UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Botucatu

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
UNESP | BOTUCATU

JULIANO BÖECK SANTOS

MODELAGEM HIDROLÓGICA HEC-HMS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO LAVAPÉS, BOTUCATU-SP

Botucatu
2017

JULIANO BÖECK SANTOS

MODELAGEM HIDROLÓGICA HEC-HMS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO LAVAPÉS, BOTUCATU-SP

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp Campus de Botucatu, para obtenção do título de Doutor em Agronomia (Irrigação e Drenagem).

Orientadora: Prof[a] Dr[a] Célia Regina Lopes Zimback

Co-orientador: Prof. Dr. Luís Gustavo Frediani Lessa

Co-orientador exterior: Prof. Dr. Manuel Esteban Lucas Borja

Botucatu

2017

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - DIRETORIA TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

Santos, Juliano Böeck, 1977-
S237m Modelagem hidrológica HEC-HMS da bacia hidrográfica do Ribeirão Lavapés, Botucatu-SP / Juliano Böeck Santos. - Botucatu : [s.n.], 2017
78 p. : il. color., grafs., tabs.

Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu, 2017
Orientador: Célia Regina Lopes Zimback
Coorientador: Luís Gustavo Frediani Lessa
Coorientador: Manuel Esteban Lucas Borja
Inclui bibliografia

1. Geoprocessamento. 2. Sistemas de informação geográfica. 3. Bacias hidrográficas. I. Zimback, Célia Regina Lopes. II. Lessa, Luís Gustavo Frediani. III. Borja, Manuel Esteban Lucas. IV. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Câmpus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agronômicas. V. Título.

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte"

AGRADECIMENTOS

A Deus.

Aos meus familiares pelo apoio incondicional.

A minha noiva Larissa, pelo amor, companheirismo, paciência e por estar sempre ao meu lado nos momentos difíceis.

A Profª Drª Célia Regina Lopes Zimback e ao Prof. Dr. Luís Gustavo Frediani Lessa pela orientação, ensinamentos, paciência e que acreditaram em minha capacidade.

À Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu/UNESP, Campus de Botucatu-SP, por abrir as portas do conhecimento.

Aos meus colegas e amigos do Grupo de Estudos e Pesquisas Georreferenciadas - GEPAG, pelo apoio e amizade, que deram forças para a realização deste trabalho.

Aos amigos brasileños que fiz em Albacete (Aldiel, Bruno, Kelliane, Mikael e Taline).

Aos funcionários e professores do Departamento de Recursos Naturais – Ciência do Solo, pela atenção, ajuda prestada, pela agradável convivência e amizade.

A todas as pessoas que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES (Processo: 99999.006790/2015-011 - Programa de Doutorado Sanduíche no Exterior - PDSE).

À Universidade de Castilla La Mancha- Campus Albacete (Espanha), em especial ao Prof. Dr. Manuel Esteban Lucas Borja, pelo estágio de doutorado e todos os conhecimentos adquiridos.

Ao CNPQ – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pela bolsa de estudos concedida.

“Uma vez que você tenha experimentado voar, você andará pela terra com seus olhos voltados para o céu, pois lá você esteve e para lá você desejará voltar.”

Leonardo da Vinci

RESUMO

O uso inadequado dos recursos naturais é um dos principais problemas enfrentados pelos países. Considerando a extensão territorial das bacias hidrográficas, a utilização de ferramentas de geoprocessamento baseado no Sistema de Informações Geográficas (SIG) são apropriadas para o monitoramento hidrológico por meio do planejamento, controle, armazenamento e execução de informações. A Bacia Hidrográfica do Ribeirão Lavapés tem suas nascentes principais e seus afluentes dentro da área urbana do município de Botucatu-SP-Brasil, com isso o monitoramento, mapeamento e planejamento ambiental dessa área é de fundamental importância para a sua recomposição e conservação. A bacia de estudo foi dividida em três formações geológicas: Adamantina, Serra Geral e Pirambóia/Botucatu e sua produção de água foi quantificada por meio de um modelo hidrológico associado ao SIG, utilizando o Método de Curva Número (CN). Em relação aos resultados obtidos para os valores de infiltração e escoamento superficial, a Formação Adamantina (CN=97,87) apresentou uma alta impermeabilização do solo, a Formação Serra Geral (CN=73,97) um aumento do escoamento superficial, e a Formação Pirambóia/Botucatu (CN=67,29) altas taxas de infiltração. Quanto à vazão, em todas as simulações realizadas a Formação Adamantina apresentou valores superiores às demais formações e a Formação Pirambóia/Botucatu foi superior a Formação Serra Geral devido sua maior área de captação, embora apresente um valor de CN inferior. Comparando a vazão, em ambos os períodos de retorno, da média das formações geológicas com a da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Lavapés como um todo, observou-se que na duração de chuva de 1 hora os valores foram superiores nas formações, enquanto que em 6 e 12 horas, foram superiores na bacia como um todo. Assim, pode-se concluir que os dados de entrada disponíveis e os parâmetros utilizados tornaram o modelo uma boa ferramenta na simulação de eventos na previsão de cenários, assim como, para futuras tomadas de decisões pelos gestores dos recursos hídricos.

Palavras-chave: Modelagem hidrológica. Geoprocessamento. Sistema de informações geográficas. Produção de água.

ABSTRACT

Inadequate use of natural resources is one of the main problems faced by the countries. Considering the territorial extent of the Hydrographic Basins, it becomes necessary to use geoprocessing tools based on Geographic Information System (GIS) for the hydrological monitoring by planning, control, storage and execution information. The Ribeirão Lavapés Hydrographic Basin has its main springs and its tributaries within the urban area of the city of Botucatu-SP-Brazil, so the monitoring, mapping and environmental planning of this area is of fundamental importance for its recomposition and conservation. The study basin was divided into three geological formations: Adamantina, Serra Geral and Pirambóia/Botucatu, and its water production was quantified by means of a hydrological model associated with GIS, using the Number Curve Method (CN). Regarding the results obtained for the infiltration and surface runoff values, the Adamantina Formation (CN = 97.87) presented a high waterproofing of the soil, the Serra Geral Formation (CN = 73.97) an increase of the surface runoff, and Pirambóia/Botucatu Formation (CN = 67.29) high rates of infiltration. As for the flow rate, in all simulations, the Adamantina Formation presented higher values than the other formations and the Pirambóia/Botucatu Formation was superior to the Serra Geral Formation due to its higher catchment area, although it presents a lower CN value. Comparing the flow rate, in both return periods, of the mean geological formations with that of the Ribeirão Lavapés Hydrographic Basin as a whole, it was observed that in the 1 hour rainfall the values were higher in the formations, while at 6 and 12 hours, its was higher in the basin as a whole. Therefore, it can be concluded that the available input data and the parameters used have made the model a good tool in simulating events in scenario prediction, as well as for future decision making by water resource managers.

Keywords: Hydrologic modeling. Geoprocessing. Geographic information system. Water production.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Localização da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Lavapés em Botucatu-SP 34
Figura 2 - Mapa geológico adaptado apresentando as formações predominantes da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Lavapés 38
Figura 3 - Mapa de solos da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Lavapés.....39
Figura 4 - Mapa de Uso e Ocupação da Terra da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Lavapés.....42
Figura 5 - Mapa de Solos X Uso e Ocupação da Terra da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Lavapés.....57
Figura 6 - Valores de precipitação, escoamento superficial e infiltração, em mm da Formação Adamantina, nos intervalos, em horas, de duração de chuva .62
Figura 7 - Valores de precipitação, escoamento superficial e infiltração, em mm, da Formação Serra Geral, nos intervalos, em horas, de duração de chuva..63
Figura 8 - Valores de precipitação, escoamento superficial e infiltração, em mm, da Formação Pirambóia/Botucatu, nos intervalos, em horas, de duração de chuva.....64
Figura 9 - Valores de vazão, em $m^3.s^{-1}$, para as Formações Adamantina, Serra Geral e Pirambóia/Botucatu, nos intervalos, em horas, de duração de chuva ...64
Figura 10 - Valores médios de precipitação, escoamento superficial e infiltração, em mm, das Formações Adamantina, Serra Geral e Pirambóia/Botucatu, nos intervalos, em horas, de duração de chuva.....66
Figura 11 - Valores de precipitação, escoamento superficial e infiltração, em mm, da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Lavapés como um todo, calculo direto pelo HEC-HMS, nos intervalos, em horas, de duração de chuva.....67
Figura 12 - Regressão Linear para os valores da média da vazão, em $m^3.s^{-1}$, para as Formações Adamantina, Serra Geral e Pirambóia/Botucatu e para a Bacia Hidrográfica do Ribeirão Lavapés como um todo, com período de retorno de 10 anos 67
Figura 13 - Regressão Linear para os valores da média da vazão, em $m^3.s^{-1}$, para as Formações Adamantina, Serra Geral e Pirambóia/Botucatu e para a Bacia Hidrográfica do Ribeirão Lavapés como um todo, com período de retorno de 100 anos 68

Quadro 1 - Cartas planialtimétricas utilizadas para a área de estudo..... 41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Previsão de máximas intensidades de chuvas, em mm/min 45
Tabela 2 - Previsão de máximas alturas de chuvas, em mm 45
Tabela 3 - Valores do CN para bacias com ocupação agrícola.....47
Tabela 4 - Valores do CN para bacias com ocupação urbana 48
Tabela 5 - Previsão de máximas intensidades (mm/min) e máximas alturas (mm) de chuvas 52
Tabela 6 - Método dos Blocos Alternados.....54
Tabela 7 - Tipos de solos e suas respectivas áreas da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Lavapés.....55
Tabela 8 - Classes de Uso e Ocupação da Terra e suas respectivas áreas da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Lavapés 56
Tabela 9 - Soma do CN total para a Formação Pirambóia/Botucatu.....58
Tabela 10 - Soma do CN total para a Formação Serra Geral 59
Tabela 11 - Soma do CN total para a Formação Adamantina.....60
Tabela 12 - Tempo de concentração (t_c) para cada formação da bacia.....60
Tabela 13 - Tempo de retardo (tr) para cada formação da bacia.....61
Tabela 14 - Formação Adamantina, com período de retorno de 10 e 100 anos e duração de chuva de 1, 6 e 12 horas 61
Tabela 15 - Formação Serra Geral, com período de retorno de 10 e 100 anos e duração de chuva de 1, 6 e 12 horas 62
Tabela 16 - Formação Pirambóia/Botucatu, com período de retorno de 10 e 100 anos e duração de chuva de 1, 6 e 12 horas 63
Tabela 17 - Médias dos valores obtidos das Formações Adamantina, Serra Geral e Pirambóia/Botucatu 65
Tabela 18 - Valores da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Lavapés como um todo, calculo direto pelo HEC-HMS.....66

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APA	Área de Proteção Ambiental
ASPRS	American Society for Photogrammetry and Remote Sensing
BDG	Banco de dados geográfico
CN	Curve Number
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CRH	Conselho Estadual de Recursos Hídricos
CRWR	Center for Research in Water Resources
CTH	Centro Tecnológico de Hidráulica e Recursos Hídricos
DAEE	Departamento de Águas e Energia Elétrica
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ESRI	Environmental Systems Research Institute, Inc.
GEPAG	Grupo de Estudos e Pesquisas Agrárias Georreferenciadas de Botucatu
GIS	Geographic Information System
HEC - HMS	Hydrology Engineering Center - Hydrologic Modeling System
HEC - RAS	Hydrologic Engineering Center - River Analysis Systems
HEC	Hydrology Engineering Center
IDF	Intensidade – Duração – Frequência
IGC	Instituto Geográfico e Cartográfico
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
NRCS	National Resource Conservation Service
NRCS	Serviço de Conservação dos Recursos Naturais
PI´s	Planos de Informações
OGC	Open Geospatial Consortium
SCS	Soil Conservation Service
SCS-CN	Soil Conservation Service – Curve Number
SIG	Sistema de Informação Geográfico
Terra SPOT5	Système Pour l`Observation de la Terre-5
USACE	US Army Corps of Engineers
USDA	Departamento de Agricultura dos Estados Unidos da América
UTM	Universal Transversa de Mercator

LISTA DE SÍMBOLOS

%	porcentagem;
°C	grau Celsius;
i	intensidade da chuva, em mm/min;
km^2	kilometros quadrados;
m	metro;
$m^3 s^{-1}$	metros cubicos por segundo;
mm	milímetros;
mm/min	milímetros por minuto;
nº	número;
t	duração da chuva em minutos;
T	período de retorno em anos.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 21
2 REVISÃO DE LITERATURA 23
2.1 BACIA HIDROGRÁFICA 23
2.2 GEOPROCESSAMENTO 24
2.2.1 Sistemas de Informação Geográfica (SIG) 25
2.2.1.1 Aplicativo gvSIG 26
2.2.2 Sensoriamento Remoto 27
2.3 MODELAGEM HIDROLÓGICA 27
2.3.1 Conceitos 27
2.3.2 Classificações de Modelos Hidrológicos 28
2.3.3 Método Curva Número (CN) 29
2.3.4 O Modelo HEC – HMS (*Hydrologic Engineering Center - Hydrologic Modeling System*) 30
3 MATERIAL E MÉTODOS 33
3.1 DESCRIÇÃO GERAL DA ÁREA DE ESTUDO 33
3.1.1 HIDROGRAFIA 35
3.1.2 CLIMA 35
3.1.3 RELEVO 35
3.1.4 GEOLOGIA 36
3.1.5 SOLOS 37
3.1.6 VEGETAÇÃO 40
3.2 MATERIAL 40
3.2.1 Material cartográfico 40
3.2.2 Imagem de satélite 41
3.2.3 Sistemas de Informação Geográfica (SIG) 43
3.3 METODOLOGIA 43
3.3.1 Elaboração do banco de dados 43
3.3.2 Tratamento dos dados tabulares 44
3.3.2.1 Precipitações intensas 44
3.3.2.2 Elaboração do Mapa de Solos x Uso e Ocupação da Terra 46
3.3.2.3 Cálculo da Curva Número (CN) 46
3.3.2.4 Tempo de concentração (t_c) 49

3.3.3 Modelo hidrológico HEC – HMS 50
4 RESULTADOS 52
4.1 TRATAMENTO DOS DADOS 52
4.1.1 Tratamento dos dados tabulares 52
4.1.2 Mapa Solos X Uso e Ocupação da Terra 55
4.2 CÁLCULO DA CURVA NÚMERO (CN) 58
4.3 TEMPO DE CONCENTRAÇÃO (T_C) 60
4.4 MODELO HIDROLÓGICO HEC – HMS 61
4.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS 70
5 CONCLUSÕES 71
REFERÊNCIAS 72

1 INTRODUÇÃO

A ocupação da superfície terrestre pelo homem apresenta-se de uma maneira pouco planejada, tendo como resultado um dos problemas mais cruciais do planeta sua inadequada preservação dos recursos naturais. Perante o grande avanço da expansão demográfica e agrícola é de fundamental importância à necessidade de aumentar a produção de alimentos devido a sua demanda crescente.

A água é um elemento essencial a vida e o bem mais valioso no planeta, e será cada vez mais, sendo que suas várias maneiras de emprego no bem estar e desenvolvimento da humanidade o que a torna indispensável.

Observa-se que em áreas que apresentam vegetação natural, as quais possuem maior potencial de infiltração de água no solo, encontram-se impermeáveis e com sinais de erosão avançada, devido a ocupação por áreas urbanas ou cultivos agrícolas intensivos, o que demonstra o seu manejo impróprio dos solos.

A análise das condições reais dos recursos em um determinado espaço geográfico passa a ser uma ferramenta importante em trabalhos de monitoramento ambiental. Tendo como metodologia as unidades de estudo, as bacias hidrográficas possuem grande eficácia nessa análise.

Dada a extensão territorial da bacia hidrográfica em estudo, o uso do geoprocessamento para o planejamento, controle, armazenamento e execução de informações, torna-se necessário no monitoramento hidrológico, pois proporciona agilidade e facilidade na tomada de decisão dos responsáveis pelo monitoramento hidrológico da bacia.

O SIG associado a modelos hidrológicos matemáticos permite simular por longos períodos de tempo a produção de água da bacia hidrográfica, além de simular os efeitos produzidos quando aplicados a outros tipos de uso e ocupação da terra, na busca daquele que melhor se adapte para a produção de água na região.

O escoamento superficial dificulta o processo de infiltração de água no solo e sofre influências de fatores climáticos e fisiográficos, tais como: a topografia, a área, a forma e a permeabilidade do solo da bacia e dependendo de como esses fatores correlacionam-se e tendem a favorecer ou não o processo de infiltração.

As bacias hidrográficas localizadas nas zonas urbanas sofrem ainda mais com a impermeabilização do solo e escoamento superficial. O Ribeirão Lavapés, tem suas principais nascentes e afluentes na zona urbana do município de Botucatu-SP, que

percorrem uma longa extensão de área agrícola até sua foz no Rio Tietê, portanto o monitoramento, mapeamento e planejamento ambiental são de fundamental importância.

Justifica-se o estudo da produção de água na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Lavapés, pois a Bacia Hidrográfica do Rio Pardo, fonte abastecedora de água para os municípios de Botucatu e Pardinho, tem demonstrando indícios de exaustão no fornecimento de água para a população da região.

O estudo hidrológico da área é de fundamental importância, pois este é a base de futuras intervenções na conservação e recomposição florestal.

