

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS (UFSCar) – campus SOROCABA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIAS PARA SUSTENTABILIDADE
Programa de Pós-graduação em Sustentabilidade na Gestão Ambiental

FERNANDO YOGI

Parâmetros de estudo em vazão de projeto para renovação de outorga de barramento.

SOROCABA
2018

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS (UFSCar) – campus SOROCABA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIAS PARA SUSTENTABILIDADE
Programa de Pós graduação em Sustentabilidade na Gestão Ambiental

FERNANDO YOGI

**PARÂMETROS DE ESTUDO EM VAZÃO DE PROJETO PARA RENOVAÇÃO DE
OUTORGA DE BARRAMENTO.**

Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Sustentabilidade na
Gestão Ambiental para obtenção do título
de Mestre em Sustentabilidade na Gestão
Ambiental.

Orientadora: Kelly Cristina Tonello
Coorientador: Emerson Arruda

Sorocaba
2018

Yogi, Fernando

USO E OCUPAÇÃO DA TERRA NA SUB BACIA DO RIBEIRÃO DO SURU EM SANTANA DE PARNAÍBA E SUA CORRELAÇÃO COM PARÂMETROS DE ESTUDO EM VAZÃO DE PROJETO PARA RENOVAÇÃO DE OUTORGA DE BARRAMENTO./ Fernando Yogi. – 2018.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de São Carlos, *campus* Sorocaba, Sorocaba.

Orientadora: Kelly Cristina Tonello

Banca examinadora:

Bibliografia

1. *Soil Conservation Service* (SCS), 2. Coeficiente de *Runoff*. 3. I-Pai-Wu. 4. Ribeirão do Suru. 5. Uso e ocupação da terra. 6. Classificação Baseada em Objeto. 7. Santana de Parnaíba

I Orientadora II. Universidade Federal de São Carlos. III. Título

FERNANDO YOGI

PARÂMETROS DE ESTUDO EM VAZÃO DE PROJETO PARA RENOVAÇÃO DE
OUTORGA DE BARRAMENTO.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade na Gestão Ambiental para obtenção do título de Mestre em Sustentabilidade na Gestão Ambiental da Universidade Federal de São Carlos – *campus* Sorocaba.
Sorocaba, 27 de julho de 2018



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências e Tecnologias Para a Sustentabilidade
Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade na Gestão Ambiental

Folha de Aprovação

Assinaturas dos membros da comissão examinadora que avaliou e aprovou a Defesa de Dissertação de Mestrado do candidato Fernando Yogi, realizada em 27/07/2018:

Profa. Dra. Kelly Cristina Tonello
UFSCar

Profa. Dra. Juketa Bramorski
UFSCar

Prof. Dr. Cicero Santos Branco
UFSCar

DEDICATÓRIA E AGRADECIMENTOS

Dedico este trabalho a todas as pessoas que me ajudaram a desenvolvê-lo, seja direta ou indiretamente.

Meus sinceros agradecimentos aos: professores do Curso Stricto Sensu do programa de Pós-graduação em Sustentabilidade na Gestão Ambiental, ao meu coorientador Emerson Arruda e orientadora Kelly Cristina Tonello que me deram orientações para o desenvolvimento deste trabalho me ajudando a traçar um rumo; aos meus avaliadores da qualificação José Teixeira e Roberto Wagner Lourenço que ajudaram a engrandecer este trabalho; aos examinadores, Julieta Bramorski e Cícero Branco pela participação da banca de defesa da dissertação; a Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp) pelo suporte na participação deste curso de pós-graduação e aos meus colegas de turma com quem eu compartilhei dúvidas e conhecimentos. Este curso tornou-se essencial para o colaborador tomar suas decisões técnicas, identificar soluções e superar desafios para garantir melhorias na qualidade de vida daqueles que usufruem do saneamento, hidrologia e meio ambiente. Principalmente, pelo apoio e incentivo, sou muito grato aos meus pais, Taeco Yogi e Shigemasa Yogi, minha irmã Patrícia Mari Yogi e minha esposa Deise Aiko Araki. Esta última, em especial por estar sempre ao meu lado, nesta fase tão conturbada da minha vida.

PARÂMETROS DE ESTUDO EM VAZÃO DE PROJETO PARA RENOVAÇÃO DE OUTORGA DE BARRAMENTO.

RESUMO

Uma das ferramentas que atua à favor da distribuição equilibrada das águas e mediando conflitos é a outorga de uso de recursos hídricos, com a qual, são emitidas mediante análise de estudos hidrológicos. Por este aspecto, a outorga é uma ferramenta administrativa que atua na concessão da matéria ambiental “água”, e de tempos em tempos precisam ser renovados. Um pedido de renovação de outorga no Estado de São Paulo para obras hidráulicas de retenção, como os barramentos, necessita apresentar as estimativas de deflúvio com parâmetros que podem estar associados ao uso e ocupação da terra. Assim, é fundamental a aplicação de modelos chuva-vazão que representem as fases do ciclo hidrológico, sejam simplificadas mas que não percam a sua essência e o bom poder de resposta. Os processos de impermeabilização em expansão nos centros urbanos proporcionam um aumento do escoamento superficial e alterações das estimativas obtidas pelos modelos de chuva-vazão, acarretando na redução da infiltração e a queda da capacidade de amortecimento natural das bacias hidrográficas. Desta forma, o presente trabalho teve como objetivo associar os usos da terra na sub bacia do Ribeirão do Suru no município de Santana de Parnaíba correlacionando-os aos modelos chuva-vazão, incorporando estudos para renovação de outorga. O Ribeirão do Suru é um corpo hídrico que está presente em uma região que contrasta o urbano e o rural. Apresenta diferentes usos e ocupações e contribui desta forma para associação de elementos da cobertura terrestre com modelos de chuva-vazão. Dentre as metodologias base empregadas para correlação estão o método de I-Pai-Wu e o *Soil Conservation Service (SCS)*. O primeiro, por meio de suas classes, apresentou uma boa adaptação para áreas mais adensadas, enquanto o segundo, o SCS, se destaca por uma boa correlação com bacias com características vegetadas. No método foram aplicadas técnicas de geoprocessamento na obtenção de parâmetros da cobertura terrestre (*Curve Number – CN / Coeficiente de Runoff*) em imagens aéreas ortorretificadas com resolução espacial de 1 m, com uma classificação baseada em objeto e classificação manual na sub bacia do Ribeirão do Suru, com uma área de aproximadamente 21 Km². O levantamento feito para o uso e ocupação da terra foi realizado por dois diferentes métodos para simular os valores de escoamento superficial. A obtenção dos parâmetros do método I-Pai-Wu e *Soil Conservation Service* seguiram respectivamente uma classificação manual auxiliada por chaves de classificação, e, classificação baseada em objeto em função de lógicas baseada em teoria de conjuntos e lógica difusa. A precipitação foi calculada de acordo com a equação de chuvas intensas mais representativa para a região. De posse dos dados hidrológicos e do uso e ocupação da terra foi possível calcular a vazão de projeto. As simulações realizadas neste estudo demonstraram que o uso e ocupação da terra nestes dois métodos podem correlacionar parâmetros para os modelos de chuva-vazão para o cálculo de vazão, integrando os estudos hidrológicos dos processos de outorga e renovação.

Palavras-Chave: *Soil Conservation Service (SCS)*, coeficiente de *Runoff*. I-Pai-Wu, barramento, uso e ocupação da terra, Classificação Baseada em Objeto, Ribeirão do Suru, Santana de Parnaíba.

PARAMETERS OF STUDY IN FLOW OF PROJECT FOR RENOVATION OF DAM.

ABSTRACT

One of the tools that works in favor of the balanced distribution of waters and mediating conflicts is the granting of use of water resources, with which they are issued through analysis of hydrological studies. For this aspect, the grant is an administrative tool that acts in the concession of the environmental matter "water", and from time to time need to be renewed. An application for renewal of concession in the State of São Paulo for hydraulic detention works, such as the buses, needs to present the estimates of the runoff with parameters that may be associated to land use and occupation. Thus, it is fundamental to apply rain-flow models that represent the phases of the hydrological cycle, are simplified but do not lose their essence and good power of response. The waterproofing processes in expansion in the urban centers provide an increase in the surface runoff and changes in the estimates obtained by the rainfall-flow models, resulting in the reduction of infiltration and the decrease of the natural damping capacity of the river watersheds. In this way, the objective of this work was to associate land uses in the sub watershed of River of Suru in the municipality of Santana de Parnaíba, correlating them with rainfall-flow models, incorporating studies for grant renewal. River of Suru is a water body that is present in a region that contrasts urban and rural. It presents different uses and occupations and contributes in this way to the association of elements of the terrestrial coverage with rainfall-flow models. Among the baseline methodologies used for correlation are the I-Pai-Wu method and the Soil Conservation Service (SCS). The first one, through its classes, presented a good adaptation to more denser areas, while the second one, SCS, stands out for a good correlation with watershed with vegetated characteristics. In the method, geoprocessing techniques were applied in obtaining terrestrial coverage parameters (Curve Number - CN / Runoff Coefficient) in orthorectified aerial images with spatial resolution of 1 m, with an object - based classification and manual classification in the sub watershed of River of Suru, with an area of approximately 21 Km². The survey made for the use and occupation of land was carried out by two different methods to simulate the values Lof surface runoff. The parameters of the I-Pai-Wu and Soil Conservation Service methods were followed by a manual classification aided by classification keys, and object-based classification based on set theory and fuzzy logic. Precipitation was calculated according to the most representative rainfall equation for the region. With the possession of hydrological data and the use and occupation of land, it was possible to calculate the project flow. The simulations performed in this study demonstrated that land use and land use in these two methods can correlate parameters for rainfall-flow models for flow calculation, integrating the hydrological studies of the granting and renewal processes.

Key words: Soil Conservation Service (SCS), Runoff coefficient. I-Pai-Wu, Dam, land use and occupation, Object Based Classification, River of Suru, Santana de Parnaíba.

ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Cálculo de Vazões de cheias.	16
Figura 2 – Procedimentos para estudos hidrológicos	17
Figura 3 – Distribuição de Huff conforme a separação em quartis	30
Figura 4 – Coeficiente de distribuição espacial da chuva (K).....	33
Figura 5 – Hidrograma Unitário conforme SCS.....	38
Figura 6– Método de cálculo do CN conforme área impermeabilizada e conexão com a rede de drenagem	39
Figura 7 – Composição do Coeficiente de Deflúvio conforme conexão da área impermeabilizada	40
Figura 8 – Composição do Coeficiente de Deflúvio conforme (des)conexão da área impermeabilizada superior a 30% do total da bacia.....	40
Figura 9 – Hidrograma Unitário simplificado	52
Figura 10 – Seção da sub Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Suru, Santana de Parnaíba, São Paulo.....	55
Figura 11 – Sub bacia do Ribeirão do Suru. Santana de Parnaíba, São Paulo	57
Figura 12 – Modelos Digitais de Elevação, Sub bacia do Ribeirão do Suru, Santana de Parnaíba, São Paulo.....	58
Figura 13 – Declividade sub bacia do Ribeirão do Suru, Santana de Parnaíba, São Paulo.....	59
Figura 14 – Orientação de Vertentes Ribeirão do Suru, Santana de Parnaíba, São Paulo.	60
Figura 15 – Fluxograma dos Procedimentos para Classificação Manual e OBIA.	74
Figura 16 – Uso e Ocupação da Terra na sub bacia do Ribeirão do Suru (Santo André), Santana do Parnaíba - quanto aos graus de urbanização.....	78
Figura 17 – Áreas quanto aos graus de urbanização da sub bacia do Ribeirão do Suru – Santana de Parnaíba.	79
Figura 18 – Classificação Baseada em Objeto na sub bacia do Ribeirão do Suru (Santo André), Santana do Parnaíba.....	85
Figura 19 – Áreas conforme classificação OBIA. Sub bacia do Ribeirão do Suru, Santana de Parnaíba.....	86
Figura 20 – Diversos usos do solo na sub bacia do Ribeirão do Suru.....	91
Figura 21 – Perfil Longitudinal do Ribeirão do Suru, Santana de Parnaíba, São Paulo.	93
Figura 22 – Altimetria do Talvegue, do exutório até a nascente mais distante da sub bacia do ribeirão do Suru, Santana de Parnaíba, São Paulo.	94
Figura 23 – Representação esquemática barramento do Ribeirão do Suru	97
Figura 24 – Vazão afluente conforme (a) $C_{máx}$, (b) $C_{méd}$ e vazão afluente.	98
Figura 25 – Hidrograma unitário conforme SCS.....	99
Figura 26 – Hidrograma composto conforme SCS.	100
Figura 27 – Hietograma de Precipitação Total, excedente e Total x excedente.....	102

Figura 28 – Hidrograma composto para precipitação de 2 horas	104
Figura 29 – Análise de Sensibilidade conforme CN	104

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Valores de Coeficiente de Escoamento Superficial conforme o grau de urbanização.....	17
Tabela 02 – Coeficientes de escoamento superficial p/ Período de Recorrência de 100 anos .	18
Tabela 03 – coeficiente de rugosidade conforme método cinemático	21
Tabela 04 – Velocidade de escoamento conforme declividade do talvegue	24
Tabela 05 – Valores mínimos para o Período de retorno	27
Tabela 06 – Classificação dos grupos hidrogeológicos dos solos.	35
Tabela 07 – Valores dos Números CN para áreas vegetadas.	35
Tabela 08 – Valores dos Números CN para áreas urbanas e periurbanas	36
Tabela 09 – Exemplo da Matriz de confusão	51
Tabela 10 – Agrupamento qualitativo do coeficiente Kappa	51
Tabela 11 – Valores do coeficiente de escoamento superficial conforme classes	65
Tabela 12 – Regras de Decisão para Classificação OBIA.....	81
Tabela 13 – Matriz de Confusão da classificação OBIA em ortoimagens.....	90
Tabela 14 – Características Físicas.....	94
Tabela 15 – Relação Cota – Área – Volume.	96
Tabela 16 – Coeficiente de Escoamento Superficial C conforme classificação das áreas (Santana de Parnaíba).....	97
Tabela 17 – Precipitação Acumulada e Excedente.....	101
Tabela 18 – Hidrograma de Precipitação Efetiva conforme convolução	102

LISTA DE QUADROS

Quadro 01 – Coeficiente de rugosidade de Manning	23
Quadro 02 – Uso e ocupação da terra conforme classificação de Santana de Parnaíba (2006)	44
Quadro 03 – Uso e ocupação da terra conforme classificação da Secretaria do Meio Ambiente (2010)	46
Quadro 04 – Uso e ocupação da terra conforme classificação da EMPLASA (2006).....	47
Quadro 05 – Características das imagens avaliadas no processo de análise visual.....	67
Quadro 06 – Chave de Classificação para o uso e ocupação do solo	68
Quadro 07 – Níveis de Classificação do uso e ocupação da terra da sub bacia do Ribeirão do Suru	71
Quadro 08 – Sessão de Classificação conforme o índice de ocupação do terreno.....	71
Quadro 09 – Coeficiente de Deflúvio – Curve Number (CN)	100

LISTA DE SIGLAS

A	Corpos d'água
ACP	Análise por Componentes Principais
ANA	Agência Nacional das Águas
ASTER	Satélite Japonês
BAI	<i>Bare Area Index</i>
C	Cultivo
CEM	Centro de Estudos da Metrópole
CNARH	Cadastro Nacional de Usuários de Recursos Hídricos
CORINE	Coordination of Information on the Environment
DAEE	Departamento de Águas e Energia Elétrica
DATA POOL	Conjunto de dados
DNAEE	Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EMPLASA	Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano
ENVI	<i>Software</i> de processamento de imagens
ETA	Estação de Tratamento de Água
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
FEHIDRO	Fundo Estadual de Recursos Hídricos
GEOTIFF	Metadado que permite inserção de coordenadas geográficas
GLCM	<i>Gray Level Co-Occurrence Matrix</i> (Matriz de Coocorrência de nível de cinza)
HU	Hidrograma Unitário
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IAG/USP	Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo
idf	Intensidade-duração-frequência
IGC	Instituto Geográfico e Cartográfico do Estado de São Paulo
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas
IT DPO	Instrução Técnica da Diretoria de Procedimento de Outorga e Fiscalização
JAXA	Agência Japonesa de Exploração Aeroespacial
LandSat	<i>Land Remote Sensing Satellite</i>

MDE	Modelo Digital de Elevação
MDEHC	Modelo Digital de elevação Hidrologicamente Consistente
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MNT	Modelo Numérico do Terreno
NDVI	<i>Normalised Difference Vegetation Index</i>
OBIA	<i>Object Based Image Analysis</i>
PCJ	Piracicaba Capivari e Jundiá
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
PVC	Policloreto de Vinila
QGIS	<i>Software</i> de licença aberta de SIG
RAE	Relatório de Avaliação de Eficiência
RAPIDEYE	sistema de 5 satélites que geram imagens multispectrais coloridas
Recap	Relatório de caracterização de Captação
Remult	Relatório de caracterização Múltipla
RMSP	Região Metropolitana de São Paulo
SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SCS	<i>Soil Conservation Service</i>
SCUT	Sistema básico de Classificação de Coberturas e do uso da terra
SR	Sensoriamento Remoto
SRH	Secretaria de Recursos Hídricos
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SIGMINE	Sistema de Informação Geográfica da Mineração
SIRGAS	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
SINGRH	Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos
SMA	Secretaria Estadual do Meio Ambiente
SNRH	Sistema Nacional de Recursos Hídricos
SRTM	<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>
UFESP	Unidades Fiscais do Estado de São Paulo
UTM	<i>Universal Transversa Mercator</i> (coordenadas cartesianas para posicionamento na esfera terrestre)
T	Telhado
TauDEM	<i>Terrain Analysis Using Digital Elevation Models</i>

