W. F.; SUGAWARA, L. M.; ADAMI, M.; MOREIRA, M. A. Studies on the rapid expansion of sugarcane for ethanol production in São Paulo State (Brazil) using Landsat data. **Remote sensing**, v. 2, n. 4, p. 1057-1076. 2010.

RYKIEL, E. J. Testing ecological models: the meaning of validation, **Ecological modelling**, v. 90, n. 3, p. 229-244, 1996.



SÁNCHEZ, E.; GALLARDO, C.; GAERTNER, M.A.; ARRIBAS, A.; CASTRO, M. Future climate extreme events in the Mediterranean simulated by a regional climate model: a first approach. **Global and Planetary Change**, v. 44, n. 1, p. 163-180. 2004.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria do Meio Ambiente. **O protocolo ambiental**. 2007. Disponível em: <<http://www.ambiente.sp.gov.br/etanolverde/protocolo-agroambiental/>>. Acesso em: 17 jul. 2017.

SÃO PAULO (Estado). **Lei Estadual nº. 11.241/2002**: Dispõe sobre a eliminação gradativa da queima da palha da cana-de-açúcar e dá providências correlatas. 2002. Disponível em: <<http://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/2002/lei-11241-19.09.2002.html>>. Acesso em: 17 jul. 2017.

SARTORI, A.; LOMBARDI NETO, F.; GENOVEZ, A. M. Classificação hidrológica de solos brasileiros para a estimativa da chuva excedente com o método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos Parte 1: Classificação, **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 10, n. 4, p. 05-18, 2005.

SAXTON, K. E.; WILLEY, P. H. The SPAW Model for agricultural field and pond hydrologic simulation, Ch, 17 in: **Mathematical Modeling of Watershed Hydrology** (ed, by V, P, Singh & D, Frevert), 401–435, CRC Press LLC, Boca Raton, Florida, USA, 2005.

SCHILLING, K. E.; LIBRA, R. D. Increased baseflow in Iowa over the second half of the 20th century. **Journal of the American Water Resources Association**, v. 39, n. 4, p. 851-860. 2003.

SCHMIDT, E. Impacts of sugarcane production on water resources. **Proc. S. Afr Sugar Technol. Assoc**, v. 71, p. 73-75. 1997.

SCHUOL, J.; ABBASPOUR, K. C. Using monthly weather statistics to generate daily data in a SWAT model application to West Africa, **Ecological Modeling**, Vol. 201, pp 301-311, 2007.

SILVA, M. G.; AGUIAR NETTO, A. O.; NEVES, R. J. J.; VASCO, A. N.; ALMEIDA, C.; FACCIOLI, G. G. Sensitivity Analysis and Calibration of Hydrological Modeling of the Watershed Northeast Brazil. **Journal of Environmental Protection**, v. 6, n. 8, p. 837. 2015.

SILVA, P. F.; CHANG, H. K.; CAETANO-CHANG, M. R. Estratigrafia de subsuperfície do Grupo Bauru (K) no Estado de São Paulo, **Revista Brasileira de Geociências**, v, 35, p, 77-88, 2005.

SILVA C.R.; QUINTAS M.C.L.; CENTENO J.A.S. **Estudo do Método de Interpolação do Inverso da Distância a Uma Potência**. Anais... II Simpósio Brasileiro de Geomática Presidente Prudente - SP. V Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas. p. 057-062, 2007.

SIMIN, C.; RONGQUN, Z.; WENLING, C.; HUI, Y. Band selection of hyperspectral images based on Bhattacharyya distance. **WSEAS Trans Inf Sci Appl**, v. 6, n. 7, p. 1165-1175. 2009.

SLOAN, P. G.; MOORE, I. D. Modeling subsurface stormflow on steeply sloping forested watersheds, **Water Resources Research**, v, 20, n, 12, p, 1815-1822, 1984.

SLOAN, P. G.; MORRE, I. D.; COLTHARP, G. B.; EIGEL, J. D. **Modeling surface and subsurface stormflow on steeply-sloping forested watersheds**, Water Resources Inst, Report 142, Univ, Kentucky, Lexington, 1983.

SOARES-FILHO, CERQUEIRA, G. C.; B. S.; PENNACHIN, C. L. DINAMICA - a stochastic cellular automata model designed to simulate the landscape dynamics in an Amazonian colonization frontier. **Ecological Modelling**, v. 154, n. 3, p. 217-235, Sep 1, 2002.

SOARES-FILHO, B. S.; CERQUEIRA, G. C.; ARAÚJO, W. L.; VOLL, E. Modelagem de dinâmica de paisagem: concepção e potencial de aplicação de modelos de simulação baseados em autômato celular, In: Albernaz, A, L, et al., (Ed.), **Ferramentas para modelagem da distribuição de espécies em ambientes tropicais**, S/I: Editora Museu Paraense Emílio Goeldi, 2003, p. 1-16.

SOARES-FILHO, B. S.; NEPSTAD, D. C.; CURRAN, L.; CERQUEIRA, G. C.; GARCIA, R. A.; RAMOS, C. A.; VOLL, E.; MCDONALD, A.; LEFEVRE, P.; SCHLESINGER, P.; MCGRATH, D. Cenários de desmatamento para a Amazônia, **Estudos Avançados**, v. 19, n. 54, p. 137-152, 2005.

SOARES-FILHO, B., RODRIGUES, H., COSTA, W. **Modeling Environmental Dynamics with Dinamica EGO**. Centro de Sensoriamento Remoto (IGC/UFMG) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, Brazil, 114 p. 2009.

STRAHLER, A. N. Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. **Geological Society of America Bulletin**, v. 63, n. 11, p. 1117-1142. 1952.