Tem-se como hipótese que a quantificação da produção de água na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Lavapés pode ser efetuada por meio da Modelagem Hidrológica HEC-HMS associada a Sistema de Informações Geográficas (SIG). Sendo assim os objetivos específicos foram:

a) construir banco de dados para auxiliar no monitoramento do Uso e Ocupação da Terra e estudos hidrológicos da bacia;
b) gerar dados de precipitação, escoamento superficial, infiltração e vazão parcelando-se a área em sub-bacias, levando-se em conta a ocorrência das formações geológicas presentes, com três diferentes intervalos de durações de chuva e em dois períodos de retorno;
c) gerar dados de precipitação, escoamento superficial, infiltração e vazão da bacia como um todo, fornecidos pelo modelo hidrológico, com três diferentes durações de chuva e em dois períodos de retorno;
d) correlacionar parâmetros hidrológicos referentes à bacia com os parâmetros com as divisões geológicas definidas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Bacia Hidrográfica

Corseuil (2006) definiu bacia hidrográfica por uma área da superfície terrestre drenada por um rio principal e seus afluentes, onde seu limite é dado pelas linhas divisoras de água. Tais linhas são definidas pela acomodação das curvas de nível que conectam os pontos com maior altitude da região em volta da rede de drenagem. Santos (2004) ressaltou que os fenômenos que ocorrem dentro de uma bacia, sejam elas de origem antrópica ou natural, causa interferência na dinâmica sistêmica, na qualidade e quantidade dos cursos de água e nas medidas de determinadas variáveis, tais como: clima, relevo, vegetação, solo, entre outras) admitindo interpretar a totalidade desses fenômenos.

Para Silveira (2009), bacia hidrográfica é uma área de captação natural da água da precipitação a qual converge os escoamentos para um único local de saída, seu exutório, sendo composta essencialmente por um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem composta por cursos d'água que confluem até que resulte em um canal único no exutório.

Aspectos que induzem os planejadores a nomearem a bacia hidrográfica como uma unidade de gestão, por ser um sistema natural bem demarcado no espaço, onde suas interações físicas são associadas e assim sendo, simples de serem compreendidas, tornando as capazes de refletir as semelhanças de causa e efeito. Usando a bacia hidrográfica como unidade de trabalho, o planejamento torna-se mais apropriado e permite conciliar a produção com a preservação ambiental, devido os seus limites serem formados naturalmente, por meio do divisor de águas (CORSEUIL, 2006).

Grossi (2003) destacou que a própria legislação referencia a bacia hidrográfica como área de afluência a partir da Resolução de n° 001/86 do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) de 1981, onde a unidade passa a ser considerada como área de análise no estudo prévio de conflito ambiental.

Na Legislação do Estado de São Paulo, o Decreto nº 36.787, de 18 de maio de 1993, que regulamentou a Lei nº 7.663, discrimina grupos de bacias hidrográficas e esta divisão hidrográfica, por sua vez, foi aprovada pelo Conselho Estadual de Recursos Hídricos – CRH (SÃO PAULO, 1994). A Lei das Águas (Lei 9.433/97)

instituiu os princípios fundamentais para a gestão dos recursos hídricos e adotou a bacia hidrográfica como unidade de planejamento (NAGY, 2008).

De acordo com Christofoletti (1999), áreas inferiores a 100 km^2 são consideradas como pequenas bacias, as com áreas entre 100 e 1000 km^2 como médias e as maiores que 1000 km^2, como grandes.

2.2 Geoprocessamento

O geoprocessamento tornou-se indispensável para execução de projetos atrelados à área ambiental. Grandes extensões de áreas que abrangem estes projetos fazem o uso do geoprocessamento um principal elemento para a manipulação de grandes bases de dados envolvidos; podendo ser de caráter espacial ou não (PETERSEN et al., 1995). O geoprocessamento permite o tratamento dos dados, originando informações e disponibilizando soluções por meio de modelagem e simulações de cenários (ROCHA; LAMPARELLI, 1998).

Mendes e Cirilo (2001) definiram, conceitualmente, geoprocessamento como uma estrutura simples da realidade que supostamente apresenta, de maneira geral, particularidades e relações importantes, por meio de dados espaciais.

O Geoprocessamento, pode ter por definição, o conjunto de técnicas e metodologias que implicam em adquirir, arquivar, processar e representar os dados georreferenciados. Um dado georreferenciado apresenta coordenada geográfica (latitude e longitude). Sendo seu objetivo principal, fornecer métodos computacionais que possam ser determinadas as evoluções temporais e espaciais de um fenômeno geográfico (RODRIGUES, 1990; CÂMARA; MEDEIROS, 1998).

Para armazenar, analisar e apresentar grandes volumes de dados de certo espaço geográfico, tornou-se necessário o desenvolvimento de ambientes informatizados que agrupassem mapas digitais às informações sobre os elementos do mapa. Operação a qual abrange a tecnologia de informática, banco de dados e cartografia digital, ou seja, as geotecnologias (MARBLE, 1984).

Por Geotecnologias entende-se ao conjunto de tecnologias no qual abrange a aquisição, processamento interpretação de dados ou informações espacialmente referenciadas (ORMOND, 2005). Dentre elas serão abordadas, o Sistema de Informações Geográficas e o Sensoriamento Remoto.

2.2.1 Sistemas de Informação Geográfica (SIG)

As informações sobre localização geográfica e seu tratamento, em pesquisas voltadas aos recursos hídricos, desde seu inicio tem sido um problema para os pesquisadores. Na maioria das vezes eles encontram a necessidade de representar superfícies terrestres, além de lidar com os fenômenos e variáveis que nelas ocorrem (MELO, 2010).

DeMers (2016) relatou que a história do SIG pertence à década de 50, século XX, quando a urbanista britânica JacquelineTyrwhitt, por meio do uso de sobreposições transparentes, combinou quatro mapas temáticos (geologia, elevação, hidrologia e terra) colocados sobrepostos, o que resultou em um único mapa.

O Sistema de Informações Geográficas, também conhecido como GIS, do inglês *Geographic Information System* faz parte de um conjunto de recursos utilizados no geoprocessamento (MOREIRA, 2001). Conceitualmente, esta ferramenta permite realizar a coleta, armazenamento, recuperação, transformação e exibição de informações espaciais do mundo real para distintas finalidades (BORROUGH, 1998).

Segundo Câmara (1996), o SIG é utilizado em sistemas quando se pretende realizar tratamento computacional de dados geográficos.

Para o planejamento, o SIG deve atender as premissas de obtenção, armazenamento, analise e recuperação de informações codificadas espacialmente, englobando os dados em uma base única, todas as informações espaciais oriundas de distintas fontes de dados: mapas analógicos, fotografias aéreas, entre outros, além destes, os obtidos das análises de campo. (CASTRO, 1996; EASTMAN, 2006).

Segundo Câmara (1996), com a sistematização dos dados georreferenciados é possível planejar e monitorar informações vinculadas ao espaço geográfico por meio dos produtos do SIG, os quais são arquivos digitais, que vão desde mapas a relatórios, objetivando a localização, constituindo uma relação entre sua posição no globo por intermédio de suas coordenadas.

O potencial de incorporação de dados geocodificados foi comprovada por Assad et al. (1998), onde a utilização do sistema em pequenas áreas apresenta alta precisão do produto final e redução de tempo quando comparado aos métodos clássicos de análise.

Devido os SIG’s serem caracterizados por agrupar todos os dados disponíveis a um sistema de referências espaciais (georreferenciado), onde é usado para o

armazenamento e acesso às informações, o uso destas várias tecnologias e vários conjuntos de funções, deve ser visto além disso como um procedimento, do que meramente um *software* ou *hardware* (SILVA et al., 2006).

Os problemas afrontados em uma bacia hidrográfica são de alta dificuldade e necessitam de uma ação conjunta para poder resolvê-los. Não basta somente realizar operações localizadas, mas sim realizar uma análise da bacia como um todo e seus impactos desde a montante até à jusante, o que leva a ter um resultado de uma visão macro da área (DAEE, 2008), desta forma o SIG, torna-se uma ferramenta eficiente na tomada de decisão.

Como exemplos de Sistemas de Informações Geográficas, dentre outros vários existentes, pode-se citar o gvSIG.

2.2.1.1 Aplicativo gvSIG

O gvSIG é um robusto Sistema de Informações Geográficas escrito em Java e desenvolvido pelo Conselho de Infraestruturas e Transporte de Valência (Espanha) com apoio da União Européia, projetado para prover soluções a todas as necessidades relacionadas à gestão da informação geográfica (GVSIG ASSOCIATION, 2014).

Conforme a Generalitat Valenciana (2013), o gvSIG é uma ferramenta de interface amigável, que é utilizada para o processamento de informações geográficas e que apresenta capacidade em atender as formas mais utilizadas de entrada e saída de dados geográficos.

Tem uma usabilidade e interface gráfica muito semelhante ao ArcGIS da ESRI® e está disponível para Linux, OS X e Windows, trabalhando com as principais extensões (*.shp, *.dgn, *.dxf, *.dwg, *.gml e *tif) formatos mais comuns, tanto vetoriais como raster utilizadas no Geoprocessamento e operações de acoplamento de plataformas SIG e modelos.

O gvSIG se caracteriza por ser uma solução completa, fácil de usar e que se adapta às necessidades de qualquer usuário de SIG. Integrando padrões do Open Geospatial Consortium (OGC), o aplicativo gvSIG conta com um amplo número de ferramentas para trabalhar com informações de natureza geográfica que o caracterizam como uma ferramenta ideal para usuários que trabalhem com a unidade de bacia hidrográfica (GVSIG ASSOCIATION, 2014).

2.2.2 Sensoriamento Remoto

A *American Society for Photogrammetry and Remote Sensing* (ASPRS) define formalmente, o sensoriamento remoto como uma medida ou obtenção de informação de determinada característica de um objeto ou fenômeno, por meio de um dispositivo de registro que não haja contato físico ou íntimo com o objeto ou fenômeno estudado (JENSEN, 2009).

Sabins (2000) define sensoriamento remoto, como um método de aquisição de informações sobre um objeto sem que exista contato físico direto entre o sensor e o alvo, por meio de radiações eletromagnéticas.

A radiação eletromagnética realiza a interação com os alvos da superfície terrestre podendo ser absorvida, refletida, transmitida e seletivamente emitida por eles. Os sensores ou radiômetros são os equipamentos do sensoriamento remoto, usados para medição da radiação eletromagnética ou solar. Podendo eles, serem colocados na superfície terrestre, aeronaves ou nos satélites (MOREIRA, 2007).

Este procedimento é largamente empregado na aquisição de informações geográficas em estudos ambientais **(**BROWN et al., 2000; CASIMIRO, 2004) e segundo Quattrochi e Pelletier (1991) a evolução tecnológica dos sensores o tornou uma ferramenta imprescindível nas distintas aplicações da Ecologia da Paisagem.

2.3 Modelagem Hidrológica

2.3.1 Conceitos

Segundo Mendes e Cirilo (2001), modelo é uma reprodução ou abstração da realidade e definitivamente, é mais comum que o mundo verdadeiro, no entanto representa determinadas características importantes. Um modelo hidrológico procura simular o comportamento da bacia hidrográfica, que é um sistema ativado por um estímulo, a precipitação, e por meio de vários fenômenos do ciclo hidrológico, a bacia transforma a precipitação em vazão.

Segundo (TUCCI, 1998) determinadas definições são importantes para melhor compreender o sistema e o modelo que o representa:

• Fenômeno: processo físico que determina alguma alteração de estado no sistema, por exemplo: precipitação, evaporação ou infiltração;

• Variável: valor que descreve quantitativamente um fenômeno, que varia no espaço e no tempo, como por exemplo, a precipitação diária ou a vazão horária;

• Parâmetro: valor que caracteriza o sistema, tal como a área da bacia hidrográfica ou a rugosidade da seção transversal de um rio. O parâmetro ainda pode variar com o espaço e o tempo.

Segundo o mesmo autor, estas definições apresentam grande variabilidade espacial e temporal em uma bacia hidrográfica. Os modelos matemáticos utilizados em hidrologia abordam a variabilidade temporal, desta forma o uso de ferramentas de geoprocessamento na modelagem para melhor simular a variabilidade espacial pode resultar em vantagens.

A água e seu controle sempre teve um papel importante na evolução das civilizações, a qual as cidades surgiam nos vales de grandes rios. Machado (1998) relata que as civilizações hidráulicas do Egito e da Mesopotâmia, como exemplo, possuíam uma organização agrícola relativamente bem desenvolvida, devido aos pulsos de inundação dos rios Nilo, Tigre e Eufrates, respectivamente.

2.3.2 Classificações de Modelos Hidrológicos

O principal problema para realizar a modelagem hidrológica é a falta de estações fluviométricas devido seu custo operacional. A modelagem constitui-se em uma opção para contornar o problema da falta ou escassez de dados quantitativos de vazão. Na literatura existem diversos métodos empíricos para estimar vazão, na qual podem apresentar diferentes resultados, devido utilizarem diferentes parâmetros nas suas estimativas.

Os métodos para estimar vazão nos rios baseiam-se nas características fisiográficas e fatores climáticos da bacia hidrográfica e/ou métodos que utilizam apenas as características fisiográficas.

Tucci (2005) classifica os modelos como: estocásticos ou determinísticos; empíricos ou conceituais; contínuos ou discretos; concentrados ou distribuídos; dinâmicos ou estacionários.

Para Tucci (2005) o modelo estocástico é quando pelo menos uma das variáveis envolvidas apresenta o comportamento aleatório. Se durante a elaboração do modelo não for aplicado os conceitos de probabilidade, este é denominado de determinístico. No modelo determinístico cada valor de entrada gera um valor único

de saída. O modelo empírico é quando usam relações baseadas somente em observações. Sua abrangência é especifica para a região a qual suas relações foram estimadas, em certos casos não possibilitam fazer extrapolações confiáveis. Nos modelos conceituais são fundamentados em processos, geralmente mais complexos que os empíricos, pois buscam descrever os principais processos físicos que abrangem determinado fenômeno analisado. Os modelos discretos representam os fenômenos naturais que variam continuamente em função do tempo e no espaço.

A escolha do intervalo ou passo de tempo em que o modelo será executado dependerá fundamentalmente do fenômeno analisado, sua precisão nos resultados poderá ser melhorada com a diminuição do intervalo de tempo, o que ocasionará em um maior custo no processamento computacional, que antigamente era importante (CHOW et al, 2000).

Modelos classificados como concentrados consideram a uniformidade de todas as variáveis de entrada na área estudada e os modelos distribuídos avaliam a variabilidade espacial achada nas diferentes variáveis do modelo. Feita a discretização do espaço, cada elemento representa a homogeneidade existente em toda a área da bacia. Os modelos que delineiam o fenômeno em um certo momento e os parâmetros não alteram com o tempo, são classificados como estacionários, enquanto que os modelos dinâmicos tem seus parâmetros alterados em função do tempo (TUCCI, 2005).

2.3.3 Método Curva Número (CN)

O método das perdas do Número de Escoamento (*Curve Number* – CN) do *Soil Conservation Service* (SCS), contido no Modelo Hidrológico HEC - HMS, é utilizado para transformar precipitação em escoamento superficial (SANTOS et al., 2006). A metodologia do *Soil Conservation Service* (SCS), para a determinação do escoamento, baseia-se fundamentalmente no número de escoamento (CN), onde esta variável é estimada levando em consideração a combinação da regulamentação hidrológica e o tipo do solo (HEC, 2002), da sua utilização e das condições de superfície, no que diz respeito ao potencial do escoamento superficial. Para Silva et al. (2006), uma vez que o CN é função do tipo e uso do solo, torna-se imprescindível identificar essas variáveis para a bacia em estudo.

Segundo mesmo autor, o método da Curva Número (CN) é um método sintético que realiza cálculos para transformar a precipitação total em escoamento direto, ou seja, determina a vazão máxima. Tassi, et al. (2006), ressaltam que foi desenvolvido pelo Soil Conservation Service (SCS) em 1947, Departamento de Agricultura dos Estados Unidos da América (USDA), conhecido hoje em dia por Serviço de Conservação dos Recursos Naturais (NRCS) dos EUA.

De acordo com os mesmos autores, o método foi desenvolvido para pequenas bacias rurais dos Estados Unidos em 1950, associado a uma metodologia de geração de hidrogramas. Sartori (2004) lembrou que após ser aperfeiçoado, foi adequado ainda para bacias urbanas pequenas e de outros países.

O modelo depende de três variáveis para aferir a chuva efetiva ou excedente de uma determinada precipitação. E dependente da chuva total, da umidade antecedente e do complexo solo-cobertura (SARTORI, 2004). Segundo Tassi et al. (2006), significa que no método do SCS as características do uso e cobertura do solo são definidas pelo parâmetro Curva Número (CN).

Segundo Canholi (2005), o método SCS-CN (*Soil Conservation Service – Curve Number*) é utilizado para determinação da chuva excedente, ou seja, corresponde a parcela da chuva que efetivamente escoará superficialmente pela bacia. Este método foi desenvolvido pelo *National Resource Conservation Service* (NRCS), do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA), o qual estabelece a relação empírica entre a capacidade de armazenamento da bacia e um índice denominado *Curve Number* (CN).

O método de SCS consiste em determinar a chuva efetiva e transformar esta chuva em vazão, utilizando os conceitos básicos do hidrograma unitário (MELLO; SILVA, 2001).

2.3.4 O Modelo HEC – HMS (*Hydrologic Engineering Center - Hydrologic Modeling System*)

O *Hydrology Engineering Center* (HEC) dos *US Army Corps of Engineers* (USACE) desenvolveu modelos informáticos para análises hidrológicas (HEC-1) e hidráulicas (HEC-2) que se situam entre os mais conhecidos e universalmente utilizados. Atualmente, estes modelos evoluíram para os conhecidos HEC-HMS

(*Hydrologic Modeling Systems*) e HEC-RAS (*River Analysis Systems*), ambos com excelentes interfaces gráficas, que permitem uma utilização fácil e intuitiva.