TPVM	Território de Gestão e Proteção Ambiental do Voturuna e do manancial do Santo André (Suru)
TR	Período de Retorno
UGRHI	Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos
UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura
V	Vias
VARI	<i>Índice Visível de Resistência Atmosférica</i>
VD	Vegetação Densa
VR	Vegetação Rasteira
TGI	<i>Índice de Greenness Triangular</i>
TM	<i>Thematic Mapper</i>
ZRBD	Zonas de Uso Residencial de Baixa Densidade
ZPE	Zona de Proteção Especial
ZPEI	Zonas destinadas a Projetos Especiais de Integração
ZPA	Zonas com Predominantes Características Ambientais (ZPA)
ZUQ	Zonas Urbanas a Qualificar
ZUC	Zonas Urbanas de Controle
ZUD	Zonas de Uso Diversificado

LISTA DE SÍMBOLOS

A	Área da bacia
A	Área do orifício do tubo de descarga
a,b,c	Coefficientes de Regressão (intensidade pluviométrica)
C₁	Coefficiente de forma
C₂	Coefficiente volumétrico de escoamento.
C	Coefficiente de escoamento superficial
CN	<i>Curve Number</i> (coeficiente de deflúvio)
f	Fator de Forma
g	Aceleração da gravidade
H	Altura do barramento (m)
H	Desnível total do talvegue
HTR	Profundidade da lâmina d'água correspondente à vazão máxima de projeto, associada a um período de retorno (TR),
Ia	Abstração Inicial
i	Intensidade pluviométrica
i	Índice de Ocupação
J	Declividade por segmento (média harmônica)
Kc	Coefficiente de Compacidade
Kf	Fator de Forma
K	Índice Kappa
K	Índice de Distribuição Espacial
k	Coefficiente método cinemático
L	Extensão do talvegue
L	Largura do Barramento
l	Comprimento de cada trecho homogêneo
n	Coefficiente de Rugosidade (manning)
n	Numero de amostras
Pe	Precipitação Efetiva
P	Precipitação
P	Perímetro
PCA	Componentes Principais

Q_p	Vazão de pico
RGB	RED, GREEN AND BLUE, cores básicas das faixas espectrais visíveis
S	Capacidade de infiltração do solo
S	Declividade
tp	Tempo de pico
tr	Tempo de duração da chuva
tb	Tempo de base
tc	Tempo de concentração
td	Tempo de duração da chuva
T_R	Período de Retorno
Q_E	Vazão de enchente que entra no reservatório
Q_{orif}	Vazão de descarga de fundo
Q_s	Vazão que sai do reservatório pelo extravasor
Q_{vert}	Vazão do vertedouro
Q_{7,10}	Vazão mínima de sete dias e Período de Retorno de 10 anos
VE	Volume de Entrada do Reservatório
vi	Velocidade de escoamento, método cinemático
Vs'	Volume de saída do Reservatório
VR	Volume de Reservação

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	3
1.1	JUSTIFICATIVA	7
2.	OBJETIVO	9
2.1	OBJETIVO GERAL	9
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	9
3.	REVISÃO BIBLIOGÁFICA	10
3.1	OUTORGA DE USOS DE RECURSOS HÍDRICOS.....	10
3.2	LEGISLAÇÃO INERENTE À OUTORGA DO USO DOS RECURSOS HÍDRICOS	12
3.3	EXIGÊNCIAS DO DAEE PARA A RENOVAÇÃO DE OUTORGA DE USOS DE RECURSOS HÍDRICOS	13
3.4	PORTARIA DAEE DE 1630 DE MAIO DE 2017, QUANTO À RENOVAÇÃO DE OUTORGA DE DIREITO DE USO DE RECURSOS HÍDRICOS	15
3.5	PROCCEDIMENTOS DE CÁLCULO PARA CONCESSÃO DE VAZÃO OUTORGADA	16
3.5.1	Coeficiente de escoamento superficial (<i>Runoff</i>)	17
3.6	PARÂMETROS HIDROLÓGICOS.....	19
3.6.1	Tempo de Concentração	19
3.6.1.1	Método cinemático.....	20
3.6.1.2	Fórmula de <i>Kirpich</i>	21
3.6.1.3	<i>Califórnia Culverts Practice</i>	22
3.6.1.4	<i>Federal Aviation Agency</i>	22
3.6.1.5	Método da onda Cinemática	22
3.6.1.6	Fórmula do <i>Soil Conservation Service – SCS</i>	23
3.6.1.7	Método Cinemático do <i>Soil Conservation Service – SCS</i>	23
3.6.1.8	Método Centro Tecnológico em Hidráulica.....	24
3.6.1.9	Fórmula de <i>Dooge</i>	24
3.6.1.10	Fórmula de <i>Bransby Willians</i>	25
3.6.1.11	Fórmula de <i>Johnstone</i>	25
3.6.1.12	Fórmula de <i>Tsuchiya</i>	26
3.6.2	Média harmônica dos segmentos do talvegue.	26
3.6.3	Período de Retorno	27
3.6.4	Chuva de Projeto.....	28
3.7	MÉTODO RACIONAL.....	31
3.8.1	Coeficiente de escoamento superficial.....	32
3.8.2	Fator de Forma (F)	32
3.8.3	Coeficiente Volumétrico de Escoamento (C₂).....	33

3.8.4	Coeficiente de Distribuição Espacial da Chuva (K).....	33
3.9	VAZÃO – MÉTODO I-PAI-WU	34
3.10	MÉTODO <i>SOIL CONSERVATION SERVICE</i>	34
3.11	USO E OCUPAÇÃO DA TERRA	41
3.11.1	Classificação de Imagens.....	47
3.12	AMORTECIMENTO DE ONDA DE CHEIA	51
4.	MATERIAL E MÉTODOS	54
4.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA.....	54
4.1.1	A sub bacia hidrográfica do rio Suru.....	54
4.2	CARACTERIZAÇÃO DO BARRAMENTO	61
4.3	QUALIDADE DAS ÁGUAS	62
4.4	INSTRUMENTO DA COLETA DE DADOS (HIDROLÓGICOS E DE USO E OCUPAÇÃO DA TERRA)	63
4.5	USO E OCUPAÇÃO DA TERRA	64
4.5.1	Uso da terra em Santana de Parnaíba	64
4.6	CLASSIFICAÇÃO BASEADA EM OBJETO (OBIA).....	72
4.7	PARÂMETROS FÍSICOS DA SUB BACIA DO RIBEIRÃO DO SURU.....	75
4.8	INTENSIDADE PLUVIMÉTRICA	75
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	76
5.1	SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (SIG) COMO FERRAMENTA PARA ESTUDOS DE RENOVAÇÃO DE OUTORGA.....	76
5.2	AVALIAÇÃO DE ACURÁCIA.....	89
5.3	PARÂMETROS DIMENSIONAIS E HIDROLÓGICOS DA BACIA DO RIBEIRÃO DO SURU	93
5.4	AMORTECIMENTO DE ONDA DE CHEIA NO BARRAMENTO DO CÓRREGO DO RIO SURU	96
5.5	VAZÃO DE PICO – I-PAI-WU	97
5.6	COEFICIENTE DE DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL (K).....	99
5.7	HIDROGRAMA UNITÁRIO – <i>SOIL CONSERVATION SERVICE</i> (SCS).....	99
5.8	HIETOGRAMA DE PROJETO	100
6.	CONCLUSÃO.....	106
7.	REFERÊNCIAS	107

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos séculos, tem-se vivenciado nos grandes centros urbanos um forte adensamento populacional, com o aumento desordenado da população em áreas de risco. Esse fato torna persistente o desafio para os setores institucionais voltados para o planejamento, obterem uma fonte de que providenciem dados e tenham condições de subsidiar estudos para transformação das paisagens. Para atendimento deste escopo, em países em desenvolvimento, como o Brasil, os investimentos em infraestrutura não conseguem acompanhar o crescimento acelerado dos centros urbanos (VIEIRA, 2001).

Portanto, o planejamento urbano essencial para o desenvolvimento das grandes metrópoles é sempre cercado por diversos conflitos, principalmente para os usos da terra, onde deve ocorrer a correta distribuição dos espaços em que estão sendo constantemente alterados pelo homem. Órgãos de proteção ambiental nem sempre tem condições de fiscalizar e controlar as ocorrências que alterem o cenário urbano ou com veemência sigam à risca as suas exigências no rigor necessário para a manutenção ambiental. Em meio à crescente falta de sinergia entre os agentes da organização territorial e a constante falta de infraestrutura urbana destaca-se a necessidade de obter dados atualizados da superfície terrestre para atender tais necessidades (BLASCHKE, GLÄSSER e LANG, 2011).

Ferramentas de cunho ambiental e social surgem a todo instante para atender as diferentes necessidades, duas situações extremas e opostas ocorrem conforme a situação econômica de cada região, para atender a gestão territorial, em países desenvolvidos é comum a falta de espaço, enquanto nos países em desenvolvimento destaca-se a falta da correta, equânime ou equilibrada distribuição de recursos naturais.

Esta expansão urbana e ocupação territorial dos espaços mais favoráveis ao desenvolvimento humano intensificou o uso dos recursos hídricos, principalmente das fontes que apresentam melhores condições para abastecimento público, dessedentação de animais, insumo produtivo, irrigação e fonte reguladora de processos ecossistêmicos. Usos inapropriados provocam mudanças drásticas em todo o cenário ambiental, rios tornam-se cada vez mais poluídos e reservatórios próximos ao esgotamento. A gestão sobre os usos diversos dos recursos hídricos, nas épocas em que se tornam escassos ou desenquadrados pela degradação da qualidade das águas, ganham destaque à luz do cumprimento das disposições legais. (BRASIL, 2015)

Bertoni e Tucci (2003) alertaram que a industrialização tardia, típico dos países em desenvolvimento como o Brasil, contribuíram com assentamentos das áreas de risco, nas

margens dos rios, em todo o seu leito, agravando a disputa de água pelo aumento do volume captado ou deteriorando-o pelo aumento do lançamento de esgoto sem tratamento prévio.

Para proporcionar o bem-estar da população toma-se indispensável adotar ferramentas que enrijem o correto aproveitamento da água, estando disponíveis para consumo e ao mesmo tempo garantir a segurança, atribuindo condições para que ocorra a distribuição correta para o desenvolvimento equânime da vida urbana e rural.

Segundo Canholi (2014), estas mudanças constantes no cenário ocupado pelo homem, implicando na: diminuição do tempo de percurso das águas; no aumento da velocidade de escoamento dada pelas canalizações de micro e macrodrenagem; descarte irregular de resíduos; falta de limpeza urbana e redução do escoamento subsuperficial contribuem para deterioração da qualidade das águas, assim como acarretam a transferência dos problemas para a jusante.

Na bacia hidrográfica, ponto de estudo comum entre a gestão sobre os espaços e recursos hídricos, tem-se a possibilidade de integrar as políticas de conservação da água com políticas de uso e ocupação do solo. Desse modo, o zoneamento urbano, ferramenta do planejamento de gestão municipal, contribui para gestão dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos.

Para práticas gestoras sobre o uso dos recursos hídricos deve existir integralidade de aspectos físicos, sociais, econômicos e ambientais dentro de uma unidade territorial. Por este aspecto a bacia hidrográfica permite tal abrangência, tratada como unidade de planejamento integrada, tende a aderir tanto à questões da administração pública quanto à questões atinentes a proteção ambiental. Situação que ganhou mais destaque no início da década de 90, por meio de ações favoráveis ao controle de qualidade dos corpos d'água e através de políticas e práticas ambientais que atuam em prol da sua conservação. Por outro lado, embora considerado como unidade de planejamento territorial, na visão dos gestores municipais não é incluída totalmente como elemento efetivo para a distribuição dos espaços urbanos, cabendo responsabilidade ao Plano Diretor dos Municípios (PORTO e PORTO, 2008).

Segundo Moraes e Lorandi (2016) a comunidade científica propôs diferentes definições sobre a bacia hidrográfica, variando em área, abrangendo pequenos cursos d'água, de ambientes lânticos até redes de drenagem que variam em ordem superior à 5, não há uma escala adequada para definir a área de drenagem de uma bacia hidrográfica. Com exceção dos rios que desaguam no mar, formados por rios perenes, as bacias sempre estão inseridas em outras bacias maiores, assim, não há uma escala definida, mas é necessário a compreensão de

diferentes dinâmicas ecológicas e antrópicas em múltiplas escalas para assimilar conceitos em nível de detalhe para precisão de estudos hidrológicos que envolvem a mesma.

Alcançar a sustentabilidade para os espaços públicos que permitem convivência e relacionamento tem no planejamento territorial e a distribuição correta dos recursos naturais como um dos passos a serem consagrados para a adequada exploração do meio, sendo que não se consegue corretamente explora-los sem integra-los totalmente e compromissar as atividades desenvolvidas em prol de um bem comum (MORAES e LORANDI, 2016).

A modificação da paisagem segundo Cristo, Trentin e Robaina (2016) decorre principalmente da pressão do homem sobre a superfície terrestre, fruto de ocupação, desenvolvimento e da utilização dos recursos naturais disponíveis na unidade territorial. Uma das formas de se realizar a averiguar as disponibilidades é por meio de ferramentas de Sensoriamento Remoto integradas com um Sistema de Informação Geográfica (SIG) capazes de mapear e classifica-las gerando subprodutos para planejamento e gestão dos espaços.

Dentre os parâmetros mais importantes para o escoamento superficial destaca-se as feições impermeabilizadas ou com baixo índice de infiltração ou baixa condutibilidade hídrica. Pilz e Strobl (2011), para parametrizar projetos básicos no município de Rankweil (Áustria), baseou-se em variáveis dicotômicas, de classificação hierárquica e determinaram classes que pudessem contribuir com o escoamento superficial e diminuição da infiltração, “impermeabilizado” e “não impermeabilizado”, correlacionaram, respectivamente, “ruas, estacionamentos e telhados” e “áreas cobertas por vegetação”, de modo a verificar como a parcela proveniente das chuvas incidentes sobre as áreas impermeabilizadas podem influenciar no sistema público de tratamento de esgoto.

Em suma, Pilz e Strobl apud Berlekamp (1992, página 162) retratam a impermeabilização com fator correlato ao “o uso do solo, vazão superficial, renovação d’água em profundidade, microclima” [...] “drenagem de águas superficiais”, indicando a necessidade de uma análise espacial, ao mesmo tempo define a impermeabilização como “um isolamento do solo (pedosfera) – mesmo parcial – e, eventualmente, da rocha dura (litosfera), da atmosfera, hidrosfera e biosfera”.

Para a análise hidrológica de Vazões Afluentes, deflúvios e volumes de retenção devem alimentar modelos hidrológicos de chuva-vazão e serem correlacionados com parâmetros que deem respostas rápidas ante a correta tomada de decisões, concentrando esforços para compreensão das fases do ciclo hidrológico, em que superem as cheias da bacia hidrográfica, ou em casos de escassez determinar parâmetros para garantir a manutenção

mínima da vazão natural. Os modelos de chuva-vazão neste intuito são utilizados para determinar segundo Pompermeyer (2013) o volume de água em seções da bacia hidrográfica, nas fases compreendidas entre a chuva e o escoamento, considerando as parcelas perdidas. E de acordo Pompermeyer (2013, página 13) os modelos variam conforme a “discretização da bacia hidrográfica, as variações temporais de entrada, a estrutura básica da integração dos processos, a aquisição dos dados físicos das bacias e a determinação dos parâmetros”.

Ressalta-se as diretrizes de São Paulo (1999) quanto a urbanização e impermeabilização, em bacias altamente urbanizadas podem chegar a ter um volume de escoamento superficial seis vezes superiores ao pico da mesma bacia em condições naturais. A capacidade de amortecimento das bacias deve ser avaliada por estudos hidrológicos, parâmetros para os modelos de chuva-vazão.

Devem ser analisadas todas as hipóteses, pois nem sempre se dispõem de medições históricas suficientes, e estabelece-se conforme DAEE (2005) vários modelos indiretos em função de características e dados físicos da bacia hidrológica, podem ser aplicadas diferentes técnicas de acordo com o tamanho da área de drenagem da bacia hidrográfica.

Os usos múltiplos da água na bacia são fomentados por meio dos instrumentos de outorga, o que viabiliza a racionalização, otimização, a segurança contra eventos anormais e maior eficiência para aproveitamento da água com a integração dos usuários. Neste contexto, sob os princípios para a proteção de recursos hídricos, segundo a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) (Brasil, 1997), prevalece a distribuição equilibrada da água, da mesma forma, proteção contra eventos de cheias ou de seca. No entanto, princípios estão longe de serem aplicados com total eficiência, e a ferramenta de outorga deve: direcionar os usos mais nobres como o abastecimento público e dessedentação de animais antes dos setores industriais e agrícolas nos períodos mais escassos; consolidar maiores responsabilidades aos órgãos fiscalizadores para a segurança hídrica quantitativa e qualitativa.

Brasil (1997) relata que o Plano de Recursos Hídricos deverá proporcionar o correto andamento programas e projetos estruturantes, atuando conforme destaca o seu artigo 07º “análise de alternativas de crescimento demográfico, de evolução de atividades produtivas e de modificações dos padrões de ocupação do solo”, deixa claro que as diferentes formas de uso e ocupação da terra deverão indicar o nível de relevância para as finalidades públicas e interesse do coletivo para aproveitamento do uso de recursos hídricos.

Dentre os usos dos recursos hídricos outorgados, segundo São Paulo (1996) os Barramentos de níveis são obras hidráulicas necessárias para: regularização de níveis a

montante; controle de cheias; regularização de vazões; recreação e paisagismo; geração de energia e aquicultura. Barramento é considerado um maciço que intercepta cursos d'água modificando o seu regime natural de escoamento, considerando-o então como passível de outorga. Para garantir a segurança hídrica, análise hidrológica de Vazões Afluentes, deflúvios e volumes de detenção devem ser projetados corretamente, permitindo que sejam atendidas as demandas à jusante.

De modo geral, a vazão efluente à bacia hidrográfica quando não se dispõem de dados históricos pode ser determinada por meio de métodos indiretos com parâmetros da bacia, precipitação e área da bacia. Enquanto os reservatórios podem ser estimados pelas relações de volume armazenado e profundidades ou elevações, e, vazão efluente pelas suas características hidráulicas.