SULIMAN, A. H. A.; JAJARMIZADEH, M.; HARUN, S.; DARUS, I. Z. M. Comparison of semi-distributed, GIS-based hydrological models for the prediction of streamflow in a large catchment. **Water Resources Management**, v. 29, n. 9, p. 3095-3110. 2015.

TOBLER, W. Cellular geography. In: (Ed.). **Philosophy in geography**: Springer, 1979. p.379-386. ISBN 940099396X.

TROUPIN, D.; CARMEL, Y. Landscape patterns of development under two alternative scenarios: Implications for conservation. **Land Use Policy**, v. 54, p. 221-234. 2016.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: UFRGS, 2009.

TURNER, B.; MEYER, W. B.; SKOLE, D. L. Global land-use/land-cover change: towards an integrated study. **Ambio. Stockholm**, v. 23, n. 1, p. 91-95. 1994.

TYAGI, J. V.; MISHRA, S. K.; SINGH, R.; SINGH, V. P. SCS-CN based time-distributed sediment yield model, **Journal of Hydrology**, v. 352, p. 388–403, 2008.

URSIC, S.; DENDY, F. E. Sediment yields from small watersheds under various land uses and forest covers, **US Department of Agriculture, Miscellaneous Publication**, v, 970, p, 47-52, 1965.

USDA, Soil Conservation Service, **National Engineering Handbook**, Section 4 Hydrology (Chapters 4–10), 1972.

VAN LIEW, M. W.; ARNOLD, J.; BOSCH, D. Problems and potential of autocalibrating a hydrologic model, **Transactions of the ASAE**, v. 48, n. 3, p. 1025-1040, 2005.

VERBURG, P. H.; SCHOT, P. P.; DIJST, M. J.; VELDKAMP, A. Land use change modelling: current practice and research priorities, **GeoJournal**, v. 61, n. 4, p. 309-324, 2004.

VERBURG, P. H.; EICKHOUT, B.; VAN MEIJL, H. A multi-scale, multi-model approach for analyzing the future dynamics of European land use. **The Annals of Regional Science**, v. 42, n. 1, p. 57-77, 2008.

VERBURG, P. H.; KOOMEN, E.; HILFERINK, M.; PÉREZ-SOBA, M.; LESSCHEN, J. P. An assessment of the impact of climate adaptation measures to reduce flood risk on ecosystem services, **Landscape ecology**, v. 27, n. 4, p. 473-486, 2012.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. McGraw-Hill do Brasil. São Paulo, SP. 1975.

VON NEUMANN, J. **Theory of Self-Reproducing Automata**, University of Illinois Press, 1966.

WAINGER, L.; RAYBURN, J.; PRICE, E. Review of land use change models: applicability to projections of future energy demand in the Southeast United States, **UMCES (CBL) Ref**, n 07-187, 2007.

WANG, G., YANG, H.; WANG, L.; XU, Z.; XUE, B. Using the SWAT model to assess impacts of land use changes on runoff generation in headwaters. **Hydrological Processes**, v. 28, n. 3, p. 1032-1042. 2014.

WANG, L.; YOUNG, S. S.; WANG, W.; REN, G.; XIAO, W.; LONG, Y.; LI, J.; ZHU, J. Conservation priorities of forest ecosystems with evaluations of connectivity and future threats: Implications in the Eastern Himalaya of China. **Biological Conservation**, v. 195, p. 128-135. 2016.

WHITE, R.; ULJEE, I.; ENGELEN, G. Integrated modelling of population, employment and land-use change with a multiple activity-based variable grid cellular automaton. **International Journal of Geographical Information Science**, v. 26, n. 7, p. 1251-1280, 2012.

WILBY, R.L.; DAWSON, C.W. **SDSM 4.2 – A decision support tool for the assessment of regional climate change impacts**, User Manual. LE11 3TU, UK, Leics, 2007.

WILBY, R. L.; DAWSON, C. W.; BARROW, E. M. SDSM—a decision support tool for the assessment of regional climate change impacts. **Environmental Modelling & Software**, v. 17, n. 2, p. 145-157. 2002.

WILENSKY, U. **NetLogo**. Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University: Evanston, IL, 1999.

WU, Y.; LIU, S.; GALLANT, A. L. Predicting impacts of increased CO<sub>2</sub> and climate change on the water cycle and water quality in the semiarid James River Basin of the Midwestern USA. **Science of the Total Environment**, v. 430, p. 150-160. 2012.

XIMENES, A. D. C.; ALMEIDA, C. M.; AMARAL, S.; ESCADA, M. I. S.; AGUIAR, A. P. D. Modelagem dinâmica do desmatamento na Amazônia. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 14, n. 3, p. 370-391. 2008.

YATES, D. N. WatBal: An integrated water balance model for climate impact assessment of river basin runoff. **International Journal of Water Resources Development**, v. 12, n. 2, p. 121-140. 1996.

ZANG, C.; LIU, J. Trend analysis for the flows of green and blue water in the Heihe River basin, northwestern China. **Journal of Hydrology**, v. 502, p. 27-36. 2013.

ZHANG, Y. K.; SCHILLING, K. Increasing streamflow and baseflow in Mississippi River since the 1940s: Effect of land use change. **Journal of Hydrology**, v. 324, n. 1, p. 412-422. 2006.

ZHANG, L. **Impact of land use and climate change on hydrological ecosystem services (water supply) in the dryland area of the middle reaches of the Yellow River**. 2015. 121f. Tese (doutorado em Recursos Naturais). Faculdade de Ciências Ambientais, Universidade Técnica de Dresden, Dresden.