No entanto, conforme Tavares e Castro (2005), ainda que o HEC-HMS apresenta-se como uma ferramenta computacional que simplifica o processo de modelagem hidrológica, isto significa que o operador mesmo assim necessite ter conhecimentos e suscetibilidade quanto aos métodos a serem seguidos.

O HEC estabeleceu parceria com o *Center for Research in Water Resources* (CRWR) da Universidade do Texas, em Austin e o *Environmental Systems Research Institute, Inc.* (ESRI), desenvolveu as ferramentas que permitem integrar o HEC-HMS e o HEC-RAS com a tecnologia dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG), onde para tal foi desenvolvido o HEC-GeoHMS e o HEC-GeoRAS (HEC, 2002).

O modelo apresenta interface gráfica amigável e inúmeras particularidades, que o tornam um aplicativo flexível com competência de criar gráficos a partir das informações a serem determinadas no projeto, onde cada parâmetro poderá ser avaliado, originando novas saídas do modelo hidrológico, e por sua vez, novo pós-processamento por parte do SIG (PETERS, 1998).

Este modelo permite realizar simulações dos processos de evaporação, precipitação e escoamento em bacias hidrográficas. Os resultados deste modelo podem ser utilizados diretamente em conjunto com outros modelos para analisar a disponibilidade de recursos hídricos, a drenagem urbana, a previsão de cheias e os impactos de futuras urbanizações nos recursos hídricos. O modelo da bacia contém informação que descreve os elementos hidrológicos incluindo diversos parâmetros e elementos de conectividade, bem como métodos para o cálculo das perdas de precipitação, da transformação de escoamento e do escoamento nos canais. Os elementos hidrológicos considerados são as sub-bacias, os trechos de cursos de água, as junções, as derivações, os reservatórios, as fontes e as depressões (SANTOS et al., 2006).

Episódios de cunho hidrológico, e principalmente, o escoamento e infiltração, são dependentes do tipo de solo, da sua geomorfologia e dos tipos de uso empregado.

Na espacialização de áreas de inundação da Bacia Hidrográfica do Rio Caí - Rio Grande do Sul, foram utilizados dados de sensoriamento remoto associado a técnicas de SIG, revelando uma potencialidade da metodologia na área do estudo (OLIVEIRA et al., 2010). Robaina et al. (2009) usando dados originários de sensoriamento remoto e SIGs, demonstraram regiões propicias a enchentes na área

urbana de Alegrete-RS, ocasionada pelo Rio Ibirapuitã, identificando áreas susceptíveis a alagamentos e inundações em diversos bairros do município.

No mapeamento da Bacia Hidrográfica do Rio Acaraú - Ceará, Cabral et al. (2014), usaram informações de modelos hidrológicos, hidráulicos e SIG, demonstrando áreas susceptíveis e um mapeamento aceitável, quando conferido com as marcas das cheias de inundação dos municípios.

Em um estudo na cidade Tuguegarao nas Filipinas, utilizaram um modelo hidráulico associado ao SIG e chegaram à conclusão que as ferramentas usadas possuem potencialidade na identificação de áreas propicias a inundações, onde essa integração possibilita originar mapas possíveis de serem utilizados por órgãos de planejamento e outras partes interessadas a fim de diminuir prováveis efeitos das inundações, assim como classificar na região os tipos de usos do solo (SIDDAYAO et al., 2015).

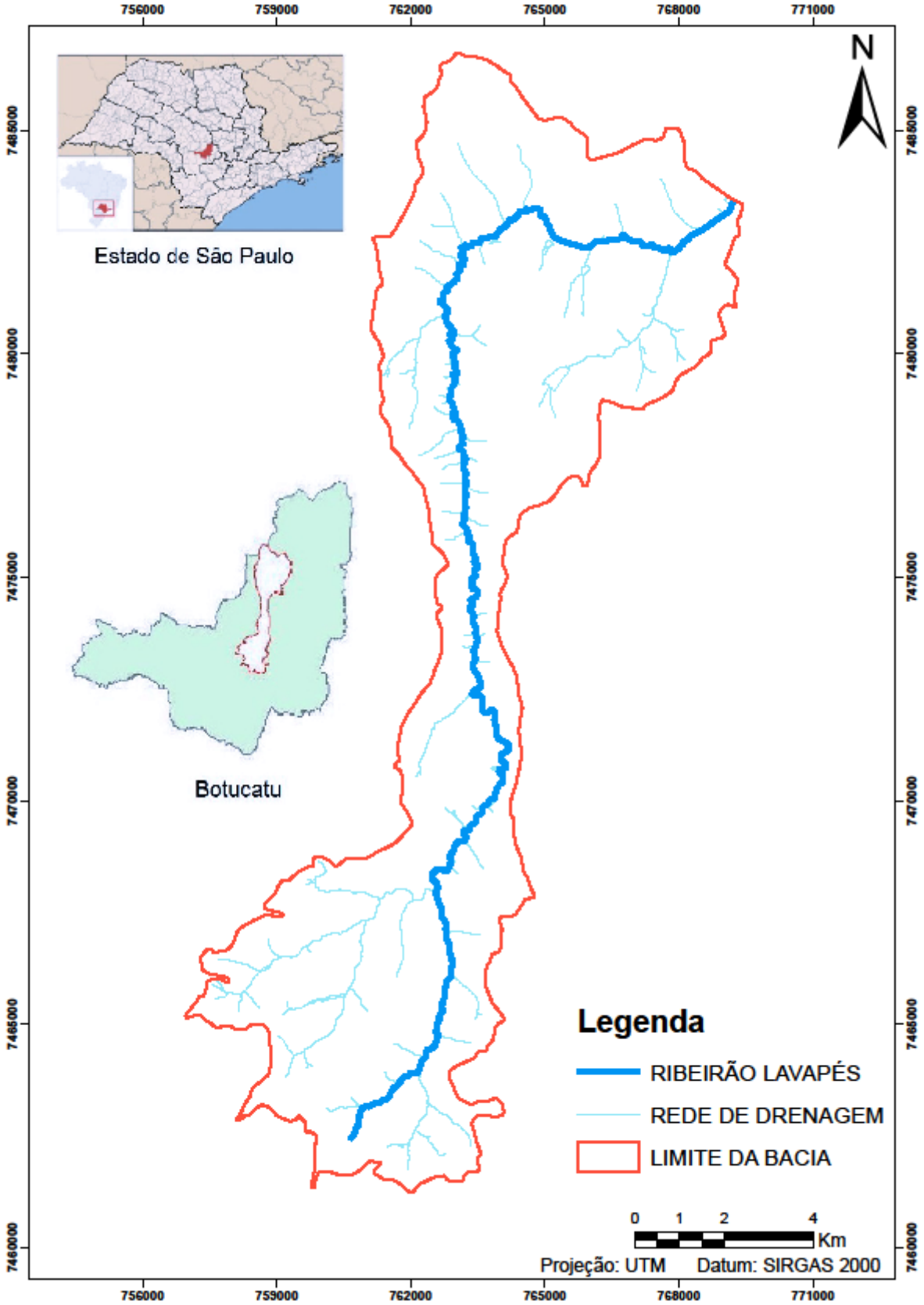
3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Descrição geral da área de estudo

A Bacia Hidrográfica do Ribeirão Lavapés encontra-se situada na região centro-oeste, no município de Botucatu, Estado de São Paulo, geograficamente localizada entre as coordenadas UTM (X) 756946, 769423 e (Y) 7461195, 7486750, apresenta altitudes que variam entre 924 e 455 metros (IBGE, 1982) e possui uma área de 109,38 km^2 (Figura 1).

Parte da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Lavapés encontra-se protegida pela Área de Proteção Ambiental (APA) perímetro de Botucatu, criada pelo Decreto Estadual n.º 20.960 de 8 de junho de 1983. Segundo Souza et al. (1985) a APA, por objetivo, tende a proteger os recursos naturais das áreas abrangidas nas três regiões fisiográficas existente: Depressão Periférica, Frente e Reverso da Cuesta, de Botucatu.

Figura 1 - Localização da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Lavapés em Botucatu-SP



Fonte: SANTOS (2013).

3.1.1 Hidrografia

Conforme a divisão estabelecida pelos Grupos de Bacias Hidrográficas do Estado de São Paulo, o município de Botucatu encontrar-se enquadrado no quinto grupo, ou seja, na Bacia do Sorocaba/Médio Tietê, visto que a sede do município está localizada na área da referida bacia.

A divisão dos grupos de Bacias Hidrográficas do Estado de São Paulo foi determinada segundo a divisão hidrográfica aprovada pelo Conselho Estadual de Recursos Hídricos - CRH em 25/11/1993 e regulamentada no decreto n.º 38.455 de 21/03/1994 (SÃO PAULO, 1994).

O Ribeirão Lavapés possui uma extensão desde sua nascente até a foz de 34,97 km, totalizando uma área de drenagem de 10.955,61 ha. Sua nascente localiza-se na área do Parque Municipal Zoobotânico, onde parte do trecho do rio percorre a zona urbana do município de Botucatu e recebe vários afluentes até sua foz, que desagua na Represa de Barra Bonita, a qual pertence à bacia do Rio Tietê, um dos afluentes esquerdo da Bacia Hidrográfica do Rio Paraná.

3.1.2 Clima

As condições climáticas predominantes do município de Botucatu são enquadradas segundo o Método *Köppen*, em 1936, do tipo Cfa – clima temperado quente (mesotérmico) úmido, com temperatura média do mês mais quente superior a 22ºC e pelo *Método de Thornthwaite*, em 1948, tipo *B2rB'3a'* - clima úmido apresentando, nos meses de abril, julho e agosto, uma pequena deficiência hídrica; mesotérmico e com uma evapotranspiração potencial anual de 945,15 mm, estando concentrada no verão - 33%. Apresenta uma precipitação média anual de 1.428 mm (CUNHA; MARTINS, 2009).

3.1.3 Relevo

As feições geomorfológicas estão associadas ao embasamento rochoso local, sendo que na região de Botucatu as províncias geomorfológicas encontradas são as seguintes: Depressão do Médio Tietê Superior, Cuesta Basáltica e Planalto de Botucatu/Itatinga (IPT,1981).

A região do município de Botucatu apresenta diferentes formas fisiográficas em relação a sua variação de altitude: na área da Depressão Periférica a altitude varia de 450 – 650 m, na Cuesta de 650 – 840 m e no Planalto Ocidental de 790 – 940 m (ARAUJO JUNIOR, 2001).

Segundo Embrapa (2006), a Depressão Periférica corresponde à parte baixa do relevo, o qual está compreendido entre suave e suave-ondulado.

A Cuesta, uma feição marcante na região, proporciona um constante trabalho de erosão sobre o solo, destacando plataformas rochosas em seus vales. Apresenta em seu relevo uma sucessão de camadas alternadas com diferentes resistências ao desgaste, compondo uma suave declividade no reverso e um corte íngreme na frente da Cuesta (ALMEIDA, 1964).

De acordo com o mesmo autor, o Planalto Ocidental (Reverso da Cuesta) apresenta um relevo uniforme e festonado, com vertentes convexas e topos ondulados que definem baixas e amplas colinas. Nos vales escavados pelos cursos d'água observa-se a ocorrência da Formação Serra Geral.

3.1.4 Geologia

Segundo IPT (1981), o município de Botucatu, do ponto de vista geológico, localiza-se na borda noroeste da Bacia Sedimentar do Paraná, unidade geotectônica formada sobre a Plataforma Sul-Americana. As principais unidades litoestratigráficas da Bacia Hidrográfica do Paraná, que afloram no município, podem destacar os grupos geológicos: São Bento (Formações Pirambóia, Botucatu e Serra Geral) e Bauru (Formação Adamantina), além de depósitos neocenozóicos do Quaternário.

Com relação ao Grupo São Bento, segundo mesmo autor, Formação Pirambóia é constituída por arenitos na maioria das vezes de granulação media a fina, tendo fração argilosa maior na parte inferior do que na superior, onde localmente ocorrem arenitos grossos, conglomeráticos. A Formação Botucatu é constituída quase que completamente de arenitos de granulação fina a média, constante, com boa seleção de grãos foscos com alta esfericidade. São avermelhados e apresentam estratificação cruzada tangencial de médio a grande porte, característica de dunas caminhantes. A Formação Serra Geral é constituída por um conjunto de derrames basaltos toleíticos, que se intercalam entre os arenitos da Formação Botucatu como corpos intrusivos na forma de diques e sills.

Na área as Formações Pirambóia e Botucatu foram consideradas como uma única unidade litológica. (Figura 2).

Para Brasil (1960), as regiões localizadas acima das Cuestas, originárias de formações sedimentares, que se estendem a Norte e Oeste do Estado são chamadas de Planalto Ocidental Paulista. A geologia do Planalto Ocidental é composta de sedimentos pertencentes ao Grupo Bauru, desmembrado em rochas com cimento calcário e rochas com cimento argiloso e não calcário. São arenitos com até 85% de areia, tendo, deste modo, os solos derivados desse material, alto teor de areia em relação às demais frações granulométricas do solo, e depósitos do Quaternário, que correspondem a Era Cenozoica.

Na área observa-se a ocorrência de rochas da Formação Adamantina, as quais pertencem ao Grupo Bauru e conforme IPT (1981) são arenitos finos a muito finos, podendo apresentar cimentação e nódulos carbonáticos com lentes de siltitos arenosos e argilitos em bancos maciços.

3.1.5 Solos

Com base em São Paulo (2009) e segundo normas da Embrapa (2013), a área em estudo é composta pelos solos: ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS Distróficos, GLEISSOLOS Háplicos Tb, LATOSSOLOS VERMELHO-AMARELOS Distróficos, LATOSSOLOS VERMELHOS Distroférricos, LATOSSOLOS VERMELHOS Distróficos, NEOSSOLOS LITÓLICOS Eutróficos, NEOSSOLOS QUARTEZÊNICOS Órticos e NITOSSOLOS VERMELHOS Distroférricos (Figura 3).

Figura 2 - Mapa geológico adaptado apresentando as formações predominantes da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Lavapés

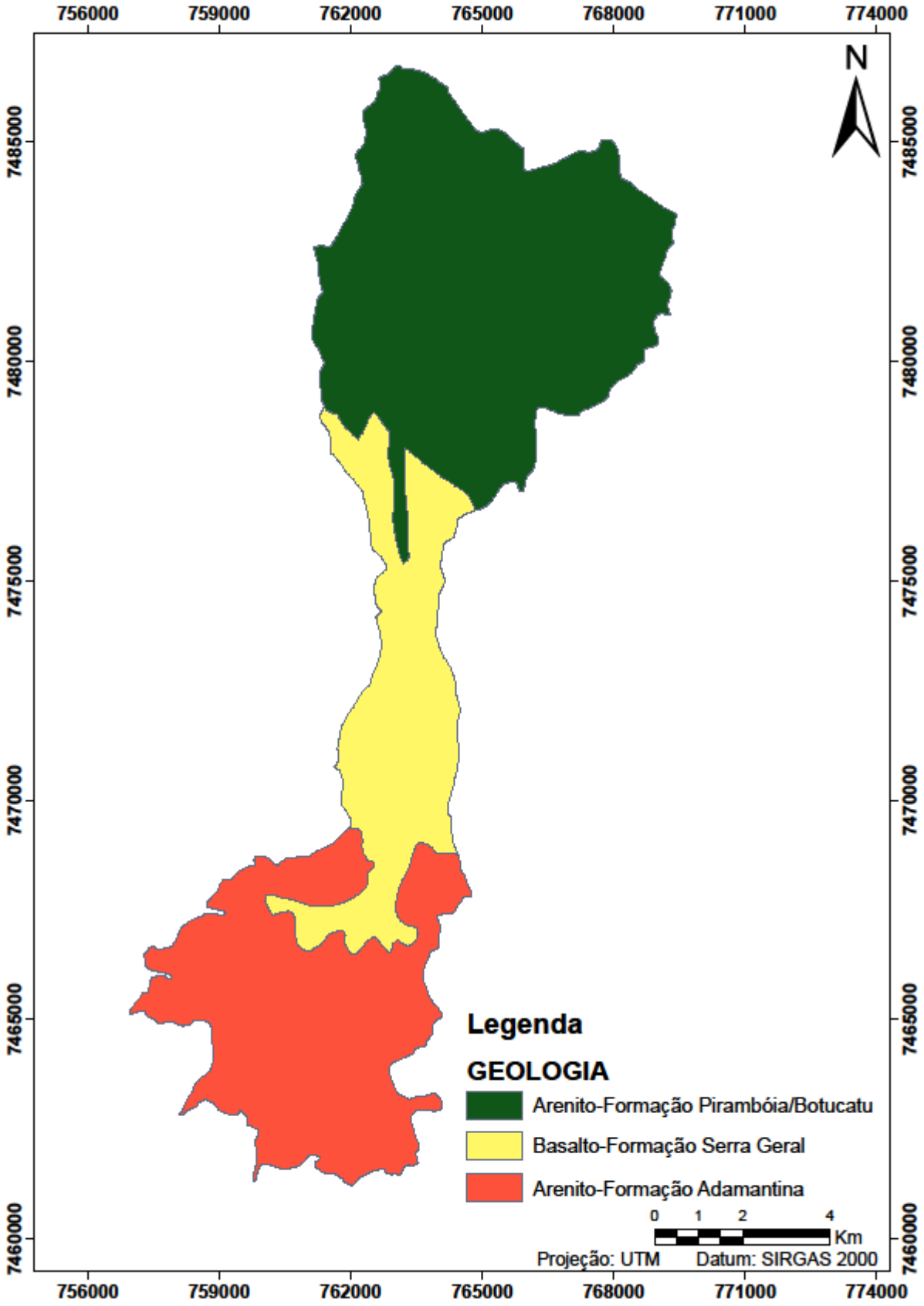
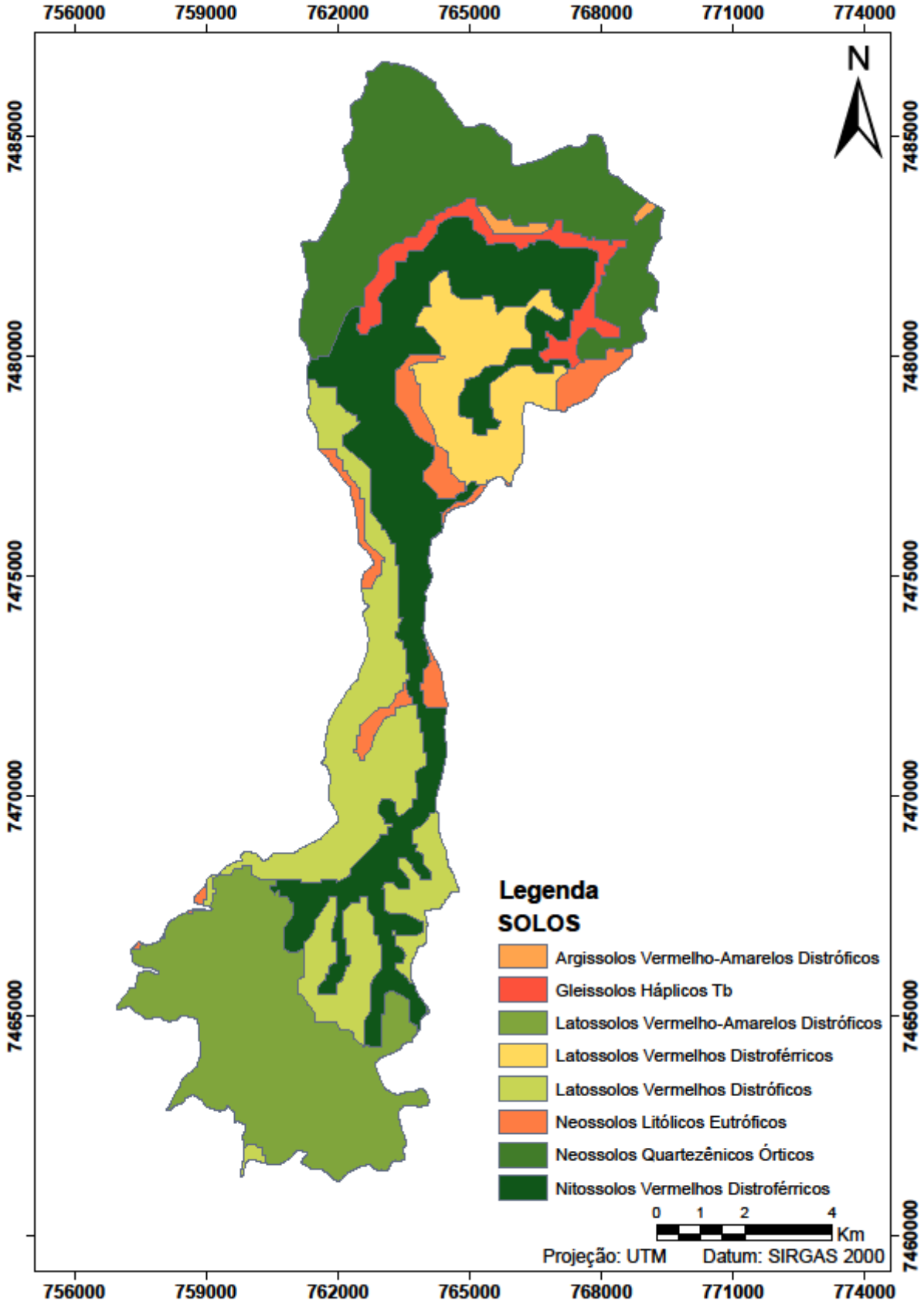