Nos rios pertencentes ao domínio do Estado de São Paulo estão sujeitos à outorga de uso de recursos hídricos, em especial pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE). De tempos em tempos suas outorgas quando extintos os tempos predefinidos pelo agente outorgante é necessário renová-lo. Para o DAEE, a emissão das outorgas cumprido as obrigações legais e técnicas, servem de base para a manutenção da qualidade hídrica, visa a distribuição ponderada de recursos hídricos, consolida e acumula práticas em benefício do atendimento de políticas públicas que atuam na gestão do meio ambiente, prioriza os usos atuais e futuros, principalmente, sendo alvo os mananciais que as regiões com maiores conflitos de uso, como é o caso da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP).

1.1 JUSTIFICATIVA

Um dos problemas de infraestrutura da RMSP é a falta da distribuição equilibrada das águas. Para contribuir com questão, podem ser inseridos dados realizados de estudos e levantamentos sobre Bacias Hidrográficas. Para tanto, nas bacias urbanizadas ou nas bacias onde ocorre a transição do rural para o urbano, é preciso avaliar como os graus de modificação dos meios interferem nos deflúvios, da mesma forma, alteram parâmetros hidrológicos necessários para obtenção e renovação de outorga de recursos hídricos.

A água é um recurso essencial para a manutenção da saúde humana, destacada a importância de controlá-la, e uma forma de fomentá-la pode ser realizada por instrumentos de outorga. Assim, deve-se atentar aos fenômenos do ciclo hidrológico mais importantes para obtenção de estimativas mais precisas, ao mesmo tempo, analisar constantemente como ações

humanas que alteram a superfície terrestre com o aumento da impermeabilização da superfície e escoamento superficial.

Neste contexto, propõem-se para esta análise médias bacias localizadas no município de Santana de Parnaíba, inseridas em ambientes de transição da ocupação rural para o urbano. Como o município apresenta amplas áreas verdes com certas características de áreas urbanizadas é possível compreender muito bem como as correlações de parâmetros obtidos pelo diagnóstico do uso e ocupação da terra influenciam nos modelos de chuva-vazão. Assim, devem servir de auxílio medidas de correlação que correspondam à constante modificação da cobertura terrestre, atribuindo condições de forma práticas para que parâmetros sejam fornecidos adequadamente para os modelos de chuva-vazão.

Quando há incertezas ou estudos inconclusivos sobre a produção hídrica, o prazo de outorga é revisto e até que aja uma análise consistente sobre as séries históricas o tempo de concessão será limitado. A compreensão para com os itens exigidos pelo poder outorgante para renovação de outorga, juntamente com o conhecimento aprofundado de hidrologia e dos modelos de chuva-vazão são necessários para se subtrair o melhor dos recursos hídricos, em volume razoável, que atendam as demandas e que garanta a sua recuperação.

Seguindo recomendações do DAEE (2017) as vazões máximas de projeto devem exprimir a maior produção de escoamento superficial e devem ser considerados os estados mais atuais da bacia de contribuição. Sendo que DAEE (2017) sugere a utilização de modelos de chuva-vazão métodos Racional, I-Pai-Wu e *Soil Conservation Service*.

Como o DAEE é o agente outorgante responsável pela outorga nos recursos hídricos superficiais do Estado de São Paulo deve-se seguir o conteúdo mínimo estabelecido para estudos hidrológicos com a finalidade de outorgar os diversos usos dos recursos hídricos. Notadamente, deve-se ater aos modelos de chuva-vazão citados para a determinação do deflúvio com precisão necessária para o mais correto levantamento de uso e ocupação da terra.

2. OBJETIVO

2.1 OBJETIVO GERAL

Associar o levantamento do uso e ocupação da terra na sub bacia do Ribeirão do Suru em Santana de Parnaíba com parâmetros de modelos de chuva-vazão para estudos de renovação de outorga de barramento.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar o diagnóstico do uso e ocupação da terra na sub bacia do Ribeirão do Suru;
- Aplicar modelos de chuva-vazão para estudos hidrológicos da sub bacia do Ribeirão do Suru;
- Verificar se as exigências de renovação de outorga de barramento são atendidas pelo levantamento de uso e ocupação da terra.

HIPÓTESE

As metodologias de chuva-vazão empregadas para o cálculo de deflúvio em bacias hidrográficas utilizadas para processos de obtenção de outorga e renovação de outorga de recursos hídricos possuem parâmetros correlacionáveis com classes obtidas em levantamento e uso e ocupação da terra destas bacias.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 OUTORGA DE USOS DE RECURSOS HÍDRICOS

A água é um bem de domínio público, dotado de valor e essencial para manutenção à vida, portanto, tem-se que utilizar este bem de modo sustentável, garantindo as exigências às futuras gerações e as atuais, prevalecendo o atendimento as suas necessidades básicas e de bem-estar.

Cabe ao poder concedente realizar a gestão das outorgas de usos dos recursos hídricos, preocupando-se com as demandas de qualidade e quantidade. A emissão de outorgas está sujeita ao atendimento das ofertas de água, dos usos múltiplos de água, que devem ser outorgados com cautela para que danos maiores não venham a acontecer. Os recursos hídricos devem apresentar condições de exploração e capacidade suficiente para depuração de cargas poluidoras, conforme o enquadramento do corpo hídrico, promovendo a defesa dos ecossistemas e da saúde dos usuários dos recursos hídricos.

Outorga de recursos hídricos é um instrumento pelo qual o poder público autoriza o uso da água ou intervenções em um corpo hídrico por prazos determinados em condições estabelecidas pelo órgão concedente, no caso de São Paulo, o Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) diligencia exigências aos outorgados quando necessário.

A União, o Estado e Distrito Federal fazem parte do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGRH) e assim possuem a competência sobre a concessão de outorga. Aborda-se neste trabalho rios de domínio estadual, sendo assim, concentram-se esforços nestes para fundamentação e base teórica-legal.

Os grandes centros urbanos contribuem para diminuição da disponibilidade hídrica por meio do lançamento de cargas poluidoras sem seu devido tratamento, seja de origem industrial, doméstica ou até mesmo decorrente das grandes chuvas e enchentes que carregam resíduos contaminados e em captações dos corpos hídricos sem o devido controle. Tais fatores estão relacionados diretamente com os princípios de acesso a água, uma vez que as prioridades devem ser definidas em um sistema de gestão compartilhada entre o poder público e os usuários de recursos hídricos.

Segundo Silva & Monteiro (2004) o instrumento que serve para tal causa é o plano de bacia hidrográfica para direcionar a gestão sustentável dos recursos hídricos, uma das funções é o estabelecimento de valores dos usos, justificando aqueles que forem julgados insignificantes. Em São Paulo na bacia do Paraíba do Sul o consumo de 1 l/s considerado insignificante, por meio da Portaria 2292 de dezembro de 2006, Reti-ratificada em 18 de abril

de 2016, o DAEE considera isento de outorga os usos de captação superficial, subterrânea, derivações e lançamentos que não ultrapassem 5 m³/dia.

Caso aja necessidade, os volumes que foram uma vez outorgados podem tornar-se intermitentes, visto que os usos excessivos durante a escassez afetem a sua disponibilidade, por outro lado, mas com a mesma finalidade, os lançamentos de efluentes que prejudicam a capacidade do corpo hídrico em se auto depurar devem ser rigorosamente controlados, respeitando as classes de enquadramento.

Determinar prazos para as vigências das outorgas ocorre em decorrência de cenários que podem ser modificados e conforme as demandas de água oferecidas, ao longo do tempo a demanda pode tornar-se incompatível com a disponibilidade, exemplo disto são os eventos climáticos de escassez hídrica.

Segundo Zorzal (2009) os órgãos regulatórios devem submeter aos usuários medidas sustentáveis para manutenção do recurso, evitando o conflito entre os interessados e dando margem para as estruturas e infraestruturas hídricas funcionem bem, suprindo demandas e adequada à Hidrologia de bacias. Nos períodos de estiagem, as garantias de acesso d'água para abastecimento humano e dessedentação de animais devem ser priorizadas, respeitando a classe d'água que o corpo hídrico pertence.

Arai (2014) define que outorga não dá ao usuário o direito de propriedade da água e sim o direito de uso, em situações de deficiência, cabe o poder outorgante suspender os usos visando o atendimento de usos prioritários.

As exigências para emissão de outorgas para o uso dos recursos hídricos muitas vezes não são padronizadas, variam conforme o perfil das várias agências reguladoras espalhadas pelo estado. Uma forma de integralizar os benefícios trazidos pela ferramenta é o estabelecimento de procedimentos no processo outorgas, ao mesmo tempo, não podem gerar vícios em situações particulares.

A Gestão de recursos hídricos é realizada sob as atividades que utilizam diretamente a água doce, alteram o curso do manancial e podem causar alterações na qualidade como: (a) derivação ou captações superficiais, vistos como meios para irrigação agrícola; (b) captações subterrâneas; (c) irrigação; (d) modificação do regime hídrico dos mananciais com obras hidráulicas; (e) canalização de rio; (f) lançamento; (g) aproveitamento energético; (h) serviços de limpeza, proteção de margens, desassoreamento; e (i) travessias. Destarte, usos serão devidamente definidos conforme a situação de cada bacia, exigências podem ser estimadas de acordo com cada prioridade local (DAEE, 2005).

3.2 LEGISLAÇÃO INERENTE À OUTORGA DO USO DOS RECURSOS HÍDRICOS

A outorga foi criada pelo Código das Águas, Decreto 24.643 de 10 de julho de 1934, nesta época não se atentava a questões de ordem qualitativa; quantitativa; usos múltiplos e; conflitos, mas focado em questões de origem econômica, principalmente de derivações para irrigação. Situação perdurou até a década de 90, com enfoque voltado para proteção ambiental, começaram a ficar mais rigorosos o controle sobre a poluição de corpos hídricos.

A Lei Federal nº 9.433 de 1997 (Brasil, 1997), institui a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e a instauração dos comitês de bacia hidrográfica e o Sistema Nacional de Recursos Hídricos (SNRH). Sendo a política e o comitê passíveis de gestão participativa e descentralizada, superando então a figura paternalista do Estado. A partir de então, a outorga passa a ser identificada como ato administrativo de concessão da matéria ambiental (FARIAS, 2008).

Por sua vez, Silva & Monteiro (2004), relatam que Constituição Federal de 1988 define os correntes domínios das águas, que ultrapassam mais de um estado, extingue o predomínio privado das águas. Já a exploração de água, sob a proteção da mesma, indica que compete a União legislar sobre as concessões de outorga, responsabilidades sob a água, sua defesa contra danos ambientais e calamidades, e, sob o fornecimento de energia sujeitos a concessão ou autorização.

Certas peculiaridades podem ser observadas no contexto histórico da criação do instrumento Outorga. Por meio da lei da Irrigação em 1979, estabeleceu-se exigências para passar atribuições para o Ministério da Irrigação, uma vez que esta única pertencia ao Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE). Assim, para as águas captadas com finalidades distintas apresentavam necessidades de direcionamentos ambos órgãos, fato somente foi corrigido após intervenção da Secretaria dos Recursos Hídricos do Meio Ambiente (SRH/MMA), após intervenção passa assim, ser o único agente outorgante de águas do domínio da União. Apenas a outorga de aproveitamento hidráulico para geração da energia elétrica continuou sendo incumbência do SRH/MMA (SILVA & MONTEIRO, 2004)

Mediante a autonomia dos estados, em São Paulo, segundo DAEE (1998), na década de 50, com intuito de criar formalizações para desenvolvimento regional por meio do uso múltiplo dos recursos hídricos levou a formalização de órgão estadual, surgiu o Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) com: “[...] atribuições de coordenar e fiscalizar a implantação dos planos de aproveitamento múltiplo dos recursos hídricos das bacias hidrográficas dos principais rios do Estado”.

Com as exigências da Lei estadual 7.663 de 1991 posteriormente regulamentada pela 1.630 de 2017, o DAEE passou a ter incumbência de elaborar instrumento legal que ampara a concessão de direitos de uso dos recursos hídricos, a outorga. As principais responsabilidades de âmbito fiscais e sancionadores.

3.3 EXIGÊNCIAS DO DAEE PARA A RENOVAÇÃO DE OUTORGA DE USOS DE RECURSOS HÍDRICOS

Segundo o artigo 34 de DAEE (2017), os atos de outorga de uso de recursos hídricos possuem prazos de: até um ano até o término das obras, nas licenças de execução; cinco anos, para as autorizações; dez anos, para as concessões e trinta anos, para as obras hidráulicas. Com o fim da vigência, cabe o outorgado apresentar para o órgão outorgante (para os usos pertencentes ao estado), cujo processo requer segundo o Requerimento de Outorga de direito de uso de recursos hídricos do DAEE (2017), o pagamento pela prestação de serviços de análise processual. E é realizado mediante ao pagamento de duas Unidades Fiscais do Estado de São Paulo (UFESP), que se trata de um índice para atualização monetária de tributos e multas.

DAEE (2017) ressalta que não é prevista a entrega de projetos mais detalhados para a renovação, no entanto, os estudos e projetos relacionados com os usos ou interferências é de responsabilidade técnica de profissional habilitado e registrado na classe, sendo correlatos devem estar à disposição do órgão outorgante no ato de fiscalização ou em qualquer outro momento quando forem solicitados.

Estudos nos moldes das exigências do DAEE para obtenção de outorga contemplam:

- a) Indicação de todos os usos objeto de regularização, sendo unificado por município ou sistema.
- b) Descrição sucinta dos sistemas de água para quais os usos pertencem, também como as informações sobre a capacidade de operação, para Estações de Tratamento de Água (ETA) como pra Estações de Tratamento de Esgoto (ETE);
- c) Descrição dos principais componentes do sistema, principalmente ao que se refere aos usos mais comuns: poços; captações superficiais; e barramentos;
- d) Identificação os mananciais ou aquíferos utilizados e corpo receptores no caso de lançamentos;
- e) Apresentação das coordenadas de localização dos usos;

- f) Descrição técnicas sustentáveis, como os sistemas de reuso de água, reciclagem de esgoto, programa de monitoramento de perdas, fluxograma de todos os usos d'água e as formas de monitoramento da qualidade da água;
- g) Apresentação dos índices de cobertura de abastecimento de água; coleta, afastamento e tratamento de efluentes;
- h) Apresentação de planta de localização em cartas topográficas oficiais em escala compatível, IBGE ou EMPLASA;
- i) Apresentação de relatório com imagens das estruturas de captação, confirmando o atendimento aos padrões sanitários exigidos pelo DAEE;
- j) No caso de requerimento de outorgas envolvendo barramentos devem ser elaborados Estudos Hidrológicos e Hidráulicos com:
 - j.a) *As built*;
 - j.b) Plantas de detalhamento da barragem;
 - j.c) Planta cadastral do barramento indicando as principais cotas;
 - j.d) Descrição da obra hidráulica;
 - j.e) Planta de localização da barragem, com todos os acessos;
 - j.f) Planta de ocupação do solo na bacia de interesse;
 - j.g) Características da Bacia para determinação da vazão e volume de enchente.
- k) Paras captações superficiais devem ser determinadas as vazões médias plurianuais, mínima de regularização em um Período de Retorno de 10 anos $Q_{7,10}$., balanço hídrico levando em conta outros usos outorgados.

A Portaria do DAEE 717 de Dezembro de 1996 e seus anexos foram revogados, em 30 de maio de 2017 deu-se lugar para Portaria nº 1630 sobre procedimentos para obtenção de outorgas e de interferências em recursos hídricos de São Paulo. Para simplificar e dar agilidade os processos de outorga de recursos hídricos, legislação exige menos dos volumes de dossiês incorporados à análise de cada solicitação, sem se tornar menos restritiva. Portaria permite ainda a implantação de sistema eletrônico para entrada e acompanhamento das emissões de outorgas.

3.4 PORTARIA DAEE DE 1630 DE MAIO DE 2017, QUANTO À RENOVAÇÃO DE OUTORGA DE DIREITO DE USO DE RECURSOS HÍDRICOS

A Portaria 1630 de 2017 minimiza a quantidade de documentos a serem entregues para protocolo do pedido de regularização, renovações e obtenções de outorga. Dispensa a entrega do Relatório de Avaliação de Eficiência (RAE), no entanto, a Portaria indica que todos os estudos, projetos relacionados com os usos de recursos hídricos ou interferências (no caso de barramentos, ou qualquer intervenção que venha alterar o curso natural das águas e o seu regime de escoamento) são necessários a documentação de Responsabilidade Técnica de Profissional habilitado referente à execução das obras, necessariamente, de empresa habilitada nos serviços e obras para interferência no curso de águas de escoamento superficial.

Toda documentação indicada não necessita por vias de fato serem entregues, a mesma tem que estar à disposição do DAEE durante o ato da fiscalização ou em qualquer outro momento após protocolo do pedido de outorga de uso de recursos hídricos. Por precaução, caso portaria seja descumprida, o DAEE atua com contramedidas como a revogação do ato de uso ou interferência outorgada, independente de pretexto e a qualquer momento.

No ato da regularização deve-se apresentar um Relatório de Caracterização da Captação (ReCap) com uma descrição sucinta das características típicas do empreendimento usuário da água, obrigatório para as indústrias e opcional para os demais usos. Situação inerente ao abastecimento público, cabe ao agente público apresentar tabela com a estimativa da demanda anual para o período da outorga solicitada, indicando a sazonalidade, se houver, contendo a demanda de volumes médios diários e vazões máximas instantâneas, por mês. Sendo facultativo (obrigatório para as indústrias) a apresentação de descritivo dos sistemas alternativos para as situações de emergência e estiagem crítica.

Juntamente com um requerimento tem-se que apresentar o ReCap (opcional), comprovante de pagamento de emolumentos e Relatório Fotográfico com a comprovação da instalação de medidores. Em certas situações, na apresentação de mais de um uso é empregado o Relatório de Caracterização Múltiplo (ReMult), optando por agrupá-los em um único relatório de caracterização.

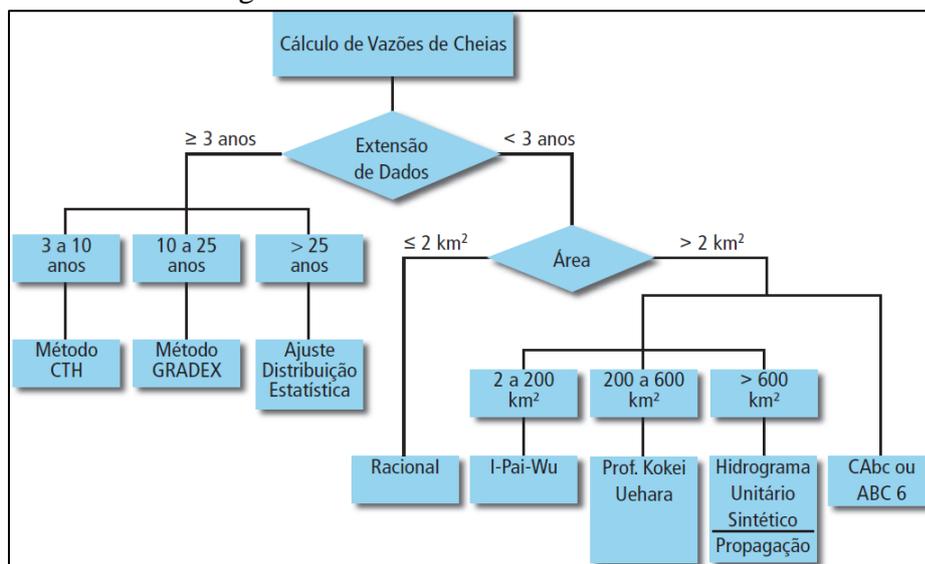
Interferências como o Barramento, analisado neste trabalho, o DAEE torna obrigatório além do pagamento das taxas de emolumentos a apresentação de uma Planta de locação geral das obras (maciço e estruturas hidráulicas) assim como do reservatório e o Cadastro Nacional de Usuários de Recursos Hídricos (CNARH) para cursos d'água federais, ou quando a Agência Nacional de Águas (ANA) delega atribuições ao DAEE, em São Paulo atribuição da

ANA contempla apenas as Bacias do Piracicaba, Capivari e Jundiá (PCJ). A solicitação cuja finalidade é obter uma formalização dos dados técnicos do barramento exige informações sobre a estrutura física da interferência, destacando: Tipo do barramento, soleira (nível) ou maciço com controle de vazão (regularização); Localização em coordenadas Geográficas em Datum SIRGAS 2000 (Graus, Minutos e Segundos) do eixo do maciço no ponto sobre o curso d'água; dimensões do maciço; áreas de segurança contra inundações (m²) elencando o nível normal e no nível maximorum (cheia de projeto); Volumes de reservação, regularizado e total armazenado; tipo do vertedor de saída e estrutura de amortecimento; Período de Retorno (TR) para cálculo da cheia de projeto e do vertedor: Capacidade hidráulica de jusante, e dados de Cota Máxima lâmina d'água vertente (m); Vazão máxima descarregada no vertedor e descarga de fundo (mínima e máxima).

3.5 PROCEDIMENTOS DE CÁLCULO PARA CONCESSÃO DE VAZÃO OUTORGADA

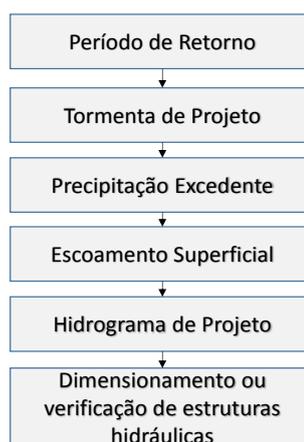
O raciocínio empregado na metodologia mais precisa para o cálculo das vazões de cheia varia conforme o tamanho da bacia de estudo ou a quantidade de anos obtidos para série histórica (Figura 1), ou seja, empregam-se metodologias conforme a disponibilidade de dados históricos ou indiretos por meio de parâmetros como a intensidade pluviométrica, área e coeficientes de escoamento superficial.

Figura 1 – Cálculo de Vazões de cheias.



Fonte: Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) (2005)

Figura 2 – Procedimentos para estudos hidrológicos



Fonte: São Paulo (1999), adaptado pelo autor.

As metodologias indiretas destinadas à pequenas e médias bacias possuem parâmetros determinados por meio de levantamentos da cobertura terrestre, correlacionadas à cobertura vegetal, que interceptam chuvas na parcela de água infiltrada no solo, e das parcelas urbanas que contribuem para impermeabilização do terreno e aumentam o escoamento superficial. Parâmetro unidimensional, da razão do volume de escoado pelo deflúvio, conhecido como coeficiente de “*Runoff*” é um coeficiente base do qual se reconhece como os usos e ocupações da terra, influentes no escoamento superficial.

3.5.1 Coeficiente de escoamento superficial (*Runoff*)

O coeficiente de *Runoff* para o modelo do método racional apresenta relação de razão de volume escoado e precipitado. O escoamento superficial pode ser estimado por meio de equações que dependam da Intensidade de Precipitação, Área e um coeficiente que varia conforme o grau de impermeabilização do solo (C) (Tabela 1) que pode ser determinado por classificação de imagens aéreas. Conforme se intensifica a urbanização maior será a impermeabilização e menor será a água infiltrada e maior será o volume de escoamento superficial.

Tabela 1 - Valores de Coeficiente de Escoamento Superficial conforme o grau de urbanização

USO DO SOLO OU GRAU DE URBANIZAÇÃO	VALORES DE C	
	mínimos	máximos
Área totalmente urbanizada	0,5	1
Área parcialmente urbanizada	0,35	0,5
Área predominantemente de plantações, pastos etc.	0,2	0,35

Fonte: DAEE (2005)

Segundo Canholi (2014), o coeficiente de escoamento superficial C em eventos cujo Período de Retorno é de 100 anos, utilizado para pequenas obras hidráulicas como

barramentos, conforme os usos e ocupação da terra urbana e rural são representados os valores na Tabela 2.

Tabela 2 – Coeficientes de escoamento superficial para Período de Recorrência de 100 anos

Uso do Solo	Coeficiente de Escoamento Superficial C para Período de Retorno = 100 anos
Sistema Viário	
Vias Pavimentadas	0,94 - 0,95
Vias não Pavimentadas	0,75 – 0,88
Áreas industriais	
Pesadas	0,88 – 0,95
Leves	0,75 – 0,88
Áreas comerciais	
Centrais	0,94 – 0,95
Periféricas	0,69 – 0,81
Áreas Residenciais	
Gramados Planos	0,13 – 0,31
Gramados íngremes	0,31 – 0,50
Condomínios c/ lotes > 300 m ²	0,31 – 0,50
Residências unifamiliares	0,56 – 0,69
Uso misto - denso	0,63 – 0,75
Prédios/Conjuntos de Apartamentos	0,75 - 0,88
Playground/Praças	0,50 – 0,63
Áreas Rurais	
Solo exposto	0,13 – 0,25
Terrenos Montanhosos	0,25 – 0,38
Telhados	0,90

Fonte Canholi (2014)

O coeficiente de *Runoff* para o método racional exclusivamente deve variar conforme Chow (1988) com a inclinação do terreno, grau de impermeabilização e intensidade. Os eventos estão relacionados à probabilidade das chuvas acontecerem

O coeficiente de *Runoff* depende de como o solo reagirá à sua capacidade de infiltrar água, diminuindo condutibilidade hidráulica à medida que o solo é saturado nos eventos de precipitação, ou diminuída pela umidade decorrente de outros eventos de chuva. O coeficiente de *runoff* deve ser representativo para que exista uma aproximação conjunta de parâmetros que afetam ciclo superficial das águas, considerando efeitos de interceptação, retenção, retenção, evaporação, infiltração e escoamento (CHOW, 1988).

3.6 PARÂMETROS HIDROLÓGICOS

Em função da quantificação de deflúvio em bacias apresenta-se um conjunto de parâmetros pertencentes aos modelos de chuva-vazão, a precipitação, sua distribuição espacial, o coeficiente de escoamento superficial, tempo de concentração, período de retorno e fatores fisiográficos considerados influentes no escoamento superficial, no qual fazem parte das características da bacia: forma, compacidade, tamanho, declive, elevação, cobertura, solo, infiltração; e dos cursos d'água: perfil do rio e comprimento dos cursos d'água.

Para Pompermeyer (2013) os parâmetros temporais compreendidos pelos modelos de chuva-vazão são as principais componentes do ciclo hidrológico que atribuem sensibilidade a modelagem e podem ser consideradas como as principais fontes de incertezas para estimativas de vazão nas bacias hidrográficas, logo, caso a escolha dos parâmetros envolva grande diversidade de elementos e complexidade de estudos. Cabe então a escolha dos parâmetros mais representativos das bacias e dos fenômenos que ocorrem sobre ela, sem perder a capacidade de resposta do modelo por supostas simplificações.

De forma integrada, as variáveis que interferem na produção e ciclo das águas em uma bacia hidrográfica devem ser calibradas a tal ponto que os referidos modelos tenham condições determinar a sua capacidade de produção de água.

3.6.1 Tempo de Concentração

Segundo Villela e Mattos (1975), tempo de concentração é o tempo em que a precipitação que cai no ponto mais afastado da bacia leva até chegar à seção de controle ou ainda, o tempo que toda bacia contribua para o ponto estudado.

Equacionamentos para o tempo de concentração tem origem empírica, na sua grande maioria são feitas observações em bacias experimentais, no entanto, deve-se observar dentro do rol de métodos de cálculo reconhecidos os modelos que melhor se adequam, ou seja, conforme localização, ocorrem diferenças no excedentes de escoamento superficial, seja devido ao grau de impermeabilização e também o desnível geométrico. Então, a escolha do método deve ser realizada para evitar desvios e acumulação de erros (UNITED STATES, 2008).

Sendo assim, diversas metodologias abarcam o tempo de contribuição de uma toda bacia na seção de estudo, dentre os disponíveis, segundo Vergutz (2016) é conveniente citar

métodos que foram estabelecidos para bacias rurais, urbanas ou por fórmulas de composição, que retornem resultados bem constituídos conforme características físicas de cada uma parte, como o: modelo cinemático, equação de Kirpich; Método Califórnia *Culverts Practice*; Método *Federal Aviation Agency*; Método da onda cinemática; Fórmula do *Soil Conservation Service* – SCS e Método *Cinemático do Soil Conservation Service* – SCS.

Franco (2004) destaca outras fórmulas que possuem um referencial científico voltado para observação de bacias experimentais cujo tempo de concentração pode ser determinado a partir de características fisiográficas da bacia, em seu estudo trabalhou no dimensionamento de bacias de retenção de águas pluviais, baseada no método racional, contemplou os métodos para os tempos de concentração elencados por Vergutz (2016) e indicou as metodologias de Dooge, Bransby-Williams, Johnstone e Tsuchiya.

3.6.1.1 Método cinemático

O método cinemático consiste em avaliar as diversas superfícies em que a água superficial percorre, somando trechos com escoamento superficial no mesmo regime de escoamento, determinando a velocidade para cada um deles, ao longo do percurso dos corpos hídricos suas características podem ser diferentes, tais como, rugosidade e declividade resultando na mudança de velocidade do regime de escoamento. Para determinar a velocidade final para superfícies, considera-se o tempo de percurso que compõem o caminho percorrido ao longo do trecho principal, conforme equação 1:

$$tc = \frac{1}{60} \times \sum \frac{l_i}{v_i} \quad (1)$$

onde:

tc = tempo de concentração, em minutos;

l_i = comprimento de cada trecho homogêneo, em metros;

v_i = velocidade de escoamento no trecho "i" em m/s" a velocidade de escoamento pode ser determinada usando a equação 2:

$$V = k \times S^{0,5} \quad (2)$$

Sendo:

V a velocidade em m/s;

S a declividade em m/m; e

k o coeficiente conforme Tabela 3.

Tabela 3 – coeficiente de rugosidade conforme método cinemático

Uso da terra/regime de escoamento	Rugosidade n de Manning	Raio Hidráulico R (m)	Valor de k
Floresta			
Com vegetação rasteira densa	0,8	0,076	0,22
Com pouca vegetação rasteira	0,4	0,067	0,41
Com bastante vegetação rasteira	0,2	0,061	0,77
Gramma			
Gramma Bermuda	0,41	0,046	0,31
Densa	0,24	0,037	0,46
Curta	0,15	0,031	0,65
Pastagem de grama curta	0,025	0,012	2,12
Terra cultivada convencional			
Com resíduo	0,19	0,018	0,37
Sem resíduo	0,09	0,015	0,68
Agricultura			
Culturas em carreiras retilíneas	0,04	0,037	2,76
Culturas em contornos ou em faixas de diferentes plantações.	0,05	0,018	1,39
Terra de cultura não utilizada (rodízio)	0,045	0,015	1,37
Pastagens	0,13	0,012	0,41
Sedimentos aluvionais	0,017	0,012	3,12
Canal gramado para passagem da água	0,095	0,305	4,77
Região montanhosa pequena	0,04	0,153	7,14
Área pavimentada com escoamento superficial (opção A)	0,011	0,018	6,31
Área pavimentada com escoamento superficial (opção B)	0,025	0,061	6,20
Canaleta pavimentada	0,011	0,061	14,09

Fonte: Vergultz (2016)

3.6.1.2 Fórmula de Kirpich

A fórmula de Kirpich (eq. 3) de 1940, da qual derivou a fórmula do tempo de concentração do CTH, explicado mais a frente, possui aplicação para algumas regiões dos Estados Unidos, com precisão adequada de bacias de até 0,5 km² e com declividade de 3 a 10%, varia conforme a sua regionalidade.

$$t_c = 3,989 \times L^{0,77} \times S^{-0,385} \quad (3)$$

t_c = tempo de concentração em minutos;

L = comprimento do talvegue em km;

S = declividade do talvegue em m/m.

Portanto, é indicada a fórmula de Kirpich para pequenas bacias na área rural em áreas de drenagem inferiores à 80 ha.

3.6.1.3 *Califórnia Culverts Practice*

O Departamento de Estradas e Rodagem da Califórnia, (1942), seguindo a linha de trabalho de CTH apresentou a mesma fórmula de Kirpich, substituindo S por L/H, considerando as mesmas limitações citadas anteriormente, como representada na equação 4:

$$t_c = 57 \times \left(\frac{L^3}{H}\right)^{0,385} \quad (4)$$

t_c = tempo de concentração em minutos;

L = comprimento do talvegue em km;

H = desnível total do talvegue em metros.

No Brasil, o DER (s.d) para bacias superiores a 1 Km² (eq. 5):

$$t_c = 85,2 \times \left(\frac{L^3}{H}\right)^{0,385} \quad (5)$$

3.6.1.4 *Federal Aviation Agency*

A equação 6 foi desenvolvida para drenagem de aeroportos em 1970 e é válida para escoamento em superfícies de áreas pequenas.

$$t_c = 22,73 \times (1,1 - C) \times L^{0,5} \times S^{0,385} \quad (6)$$

t_c = tempo de concentração em minutos;

L = comprimento do talvegue em km;

S = declividade do talvegue em m/m;

C = coeficiente de escoamento superficial do método racional para período de retorno de 5 a 10 anos.

3.6.1.5 Método da onda Cinemática

Este método baseia-se na teoria da onda cinemática considerando a superfície da bacia hidrográfica como canal de grandes larguras e comprimentos, da ordem de 15 à 30 metros. Parte das hipóteses de escoamento turbulento e chuva de intensidade constante e é adequada para bacias muito pequenas de tal forma que o escoamento de superfícies seja predominante como demonstrada a seguir na equação 7:

$$t_c = 6,92 \times n^{0,6} \times L^{0,6} \times S^{-0,3} \times i^{-0,40} \quad (7)$$

t_c = tempo de concentração em minutos;

L = comprimento do talvegue em km;

S = declividade média do talvegue em m/m;

i = intensidade da chuva em mm/h;

n = coeficiente de rugosidade ou de Manning em $m^{1/6}$ (Quadro 1) .

Quadro 1 – Coeficiente de rugosidade de Manning

Cobertura da bacia	Coeficiente "n"
Asfalto suave	0,012
Asfalto ou concreto	0,014
Argila compactada	0,030
Pouca vegetação	0,020
Vegetação densa	0,350
Vegetação densa e floresta	0,400

Fonte: Tucci (1995)

3.6.1.6 Fórmula do *Soil Conservation Service* – SCS

Apresentada em 1975, foi deduzida para bacias rurais com áreas de drenagem de até 8 km² é dada pela seguinte equação 8:

$$t_c = 342 \times L^{0,8} [(1000/CN) - 9]^{0,7} \times S^{-0,5} \quad (8)$$

t_c = tempo de concentração em minutos;

L = comprimento do talvegue em km;

S = declividade média do talvegue em m/m;

CN = número da curva, pelo método do SCS.

3.6.1.7 Método Cinemático do *Soil Conservation Service* – SCS

Determina o tempo de concentração somando tempos de dos diversos trechos da superfície analisada. Este método foi apresentado em 1975, de acordo com a equação 9:

$$tc = \frac{1000}{60} \times \sum \frac{l}{v} \quad (9)$$

tc = tempo de concentração em minutos;

L = comprimento do talvegue;

v = velocidade de escoamento em m/s, conforme Tabela 4

Tabela 4 – Velocidade de escoamento conforme declividade do talvegue

Descrição do escoamento	Declividade 0 a 3%	Declividade 4 a 7%	Declividade 8 a 11%	Declividade > 12%
Em superfície				
Florestas	0 a 0,5	0,5 a 0,8	0,8 a 1,0	acima de 1,0
Pastos	0 a 0,8	0,8 a 1,1	1,1 a 1,3	acima de 1,3
áreas cultivadas	0 a 0,9	0,9 a 1,4	1,4 a 1,7	acima de 1,7
Pavimentos	0 a 2,6	2,6 a 4,0	4,0 a 5,2	acima de 5,2
Em canais				
mal definidos	0-0,6	0,6 a 1,2	1,2 a 2,1	-----
bem definidos	Calcular pela fórmula de Manning			

Fonte: Vergultz (2016)

3.6.1.8 Método Centro Tecnológico em Hidráulica

Tomaz (2010) define que o tempo de concentração da bacia hidrográfica de contribuição estimado para o cálculo das chuvas de projeto, tem origem na expressão de Kirpich (1940), adaptada para condições regionais, sendo que variáveis foram inseridas conforme sugestão da Fundação Centro Tecnológico em Hidráulica (CTH), sendo assim, o tempo de concentração é dada por (10):

$$tc = 57 \times \left(\frac{L^2}{S} \right)^{0,385} \quad (10)$$

onde:

tc= tempo de concentração, em minutos;

L = comprimento do talvegue do curso d'água, em km; e

S = declividade equivalente, ou média harmônica dos segmentos do talvegue.