Figura 3 - Mapa de solos da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Lavapés



Fonte: São Paulo (2009).

3.1.6 Vegetação

A vegetação do município é determinada como Floresta Estacional Semidecidual, ecossistema que pertence ao bioma Mata Atlântica, caracteriza-se pela dupla estacionalidade climática, os verões são quentes e úmidos seguidos de invernos secos e frios, o que ocasiona a perda foliar de quase 50% das árvores do estrato superior (EMBRAPA, 2006).

A vegetação natural local, segundo Brasil (1960), tem interface com o início do Cerrado. Tais formações florestais são qualificadas como Cerrado Tropical Subcaducifólio, sendo representados por pequenos maciços nas encostas íngremes de morros ou em galerias margeando determinados cursos d'água (EMBRAPA, 2006).

Gabriel (1990) relata que a vegetação nativa natural é representada por diversas espécies da Mata Atlântica, sendo as mais abundantes as famílias Meliaceae, Bombacaceae, Lauraceae e Phytolacaceae.

3.2 Material

3.2.1 Material cartográfico

Foram utilizadas as cartas planialtimétricas do Plano Cartográfico do Estado de São Paulo, na escala 1:10.000, com equidistância entre curvas de nível de 5 m, confeccionados pelo Instituto Geográfico e Cartográfico (IGC, 1978), que contem o sistema de projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), no Datum Córrego Alegre (Quadro 1).

Foi utilizado, para as interpretações geológicas, o Mapa Geológico do Estado de São Paulo, na escala 1:250.000, folha Bauru SF-22-Z-B, (LANDIM, 1984).

Quadro 1 - Cartas planialtimétricas utilizadas para a área de estudo

Codificação Internacional	Nome da folha
SF-22-Z-B-VI-3-SO-D	Fazenda Segrede
SF-22-Z-B-VI-3-SO-C	Aeroporto de Botucatu
SF-22-Z-B-VI-3-SO-B	Botucatu IV
SF-22-Z-B-VI-3-SO-A	Botucatu III
SF-22-Z-B-VI-3-NO-E	Botucatu I
SF-22-Z-B-VI-3-NO-F	Botucatu II
SF-22-Z-B-VI-3-NO-C	Fazenda Agulha
SF-22-Z-B-VI-3-NO-D	Fazenda Lageado
SF-22-Z-B-VI-3-NO-A	Fazenda Araguá
SF-22-Z-B-VI-3-NO-B	Vitoriana
SF-22-Z-B-VI-1-SO-E	Fazenda Morro Azul
SF-22-Z-B-VI-1-SO-F	Fazenda Aurora

3.2.2 Imagem de satélite

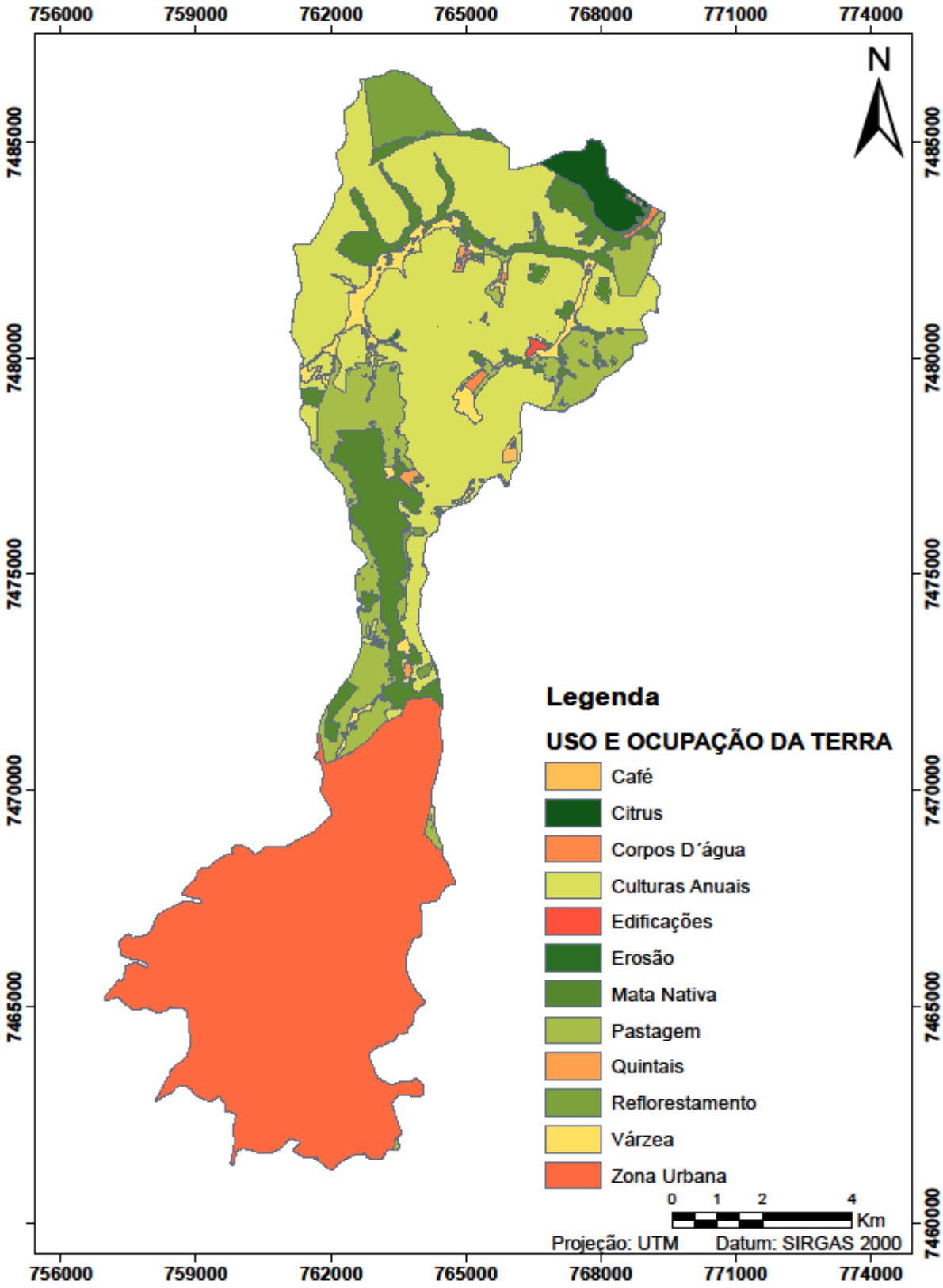
Foi utilizada imagens do satélite de observação da Terra SPOT5 (Système Pour l`Observation de la Terre-5), do dia 27 de junho de 2010, para atualização da classificação do Uso e Ocupação da Terra e atualização da rede de drenagem. Os satélites da família SPOT atuam com sensores óticos, com bandas do visível, infravermelho próximo e infravermelho médio.

Para uma melhor visualização da imagem foi feita a composição RGB da imagem do satélite com as bandas 1, 2 e 3, respectivamente.

As imagens SPOT são apresentadas em cenas-padrão de 60 x 60 km e com resolução espacial de 10 m por pixel.

Para melhor visualização foi utilizado o Google Earth, em 2016, com finalidade de confirmar o Uso e Ocupação da Terra (Figura 4).

Figura 4 - Mapa de Uso e Ocupação da Terra da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Lavapés



Fonte: Adaptado de São Paulo (2009).

3.2.3 Sistemas de Informação Geográfica (SIG)

O Sistema de Informações Geográficas utilizado foi o gvSIG, desenvolvido pela Generalitat Valenciana do governo da Espanha, o qual foi empregado para criação e armazenamento do banco de dados, realização do georreferenciamento dos mapas e manipulação dos dados gerados.

O SIG serviu como tratamento e processamento dos dados geográficos para a utilização do modelo hidrológico, assim como, para o georreferenciamento das cartas topográficas e demais características necessárias que foram fornecidos ao modelo hidrológico.

3.3 Metodologia

3.3.1 Elaboração do banco de dados

Para a delimitação da área da bacia em estudo, tendo como metodologia os divisores de águas identificados nas cartas planialtimétricas, utilizou-se os dados modificados de Santos (2013).

Em relação ao curso do rio principal, estabelecido com base na interpretação visual em tela, foi confeccionado por meio das imagens de satélite. Este método possibilita delinear a rede de drenagem da bacia hidrográfica, diferente da analisada nas cartas planialtimétricas do IGC para o ano de 1978.

Com o mapa de Uso e Cobertura da Terra, confeccionado por São Paulo (2009), foi realizado um recorte utilizando-se do limite geográfico da área de estudo. Do resultado deste procedimento, foram identificadas 12 classes de uso e ocupação da terra: corpos d’água, citrus, mata nativa, várzea, culturas anuais, pastagem, quintais, café, zona urbana, erosão, reflorestamento e edificações.

O mapa geológico foi adaptado de Landim (1984), onde foram identificadas três Formações: Pirambóia/Botucatu, Serra Geral e Adamantina.

Os planos de informações (PI´s) gerados no SIG foram à base para o início do processamento do modelo hidrológico HEC-HMS.

3.3.2 Tratamento dos dados tabulares

3.3.2.1 Precipitações intensas

As precipitações intensas merecem destaque especial na área da hidrologia, pois as cheias e prejuízos são suas principais causas. Normalmente os problemas de drenagem, transbordamento de rios, inundação de residências e escolas, alagamento de ruas, entre outros, são um processo decorrente de uma chuva intensa.

Incluso no conceito de chuva intensa, levou-se em conta que quanto menor for a duração de uma precipitação, maior são as chances de que tenha sido muito intensa, e quanto maior for a frequência a chuva, maior será a probabilidade de sua ocorrência. Desta forma, na análise da chuva intensa, devemos levar em consideração à inter-relação das variáveis: Intensidade – Duração – Frequência. Tal processo torna-se possível por meio do emprego das chamadas curvas IDF.

Para o município de Botucatu, a equação de precipitações intensas foi elaborada pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica / Centro Tecnológico de Hidráulica e Recursos Hídricos (DAEE/CTH, 2008), conforme a Equação 1.

$$i_{t,T} = 30{,}6853\ (t+20)^{-0{,}8563} + 3{,}9660\ (t+10)^{-0{,}7566} .\ \left[-0{,}4754 - 0{,}8917 \ln \ln \left(T/T-1\right)\right] \qquad (1)$$

onde: i: intensidade da chuva, correspondente à duração t e período de retorno T, em mm/min; t: duração da chuva em minutos e T: período de retorno em anos.

Quando os intervalos de tempo (min) estiverem entre: $10 \leq t \geq 1440$.

A previsão de máximas intensidades de chuvas está apresentada na Tabela 1 e as previsões de máximas alturas de chuvas na Tabela 2.

Tabela 1 - Previsão de máximas intensidades de chuvas, em mm/min

Duração t (minutos)	Período de retorno T (anos)								
	2	5	10	15	20	25	50	100	200
10	96,4	121,3	137,8	147,1	153,7	158,7	174,1	189,5	204,8
20	75,5	93,9	106,0	112,9	117,6	121,3	132,7	144,0	155,3
30	62,4	77,2	87,0	92,5	96,3	99,3	108,5	117,5	126,6
60	41,8	51,4	57,8	61,4	64,0	65,9	71,9	77,9	83,8
120	25,9	31,9	35,9	38,2	39,8	41,0	44,7	48,5	52,2
180	19,0	23,6	26,6	28,3	29,5	30,4	33,2	36,0	38,8
360	11,0	13,7	15,5	16,6	17,3	17,8	19,5	21,2	22,9
720	6,2	7,8	8,9	9,5	10,0	10,3	11,3	12,3	13,3
1080	4,4	5,6	6,4	6,9	7,2	7,4	8,2	8,9	9,7
1440	3,5	4,4	5,1	5,4	5,7	5,9	6,5	7,1	7,7

Fonte: DAEE/CTH, 2008

Tabela 2 - Previsão de máximas alturas de chuvas, em mm

Duração t (minutos)	Período de retorno T (anos)								
	2	5	10	15	20	25	50	100	200
10	16,1	20,2	23,0	24,5	25,6	26,4	29,0	31,6	34,1
20	25,2	31,3	35,3	37,6	39,2	40,4	44,2	48,0	51,8
30	31,2	38,6	43,5	46,2	48,2	49,7	54,2	58,8	63,3
60	41,8	51,4	57,8	61,4	64,0	65,9	71,9	77,9	83,8
120	51,7	63,8	71,8	76,4	79,5	82,0	89,5	96,9	104,3
180	57,1	70,8	79,8	84,9	88,4	91,2	99,6	108,0	116,4
360	65,8	82,3	93,2	99,3	103,6	106,9	117,1	127,3	137,4
720	74,3	93,9	107,0	114,3	119,5	123,4	135,6	147,7	159,8
1080	79,2	101,0	115,4	123,6	129,3	133,7	147,2	160,6	174,0
1440	82,8	106,2	121,7	130,4	136,6	141,3	155,8	170,2	184,6

Fonte: DAEE/CTH, 2008

Com a utilização das Tabelas 1 e 2, foi possível interpolar os valores para os intervalos de tempo desejados de 10 em 10 minutos, até completar 720 minutos (12 horas) e para os períodos de retorno de 10 e 100 anos, proposto para a realização das simulações no modelo hidrológico.

Thomaz (2010) ressaltou que os dados de período de duração de chuva e o tempo do período de retorno obtêm a precipitação a partir da Equação de

Intensidade – Duração – Frequência (IDF). Isso porque a série de precipitação não apresenta uma distribuição temporal. Para isso foi necessário realizar a distribuição temporal da chuva para representar seu comportamento na região.

A partir do IDF foi utilizado o Método dos Blocos Alternados que é o critério pré-estabelecido para a distribuição temporal da chuva, o qual consiste em reorganizar a precipitação da seguinte forma: o maior volume de chuva será colocado na metade (50%) da duração total da chuva ou de acordo com outros critérios (25%, 75%, etc.); os demais volumes de chuva serão arrumados em ordem alternada, um abaixo e outro acima, sucessivamente até o fim do processo.