3.6.1.9 Fórmula de Dooge

Foi proposta por Dooge (1956), através da observação do comportamento de dez bacias rurais em bacias médias à grandes de 140 até 930 Km² (eq. 11) :

$$t_c = 21,88 \times A^{0,41} \times S^{-0,17} \quad (11)$$

Onde:

t_c = tempo de concentração, em min;

S = declividade do talvegue, em m/m;

A = área da bacia, em km².

3.6.1.10 Fórmula de *Bransby Willians*

BRANSBY-WILLIANS (1922) propõem fórmula para o tempo de concentração (eq. 12):

$$t_c = 14,6 \times L \times A^{-0,1} \times S^{-0,2} \quad (12)$$

Onde:

t_c = tempo de concentração;

L = comprimento do talvegue;

A = área da bacia;

S = declividade média do talvegue

3.6.1.11 Fórmula de *Johnstone*

Da mesma forma que Dooge (1956), Johnstone observa bacias de 65 até 4200 km², na Escócia e determina (eq. 13):

$$t_c = 20,17 \times \left(\frac{L}{\sqrt{S}} \right)^{0,5} \quad (13)$$

onde:

t_c = tempo de concentração, em min;

S = declividade do talvegue, em m/m;

L = comprimento do talvegue, em km.

3.6.1.12 Fórmula de *Tsuchiya*

Tsuchya (1978) em estudos para bacias de detenção determinou o tempo de concentração através de 235 bacias com áreas até 20 ha, diferenciando áreas urbanizadas das rurais (equações 14 e 15):

$t_c = 0,83 \times \frac{L}{S^{0,6}}$ (14) para bacias rurais e $t_c = 0,36 \times \frac{L}{S^{0,5}}$ (15) para bacias urbanizadas

onde:

t_c = tempo de concentração, em min;

S = declividade do talvegue, em m/m;

L = comprimento do talvegue, em km;

3.6.2 Média harmônica dos segmentos do talvegue.

A declividade representada pela razão entre a altura e o comprimento muitas vezes não são os valores mais coerentes para o cálculo do tempo de concentração, um bom exemplo são as bacias com grandes desníveis, fortemente variáveis e mal drenadas (VILELLA e MATTOS, 1975).

Conforme método designado Wu (1961), desníveis do talvegue podem ser extraídos da leitura das cotas das curvas de nível, assim como a distância entre cada uma e soma acumulada. Desta forma, a inclinação para o cálculo da vazão de projeto é mais efetiva do que a simples razão entre o desnível geométrico e projeção horizontal do talvegue de rio, a Média Harmônica, proveniente da equação 10 é dada pela equação 16:

$$S = \left[\frac{\sum L}{\frac{L_1}{\sqrt{J_1}} + \frac{L_2}{\sqrt{J_2}} + \frac{L_3}{\sqrt{J_3}} + \dots + \frac{L_{n1}}{\sqrt{J_{n1}}}} \right]^2 \quad (16)$$

onde:

S= declividade equivalente.

$\sum L$ = comprimento do talvegue do curso d'água, em km;

L_n = comprimento do talvegue do curso d'água por segmento, em km; e

J_n = declividade por segmento, obtida por meio das projeções horizontais sobre o talvegue principal das curvas de nível por meio das cartas planialtimétricas.

3.6.3 Período de Retorno

Segundo Vilella e Matos (1975), Período de Retorno é o tempo esperado para que um determinado evento hidrológico seja superado ou igualado. Garcez (1976) atenta que Período de Retorno é determinado conforme o tipo de obra hidráulica a ser construída, e é dado como o inverso da probabilidade da ocorrência destes fenômenos hidrológicos.

Sendo que as equações utilizadas para a chuva de projeto relacionam intensidade, duração da precipitação e tempo de recorrência das precipitações intensas.

Para a simulação das vazões de cheia para o período de retorno de 100 anos, conforme estabelece o DAEE (2005), valor é utilizado para o dimensionamento de obras hidráulicas de retenção, como os barramentos (Tabela 5). Para Tomaz (2010) é representativo os valores do Período de Retorno que satisfaçam os maiores níveis de segurança. O DAEE (2005) recomenda os valores mínimos de Período de Retorno (TR). Em barramentos, objeto de estudo deste trabalho, o Período de Retorno é um parâmetro que varia conforme a altura do barramento.

Tabela 5– Valores mínimos para o Período de retorno

OBRA	SEÇÃO GEOMÉTRICA		TR (anos)	
			Área Urbana	Área Rural
Canalização	A céu aberto	Trapezoidal	50	(a)
		Retangular	100	
	Contorno fechado		100	
Travessias: pontes, bueiros e estruturas afins	Qualquer		100	100 (b)
Borda livre (f) Canais a céu aberto: $f \geq 10\%$ da lâmina líquida de cheia (HTR), com $f \geq 0,4$ m. Canais em contorno fechado: $f \geq 0,2$ HTR.				
OBRA	Dimensões - h e L (d) (m)		TR (anos)	
Barramento (c)	$h \leq 5$ e $L \leq 200$		100	
	$5 < h \leq 15$ e $L \leq 500$		1000	
	$h > 15$ e/ou $L > 500$		10.000 ou PMP (e)	
Borda livre ² (f) – desnível entre a crista e o nível máximo maximorum: $f \geq 0,5$ m				

(a) Análise caso a caso - TRs menores. (b) Para rodovias de menor importância e obras de menor porte e risco poderão ser utilizados TRs menores que 100 anos ($TR \geq 25$ anos), com análise caso a caso. (c) Conforme o tipo de ocupação a jusante de um barramento, pode haver exigências de períodos de retorno maiores que os indicados, para redução do risco de acidentes. (d) h = altura do maciço medida a partir do talvegue; L = comprimento do maciço. (e) PMP : Precipitação Máxima Provável.

Fonte: DAEE (2005)

DAEE (2017) estabelece que a determinação do Período de Retorno deve estar associada à vazão máxima da bacia de contribuição e devem levar em consideração a situação de ocupação mais atual que contribui para o ponto estudado, os parâmetros mínimos a serem seguidos define que o Período de Retorno deve atender condições de localização, seja ela rural, urbana, expansão urbana.

3.6.4 Chuva de Projeto

Segundo Canholi (2014), o parâmetro mais importante para ser considerado no dimensionamento e verificação de canalizações é o deflúvio máximo associado à sua precipitação crítica com estabelecimento de um certo risco, assegurando-as à precipitações menores. Entretanto, o parâmetro sozinho não atende por completo a complexidade dos cálculos para verificação de obras hidráulicas de reservação como as barragens que requerem além da precipitação, seu hietograma de chuvas, volume de deflúvio e hidrograma unitário.

Conforme dito, em DAEE (2005) dados históricos de precipitação nem sempre estão completamente disponíveis para projeto de micro e macrodrenagem, para contornar situação, tais dados devem ser utilizados de forma condizente com os parâmetros das bacias estudadas ou conforme proximidade da mesma.

Segundo Martinez Junior et al (2016) as relações entre intensidade, duração e frequência das precipitações intensas, podem ser deduzidas a partir das observações de chuvas em postos pluviométricos espalhados em todo Estado de São Paulo, em tempo em que seja possível considerar as frequências como probabilidades.

Para determinar o Hietograma de macrodrenagem podem ser calculados através de diversos métodos como o indica Canholi (2014) Método dos Blocos Alternados, Método de Huff, Método Chicago e Método Yen e Chow (triangular).

O Método dos Blocos Alternados consiste em determinar as intensidades médias de precipitação compreendidos em intervalos de tempo até a duração total de precipitação. Sendo as colunas de precipitação inseridas aleatoriamente servem de base para o cálculo dos volumes de precipitação acumulada. Apesar da colocação de blocos ser alternada, regras básicas são definidas, os incrementos entre um valor acumulado e outro são rearranjados de

forma que o maior valor se localize entre um terço e o centro da duração total de chuva e os demais em ordem decrescente, tanto à direita quanto à esquerda do maior bloco.

O Método de Chicago utiliza as curvas idf (intensidade-duração-frequência) do local e distribui temporalmente a precipitação com base em um hietograma cujo pico é calculado conforme equação de intensidade de chuva (eq. 17):

$$i = \frac{a}{(t_d+c)^b} \quad (17)$$

Sendo:

i = intensidade da chuva (mm/h);

t_d = duração da chuva (min); e

a , b , c = coeficientes obtidos por análise de regressão.

Ao longo do tempo a intensidade de precipitação sofre variações antes e depois do pico de intensidade da chuva, que pode sofrer interferência de um índice de avanço, calculado pela relação entre o tempo de pico e a duração total da precipitação. Método idealizado nos EUA através da análise de diversas regiões do país indicou que precipitação começa a cair em média à 37,5% da duração total da chuva.

O método Yen & Chow baseia-se numa análise estatística dos momentos que descrevem a geometria do hietograma, através da observação da precipitação em diversas regiões dos EUA, e simplifadamente a altura é dada pela equação 18:

$$i = \frac{2p}{t_d} \quad (18)$$

Sendo:

i = intensidade da chuva (mm/min);

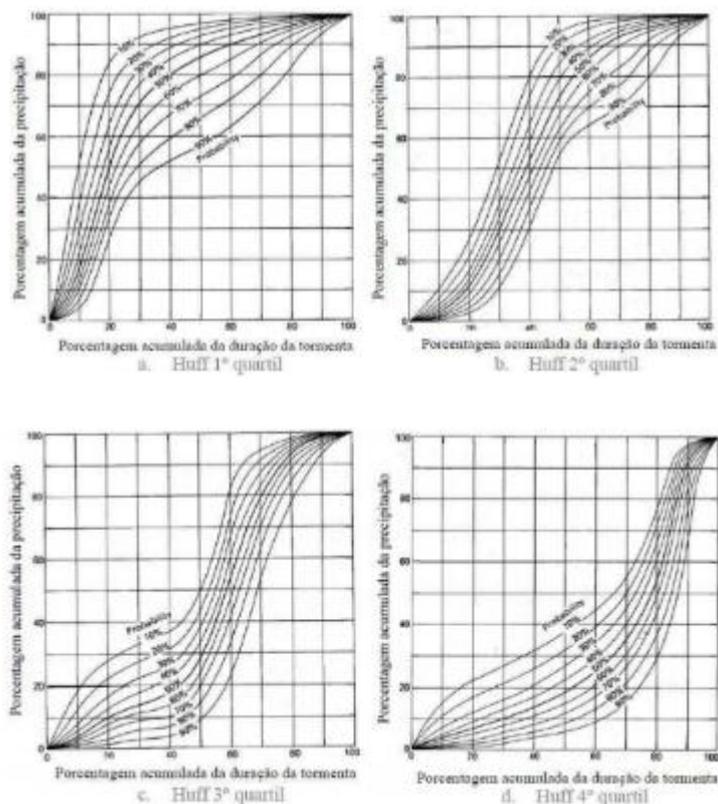
t_d = duração da chuva (min); e

$2p$ = total da precipitação

O método de Huff, após análise decenal de uma rede de postos pluviográficos nos EUA as precipitações foram classificadas em quatro grupos (quartis) (Figura 3 a, b, c e d) de

acordo com a duração de cada uma. Assim, como ocorre na maioria nas tormentas de curta duração, consideradas as mais importantes para os sistemas de drenagem urbana, nos EUA os projetos de drenagem foram considerados conforme o 1º intervalo, constatada a probabilidade de 50% de ocorrência.

Figura 3 – Distribuição de Huff conforme a separação em quartis



Fonte: Vergutz (2016)

Nas chuvas inferiores a 12 horas, a escolha ocorre entre o 1 e 2 quartil, de acordo com o volume de precipitação excedente que varia conforme os parâmetros de abstração inicial do terreno. Para as chuvas de 12 até 24 horas, a precipitação é melhor representada pelo 3 quartil e acima de 24 horas no quarto quartil. Caso o máximo ocorra em dois ou mais intervalos, esse evento vai pertencer ao quartil onde primeiro se verifica o máximo de precipitação (CANHOLI, 2014).

Segundo Martinez Junior et al (2016) o as equações elaboradas através de postos pluviométricos espalhados no estado de São Paulo em 21 municípios, relacionam intensidade, duração e período de retorno das precipitações, incorporando “a expressão proposta por Ven-

Te-Chow para as análises hidrológicas, admitindo-se que as precipitações intensas atendam à distribuição estatística de Gumbel. ”

Assim, segundo Damé et al (2010) a precipitação máxima está associada a um período de retorno e pode ser obtida mediante às relações intensidade-duração-frequência (idf) de ocorrência da precipitação a partir de registros pluviográficos, no entanto, tais parâmetros representarem a média tempo de precipitação e não a que de fato ocorre, o que acaba influenciando no cálculo básico dos principais modelos de chuva-vazão.

3.7 MÉTODO RACIONAL

Segundo indica Thompson (2006), o cálculo da vazão de pequenas bacias com baixo nível de complexidade pode seguir o método racional, técnica indireta, introduzida por Kuickling no final do século XX, visava atender à muitas ideologias empíricas para o cálculo de vazão de cheia. Método recebeu várias críticas pela sua simplificação e limitações, por conseguinte sofreu modificações e adaptações conforme se verifica em Wu (1961).

Sendo que o método racional segue a equação 19:

$$Q_{\text{racional}} = 0,278 \times C \times i \times A \quad (19)$$

onde:

Q_{racional} = vazão de cheia para bacias pequenas, em m^3s^{-1} ;

C = coeficiente de escoamento superficial;

i = intensidade da chuva crítica, em $\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$;

A = área da bacia de drenagem, em km^2 .

3.8 MÉTODO I-PAI-WU

Métodos Sintéticos como o I-Pai-Wu (1961), utilizados pelo DAEE (2005) para estudos de vazão em uma bacia hidrográfica fazem frente às situações em que há baixa representatividade de séries históricas de eventos hidrológicos, DAEE (2005) estabelece que o método de Wu (1961) se adaptaram bem para o cálculo de vazões em bacias superiores a 2 km^2 e inferiores a 200 km^2 , com a distribuição espacial das precipitações, adequado para bacias médias

3.8.1 Coeficiente de escoamento superficial

O coeficiente de escoamento superficial, conhecido como coeficiente de *Runoff* é definido como a razão entre o volume escoado e precipitado. O coeficiente varia em função do nível de impermeabilização do solo, quanto impermeabilizado mais próximo a 1,00 é o coeficiente. (TOMAZ, 2013).

Adotando-se a nomenclatura utilizada nos estudos de I-Pai-Wu, o coeficiente de escoamento utilizado para obter parâmetros da vazão proposta por Wu (1961) pode ser calculado por (20):

$$C = \frac{2}{(1+F)} \times \frac{C_2}{C_1} \quad (20)$$

onde:

C = coeficiente de escoamento superficial;

F = fator de forma da bacia;

C₁ = coeficiente de forma;

C₂ = coeficiente volumétrico de escoamento.

3.8.2 Fator de Forma (F)

Quando a bacia possui um formato alongado, menor é a tendência de picos de cheia devido a menor probabilidade da precipitação ocorrer em toda bacia e menor a chance dos tributários contribuírem ao mesmo tempo ao rio principal. Ademais, *United States* (2002) indicaram que além do formato da bacia, correlaciona-se a atenuação do deflúvio com: a área, quanto menor mais baixa é a contribuição da bacia; declividade acentuada implica em picos de vazão mais acentuados; o coeficiente de rugosidade da superfície de escoamento, diretamente proporcional à resistência do escoamento superficial; presença de reservatórios de retenção e densidade de drenagem (menor número de afluentes que contribuam para seção de controle).

Assim, o Fator de Forma pode ser calculado pela equação 21:

$$F = \frac{L}{\left(2 \times \sqrt{\frac{A}{\pi}}\right)} \quad (21)$$

onde:

L = comprimento do talvegue, em km; e

A = área da bacia de drenagem, em km².

Onde Coeficiente de Forma (C₁) (eq. 22);

$$C_1 = \frac{4}{(2+F)} \quad (22)$$

sendo:

F = fator de forma da equação 21.

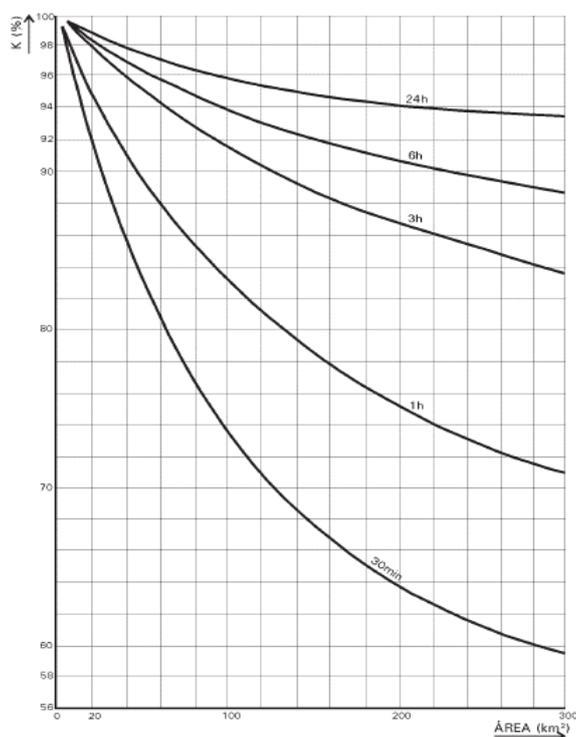
3.8.3 Coeficiente Volumétrico de Escoamento (C₂)

Para a determinação do C₂, considera-se a ocupação da superfície do terreno em toda a área de contribuição. Nesse sentido, adota-se o coeficiente com base no grau de impermeabilização do solo em função do seu uso que é considerado baixo para zonas verdes não urbanizadas, médio para zonas residenciais com lotes amplos e alto para zonas residenciais com lotes pequenos. (SÃO PAULO, 1999).

3.8.4 Coeficiente de Distribuição Espacial da Chuva (K)

Conforme DAEE [2008] o método I-Pai-Wu considera que a distribuição das chuvas não é uniforme em toda bacia, desta forma, adota-se o Coeficiente de Distribuição Espacial de Chuvas (K). Este coeficiente é obtido na Figura 4 em função da área da bacia e tempo de concentração.

Figura 4- Coeficiente de distribuição espacial da chuva (K).



Fonte: DAEE [2008].

3.9 VAZÃO – MÉTODO I-PAI-WU

A expressão base (eq. 23) para aplicação do método advém do método racional [DAEE, 2008] para área de contribuição superior a 2 km² e inferior a 200 km², qual seja:

$$Q = 0,278 \times C \times i \times A^{0,9} \times K \quad (23)$$

onde:

Q = vazão de cheia, em m³s⁻¹;

C = coeficiente de escoamento superficial;

i = intensidade da chuva crítica, em mm.h⁻¹;

A = área da bacia de drenagem, em km²; e

K = coeficiente de distribuição espacial da chuva (figura 4).

3.10 MÉTODO *SOIL CONSERVATION SERVICE*

A vazão de projeto do modelo *Soil Conservation Service* (SCS) (1986) utiliza parâmetros hidrogeológicos e de uso e ocupação da terra para transformação de uma precipitação em vazão, parte da precipitação excedente na bacia e capacidade de infiltração conforme cobertura de solos e vegetação. Correlaciona em um Hidrograma Unitário a precipitação à capacidade de armazenamento (eq. 24) por meio de um coeficiente de deflúvio *CN*, sendo o armazenamento máximo, segundo Canholi (2014) determinado por:

$$S = \frac{25.400 - 254 \times CN}{CN} \quad (24)$$

Onde:

S = Capacidade de infiltração do solo (mm); e

CN = número de curva, quando *CN* = 100 a capacidade de infiltração é nula.

A quantificação das áreas de contribuição (bacia hidrográfica) conforme o *CN*, a rigor, pode ser realizada pela subdivisão de áreas com características diferentes varia em função do grupo hidrogeológico, de A até D (Tabela 6) e a disposição de suas áreas conforme os usos e ocupação existente. Logo, o coeficiente *CN* em uma mesma bacia varia conforme as classes de uso e ocupação, em que pode se subdividir em diversas áreas e calculada conforme equação 25.

$$CN = \frac{\sum CN_i \times A_i}{A_i} \quad (25)$$

Tabela 6 – Classificação dos grupos hidrogeológicos dos solos.

Grupo do solo	Características do solo
A	Areias e cascalhos profundos ($h > 1,50$ m), muito permeáveis, com alta taxa de infiltração, mesmo quando saturados. Teor de argila até 10%
B	Solos arenosos com poucos finos, menos profundos ($h < 1,50$ m) e permeáveis. Teor de Argila 10% - 20%
C	Solo poucos profundos com camadas subsuperficiais que impedem o fluxo descendente da água, ou solos com porcentagem elevada de argila (20%-30%)
D	Solos compostos principalmente de argilas (acima de 30%) ou solos com nível freático elevado, ou solos com camadas argilosas próximas à superfície, ou solos rasos sobre as camadas impermeáveis

Fonte: Adaptado de Canholi (2014)

Não há, em décadas, continuidade nos projetos de levantamento pedológico, os mapeamentos disponíveis foram obtidos pela EMBRAPA por meio do sistema brasileiro de classificação de solos (EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Rio de Janeiro, 2006. 286 pp.).

Os valores de *CN* variam conforme a ocupação, umidade e agrupamentos do solo, o método SCS por meio da análise de diversos usos e ocupações estabeleceu relações (Tabela 7 e 8) conforme áreas urbanas, residenciais, comerciais e industriais, tão logo possui a capacidade de determinar a conectividade entre estas áreas para o recebimento de deflúvios (CANHOLI, 2014).

Certo cuidado deve ser tomado com a escolha correta dos parâmetros do SCS de USDA (1986), Pompermeyer (2013) lembra que o método foi estabelecido através de pesquisas em pequenas bacias rurais nos EUA, o que pode, por conseguinte induzir à incertezas e acumulação de erros.

Tabela 7 – Valores dos Números CN para áreas vegetadas.

Uso do solo	Superfície do solo	Grupo do solo			
		A	B	C	D
Solo lavrado	Com sulcos retilíneos	77	86	91	94
	Em fileiras retas	70	90	87	90
Plantações regulares	Em curvas de nível	67	77	83	87
	Terraceado em nível	64	76	84	88
	Em fileiras retas	64	76	84	88
Plantações de cereais	Em curvas 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 curvas de nível	60	72	81	84
	Terraceado em nível	57	70	78	89
	Pobre	68	79	86	89
	Normais	49	69	79	94
	Boas	39	61	74	80
	Pobres, em curvas de nível	57	67	81	88

Tabela 7 – Valores dos Números CN para áreas vegetadas. (continuação)

Uso do solo	Superfície do solo	Grupo			
		A	B	C	D
Pastagens	Normais, em curvas de nível	25	59	75	83
	Boas, em curva 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 Estradas de terra	Normais	56	75	96	81
	Más	72	85	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).

Tabela 8 – Valores dos Números CN para áreas urbanas e periurbanas

Utilização ou cobertura do solo	Grupo do 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 em boas condições	39	61	74	80		
Prado em boas condições	30	58	71	78		
Bosques ou zonas com cobertura ruim	45	66	77	83		
Florestas: cobertura boa	25	55	70	77		
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		
Lotes de (m ²)	Zonas residenciais % 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	61	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		79	85	89	91	
Terra		72	82	87	89	

Fonte: Tucci (1993).

Conforme Tomaz (2013), o método SCS é simplificado por meio da precipitação unitária é possível determinar graficamente a vazão com diferentes durações de chuva, transformando-o em um Hidrograma composto, seguindo princípios da sobreposição e proporcionalidade dos Hidrogramas Sintéticos.

Para Canholi (2014) a transformação da precipitação em vazão pode ser determinada por meio de taxas de armazenamento no terreno, geralmente subdividas em interceptação da vegetação, retenção em depressões e infiltração subsuperficial e evaporação (eq. 26), seja $I_a = 0,2 S$:

$$Pe = \frac{(P-I_a)^2}{P-I_a+S} \rightarrow Pe = \frac{(P-0,2 \times S)^2}{P+0,8 \times S} \quad (26)$$

$P > 0,2S$, caso $P \leq 0,2S$, $Pe_f = 0$;

Pe = Precipitação efetiva (mm);

I_a = Abstração inicial (0,2S) (mm)

P = Precipitação (mm);

S = Capacidade de infiltração do solo (mm).

A chuva excedente também é representada por um Hietograma de chuvas corresponde à parcela que não infiltra no solo, podendo ser calculada de forma analítica através do cálculo de infiltração (equação 26), ao mesmo tempo, por integração ao hidrograma de escoamento superficial estimam-se as vazões de projeto

O SCS apresentou uma proposta para de Hidrograma Unitário conforme precipitação para 1 mm de chuva com a obtenção de parâmetros como a vazão de pico e o tempo de ascensão ou tempo de ocorrência desta vazão de pico, portanto SCS de USDA (1986) determina (27):

$$t_p = 0,5tr + 0,6tc \quad (27)$$

onde:

t_p = tempo de pico (h);

t_r = tempo de duração da chuva (h); e

t_c = tempo de concentração (h).

O método SCS de USDA (1986) recomenda a adoção de 20 a 25% do tempo de concentração para o tempo de duração da chuva, com tempo de base t_b (eq 28), em que o tempo de recessão é 67% superior ao tempo de t_p observado em bacias experimentais:

$$t_b = 2,67 \times t_p \quad (28)$$

Conforme área correspondente a um triângulo (Figura 5), a vazão de pico correlaciona-se com uma razão proporcional a uma precipitação P (eq. 29):

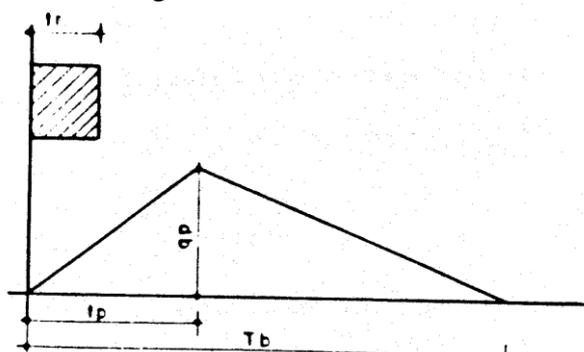
$$q_p = \frac{2 \times P \times A}{t_b} \quad (29)$$

onde,

P = precipitação efetiva (= 1mm)

A = área da bacia (Km^2).

Figura 5– Hidrograma Unitário conforme SCS



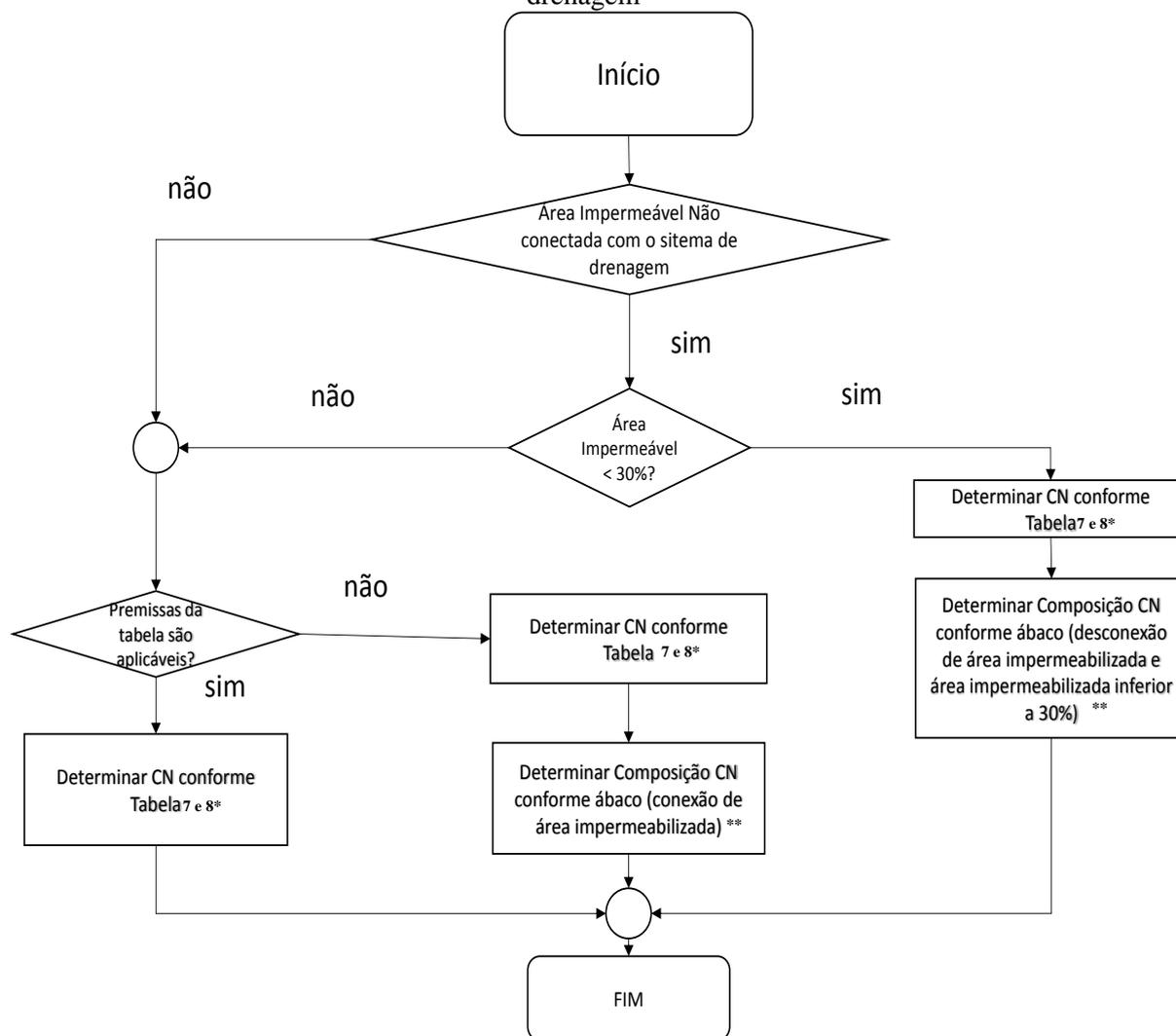
FONTE: STUART (2006)

O método SCS de USDA (1986) apresenta a rotina de cálculo (Figura 6) para áreas conforme o grau de impermeabilização e a ligação das áreas impermeabilizadas às redes de drenagem. Se as classes impermeabilizadas forem inferiores a 30% do total da bacia, ao mesmo tempo, se for demonstrado a conexão destas áreas com a rede de macrodrenagem, determina-se o coeficiente CN conforme composição de áreas classificadas e definidas por meio dos usos e agrupamentos hidrogeológicos definidos nas Tabela 7 e 8, caso contrário segue-se o dimensionamento conforme correções de ábacos (Figuras 7 e 8).

O caminho menos desfavorável indica que o *Curve Number* (CN) para os solos das bacias podem ser calculados por (eq. 30):

$$C_n = \frac{C_{n1} \times A_1 + C_{n2} \times A_2 + C_{n3} \times A_3 + C_{n4} \times A_4 + \dots + C_{ni} \times A_{ni}}{A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + \dots + A_i} \quad (30)$$

Figura 6– Método de cálculo do CN conforme área impermeabilizada e conexão com a rede de drenagem



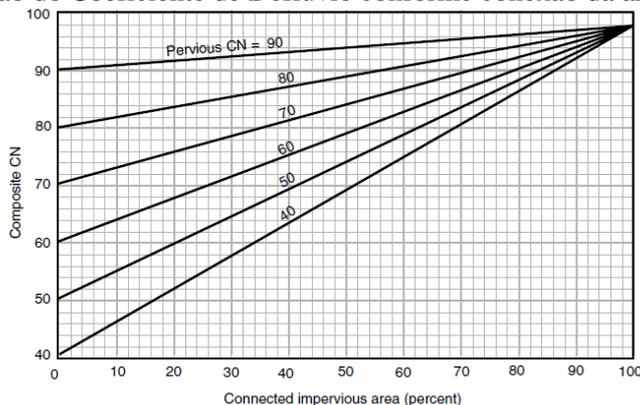
Fonte: USDA (1986), adaptado pelo autor.

*1 condição de escoamento médio possui Subtração Inicial = 0,2S.

*2 A área percentual média impermeável mostrada foi utilizada para desenvolver os CN compostos. Outros pressupostos são os seguintes: as áreas impermeáveis estão diretamente conectadas ao sistema de drenagem, as áreas impermeáveis têm um CN de 98, e as áreas permeáveis são consideradas equivalentes ao espaço aberto com boas condições hidrológicas. O CN para outras combinações de condições pode ser calculado usando ábacos que levam em consideração as áreas que estão conectadas a um sistema de drenagem, que não atendem as condições iniciais ou para desconexão de área impermeável inferiores a 30%.

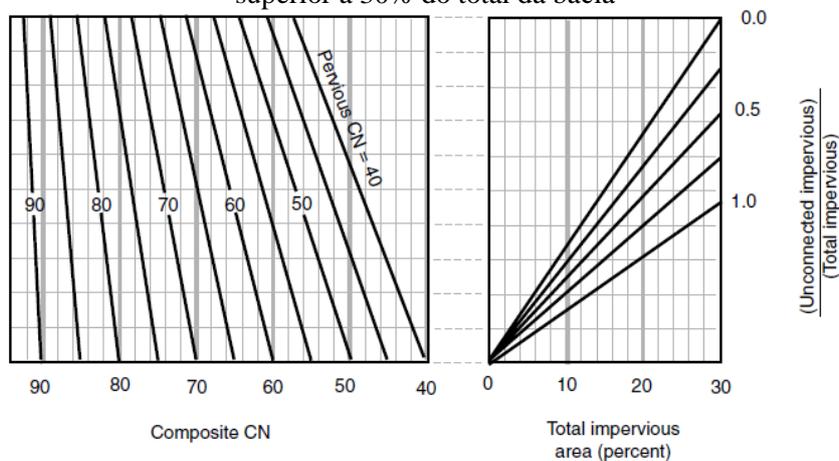
** Figuras 7 e 8

Figura 7– Composição do Coeficiente de Deflúvio conforme conexão da área impermeabilizada



Fonte: USDA (1986)

Figura 8– Composição do Coeficiente de Deflúvio conforme (des)conexão da área impermeabilizada superior a 30% do total da bacia



Fonte: USDA (1986)

Devido às incertezas para obtenção de valores de parâmetros que alimentam os modelos de chuva-vazão que variam em função da precipitação, abstração inicial, tempo de contribuição, e, uso e ocupação da terra deve ser compreendido o comportamento de cada parâmetro.

Mediante a uma enormidade de fórmulas disponíveis pela comunidade científica surgem dúvidas para se escolher qual melhor método para determinar o tempo de concentração em função das características da bacia (tamanho, declividade, área). Imprecisão está atribuída também pela falta de um constante levantamento e usos das áreas, devido à rápida mudança da cobertura terrestre, principalmente nas zonas urbanas, falta integralidade e complementariedade entre uma fonte de dados que atenda as necessidades conforme a velocidade da modificação da superfície, assim buscam-se informações nos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) observando sua correlação aos parâmetros dos diversos modelos de chuva-vazão.

Une-se à interpretação de imagens aéreas das feições que compõem a superfície terrestre o conhecimento do analista sobre o comportamento hidrológico das bacias, que devem ser muito bem compreendidas, respostas rápidas devem trazer parâmetros para a correta tomada de decisão, seja na ocorrência de períodos de escassez ou de cheias. Aumento do volume de escoamento superficial segundo Villela e Matos (1975) ocorrem em função da impermeabilização do solo e a retirada a cobertura vegetal, alterando-se o ciclo natural das águas, diminuindo índices de infiltração de água no solo e recarga de lençol freático.