3.3.2.2 Elaboração do Mapa de Solos x Uso e Ocupação da Terra

Em relação aos tipos de solos, a Bacia Hidrográfica do Ribeirão Lavapés apresentou 8 tipos de solos característicos da região, apresentados na Figura 3.

O mapeamento por meio de imagens de satélite permitiu a realização da identificação dos diferentes Usos e Ocupação da Terra. Sendo assim, foram mapeadas 12 classes na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Lavapés (Figura 4).

Foi realizado o cruzamento do Mapa de Solos (Figura 3) com o Mapa de Uso e Ocupação da Terra (Figura 4), baseados em São Paulo (2009).

3.3.2.3 Cálculo da Curva Número (CN)

Os valores de CN para Uso e Ocupação da Terra foram obtidos de Tucci (1993), cuja classificação feita para cada Uso e Ocupação da Terra, conforme os respectivos grupos hidrológicos, definem valores de CN que variam de 0 (permeável) a 100 (impermeável), para as bacias em ocupações agrícola (Tabela 3) e urbana (Tabela 4).

Tabela 3 - Valores do CN para bacias com ocupação agrícola

Uso do solo	Superfície	Tipo de Solo			
		A	B	C	D
Solo lavrado:	Com sulcos retilíneos	77	86	91	94
	Em fileiras retas	70	80	87	90
Plantações regulares:	Em curva de nível	67	77	83	87
	Terraceado em nível	64	76	84	88
	Em fileiras retas	64	76	84	88
Plantações de cereais:	Em curva de nível	62	74	82	85
	Terraceado em nível	60	71	79	82
	Em fileiras retas	62	75	83	87
Plantações de legumes ou cultivados:	Em curva de nível	60	72	81	84
	Terraceado em nível	57	70	78	89
	Pobres	68	79	86	89
	Normais	49	69	79	94
	Boas	39	61	74	80
Pastagens:	Pobres, em curvas de nível	47	67	81	88
	Normais, em curvas de nível	25	59	75	83
	Boas, em curvas de nível	6	35	70	79
Campos permanentes:	Normais	30	58	71	78
	Esparsas, de baixa transpiração	45	66	77	83
	Normais	36	60	73	79
	Densas, de alta transpiração	25	55	70	77
Chácaras:	Normais	56	75	86	91
Estradas de terra:	Más	72	82	87	89
	De superfície dura	74	84	90	92
Florestas:	Muito esparsas, baixa transpiração	56	75	86	91
	Esparsas	46	68	78	84
	Densas, de alta transpiração	26	52	62	69
	Normais	36	60	70	76

Fonte: Tucci (1993).

Nota: A - Solos arenosos com menos de 8% de argila, B - Solos arenosos com menos de 15% de argila, C - Solos argissolos associados a argila de atividade baixa (Tb) e D - Solos argissolos associados a argila de atividade alta (Ta).

Tabela 4 - Valores do CN para bacias com ocupação urbana

Utilização ou cobertura do solo			Tipo de Solo			
			A	B	C	D
Zonas cultivadas:	Sem conservação do solo		72	81	88	91
	Com conservação do solo		62	71	78	81
Pastagens ou terrenos em más condições			68	79	86	89
Baldios → boas condições			39	61	74	80
Prado em boas condições			30	58	71	78
Bosques ou zonas Florestais:	Cobertura ruim		45	66	77	83
	Cobertura boa		25	55	70	77
Espaços abertos, relvados, parques, campos de golfe, cemitérios, boas condições:	Com relva em mais de 75% da área		39	61	74	80
	Com relva de 50 a 75% da área		49	69	79	84
Zonas comerciais e de escritórios			89	92	94	95
Zonas industriais			81	88	91	93
Zonas residenciais:						
Lotes de (m2)		% média impermeável				
<500		65	77	85	90	92
1000		38	61	75	83	87
1300		30	57	72	81	86
2000		25	54	70	80	85
4000		20	51	68	79	84
Parques de estacionamento, telhados, viadutos, etc.			98	98	98	98
Arruamentos e estradas asfaltadas e com drenagem de águas pluviais			98	98	98	98
Paralelepípedos			76	85	89	91
Terra			72	82	87	89

Fonte: Tucci (1993).

Nota: A - Solos arenosos com menos de 8% de argila, B - Solos arenosos com menos de 15% de argila, C - Solos argissolos associados a argila de atividade baixa (Tb) e D - Solos argissolos associados a argila de atividade alta (Ta).

A partir da obtenção do mapa de Solos X Uso e Ocupação da Terra foi utilizado o método SCS - CN, por meio da verificação das informações contidas nas Tabelas 3 e 4, que resultaram em três outras tabelas adaptadas para cada formação geológica presente na bacia.

Como a bacia em estudo apresentou diferentes tipos de Uso e Ocupação da Terra, o valor do CN foi obtido pela média ponderada dos diversos CN's, tal técnica é indicada para bacias que apresentarem distintas condições de Uso e Ocupação da Terra (Equação 2).

$$CN=\frac{Ax.CNx+Ay.CNy+Az.CNz\ldots}{A_{total}} \quad (2)$$

onde: A_x $(_{y,\ z})$ é a área em km^2 de cada tipo de uso do solo; CN_x $(_{y,\ z})$ é o valor do CN e A_{total} é a área da bacia hidrográfica (km^2).

3.3.2.4 Tempo de concentração (t_c)

O *United States Department of the Interior* (1987) definiu o tempo de concentração como o tempo para que uma bacia hidrográfica contribua em sua totalidade para o escoamento superficial da seção avaliada e considerado, segundo Lencastre e Franco (1992), como uma característica constante da bacia, sendo independente das características das chuvas.

Para os cálculos de tempo de concentração foi adotada a Equação de Temez (1978), conforme Equação 3.

$$t_c= 0,3\left(\frac{L_b}{i_m^{0,25}}\right)^{0,76} \quad (3)$$

onde: t_c é o tempo de concentração (h), i_m é o declive médio do curso de água principal da bacia (m/m) e L_b é o comprimento do curso de água principal da bacia (km).

Esta expressão pode ser utilizada em bacias hidrográficas com áreas de até 3000 km^2.

Segundo Genovez (2001), com base nas análises efetuadas para a elaboração do hidrograma unitário sintético, o SCS definiu o tempo de retardo (t_r), como 0,6 vezes o tempo de concentração (t_c) de acordo com a Equação 4.

$$t_r=0,6\ .t_c \quad (4)$$

onde: t_r é o tempo de retardo e t_c é o tempo de concentração.

O qual deve ser transformado para minutos, para ser inserido no campo *Lag time* (tempo de retardo) no HEC – HMS.

3.3.3 Modelo hidrológico HEC – HMS

O HEC-HMS (*Hydrologic Engineering Center - Hydrologic Modeling Systems*) é um modelo composto por diferentes módulos hidrológicos que simulam o processo de transformação da precipitação, que ocorre na bacia hidrográfica, em escoamento superficial.

Após a criação do projeto, é inserido o esquema hidrológico da área de estudo. Para isso foram utilizados os seguintes componentes:

- *Basin Models* (Modelos de bacia);
- *Meteorologic Models* (Modelos meteorológicos);
- *Control Specifications* (Especificações de controle);
- *Time-Series Data* (Dados de séries temporais).

Para cada componente foi adicionado informações para a realização da simulação hidrológica, sendo *Basin Model* o componente mais importante, pois ele que representa fisicamente a bacia.

Após a inserção dos componentes, foi possível construir o esquema hidrológico da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Lavapés, composta por três fragmentos geológicos, o qual foram utilizadas as seguintes ferramentas do módulo de elementos hidrológicos da bacia (*Basin Hidrologic Elements*): a) *Subbasin Create Tool*, onde é criado cada sub-bacia, as quais foram definidas em: Adamantina, Serra Geral e Pirambóia/Botucatu; b) *Junction Create Tool*, ferramenta que conecta as sub-bacias, definida por J1; e, c) *Sink Create Tool*, ferramenta que define o exutório da bacia, representando por Foz.

Cada elemento é representado por divisões de módulos, sendo que para o elemento *Subbasin* é necessário definir três módulos:

- Método de Perdas (*Loss Method*) – foi escolhido o método *SCS Curve Number*;
- Método de Transformação (*Transform Method*) – foi escolhido *SCS Unit Hydrograph* e;
- Método de Fluxo de base (*Baseflow Method*) – foi escolhido *None*.

Também devem ser inseridos as respectivas áreas e parâmetros necessários para simulação.

No componente *Meteorologic Models*, selecionou-se qual o método de distribuição da precipitação, no caso *Specified Hyetograph* (Hietograma especificado) e dados da distribuição espacial da precipitação, ou seja, se a chuva ocorreu em toda a bacia ou somente em algumas sub-bacias, ou se houve chuvas com intensidade e/ou distribuição temporal diferente.

No componente *Control Specifications*, podem ser criados diversos controles específicos de acordo com a data, duração e o intervalo de tempo para realizar a simulação. Para a bacia em estudo foi utilizada uma data qualquer, sendo a duração de 1, 6 e 12 horas e um intervalo de tempo de cálculo de 10 minutos em todas as simulações.

Para o componente *Time-Series Data*, utilizando o tipo de dado *Precipitation Gages*, pôde-se inserir dados relativos às precipitações, obtidos pelo Método de Blocos Alternados, com data e horário de início e fim do evento.

Com isso pôde-se realizar a simulação utilizando a *Ferramenta Compute – Create Compute – Simulation Run*, para os períodos de retorno de 10 e 100 anos, com duração de chuva e intervalos de tempo pré-definidos.

A partir dos resultados obtidos foi possível determinar os dados de vazão, precipitação, escoamento superficial e infiltração da bacia hidrográfica.

4 RESULTADOS

4.1 Tratamento dos dados

4.1.1 Tratamento dos dados tabulares

Por meio da Equação IDF dos dados do DAEE (Equação 1) foram gerados dados para o intervalo de tempo de 10 minutos e período de retorno de 10 e 100 anos (Tabela 5).

Tabela 5 - Previsão de máximas intensidades (mm/min) e máximas alturas (mm) de chuvas

(continua)

	10 anos			100 anos		
Duração (min)	Intensidade (mm/min)	Altura (mm)	Incremento (mm)	Intensidade (mm/min)	Altura (mm)	Incremento (mm)
10	137,8	23,0	23,0	189,5	31,6	31,6
20	106,0	35,3	12,4	144,0	48,0	16,4
30	87,0	43,5	8,1	117,6	58,8	10,8
40	74,1	49,4	6,0	100,0	66,7	7,9
50	64,9	54,1	4,6	87,4	72,8	6,2
60	57,8	57,8	3,8	77,9	77,9	5,0
70	52,3	61,0	3,2	70,4	82,1	4,3
80	47,8	63,7	2,7	64,4	85,8	3,7
90	44,1	66,1	2,4	59,4	89,0	3,2
100	40,9	68,2	2,1	55,2	91,9	2,9
110	38,2	70,1	1,9	51,6	94,5	2,6
120	35,9	71,8	1,7	48,5	96,9	2,4
130	33,9	73,4	1,6	45,7	99,1	2,2
140	32,1	74,9	1,5	43,3	101,1	2,0
150	30,5	76,2	1,3	41,2	103,0	1,9
160	29,1	77,5	1,3	39,3	104,8	1,8
170	27,8	78,7	1,2	37,6	106,4	1,7
180	26,6	79,8	1,1	36,0	108,0	1,6
190	25,5	80,8	1,0	34,6	109,5	1,5
200	24,5	81,8	1,0	33,3	110,9	1,4
210	23,6	82,8	0,9	32,1	112,2	1,3
220	22,8	83,7	0,9	31,0	113,5	1,3
230	22,0	84,5	0,9	29,9	114,7	1,2
240	21,3	85,3	0,8	29,0	115,9	1,2
250	20,7	86,1	0,8	28,1	117,1	1,1
260	20,0	86,9	0,8	27,3	118,1	1,1
270	19,5	87,6	0,7	26,5	119,2	1,1
280	18,9	88,3	0,7	25,8	120,2	1,0

(conclusão)

Duração (min)	10 anos Intensidade (mm/min)	10 anos Altura (mm)	10 anos Incremento (mm)	100 anos Intensidade (mm/min)	100 anos Altura (mm)	100 anos Incremento (mm)
290	18,4	89,0	0,7	25,1	121,2	1,0
300	17,9	89,6	0,7	24,4	122,1	1,0
310	17,5	90,3	0,6	23,8	123,1	0,9
320	17,0	90,9	0,6	23,2	124,0	0,9
330	16,6	91,5	0,6	22,7	124,8	0,9
340	16,2	92,1	0,6	22,2	125,7	0,8
350	15,9	92,6	0,6	21,7	126,5	0,8
360	15,5	93,2	0,5	21,2	127,3	0,8
370	15,2	93,7	0,5	20,8	128,1	0,8
380	14,9	94,2	0,5	20,3	128,8	0,8
390	14,6	94,7	0,5	19,9	129,6	0,7
400	14,3	95,2	0,5	19,5	130,3	0,7
410	14,0	95,7	0,5	19,2	131,0	0,7
420	13,7	96,2	0,5	18,8	131,7	0,7
430	13,5	96,7	0,5	18,5	132,4	0,7
440	13,2	97,1	0,5	18,1	133,1	0,7
450	13,0	97,5	0,4	17,8	133,7	0,7
460	12,8	98,0	0,4	17,5	134,3	0,6
470	12,6	98,4	0,4	17,2	135,0	0,6
480	12,4	98,8	0,4	16,9	135,6	0,6
490	12,2	99,2	0,4	16,7	136,2	0,6
500	12,0	99,6	0,4	16,4	136,8	0,6
510	11,8	100,0	0,4	16,2	137,4	0,6
520	11,6	100,4	0,4	15,9	137,9	0,6
530	11,4	100,8	0,4	15,7	138,5	0,6
540	11,2	101,2	0,4	15,5	139,1	0,6
550	11,1	101,5	0,4	15,2	139,6	0,5
560	10,9	101,9	0,4	15,0	140,1	0,5
570	10,8	102,2	0,4	14,8	140,7	0,5
580	10,6	102,6	0,3	14,6	141,2	0,5
590	10,5	102,9	0,3	14,4	141,7	0,5
600	10,3	103,3	0,3	14,2	142,2	0,5
610	10,2	103,6	0,3	14,0	142,7	0,5
620	10,1	103,9	0,3	13,9	143,2	0,5
630	9,9	104,2	0,3	13,7	143,7	0,5
640	9,8	104,6	0,3	13,5	144,2	0,5
650	9,7	104,9	0,3	13,3	144,6	0,5
660	9,6	105,2	0,3	13,2	145,1	0,5
670	9,4	105,5	0,3	13,0	145,5	0,5
680	9,3	105,8	0,3	12,9	146,0	0,5
690	9,2	106,1	0,3	12,7	146,4	0,4
700	9,1	106,4	0,3	12,6	146,9	0,4
710	9,0	106,7	0,3	12,4	147,3	0,4
720	8,9	107,0	0,3	12,3	147,7	0,4

Posteriormente ao tratamento dos dados e cálculo dos incrementos, exposto na Tabela 5, foi utilizado o Método de Blocos Alternados, proposto por Tomaz (2010), na Tabela 6.

Tabela 6 - Método dos Blocos Alternados

Min	Incremento 10	Incremento 100
710	0,3	0,4
690	0,3	0,4
670	0,3	0,5
650	0,3	0,5
630	0,3	0,5
610	0,3	0,5
590	0,3	0,5
570	0,4	0,5
550	0,4	0,5
530	0,4	0,6
510	0,4	0,6
490	0,4	0,6
470	0,4	0,6
450	0,4	0,7
430	0,5	0,7
410	0,5	0,7
390	0,5	0,7
370	0,5	0,8
350	0,6	0,8
330	0,6	0,9
310	0,6	0,9
290	0,7	1,0
270	0,7	1,1
250	0,8	1,1
230	0,9	1,2
210	0,9	1,3
190	1,0	1,5
170	1,2	1,7
150	1,3	1,9
130	1,6	2,2
110	1,9	2,6
90	2,4	3,2
70	3,2	4,3
50	4,6	6,2
30	8,1	10,8
10	23,0	31,6

Min	Incremento 10	Incremento 100
20	12,4	16,4
40	6,0	7,9
60	3,8	5,0
80	2,7	3,7
100	2,1	2,9
120	1,7	2,4
140	1,5	2,0
160	1,3	1,8
180	1,1	1,6
200	1,0	1,4
220	0,9	1,3
240	0,8	1,2
260	0,8	1,1
280	0,7	1,0
300	0,7	1,0
320	0,6	0,9
340	0,6	0,8
360	0,5	0,8
380	0,5	0,8
400	0,5	0,7
420	0,5	0,7
440	0,5	0,7
460	0,4	0,6
480	0,4	0,6
500	0,4	0,6
520	0,4	0,6
540	0,4	0,6
560	0,4	0,5
580	0,3	0,5
600	0,3	0,5
620	0,3	0,5
640	0,3	0,5
660	0,3	0,5
680	0,3	0,5
700	0,3	0,4
720	0,3	0,4

4.1.2 Mapa Solos X Uso e Ocupação da Terra

Os solos que apresentaram maior área na bacia foram: Nitossolos Vermelhos Distroférricos (24,45%), Latossolos Vermelho-Amarelos Distróficos (21,86%) e Neossolos Quartezênicos Órticos (20,48%), conforme a Tabela 7.

Tabela 7 - Tipos de solos e suas respectivas áreas da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Lavapés

Solos	Área km^2	%
Argissolos Vermelho-Amarelos Distróficos	0,58	0,53
Gleissolos Háplicos	3,75	3,42
Latossolos Vermelho-Amarelos Distróficos	23,95	21,86
Latossolos Vermelhos Distroférricos	8,92	8,14
Latossolos Vermelhos Distróficos	18,36	16,75
Neossolos Litólicos Eutróficos	4,79	4,37
Neossolos Quartezênicos Órticos	22,43	20,48
Nitossolos Vermelhos Distroférricos	26,78	24,45
Total	109,56	100,00

Os Usos e Ocupação da Terra apresentaram uma grande área de Zona Urbana (40,09%) e Culturas Anuais (32,25%), conforme a Tabela 8.

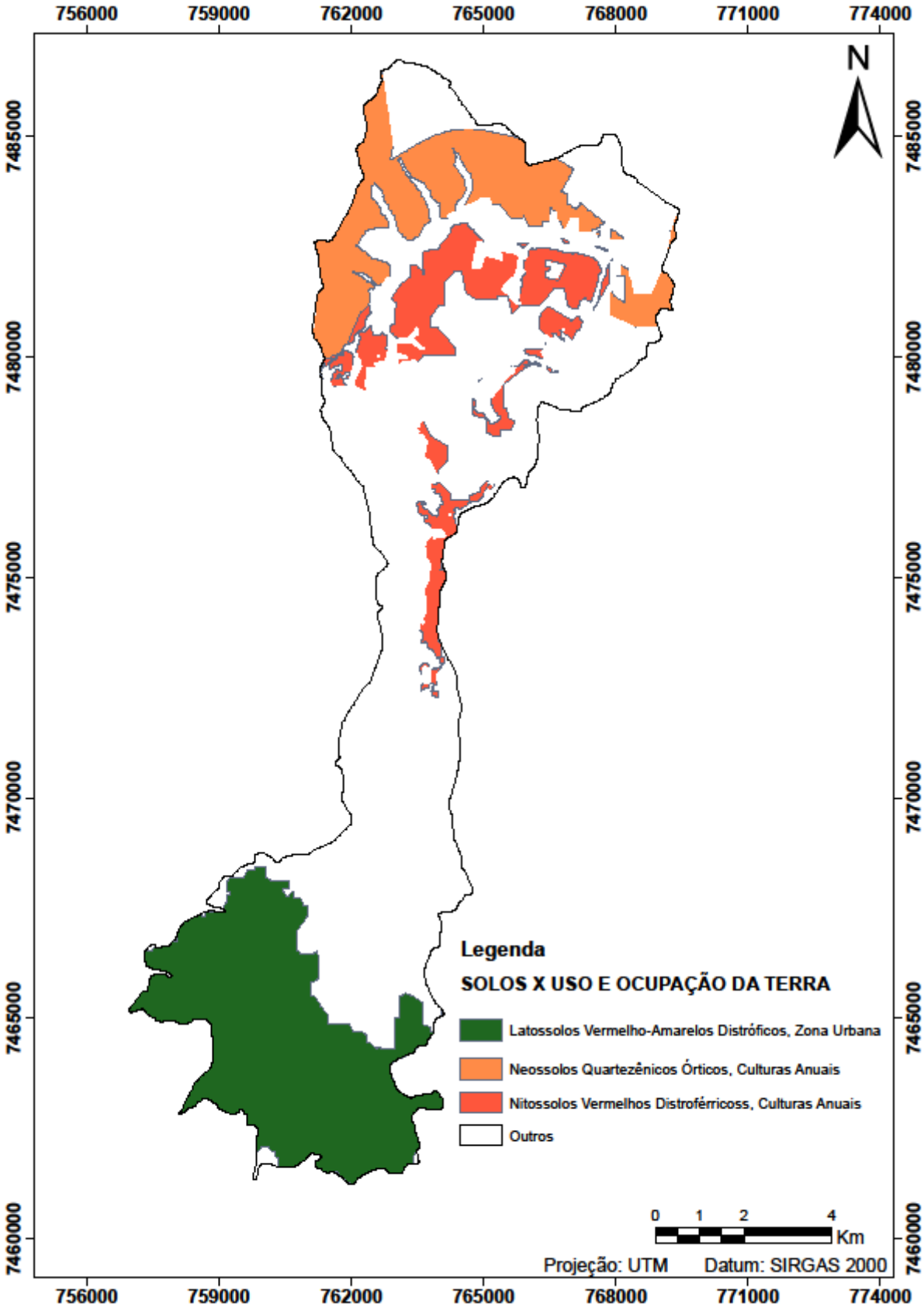
Tabela 8 - Classes de Uso e Ocupação da Terra e suas respectivas áreas da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Lavapés

Uso do solo	Área km^2	%
Zona Urbana	43,92	40,09
Culturas Anuais	35,34	32,25
Pastagem	10,72	9,78
Mata Nativa	11,11	10,14
Várzea	2,81	2,57
Reflorestamento	2,57	2,34
Citrus	2,07	1,88
Quintais	0,35	0,32
Corpos D'água	0,35	0,32
Edificações	0,14	0,13
Café	0,13	0,12
Erosão	0,05	0,05
Total	109,56	100,00

A Zona Urbana encontra-se quase que totalmente na Formação Adamantina, onde está localizada a nascente principal da bacia. Com a expansão urbana em direção as cabeceiras e as nascentes do Rio Lavapés, os recursos naturais (reserva legal, matas ciliares e mananciais) ficam cada vez mais comprometidos. A área considerada como de preservação (mata nativa e várzea) corresponde a 12,71% da área total da bacia, bem abaixo do determinado pelo Código Florestal.

Com isso, foi possível confeccionar o Mapa Solos X Uso e Ocupação da Terra para calcular o CN de cada fragmento da bacia. Tendo o Latossolos Vermelho-Amarelos Distróficos (Zona Urbana) com 21,83%, Neossolos Quartezênicos Órticos (Culturas Anuais) com 11,77% e o Nitossolos Vermelhos Distroférricos (Culturas Anuais) com 8,94% da área total da bacia, como mostra a Figura 5.

Figura 5 - Mapa de Solos X Uso e Ocupação da Terra da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Lavapés



A Bacia Hidrográfica do Ribeirão Lavapés, possui 63 unidades de mapeamento, com a combinação de 8 tipos de Solos e 12 classes de Uso e Ocupação da Terra.

4.2 Cálculo da Curva Número (CN)

Por meio da utilização das Tabelas 3 e 4 e de posse do Mapa de Solos X Uso e Ocupação da Terra (Figura 5), pode-se calcular o CN obtido pela média ponderada do CN (Mp), de acordo com a Equação 2, para cada formação geológica da bacia.

Com relação à Formação Pirambóia/Botucatu, a soma do valor de CN total foi de 67,29, apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 - Soma do CN total para a Formação Pirambóia/Botucatu

	Tipos de Solos				
Uso	A	B	C	D	Mp
Café	7,54	0,26	..	1,09	0,17
Citrus	..	153,93	3,16	..	2,95
Corpos D´água	0,77	29,76	3,32	0,53	0,65
Culturas anuais	526,25	1556,34	32,55	240,93	44,30
Edificações	1,19	10,89	0,01	0,93	0,24
Erosões	..	3,94	..	..	0,07
Mata Nativa	..	295,21	4,89	78,62	7,12
Pastagem	..	102,57	..	139,19	4,55
Quintais	1,86	14,54	..	0,40	0,32
Reflorestamento	0,12	123,31	..	0,54	2,33
Várzea	3,33	153,17	..	87,48	4,59
Zona urbana	..	..	..	..	..
CN total					67,29

Nota: .. - Não se aplica dado numérico; Mp – média ponderada.

Este fragmento é o que possui as melhores condições de conservação da bacia.

Pode-se observar na Tabela 9, que as Culturas Anuais apresentam um valor de CN (Mp) de 44,30, que corresponde à soma do valor dos CN´s que ocorrem nos

respectivos grupos hidrológicos presentes, o qual representa 65,83% do CN total da Formação Pirambóia/Botucatu, podendo contribuir para um maior escoamento superficial e consequentemente uma menor infiltração.

Para à Formação Serra Geral a soma do valor de CN total foi de 73,97, apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 - Soma do CN total para a Formação Serra Geral

	Tipos de Solos				
Uso	A	B	C	D	Mp
Café	..	..	..	..	..
Citrus	..	..	..	..	..
Corpos D´água	0,05	0,11	..	0,09	0,01
Culturas anuais	24,57	128,77	..	37,99	8,61
Edificações	0,52	0,04	..	0,15	0,03
Erosões	..	..	..	..	..
Mata Nativa	74,16	137,50		35,25	11,12
Pastagem	70,75	27,15		83,21	8,15
Quintais	1,24	15,55		1,01	0,80
Reflorestamento	..	6,06		4,57	0,48
Várzea	14,32	12,93		4,59	1,43
Zona urbana	531,71	424,04		6,55	43,33
CN total					73,97

Nota: .. - Não se aplica dado numérico; Mp – média ponderada.

A soma dos CN´s dos respectivos grupos hidrológicos, cujo uso é a Zona Urbana, apresentou um valor de CN (Mp) de 43,33, representando 58,77% do CN total da Formação Serra Geral, o que leva a um aumento do escoamento superficial.

Para a Formação Adamantina, a soma do valor de CN total foi de 97,87, apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 - Soma do CN total para a Formação Adamantina

Tipos de Solos					
Uso	A	B	C	D	Mp
Culturas anuais	0,13	..	..	..	0,00
Edificações	..	..		..	..
Erosões	..	..	..	..	..
Mata Nativa	..	..	..	..	..
Pastagem	1,48		..	..	0,04
Quintais	..	..	..	..	..
Reflorestamento	..	..	..	..	..
Várzea	..	..	..	..	..
Zona urbana	3008,29	323,24		10,54	97,82
CN total					97,87

Nota: .. - Não se aplica dado numérico; Mp – média ponderada.

A soma dos CN´s dos respectivos grupos hidrológicos da Zona Urbana totalizou CN 97,82, representando 99,95% do CN total da Formação Adamantina, o que contribui significativamente para o elevado valor de CN total. Este fragmento foi o que apresentou as piores condições de conservação da bacia.

4.3 Tempo de concentração (t_c)

Com os dados observados obteve-se a informação da declividade média e o comprimento do rio principal, o que possibilitou calcular, por meio da Equação de Temez (1978), o tempo de concentração para cada formação geológica da bacia, conforme a Equação 3 expostos na Tabela 12.

Tabela 12 - Tempo de concentração (t_c) para cada formação da bacia

Formação	Comprimento do rio (km)	Declividade média (%)	t_c (horas)
Adamantina	5,48	2,8	2,16
Serra Geral	12,17	5,8	3,44
Pirambóia/Botucatu	17,32	2,4	5,32

Na Bacia Hidrográfica do Rio da Divisa, na área do *Campus* Chapecó da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), em estudos Batistel et al. (2015), foram feitas estimativas do tempo de concentração ao qual apresentou um valor médio de 2,038 horas.

Determinado o tempo de concentração (t_c), pode-se calcular o tempo de retardo (t_r), conforme a Equação 4 (Tabela 13).

Tabela 13 - Tempo de retardo (tr) para cada formação da bacia

Formação	t_r (minutos)
Adamantina	77,60
Serra Geral	123,92
Pirambóia/Botucatu	191,68

4.4 Modelo hidrológico HEC – HMS

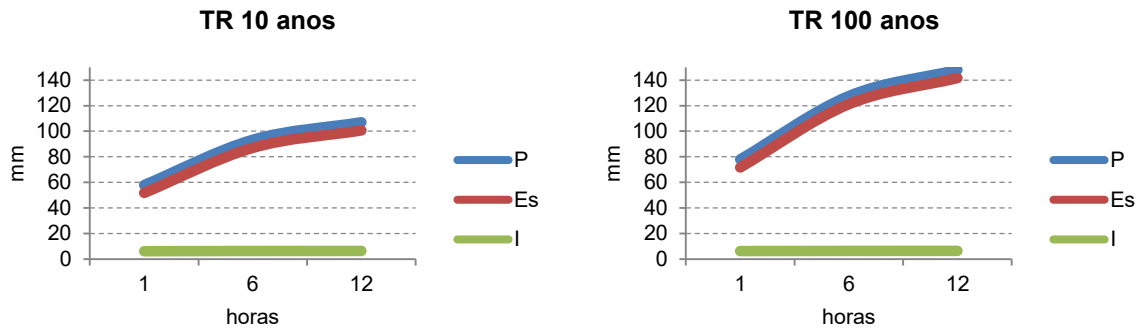
Posteriormente, pode-se realizar as simulações no Modelo Hidrológico HEC-HMS para os períodos de retorno de 10 e 100 anos, com duração de chuva de 1, 6 e 12 horas, para as Formações Adamantina (Tabela 14 e Figura 6), Serra Geral (Tabela 15 e Figura 7) e Pirambóia/Botucatu (Tabela 16 e Figura 8).

Tabela 14 - Formação Adamantina, com período de retorno de 10 e 100 anos e duração de chuva de 1, 6 e 12 horas

Adamantina						
	10			100		
	1	6	12	1	6	12
P	57,90	93,30	107,00	77,90	127,50	148,00
Es	51,76	86,98	100,64	71,64	121,10	141,57
I	6,14	6,32	6,36	6,26	6,40	6,43
Q	258,00	329,10	333,80	356,70	449,40	454,00

Nota: P – precipitação, em mm; Es - escoamento superficial, em mm; I – infiltração, em mm e Q – vazão, em $m^3 s^{-1}$.

Figura 6 - Valores de precipitação, escoamento superficial e infiltração, em mm da Formação Adamantina, nos intervalos, em horas, de duração de chuva



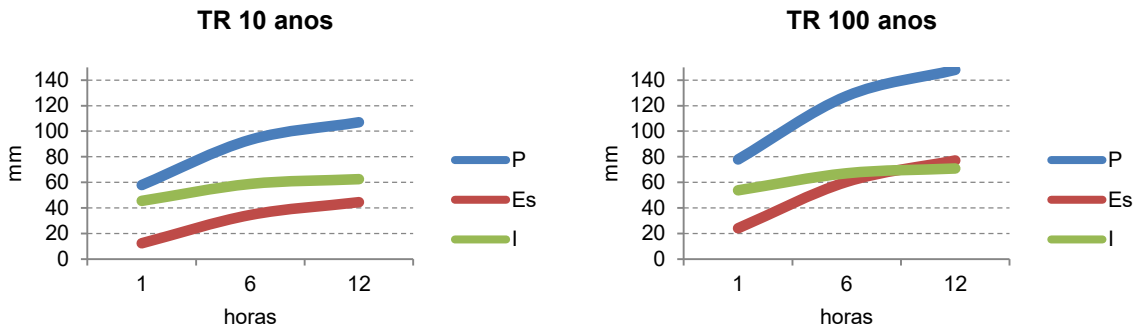
Como se pode observar, os valores de infiltração, para o período de retorno de 10 e 100 anos, são praticamente constantes e bem inferiores aos valores de escoamento superficial, o qual está relacionado ao alto valor de CN encontrado para a Formação Adamantina.

Tabela 15 - Formação Serra Geral, com período de retorno de 10 e 100 anos e duração de chuva de 1, 6 e 12 horas

	Serra Geral					
	10			100		
	1	6	12	1	6	12
P	57,90	93,30	107,00	77,90	127,50	148,00
Es	12,38	34,52	44,50	24,11	60,39	77,14
I	45,52	58,78	62,50	53,79	67,11	70,86
Q	26,30	60,60	69,90	51,30	106,50	121,20

Nota: P – precipitação, em mm; Es - escoamento superficial, em mm; I – infiltração, em mm e Q – vazão, em $m^3 s^{-1}$.

Figura 7 - Valores de precipitação, escoamento superficial e infiltração, em mm, da Formação Serra Geral, nos intervalos, em horas, de duração de chuva



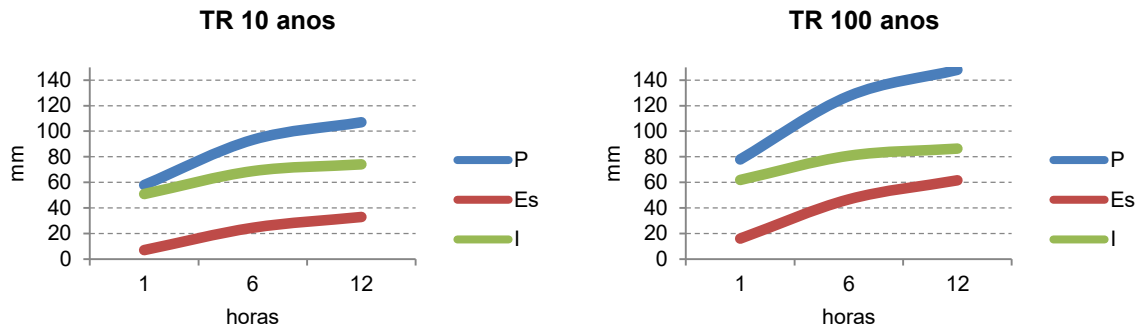
Neste caso, os valores de infiltração, para o período de retorno de 10 anos apresentaram uma pequena variação em relação à duração da chuva, o que faz com que o escoamento superficial aumentasse significativamente ao passar do tempo, o que pode observar-se claramente para o período de retorno de 100 anos, chegando até mesmo a ultrapassar os valores de infiltração. Com isso foi comprovado que o ideal para cálculo da infiltração/escoamento superficial deve ser de mais de 10 anos, visto que, os valores não se repetem e o escoamento, nesse caso, aumentou com o tempo.

Tabela 16 - Formação Pirambóia/Botucatu, com período de retorno de 10 e 100 anos e duração de chuva de 1, 6 e 12 horas

Pirambóia/Botucatu						
	10			100		
	1	6	12	1	6	12
P	57,90	93,30	107,00	77,90	127,50	148,00
Es	7,04	24,50	32,92	16,02	46,71	61,61
I	50,86	68,80	74,08	61,88	80,79	86,39
Q	23,60	73,60	86,60	53,80	140,60	163,60

Nota: P – precipitação, em mm; Es - escoamento superficial, em mm; I – infiltração, em mm e Q – vazão, em $m^3 s^{-1}$.