A impermeabilização do solo possui certas características que devem ser identificadas e classificadas por ferramentas de sensoriamento remoto. Quanto ao modelo de chuva-vazão do SCS de USDA (1986), Pompermeyer (2013) esclarece que o SCS de USDA (1986) possui classes de parâmetros com boa correlação, obtidas por técnicas de sensoriamento remoto.

A disponibilidade de dados de SIG tem evoluído e melhorado com o tempo dando maior precisão para o levantamento dos usos das áreas de contribuição, aperfeiçoando a determinação de CN do modelo de chuva-vazão SCS de USDA (1986), o SIG segundo Pompermeyer (2013) vem sendo utilizado com grande frequência por se trabalhar com dados especializados para modelagem hidrológica.

3.11 USO E OCUPAÇÃO DA TERRA

O planejamento urbano é cercado por conflitos de uso da terra, para tanto, órgãos públicos seguem exigências quanto ao planejamento espacial e proteção ambiental. Em meio à panaceia de procedimentos que visam a manutenção da infraestrutura das unidades de gestão territorial, as fontes de informação devem ser providas de dados atualizados para a cobertura terrestre, retratada em resolução compatível com as necessidades. (BLASCHKE, GLÄSSER e LANG, 2011).

Frente à rápida mudança da cobertura terrestre, principalmente nas zonas urbanas falta no momento à integralidade e complementariedade entre os dados de Sensoriamento Remoto (SR) e Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Jensen (2011) aponta que o casamento entre SIG e SR é necessário para análise da ecologia de paisagem, uma vez que o SR apenas faz a leitura de pixel alvo e sem o SIG não se consegue estabelecer padrões de forma, dominância, configuração e conectividade de elementos que alimentem diagnósticos do meio.

Com o avanço da tecnologia de resoluções nos sensores espectrais torna-se inevitável a necessidade de atualizar os dados de SIG a partir dos dados de Sensoriamento Remoto, no entanto, nem sempre o conhecimento adquirido pelos intérpretes ocorre em tempo apto para sua aplicação, as imagens aéreas vêm ganhando com o constante aprimoramento dos sensores

orbitais multiespectrais. Integração somente existirá mediante comprometimento e atualização frequente de dados por parte dos intérpretes e usuários, conforme reconhecimento das feições terrestres, em virtude dos avanços proporcionados por melhorias de escala temporal e espacial (SCHIEWE e TUFTE, 2011).

Janoth et al (2011) esclarece que desconhecimento ocorre por complexidade na leitura de imagens que apresentem grande heterogeneidade ou uma grande variedade de imagens espectralmente diferentes, por outro lado, vantagens são obtidas com a segmentação e classificação detalhadas de objetos que compõem a superfície.

Segundo Jensen (2011) as coletas de dados da superfície sofrem influência das mudanças biofísicas das paisagens que influenciam no retro espalhamento de ondas, situação ocorre na presença de água que modifica a resposta espectral, alterando a superfície de espalhamento de objetos e em espécies que modificam espectrorradiometria conforme umidade subsuperficial.

Sem contar que interpretação dos dados de sensoriamento remoto são decorrentes de imagens em que é altamente complexo identificar os padrões graduais florestais e urbanos, do reconhecimento de espécies e feições em escala que pouco se conhece as influências que podem se sofrer da rugosidade da superfície dos objetos em microescala.

O levantamento da cobertura terrestre é realizado muitas vezes por meio de fotografias capturadas à graus de inclinação suficientes para que o sistema visual humano consiga distinguir o horizonte captado. Parte da imprecisão se justifica pela falta de reconhecimento visual em interpretar uma fotografia aérea obtida totalmente na vertical, tornou-se habitual o reconhecimento dos objetos lateralmente, perfil que a visão humana comumente enxerga a maioria das coisas.

As fontes de dados provenientes de fotografias oblíquas nem sempre são a melhor pedida para o levantamentos quantitativos, a falta de reconhecimento em perspectiva real de objetos e com elevação propícias para criar distorções à visada humana, para compensar estes desvios ocasionados pelo relevo, fotografias aéreas passam por um sistema de ortorretificação cujo produto, a ortofoto possui alto grau de precisão planimétrica determinação de distâncias, ângulos e áreas, capaz de compor por meio de atributos especiais de SIG a combinação de mapas vetoriais.

O uso das fotografias corridas vem adquirindo preferência, Jensen (2011) complementa que os sensores ativos e passivos correspondentes à energia Micro-ondas podem resultar em cenas cujos sinais de retorno apresentem diferenças quando estabelecidas

em distintas disposições no terreno (em relação à orientação cardinal dos objetos), submetidas à visada ortogonais, e nestas identificam-se tanto a percepção espacial como o espaçamento regular e geométrico de edificações urbanas quanto de áreas verdes de florestas e plantações agrícolas.

A classificação das espécies vegetais exige do intérprete de dados de sensoriamento remoto o conhecimento sobre o comportamento das espécies, incluindo informações biofísicas da vegetação e as fases de crescimento das plantas (ciclos fenológicos), portanto, a captura de sinais refletidos sofre influência do período de coleta das imagens: crescimento; brota; rebrota; senescência e queda de folhas (JENSEN, 2011).

A quantidade de água na planta incorporada às necessidades fisiológicas das culturas, molhadas por irrigação ou precipitação, estrutura de dossel, refletância da camada do solo “*background*”, fechamento do dossel e adubação são características que interferem na espectroscopia e imageamento da vegetação. Desta forma, torna-se primordial a coleta de dados *in situ* para consubstanciar a espectralradiometria de vegetação, seja em áreas florestal, agrícola ou os remanescentes da área urbana (JENSEN, 2011).

As ciências voltadas para o Uso e ocupação da terra adquirem com a evolução recente dos sensores de processamento orbital de imagens, ganhos para investigação e interpretação sobre o uso da terra. Para tanto, diversas notações científicas sobre o assunto surgiram e perante a diversificada utilização destas terminologias adotadas foram padronizadas para o mapeamento e classificação do uso e ocupação da terra. Em meio à diversificada ênfase de estudos como o do IBGE (2013) trouxe parâmetros em função de uma variada fonte de contribuições, e principalmente, do modelo europeu de CORINE (Bossard, 2000) que possuem certa relação com as classes definidas no vasto território brasileiro.

Em meio às constantes modificações do cenário ambiental e a ineficiência para aplicação de regimentos, leis e normas que contribuem com a conservação do meio ambiente devem ser criados modelos para corretas classificações da cobertura terrestre, entendendo a dinâmica de modificação das paisagens, classes de uso e ocupação devem seguir certos padrões, que correspondam às características de modelos estandardizados, de leitura ou finalidades diferentes: seja de ordem institucional, de planejamento territorial para organização dos espaços da administração pública e projetos para infraestrutura urbana .

O Planejamento Municipal é elaborado pelo poder público por meio de estudos, diagnósticos técnico-científicos de cunho social econômico e administrativo. Para tanto, formulam-se planos para o desenvolvimento do município, em função de uma relação

harmônica entre os entes da sociedade civil. Ao mesmo tempo, a constante transformação do cenário urbano e a falta de uma lei ou norma que estabeleça condições para proteção do meio ambiente estimulam a formulação de planos que garantam a correta distribuição dos espaços conforme ordenamento municipal, assim, Santana de Parnaíba (2006) determinou o seu uso e ocupação da terra escala de 1:70.000 (Quadro 2).

Quadro 2 – Uso e ocupação da terra conforme classificação de Santana de Parnaíba (2006)

classe	Descrição
área urbana	baixo padrão de uso com característica de ocupação irregular ou de baixa renda; médio/alto padrão com característica de ocupação por classe média (condomínios, bairros de maior infraestrutura urbana); uso misto: área urbana que notoriamente apresenta mais de um tipo de uso
equipamento público	equipamentos urbanos de uso público como escolas, hospitais, praças, campos de futebol, entre outras práticas esportivas
solo exposto	solo nu, livre de vegetação ou quaisquer formas de uso e ocupação aparente;
chácara ou cultura agrícola	área dividida em lotes cuja ocupação se caracteriza por pequena impermeabilização (edificações) e manutenção da maior parte dos lotes com recobrimento vegetal de porte variável e descontínuo, apresentando pequenas culturas em conformações geométricas do terreno
vegetação herbácea	vegetação pioneira de recolonização ou de fundo de vale e classificação ruderal, ambientes fortemente perturbados
vegetação arbustiva	vegetação pioneira de porte arbustivo baixo a médio; florestal baixo, mato ralo, sucessão secundária para floresta depois do corte (capoeiras)
mata	vegetação secundária densa, porte florestal, estágio avançado de sucessão, além da presença de algumas espécies primárias
silvicultura	áreas com plantação controlada de espécies vegetais, eucaliptos e pinus

Fonte: Santana de Parnaíba (2006)

O zoneamento proveniente do planejamento utilizado como ferramenta gestão municipal, Jensen (2011) afirma que diagnóstico das classes territoriais são necessárias para controle das paisagens urbanas e pertinente nos processos ambientais que envolvem as alterações humanas da superfície terrestre.

A compreensão dos regimes hidrológicos superficiais, controle de águas subterrâneas seja em micro ou mesoescala, desenvolve-se atribuição com maior eficácia a partir da integração dos dados do zoneamento urbano, juntamente com a integralidade proporcionada pela análise de dados de sensoriamento remoto e informações de SIG, compreendendo correlações sobram embasamento para a tomada de decisão da gestão pública.

As áreas urbanas são constituídas por uma diversidade de materiais, dispostas de uma forma complexa, sendo o resultado da integração decisiva para atividade humana definir os sistemas de transporte, comércio, serviços, indústria, atividades agrosilvopastoris e residenciais. Indicando a necessidade da constante captura de imagens da superfície terrestre e estudos de espaços urbanos (JENSEN, 2011).

Segundo Santos e Ranieri (2013) o zoneamento ambiental tem que ser balizado por uma abordagem sinérgica entre as ciências econômicas, sociais, físicas, territoriais e urbanas para organização dos espaços. E daqueles que forem assentados deve-se prevenir contra utilizações insustentáveis de sua ocupação juntamente com a utilização de recursos naturais.

Conforme a autonomia do município, o uso e ocupação do solo, no local de estudo, em Santana de Parnaíba foi regulamentado pela Lei municipal N° 2.462, de 12 de setembro de 2003 (Santana de Parnaíba, 2003) delimitando zonas, subzonas, categorias e subcategorias de usos, a sub bacia do Ribeirão do Suru foi dividida em Zonas de Uso Residencial de Baixa Densidade (ZRBD), para tal foi permitido o uso como diz o nome residencial ou categorias compatíveis com o uso residencial.

A composição do município de Santana de Parnaíba (2006) demonstra que áreas de forte adensamento populacional formaram por Zonas de Uso Diversificado (ZUD), com zonas de atividades sócio econômicas específicas transitórias entre as zonas de uso misto e zonas residenciais. Em 2003 a região limítrofe da sub bacia com o município de Pirapora do Bom Jesus, visando a preservação de mananciais foi instituída a Zona de Proteção Especial (ZPE).

Para proteger o corpo hídrico como um todo, a gestão municipal reforça a égide ambiental sobre o município com a instituição do Território de Gestão e Proteção Ambiental do Voturuna e do manancial do Santo André (Suru) (TPVM) por meio da lei 3297, de 8 de agosto de 2013, vetando usos a expedição de diretrizes, licenças, aprovações ou autorizações que fogem do modelo residencial unifamiliar, resguardadas as atividades: científicas autorizadas; de segurança nacional; de saneamento; saúde; transporte; educação e energia. No entanto, em 2014 a Zona de Proteção Ambiental sofre uma perda com a redução de 898.328,08 m², alterados limites da TPVM em decorrência da lei 3.431 que entrou em vigor em 20 de outubro de 2014.

Em especial, as Subzonas denominadas: ZRBD (3, 5, 6) e ZUD 8. Os ZRBDs 5 e 6 possuem predominância de assentamentos residenciais, com baixa densidade de ocupação, cuja interferência humana tem baixa interferência nas taxas de infiltração do solo, possuindo finalidade de conservação da cobertura vegetal.

O uso e ocupação realizado pela Secretaria do Meio Ambiente (SMA) (2010) é resultante da associação ou combinação de diferentes elementos da paisagem, definidos em padrões espaciais específicos. A metodologia empregada consiste na setorização ou parcelamento do território em áreas com características semelhantes de sua ocupação.

O levantamento de cobertura da terra do Estado de São Paulo foi realizado com base em cenas do satélite *Landsat 5* do sensor *TM* em escala de 1:100.000, classificadas e corrigidas visualmente. As classes abrangidas são distribuídas em (Quadro 3) Corpos d'água, Cobertura Arbórea, Cobertura herbácea arbustiva, Solo exposto e Área construída.

Quadro 3 – Uso e ocupação da terra conforme classificação da Secretaria do Meio Ambiente (2010)

classe	Descrição
Corpos d'água	cursos d'água e canais (rios, riachos, canais e outros corpos d'água lineares), corpos d'água naturalmente fechados, sem movimento (lagos naturais regulados) e reservatórios artificiais (represamentos artificiais d'água construídos para irrigação, controle de enchentes, fornecimento de água e geração de energia elétrica).
Cobertura Arbórea	formação vegetal composta predominantemente por elementos arbóreos. Essa classe inclui as matas ciliares que acompanham os cursos d' água, floresta estacional semidecídua, floresta ombrófila densa e floresta ombrófila mista, além de área de cerrado, mangue e restinga, quando estas apresentam vegetação de maior porte. Incluem-se também as formações arbóreas homogêneas plantadas, como pinus, eucalipto, seringueira e citrus, entre outras culturas arbóreas em estágio avançado
Cobertura Herbácea	formação herbácea e/ou arbustiva. Nessas áreas o solo está coberto por vegetação de gramíneas ou leguminosas, cuja altura pode variar de alguns decímetros a alguns metros. Pode incluir áreas de pasto melhoradas ou cultivadas destinadas ao pastoreio. Também se encontram inseridas nesta categoria as culturas temporárias, semi-perenes e perenes. Inclui todas as terras cultivadas, caracterizadas pelo delineamento de áreas cultivadas, podendo se constituir em zonas agrícolas heterogêneas ou homogêneas. Também inclui áreas remanescentes de cerrado e restinga
Solo Exposto	áreas de intervenção antrópica que foram terraplenadas ou aradas, constituindo áreas em transição de uso ou uma fase intermediária do mesmo uso ou ainda áreas onde processos erosivos expuseram o solo
Área construída	áreas de uso intensivo, estruturadas por edificações e sistema viário, onde predominam as superfícies artificiais não-agrícolas. Estão incluídas nessa categoria áreas urbanas de uso residenciais, comerciais e de serviços, além de condomínios residenciais e ocupações esparsas, com baixa concentração de edificações como chácaras residenciais e de lazer, pequenos sítios, localizados distantes da mancha urbana principal ou ao longo de rodovias e vias de acesso

Fonte: Secretaria do Meio Ambiente (2010)

Com o mesmo objetivo, o levantamento da cobertura terrestre da EMPLASA (2006), contou com o aporte do Fundo Estadual de Recursos Hídricos (FEHIDRO) e apoio do Estado e outros municípios, assim criou-se um grupo técnico para atender as demandas do

planejamento levantados para a Bacia do Alto Tietê. Neste, contratou-se o mapeamento em meio digital para formação de um atlas, incorporada principalmente à interpretação feita no imageamento do Satélite *Ikonos* em escala de 1:25.000. O trabalho da EMPLASA (2006) resultou em uma segmentação dividida hierarquicamente em Uso Não Urbano, Urbano e Vegetação (Quadro 4).

Quadro 4- Uso e ocupação da terra conforme classificação da EMPLASA (2006)

usos	Descrição
Uso Não Urbano	Áreas homogêneas de reflorestamento, com predominância de espécies de <i>Eucaliptos</i> e <i>Pinus</i>
	Hortifrutigranjeiros, formados por culturas perenes e temporárias de: Horticultura de hortaliças e flores; Granjas para criação de aves; Piscicultura e Pesqueiros; e demais culturas de espécies frutíferas e arroz, trigo, forrageiras e cana de açúcar
	Chácaras e sítios para o lazer ou residência, estão presentes pomares, hortas, solo preparado para plantio, lagoas, bosques, quadras de esportes e piscinas
	Espelhos d'água (lagos e reservatórios artificiais)
	Solo exposto/ Movimentação de Terra, parcelas correspondentes ao solos expostos sem cobertura vegetal. Ambas foram agrupadas em uma única classe devido à semelhança na leitura espectral, no entanto, são oriundas de diferentes causas, uma pela formação de processos erosivos a outra destinada para empréstimo ou bota-fora
Vegetação	Mata, segundo a UNESCO (1973) <i>apud</i> EMPLASA (2006) esta classe agrupa “árvores de porte superior a 5 metros, cujas copas se toquem (no tipo mais denso) ou propiciem uma cobertura de pelo menos 40% (nos tipos mais abertos);
	Vegetação Secundária, sucessora, composta de espécies de porte arbustivo e arbóreo, desenvolvimento não é expressivo, cujo domínio são as áreas desmatadas
Usos Urbanos	Área urbanizada, correspondente a arruamentos ocupadas por usos residencial, comercial e de serviços, da qual pertencem as quadras parcial e completamente ocupadas
	Lotes com ocupação inferior aos 10%, coberto ou não por vegetação; condomínios de prédios construídos e em construção, garagens de ônibus e postos de gasolina

Fonte: EMPLASA (2006)

3.11.1 Classificação de Imagens

Novo (2008) indica que o processo de interpretação da cobertura terrestre é fundamental o conhecimento das assinaturas espectrais dos objetos da superfície e análise

espectral por meio de métodos experimentais e de campo. No entanto, ocorrem desvios provocados por diversidade espectral, espacial e radiométrica. Assim, o processamento digital de imagens deve se aliar à obtenção de informações seguras das faixas imageadas conforme a composição do espectro, contando também com uma correta interpretação de dados realizados por intérpretes experientes.