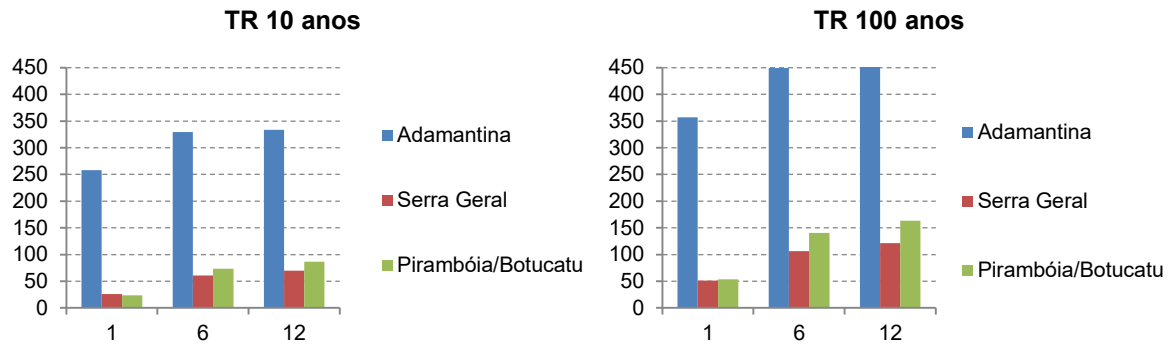
Figura 8 - Valores de precipitação, escoamento superficial e infiltração, em mm, da Formação Pirambóia/Botucatu, nos intervalos, em horas, de duração de chuva



Os valores de infiltração, para o período de retorno de 10 anos apresentaram-se com superioridade em relação ao escoamento superficial, já, para os 100 anos, os valores tenderam a ficar mais próximos com o passar das horas, o que significa que o solo começou a ficar saturado e diminuiu a velocidade de infiltração básica do solo.

Também se pode quantificar a vazão para cada formação geológica na área de estudo (Figura 9).

Figura 9 - Valores de vazão, em $m^3.s^{-1}$, para as Formações Adamantina, Serra Geral e Pirambóia/Botucatu, nos intervalos, em horas, de duração de chuva



Notou-se que a vazão para a Formação Adamantina, em todas as simulações, foi muito superior as vazões das demais formações, devido sua alta impermeabilização do solo.

Já, na Formação Pirambóia/Botucatu, apresentou valor de CN inferior à Formação Serra Geral. Inicialmente os valores foram semelhantes, mas com o aumento da duração da chuva, acabou sendo superior devido sua área de captação ser bem maior.

Posteriormente, foi calculada a média dos valores de precipitação, escoamento superficial, infiltração e vazão das Formações Adamantina, Serra Geral e Pirambóia/Botucatu (Tabela 17 e Figura 10), onde foi comparada com a simulação dos valores da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Lavapés como um todo (Tabela 18 e Figura 11) calculado direto pelo HEC-HMS e suas correspondentes Regressões Lineares (Figura 12 e 13).

Tabela 17 - Médias dos valores obtidos das Formações Adamantina, Serra Geral e Pirambóia/Botucatu

	Média					
	10			100		
	1	6	12	1	6	12
P	57,90	93,30	107,00	77,90	127,50	148,00
Es	23,73	48,67	59,35	37,26	76,07	93,44
I	34,17	44,63	47,65	40,64	51,43	54,56
Q	102,63	154,43	163,43	153,93	232,17	246,27

Nota: P – precipitação, em mm; Es - escoamento superficial, em mm; I – infiltração, em mm e Q – vazão, em $m^3 s^{-1}$.

Figura 10 - Valores médios de precipitação, escoamento superficial e infiltração, em mm, das Formações Adamantina, Serra Geral e Pirambóia/Botucatu, nos intervalos, em horas, de duração de chuva

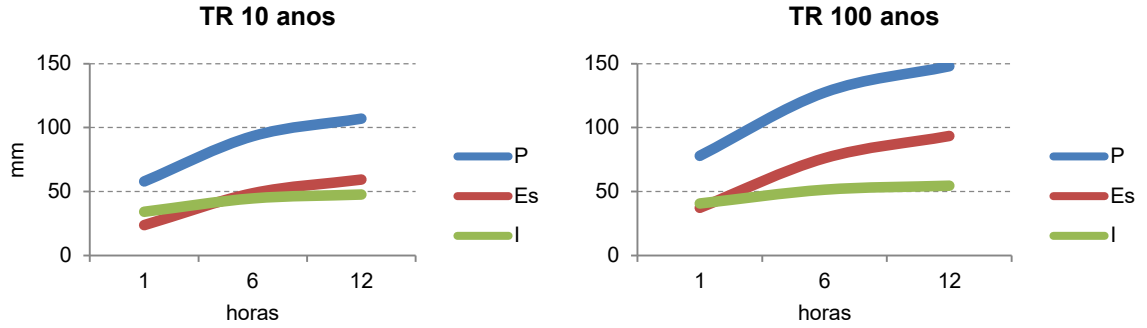


Tabela 18 - Valores da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Lavapés como um todo, calculo direto pelo HEC-HMS

	Lavapés					
		10			100	
	1	6	12	1	6	12
P	57,90	93,30	107,00	77,90	127,50	148,00
Es	18,26	44,24	55,42	32,31	72,87	90,94
I	39,64	49,06	51,58	45,59	54,63	57,06
Q	75,90	177,80	205,30	134,30	292,60	335,60

Nota: P – precipitação, em mm; Es - escoamento superficial, em mm; I – infiltração, em mm e Q – vazão, em $m^3 s^{-1}$.

Figura 11 - Valores de precipitação, escoamento superficial e infiltração, em mm, da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Lavapés como um todo, calculo direto pelo HEC-HMS, nos intervalos, em horas, de duração de chuva

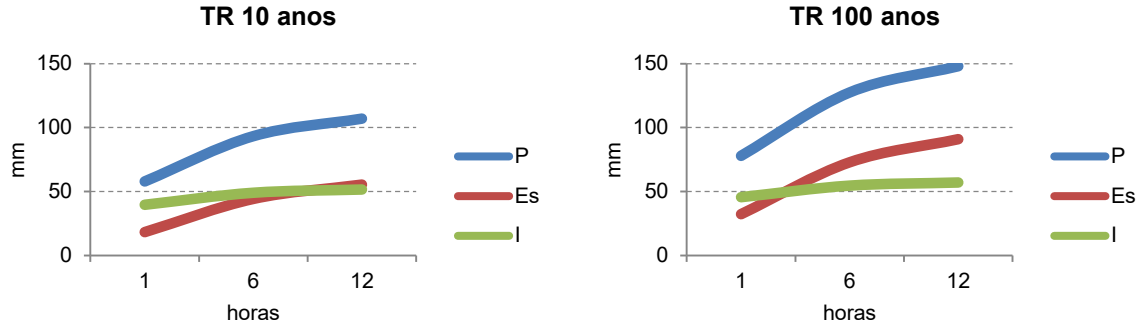


Figura 12 - Regressão Linear para os valores da média da vazão, em $m^3.s^{-1}$, para as Formações Adamantina, Serra Geral e Pirambóia/Botucatu e para a Bacia Hidrográfica do Ribeirão Lavapés como um todo, com período de retorno de 10 anos

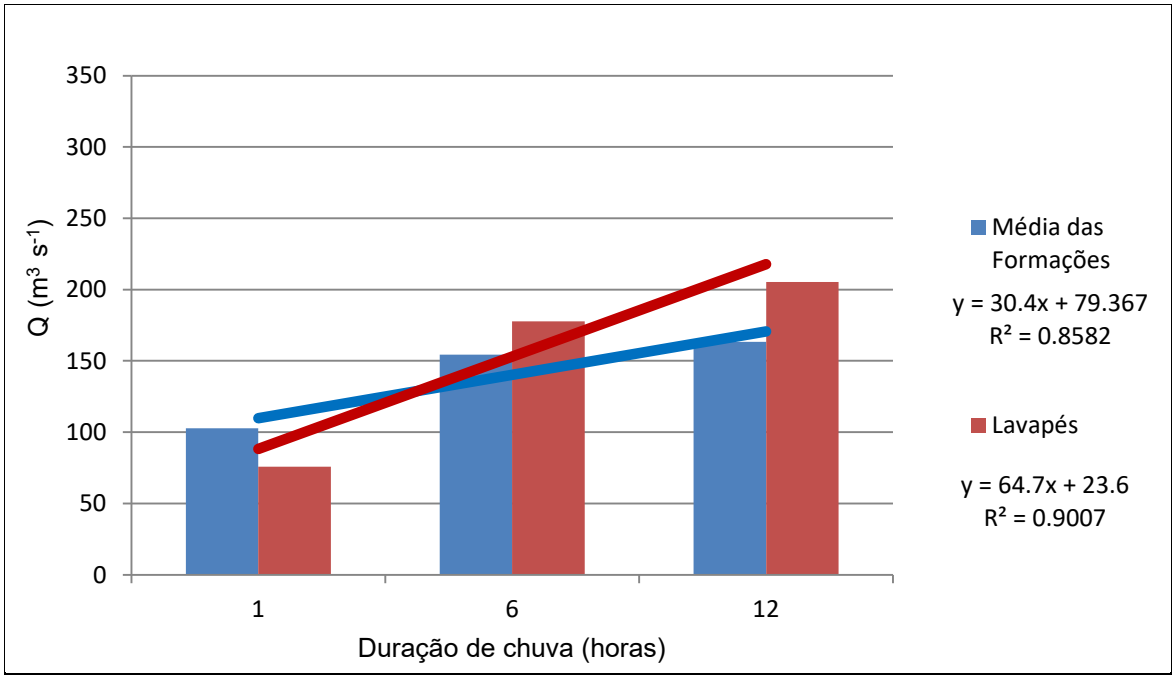
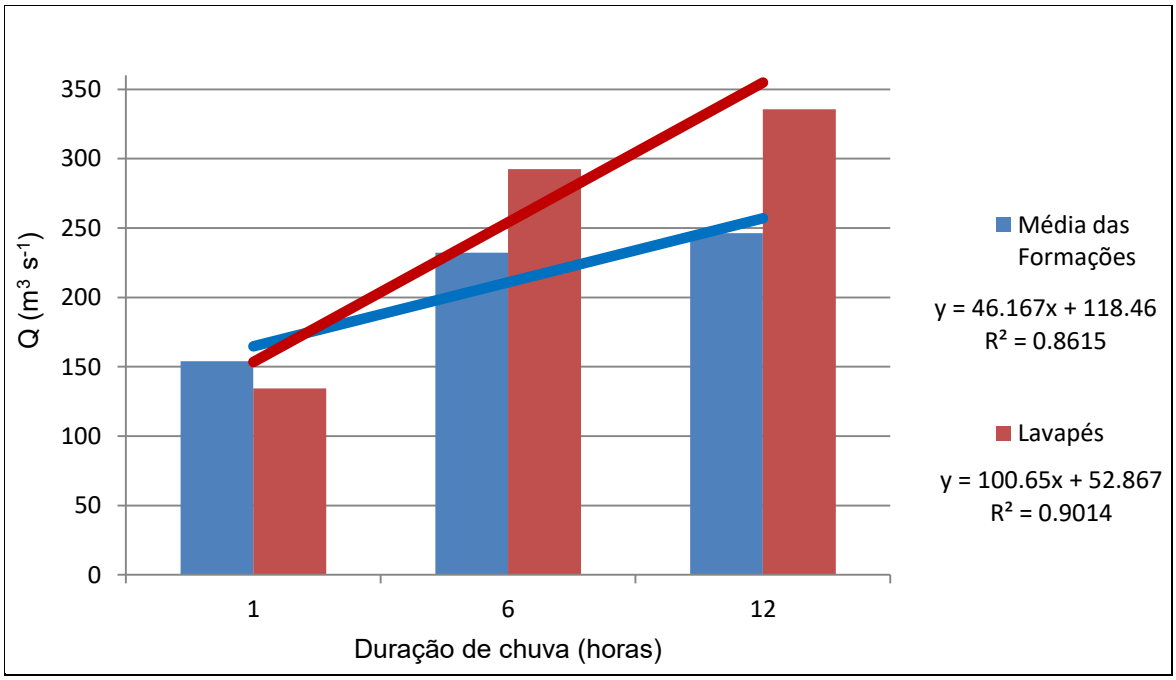


Figura 13 - Regressão Linear para os valores da média da vazão, em $m^3.s^{-1}$, para as Formações Adamantina, Serra Geral e Pirambóia/Botucatu e para a Bacia Hidrográfica do Ribeirão Lavapés como um todo, com período de retorno de 100 anos



Conforme Tabela 17 para os valores de 100 anos e tempo de duração de chuva de 6 horas, o valor de precipitação foi 127,50 mm, com vazão de 232,17 m^3 s^{-1} e na Tabela 18, para o mesmo intervalo, o valor de precipitação foi 127,50 mm, com vazão de 292,60 m^3 s^{-1}.

Já Cabral et al. (2016) em estudo para identificar áreas inundadas por uma chuva centenária no município do Crato - CE, obteve como resultado uma precipitação de 194 mm, com tempo de duração de 7 horas, resultando em um pico de cheias de 336 m^3 s^{-1}, afetando aproximadamente 19% da área urbana do município.

Jabur (2010) analisando a Bacia Hidrográfica do Alto Rio Ligeiro, Pato Branco – PR obteve vazão de pico de foi 503,63 m^3 s^{-1}, com o tempo de recorrência de 50 anos.

Para os valores de vazões médias nas Formações Adamantina, Serra Geral e Pirambóia/Botucatu (Tabela 17), nos períodos de retorno de 10 e 100 anos e com duração de chuva de 1 hora, obteve-se valores superiores aos apresentados na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Lavapés como um todo (Tabela 18). Esse fato é

devido ao modelo necessitar de ajustes para cada um desses ambientes, pois o comportamento esperado para a vazão do Lavapés deveria ser superior ao da Média das formações, o que não foi observado, pois provavelmente o modelo superestimou e/ou subestimou os valores das vazões.

Ainda em relação aos períodos de 6 e 12 horas, pode ter ocorrido perdas não computadas quando elaboradas as vazões médias (Tabela 17) comparadas com a Tabela 18, fato este que pode ter causado a diferença entre elas. Isso é comprovado pela menor valor de vazão quando computadas as vazões médias.

Estudo de Calzavara e Fernandez (2015), na Bacia Hidrográfica do Córrego Matilde Cuê, Marechal Cândido Rondon - PR, apresentou de forma gráfica valores de vazão, com intervalos de tempo de 24 horas de duração de chuva para períodos de retorno entre 2 e 100 anos.

Em relação ao método utilizado no modelo hidrológico, pode-se verificar que o ajuste feito pela Regressão Linear, para o período de retorno de 10 anos, apresentou a equação gráfica para a média das Formações Adamantina, Serra Geral e Pirambóia/Botucatu igual a y=30,4x+79,367 com um R^2=0,8582 e para a Bacia Hidrográfica do Ribeirão Lavapés igual a y=64,7x+23,6 com um R^2=0,9007.

Já, para o período de retorno de 100 anos, a regressão Linear apresentou a equação gráfica para a média das Formações Adamantina, Serra Geral e Pirambóia/Botucatu igual a y=46,167x+118,46 com um R^2=0,8615 e para a Bacia Hidrográfica do Ribeirão Lavapés igual a y=100,65x+52,867 com um R^2=0,9014.

Em relação aos coeficientes de correlação, ambos apresentam uma correlação muito forte, sendo 0,9979 para o período de retorno de 10 anos e 0,9981 para 100 anos, mostrando grande ajuste das curvas. Tais valores indicam que, em ambos os casos, o coeficiente de determinação apresenta uma grande semelhança entre as variáveis observadas.

4.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo realizado demonstrou a grande importância para o conhecimento prévio e detalhado do meio físico da área estudada. A aplicação da metodologia apresentada revelou-se eficaz e importante para futuras elaborações de estudos ambientais e planejamento.

5 CONCLUSÕES

Pelos resultados obtidos pode-se concluir que:

a) a Formação Adamantina apresentou alta impermeabilização do solo com grande ocupação da Zona Urbana na bacia;
b) a Formação Serra Geral, nas simulações no período de 100 anos, apresentou um aumento superior do escoamento superficial em relação à infiltração;
c) a Formação Pirambóia/Botucatu apresentou altas taxas de infiltração, sempre superiores as demais;
d) na correlação entre as formações geológicas e a Bacia Hidrográfica do Ribeirão Lavapés como um todo, as vazões de 6 e 12 horas foram superiores quando utilizou-se a bacia como um todo, acontecendo o contrário para a duração de chuva de 1 hora;
e) os dados de entrada disponíveis e os parâmetros utilizados tornaram o modelo uma boa ferramenta na simulação de eventos quanto a previsão de cenários, assim como, para futuras tomadas de decisões pelos gestores dos recursos hídricos.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA. F. F. M. Perfil geológico do Estado. In: **Geologia do Estado de São Paulo.** São Paulo: Instituto de Geografia e Cartografia. 1964. p. 254-262.

ALMEIDA. C. N.; ROEHRIG. J.; WENDLAND. E. C. Integração de modelos de simulação a sistemas de informações geográficas livres: o caso do modelo AÇUMOD e do OPENGIS JUMP. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. 13. 2007. Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: SBSR. 2007. p. 2255-2262.

ARAUJO JUNIOR. A. A. **Diagnóstico físico conservacionista de 10 microbacias do Rio Capivara – Botucatu (SP) visando à ocupação racional do solo.** 2001. 131 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agronômicas. Universidade Estadual Paulista. Botucatu. 2001.

ASSAD. E. D.; SANO. E. E; MEIRELLES. M. L.; MOREIRA. L. Estruturação de dados geoambientais no contexto de microbacia hidrográfica. In: ASSAD. E. D.; SANO. E. E. **Sistema de informações geográficas**. 2. ed. Brasília. DF: Embrapa. 1998. cap. 7. p. 119-136.

BATISTEL, L.; GRISON, F.; DALLA ROSA, A. HIDROLOGIA NO CAMPUS CHAPECÓ DA UFFS. **Anais do SEPE-Seminário de Ensino, Pesquisa e Extensão da UFFS**, v. 5, n. 1, 2015.

BORROUGH. P. **Principles of geography information systems for land resources assessment.** Oxford: Clarendon Press.1998.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Centro Nacional de Ensino e Pesquisas Agronômicas. Comissão de Solos. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado de São Paulo**. Brasília. Bol. n. 12. 1960.

BROWN. D. G.; DUH. J. D.; DRZYZGA. S. A. Estimating error in an analysis of Forest fragmentation change using north-american landscape characterization (NALC) data. **Remote Sensing of Environment.** New York. v. 71. p. 106-117. 2000.

CABRAL. S. L.; CAMPOS. J. N. B.; TEIXEIRA. A. F.; SILVEIRA. S. C. Hydrologic and hydraulic modelling integrated with GIS: a study of the Acarajú river basin - CE. **Journal of Urban and Environmental Engineering**. João Pessoa. v. 8. p. 167-174. 2014.

CABRAL, S. L.; CAMPOS, J. N. B.; SILVEIRA, C. S.; TEIXEIRA, F. A. A. Integração do SIG, HEC/HMS e HEC/RAS no mapeamento de área de inundação urbana: aplicação à bacia do rio Granjeiro-CE. **Geociências,** Rio Claro, v. 35, p. 90-101, 2016.

CALZAVARA, S. F.; FERNANDEZ, O. V. Q. USO E OCUPAÇÃO DO SOLO E NÚMERO DE CURVA (CN) NA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO MATILDE CUÊ, MARECHAL CÂNDIDO RONDON (PR). **Geoingá: Revista do Programa de Pós-Graduação em Geografia**, v. 7, n. 1, p. 185-209, 2015.

CALIJURI. M. L.; MEIRA. A. D.; PRUSK. F. F. Geoprocessamento aplicado aos recursos hídricos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA. 27. 1998. Poços de Caldas. **Anais...** Lavras: UFLA. SBEA. 1998. p. 200-225.

CÂMARA. G. **Anatomia de sistemas de informação geográfica**. Campinas: UNICAMP. 1996. 193 p.

CÂMARA. G.; MEDEIROS. J. S. Princípios básicos em geoprocessamento. In: ASSAD. E. D.; SANO. E. E. **Sistema de informações geográficas**. 2. ed. Brasília. DF: Embrapa. 1998. cap. 1. p. 3-12.

CANHOLI, A. P. **Drenagem Urbana e Controle de Enchentes**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.

CASIMIRO. P. C. Geografia. Ecologia da paisagem e teledetecção: enquadramento – contextualização. **Revista da Faculdade de Letras.** Porto. v. 14. p. 467-476. 2004.

CASTRO. J. F. M. **Princípios de cartografia sistemática. cartografia temática e sistema de informação geográfica (SIG).** Rio Claro: IGCE/UNESP. 1996. 40 p.

CHOW. V. T.; MAIDMENT. D. R.; MAYS. L. W. **Hidrologia aplicada.** 2. ed. Bogota: Mcgraw-Hill. 2000. 584 p.

CHRISTOFOLETTI. A. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo: Edgard Blücher. 1999. 236 p.

CORSEUIL. C. W. **Técnicas de geoprocessamento e de análise de multicritérios na adequação de uso das terras.** 2006. 101 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agronômicas. Universidade Estadual Paulista. Botucatu. 2006.

CUNHA. A. R.; MARTINS. D. Classificação climática para os municípios de Botucatu e São Manuel. SP. **Irriga**. Botucatu. v. 14. n. 1. p. 1-11. 2009.

DAEE. DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. **Atendimento integrado aos municípios.** São Paulo. 2008. 39 p. (Livros/cadernos técnicos).

DEMERS. M. N. "GIS." Britannica Academic. Encyclopædia Britannica. 2016. Disponível em: <http://academic-ebbritannica.dez87.periodicos.capes.gov.br/levels/collegiate/article/396653. Acesso em: 01 fev. 2017.

EASTMAN. J. R. **IDRISI Andes for Windows:** guide to GIS and image processing. Massachusetts: Clark University. 2006.

EMBRAPA. Centro Nacional e Pesquisa em Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília. DF: Embrapa-SPI. 2006. 306 p.

ESPANHA. Ministerio de Agricultura. Pesca y Alimentación. **Caracterización agroclimática de la provincia de Albacete.** Madrid. 1988.

GABRIEL. J. L. C. **Composição florística e estrutura fitossociológica do estrato arbóreo de mata mesófila semidecídua de encosta no município de Botucatu. SP.** Rio Claro. 1990. 198 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) – Instituto de Biociências. Universidade Estadual Paulista. Rio Claro. 1990.

GENERALITAT VALENCIANA. **GVSIG: s**istema de información geográfica. Generalitat Valenciana Conselleria de Infraestructuras. Territorio y Medio Ambiente. Valencia. 2013. Disponível em: <http://www.gvpontis.gva. es/cast/gvsig-sistemainfor/>. Acesso em: 10 out. 2013.

GENOVEZ. A. M. Vazões máximas. In: PAIVA. J. B. D.; PAIVA. E. M. C. D. **Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas.** Porto Alegre: ABRH. 2001.

GROSSI. C. H. **Sistema e informação geográfica:** Basins 3.0 na modelagem hidrológica da bacia experimental do Rio Pardo. SP. 2003. 101 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agronômicas. Universidade Estadual Paulista. Botucatu. 2003.

GVSIG ASSOCIATION. **Infraestructuras de datos espaciales libres**. Valencia. 2014. Disponível em: <www.gvsig.com>. Acesso em: 28 ago. 2014.

HYDROLOGIC ENGINEERING CENTER (HEC). **HEC-HMS Hydrologic Modeling System. User's Manual.Version 2.1.** Davis: U.S. Army Corps of Enginees. 2002.

INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA. **Mapa geológico de España**. Hoja 843 Hellín. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España. 1984. Escala 1:50.000.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Secretaria de Planejamento da Presidência da República. **Carta do Brasil**: Quadrícula de Botucatu. Rio de Janeiro. 1982. Escala 1:50.000.

INSTITUTO DE GEOGRAFIA CARTOGRAFIA. Secretaria de Economia e Planejamento. **Plano cartográfico do Estado de São Paulo**. Município de Botucatu. Folhas SF-22-Z-VI-1-SOE. SF-22-Z-VI-1-SO-F. SF-22-Z-VI-3-NO-A. SF-22-Z-VI-3-NO-B. SF-22-Z-VI-3-NO-C. SF-22-Z-VI-3-NO-D. SF-22-Z-VI-3-NO-E. SF-22-Z-VI-3-NO-F. SF-22-Z-VI-3-SO-A. SF-22-ZVI-3-SO-B. SF-22-Z-VI-3-SO-C. SF-22-Z-VI-3-SO-D. São Paulo. 1978. Escala 1:10.000.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Mapa geológico do Estado de São Paulo**. São Paulo. 1981. 2 v. Escala 1:500.000.

JABUR, A. S. Estudo Hidrológico da Bacia Hidrográfica do Alto Rio Ligeiro, Pato Branco, PR. 167f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrarias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

JENSEN. J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente:** uma perspectiva em recursos terrestres. São José dos Campos: Parêntese. 2009. 598 p.

LANDIM. P.M.B. (coord.) **Mapa Geológico de Estado de São Paulo**. Escala 1:250.000. São Paulo: IGCE/UNESP - DAEE. 1984.

LEOPOLDO. P. R.; STERNBERG. S.; SALATI. E. Tendências de alterações no regime pluviométrico da região central do Estado de São Paulo. Brasil. In: CONGRESSO LATINOAMERICANO DE INGENIERIA RURAL. 2.. CONGRESSO ARGENTINO DE INGENIERIA RURAL. 5.. 1998. La Plata. **Libro de las Memórias...** La plata: Editorial de la Universidad nacional de la Plata. 1998. 6p. (Paper ICR52). 1 CD-Rom.

LENCASTRE. A.; FRANCO. F. M. **Lições de hidrologia**. 2. ed. rev. Lisboa: Universidade Nova de Lisboa. 1992.

MACHADO. P. J. O. **Uma proposta de zoneamento ambiental para a bacia hidrográfica da represa de São Pedro – Juiz de Fora/MG**. 1998. 161 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Faculdade de Ciências e Tecnologia. Universidade Estadual Paulista. Presidente Prudente. 1998.

MACHADO. R. E. **Simulação de escoamento e de produção de sedimentos em uma microbacia hidrográfica utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento.** 2002. 147 f. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo. Piracicaba. 2002.

MARBLE. D. Geographical information system: an overview. In: PECORA CONFERENCE. 9. Sioux Falls. 1984. **Proceedings...** Sioux Falls. v.1. p. 18-24. 1984.

MARTINS. D. Clima na região de Botucatu - SP. In: ENCONTRO DE ESTUDOS SOBRE AGROPECUÁRIA DE BOTUCATU. 1. Botucatu. **Anais...** Botucatu: UNESP. 1989. p. 8.

MELO. H. A. **Integração entre modelos hidrológicos e sistemas de informações geográficas:** uma avaliação metodológica. 2010. 200 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande. 2010.

MELLO, C. R.; SILVA, A. M. da. **Hidrologia de superfície:** estimativa de vazões máximas. Lavras–MG: UFLA, 2001. 32 p.

MENDES. C. A. B.; CIRILO. J. A. **Geoprocessamento em recursos hídricos:** princípios. integração e aplicação. Porto Alegre: Associação Brasileira de recursos Hídricos. 2001.

MENDES FILHO. W. M.; VENDRAME I. F.; CARVALHO. R. G. Utilização de sistema de informações geográficas para o mapeamento do potencial de retenção de águas pluviais no município de São José dos Campos/SP. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. 13. 2007. Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: SBSR. 2007 p. 3453-3460.

MOREIRA. M. A. **Sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais. 2001.

MOREIRA. M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 3. ed. Viçosa: UFV. 2007. 320 p.

NAGY. S. C. S. Recuperação da bacia hidrográfica do Ribeirão Lavapés. In: SILVA. R. F. B.; CHINELATO. F. C. S.; ORSI. A. C. **Lavapés. água e vida**: nos caminhos da educação ambiental. Botucatu: SABESP. 2008. cap. 6. p. 119-135.

OLIVEIRA. G. G.; SALDANHA. D. L.; GUASSELLI. L. A. Espacialização e análise das inundações na bacia hidrográfica do Rio Caí/RS. **Geociências**. São Paulo. v. 29. p. 413-427. 2010.

ORMOND, G. L. **Fundamentos e Tendências na Área da Tecnologia da Informação com Utilização de SIG.** SEPLAN-MT, 2005. Disponível em: <http://www.seplan.mt.gov.br/html/noticia.php?codigoNoticia=345&f_assunto=0&f_grupo=0&_data=0&PHPSESSID=d82651b22e64929415f1680510240e9a>. Acesso em: 05 mai. 2013.

PETERS. J. C. **HEC-HMS:** hydrologic modeling system: computer software users manual. Davis: US Army Corps of Engineers. 1998.

PETERSEN. G. W.; BELL. J. C.; MCSWEENEY. K.; NIELSEN. A. G.; ROBERT. P.C. Geographic informations systems in agronomy. **Advances in Agronomy.** Maryland Heights. v. 55. p. 67-111. 1995.

PIROLI. E. L. **Geoprocessamento na determinação da capacidade e avaliação do uso da terra no município de Botucatu – SP**. 2002. 112 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agronômicas. Universidade Estadual Paulista. Botucatu. 2002.

QUATTROCHI. D. A.; PELLETIER. R. E. Remote sensing for analysis of Landscapes. In: TURNER. M. G.; GARDNER. R. H. **Quantitative methods in landscape ecology: ecological studies.** Berlin: Springer-Verlag. v. 82. p. 51-76. 1991.

RIVAS MARTÍNEZ. S. **Memoria del mapa de las series de vegetación de España**. Madrid: Ministerio de Agricultura. Pesca y Alimentación. 1987. Escala 1:400.000.

ROBAINA, L. E. S.; KORMANN, T. C.; SCHIRMER, G. J. Inventário dos Processos de Inundação no município de Alegrete – RS. LAGEOLAM. 7º Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, 2009.

ROCHA. J. V.; LAMPARELLI. R. A. C. Geoprocessamento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA. 27. 1998. Poços de Caldas. **Anais...** Lavras: UFLA/SBEA. 1998. p. 1-30.

RODRIGUES. M. Introdução ao geoprocessamento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOPROCESSAMENTO. 1990. São Paulo. **Anais...** São Paulo: EPUSP. 1990. p. 1-26.

SABINS. F. F. **Remote sensing:** principles and interpretations. 3. ed. New York: W. H. Freeman. 2000. 188 p.

SANTOS. J. B. **Geotecnologias na delimitação de áreas prioritárias à recomposição florestal na sub-bacia do Ribeirão Lavapés. Botucatu-SP**. 2013. ix. 70 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu. 2013. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/93825>. Acesso em: dez. 2016.

SANTOS. R. F. **Planejamento ambiental:** teoria e prática. São Paulo: Oficina de Textos. 2004. 184 p.

SANTOS. S.; MONTEIRO. A.; MOURATO. S.; FERNANDEZ. P. Os sistemas de informação geográfica na modelagem hidrológica. In: CONGRESSO NACIONAL DE TECNOLOGIAS DE LA INFORMACIÓN GEOGRÁFICA. Granada. 12. 2006. **Anales…** Granada: 2006. p. 465-479.

SARTORI, A. **Avaliação da Classificação Hidrológica do Solo para a Determinação do Excesso de Chuva do Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Faculdade Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas, 2004. 159p.

SÃO PAULO. **Legislação sobre recursos hídricos.** São Paulo: Departamento de Águas e Energia Elétrica. 1994. 72 p.

SÃO PAULO. **Termo de referência para elaboração de plano de manejo de área de proteção ambiental Corumbataí, Botucatu e Tejupá - perímetro Botucatu.** Secretaria do Meio Ambiente de São Paulo. Fundação Florestal, 2009. Disponível em: <http://fflorestal.sp.gov.br/planos-de-manejo-2/em-aprovacao/>, Acesso em: 23 fev. 2017.

SIDDAYAO. G. P.; VALDEZ. S. E.; FERNANDEZ. L. P. Modeling flood risk for an urban CBD Using AHP and GIS. **International Journal of Information and Education Technology**. Singapore. v. 5. p. 748-753. 2015.

SILVA. J. S.; REGO. F.; MAZZOLENI. S. Soil water dynamics after fire in a Portuguese shrubland. **International Journal of Wildland Fire.** Clayton. v. 15. p. 99-111. 2006.

SILVEIRA. A. L. L. Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica. In:_____. **Hidrologia:** ciência e aplicação. 4. ed. Porto Alegre: UFRGS. 2009. cap. 2. p. 35-51.

SOUZA. A. J.; ANDRADE. F. C.; TOLEDO PIZA. M. A. B.; CONTE. M. L. Aspectos físicos do município de Botucatu. In: **BOTUCATU**: polo de desenvolvimento regional. Botucatu: 1985. 34 p. (Não Publicado)

TASSI, R.; ALLASIA, D. G.; MELLER, A.; MIRANDA, T. C.; HOLZ, J.; SILVEIRA, A. L. L.. **Determinação do Parâmetro CN para Sub-bacias Urbanas do Arroio Dilúvio – Porto Alegre/RS.** In: Simpósio de Recursos Hídricos do Sul-Sudeste, Curitiba. 2006. Disponível em: <http://www.rhama.net/download/artigos/artigo46. pdf> Acesso em: 22 de abril de 2014.

TAVARES. P. R. L.; CASTRO. M. A. H. Simulação de perfis d'água e planícies de inundação relacionada a diferentes cenários de urbanização. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS. 16. 2005. João Pessoa. **Anais...** Porto alegre: SBRH. 2005. p. 1793-1799.

TEMEZ PELAEZ. J. R. **Calculo hidrometeorologico de caudales maximos em pequeñas cuencas naturales**. Madrid: Ministerio de Obras Publicas y Urbanismo. Direccion General de Carreteras. 1978.

TOMAZ, P. Hietograma pelo método dos blocos alternados. In: TOMAZ, P. **Manejo de águas pluviais**. cap. 2. 2010. Disponível em: <http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/Novos_livros/livro_metodo_calculos_vazao/capitulo42.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2017.

TSOU. M. S.; WHITTEMOREZ. D. O. User interface for ground-water modeling: ArcView Extension. **Journal of Hydrologic Engineering**. Reston. v. 6. n. 3. p. 251-257. 2001.

TUCCI. C. E. M. **Modelos hidrológicos**. Porto Alegre: ABRH/UFRGS. 1998.

TUCCI. C. E. M. **Modelos hidrológicos**. 2. ed. Porto Alegre: ABRH/UFRGS. 2005. 678 p.

UNITED STATES DEPARTMENT OF THE INTERIOR. **Design of small dams:** a water resources technical publication**.** Washington: U.S Bureau of Reclamation. 1987. 904 p. Disponível em: <http://luk.staff.ugm.ac.id/USBRSmallDams.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2017.

USDA. **Soil taxonomy**: a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. 2. ed. Washington: U.S. Department of Agriculture. Soil Conservation Service. 1999.