A vantagem adquirida pelas informações dos dados sensoriados caminha em conjunto com os benefícios trazidos pelo: desenvolvimento na obtenção da qualidade geométrica de dados brutos; discretização em pixels que ofereçam resolução espacial adequada para melhor representação dos níveis de brilho; favorecimento proveniente das formas de automatizar grandes volumes de dados como acontece na classificação supervisionada (NOVO, 2008).

Machado (2013) relata que a classificação de imagens é um procedimento para atribuição de classes para cada elemento da imagem, conforme análise de intervalos de comprimento de ondas com objetivo de gerar regiões homogêneas, por conseguinte ser classificadas por uma cor ou símbolo capazes de formar mapas de classificação e mosaicos destas áreas.

A classificação das imagens aéreas pode ser realizada de formas diferentes, duas se destacam, baseadas em *pixels* ou em objetos. Classificação por pixel utiliza-se o espectro de cores para rotulação destas unidades de pixel, enquanto a classificação por objeto, conhecido como OBIA (*Object Based Image Analysis*) ou GEOBIA, que utilizam informações baseadas em teorias de Lógica Difusa, de contexto, geometria e uma criação de regras de conjunto capazes de gerar uma hierarquia de classes.

Regiões urbanas e periurbanas possuem maior correlação à proposta de classificação por OBIA, feições pertencentes à estas paisagens possuem características e padrões bem mais definidos do que as feições formadas da cobertura vegetal. O OBIA segundo Machado (2013) não considera apenas a variação espectral da imagem, também as características de contexto em que estão inseridas e podem ser alterados pelos seus vizinhos “relativas à forma, tamanho, cor e tonalidade, textura, sombra posicionamento, associação e padrão”.

Ribeiro, Fonseca e Kux (2011) relatam que a evolução dos sensores de alta resolução espacial faz com que se enxerguem feições em escala de detalhe, no entanto, podem possuir limitações quanto ao número de bandas disponíveis em escala do espectro eletromagnético fora da faixa visível (RGB) e que afetam o processo de classificação automática de imagens. A comunidade científica nem sempre conta com as melhores imagens aéreas quanto a resolução espacial nem estarem aliadas à alta resolução espectral e ainda serem *Open Source*.

Para tentar suprir dificuldade, metodologias são empregadas, em parâmetro cujas feições possuem padrões mais dispersos podem ser classificadas. Segundo (Medeiros (2001), capítulo 7) para diferenciar diversos tipos de estrutura presentes, desde imagens voltadas para um fim medicinal, como as radiografias até as imagens da superfície terrestre que abranjam dezenas de quilômetros.

Texturas, naturais ou artificiais podem ser definidas como um conjunto de determinados padrões que podem ocorrer na natureza, apresentando um formato repetitivo, semi-repetitivas ou não repetitivas. No caso de não apresentarem boa regularidade, aplicação prática de textura se dá por medidas estatísticas, como média, variância e desvio padrão (MEDEIROS, 2001).

Parâmetros são utilizados para estabelecer regras em função da distribuição e relação dos níveis de cinza de uma imagem e também em diferenciá-los no espaço. Imagens diferentes podem possuir a distribuição similar em tons de cinza (distribuição que é reconhecida em histograma de análise de imagens) e ao mesmo passo que distribuição podem assumir posicionamentos diferentes. Para resolver correlação espacial, regras a partir de padrões e repetições, estatísticas de segunda ordem de Haralick (1979) apresentaram métodos de classificação de imagens, onde são definidas diversas caracterização pelo do cálculo de Matrizes de coocorrência (GLCM - *Gray Level Cooccurrence Matrix*). Matrizes que mostram a organização espacial da ocorrência de níveis de cinza em uma imagem, são matrizes que contam as ocorrências de níveis de cinza definidas por relação distância e direção através de pixels vizinhos, separados uma distância nas quatro direções principais 0, 45, 90 e 135 graus, a partir dos pixels de origem.

Em seu trabalho, Haralick (1979) estabeleceu métodos baseados na relação estatística de segunda ordem e determina 14 parâmetros que caracterizam as texturas, nesta seção, conforme contexto apresentado por Medeiros (2001) foram levantadas as principais, capazes de separar objetos com base na teoria de lógica difusa:

- Segundo Momento Angular (SMA) - é a medida da homogeneidade local dos níveis de cinza em uma imagem. No caso onde há baixas transições de níveis de cinza, a matriz de coocorrência torna-se responsável por entradas de alta magnitude.
- Variância mede a quantidade de variação local de níveis de cinza em uma imagem. Quanto menor for o desvio, os níveis de cinza da imagem analisada são todos próximos a uma média, neste caso, a matriz de coocorrência acaba por separar a

maioria dos valores concentrados em uma única direção, por outro lado, se o valor do contraste for alto, a imagem possuirá maior distribuição dos níveis de cinza.

- Homogeneidade – similar ao SMA, sendo que serve de mensuração para níveis de cinza na diagonal da matriz de coocorrência.

3.11.2 Avaliação de Eficiência

A eficiência dos dados obtidos via sensoriamento remoto obedecem uma certa correlação, certos cuidados devem ser tomados com a percepção remota e modificações na superfície terrestre. A base deve apresentar acurácia necessária para elaboração de mapas de uso e ocupação da terra em um nível de detalhe adequado à ênfase que é dada para seu estudo.

Variações da cobertura terrestre implicam em erros, como os usos e ocupações da terra são alterados a todo momento, a locação de dados não é totalmente precisa. Do mesmo modo, a cobertura vegetal seja de culturas ou até mesmo de florestas intocadas em diferentes momentos de seus ciclos de crescimento implicam em diferenças de padrões em nível de resolução espectral (CONGALTON e GREEN, 1999).

Para avaliação de eficiência destes levantamentos, tem-se que comparar dados de referência com dados resultantes da classificação, segundo Congalton e Green (1999) a nomenclatura de classe do local avaliado, considera como “correto” ou “assertivo” a classe pertencente à base para a verdade terrestre, enquanto a imprecisão destas classes é calculada pelos erros de exclusão e erros de comissão.

Representação pode ser realizada de forma numérica através de uma matriz, denominada matriz de confusão (Tabela 9). E pode ser calculada a precisão geral do mapa por meio da soma da maior diagonal dividida pela soma de *pixels* constante na amostra. Desta forma, gera-se um índice para análise eficácia dos dados, o índice Kappa (eq 31).

$$K = \frac{N \sum_{i=1}^r n_{ii} - \sum_{i=1}^r (n_{i+} * n_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (n_{i+} * n_{+i})} \quad (31)$$

Onde:

r é o número de linhas na matriz;

n_{ii} é o número de observações na linha i coluna i, respectivamente;

N é o número total de observações

Tabela 9– Exemplo da Matriz de confusão

		j = columns (reference)			row total
		1	2	k	n_{i+}
i= rows (classification)	1	n_{11}	n_{12}	n_{1k}	n_{1+}
	2	n_{21}	n_{22}	n_{2k}	n_{2+}
	k	n_{k1}	n_{k2}	n_{kk}	n_{k+}
column total n_{+j}		n_{+1}	n_{+2}	n_{+k}	n

Fonte: Congalton e Green (1999)

Conforme retrata Antunes (2017) o índice Kappa calculado pela matriz de confusão, índice varia de 0 a 1 e para representar a qualidade da eficiência dos dados classificados foram separados por intervalos (Tabela 10)

Tabela 10 - Agrupamento qualitativo do coeficiente Kappa

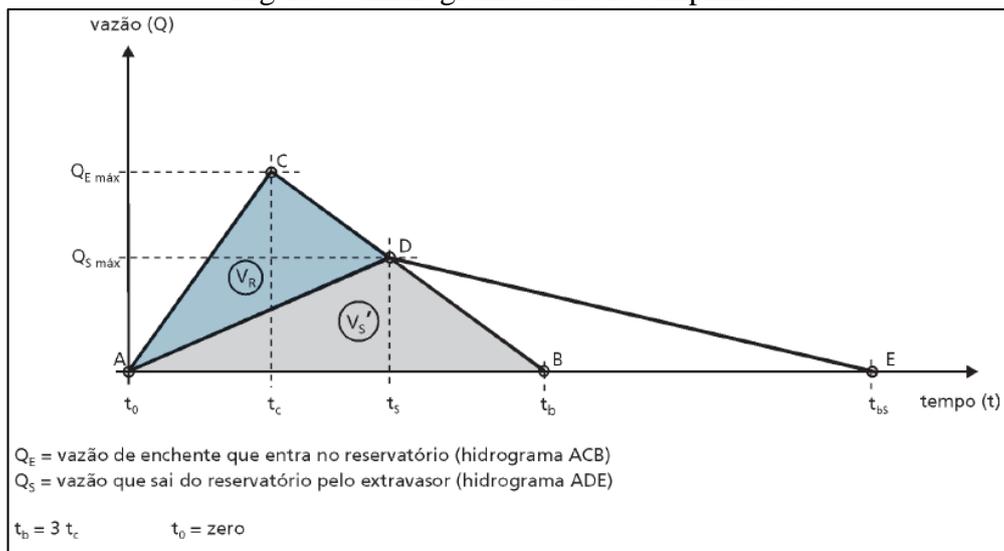
Índice Kappa	Desempenho
< 0	Péssimo
$0 < k \leq 0,2$	Ruim
$0,2 < k \leq 0,4$	Razoável
$0,4 < k \leq 0,6$	Bom
$0,6 < k \leq 0,8$	Muito Bom
$0,8 < k \leq 1,0$	Excelente

Fonte: Antunes (2017) apud Fonseca (2000)

3.12 AMORTECIMENTO DE ONDA DE CHEIA

De modo simplificado, o hidrograma de cheias para a seção de controle das áreas de contribuição das bacias hidrográficas são apresentados por uma a reta ascendente e descendente, assumindo um Hidrograma com base sobreposta ao eixo do tempo. Desta forma, considera-se para este gráfico representado simplificado por um triângulo o tempo de base segundo estima o DAEE (2005) $t_b = 3.t_c$ e vazão (Q) de acordo com os modelos de chuva-vazão adotados. O volume do Hidrograma (Figura 9) de cheia afluente ao reservatório pode ser determinada pela área triângulo A, C e B (ΔABC), enquanto o volume efluente pelo triângulo ADE.

Figura 9– Hidrograma Unitário simplificado



Fonte: DAEE (2005)

As equações utilizadas para verificação dos barramentos (pequenas obras hidráulicas) são determinadas por volumes de entrada e saída do reservatório são representados pelas equações 32, 33 e 34:

$$VE = \frac{Q_{e_{max}} t_b}{2} \quad (32)$$

$$VS' = \frac{Q_{s_{max}} t_b}{2} \quad (33)$$

$$VE = VR + VS' \quad (34)$$

Onde:

VE = Volume de Entrada do Reservatório

VS' = Volume de saída do Reservatório

VR = Volume de Reservação

QE = vazão de enchente que entra no reservatório

Qs = vazão que sai do reservatório pelo extravasor

O Volume do Reservatório, formado por barramentos de Nível na seção de estudos de bacias podem ser estimados através de Curvas de Cota X Volume, o mesmo é estimado por meio da geometria de superfície e batimetria do reservatório, aproximando os volumes acumulados no reservatório por meio de sólidos geométricos conhecidos como pirâmides, troncos de pirâmide e tetraedros, cuja somatória dos volumes dos sólidos calculados em uma altura pré-definida traz estimativas para o volume d'água acumulado por barramentos.

ANA (2016) ressalta que o volume da área inundável de um barramento pode ser estimado através da soma do produto das áreas das curvas de nível do reservatório pelas

distâncias das curvas de nível. Simplificação ocorre com o a aproximação dos volumes das referidas figuras geométricas, no entanto, como o barramento é uma seção em que ocorre a redução da velocidade e mudança do regime das águas, ocorre o depósito do material que é transportado ao longo do rio no barramento pela mudança do regime de escoamento, causando desvios no cálculo do volume reservado.

Para a Vazão Afluente do reservatório, de acordo com DAEE (2005) Qs, é admitida a vazão limite do sangradouro e descarga de fundo pelas expressões 35 e 36 (vazão máxima de saída):

$$Q_{vert} = 0,35 \times \sqrt[2]{2 \times g} \times L \times \sqrt[2]{H^3} \quad (35)$$

Q vert = Vazão máxima de saída do vertedouro

g = Aceleração da Gravidade (m/s²)

L = Largura do Barramento (m)

H = Altura do barramento (m)

$$Q_{orif} = 0,60 \times \sqrt[2]{2 \times g} \times A \times \sqrt[2]{H} \quad (36)$$

onde:

Q orif = vazão em m³/s;

L = Largura do Soleira = 2,00 m;

A = Área da Seção do Tubo, em m²;

H = Altura, distância do nível operacional até a soleira ou até o eixo do extravasor circular.

4. MATERIAL E MÉTODOS

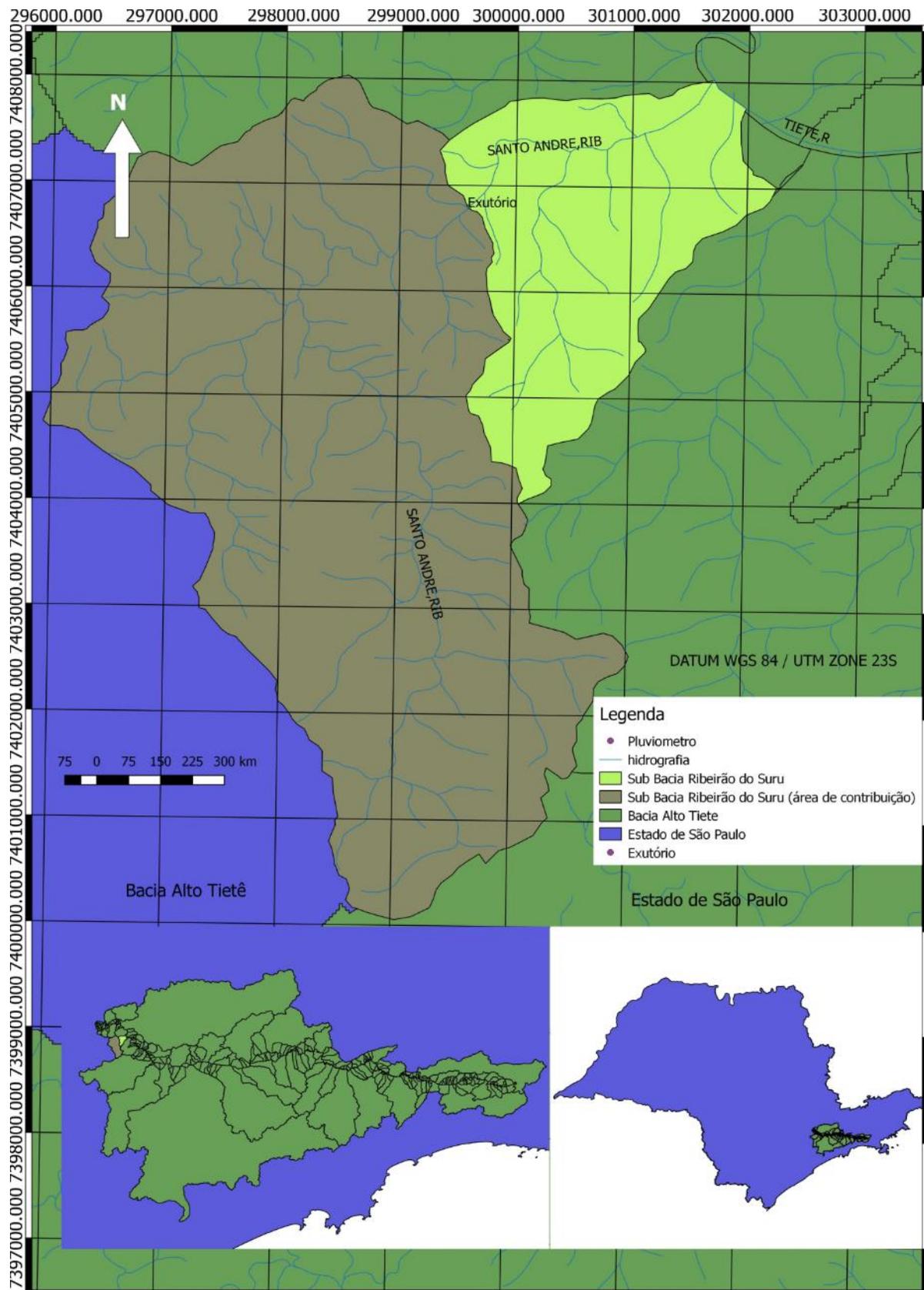
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

4.1.1 A sub bacia hidrográfica do rio Suru

A sub bacia do Ribeirão do Suru (Figura 10) possui um gradiente altimétrico variando de 700 à 1041 m, localizada entre as coordenadas do quadrante [(E 295.926,00; S 7.404.739,00); (E 299.004,00; S 7.400.042,00); (E 300.990,00; S 7.402.554,00); (E 298.515,00; S 7.408.023,00)]. O exutório encontra-se nas coordenadas (E: 299.560,00; S 7.406.760,00), afluente de uma outra sub bacia do mesmo corpo hídrico. Um antigo projeto de viabilidade de barramento previa a implantação à jusante nesta sub bacia, com uma área de drenagem suplementar de 7,42 Km², que, por sua vez, contribuía para à margem esquerda do Rio Tietê nas coordenadas E 301.704,00 e N 7.408.020,00, proposta foi abandonada e a área de drenagem foi estabelecida. A referida rede de drenagem está à oeste da bacia Pinheiros Pirapora, pertencente à Bacia do Alto Tietê.

O objeto de estudo em questão, o barramento, descrito mais adiante, possui outorga juntamente com a captação superficial para finalidade de atender o abastecimento público na região, concessão obtida inicialmente em 2012 por apenas 03 anos e reti-ratificada em 2015 com vencimento para 2019, o que implica em uma real necessidade de elaborar estudos para renovação de outorga.

Figura 10– Seção da sub Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Suru, Santana de Parnaíba, São Paulo



Fonte: IBGE (2010) e Cetesb (2016), adaptado pelo autor

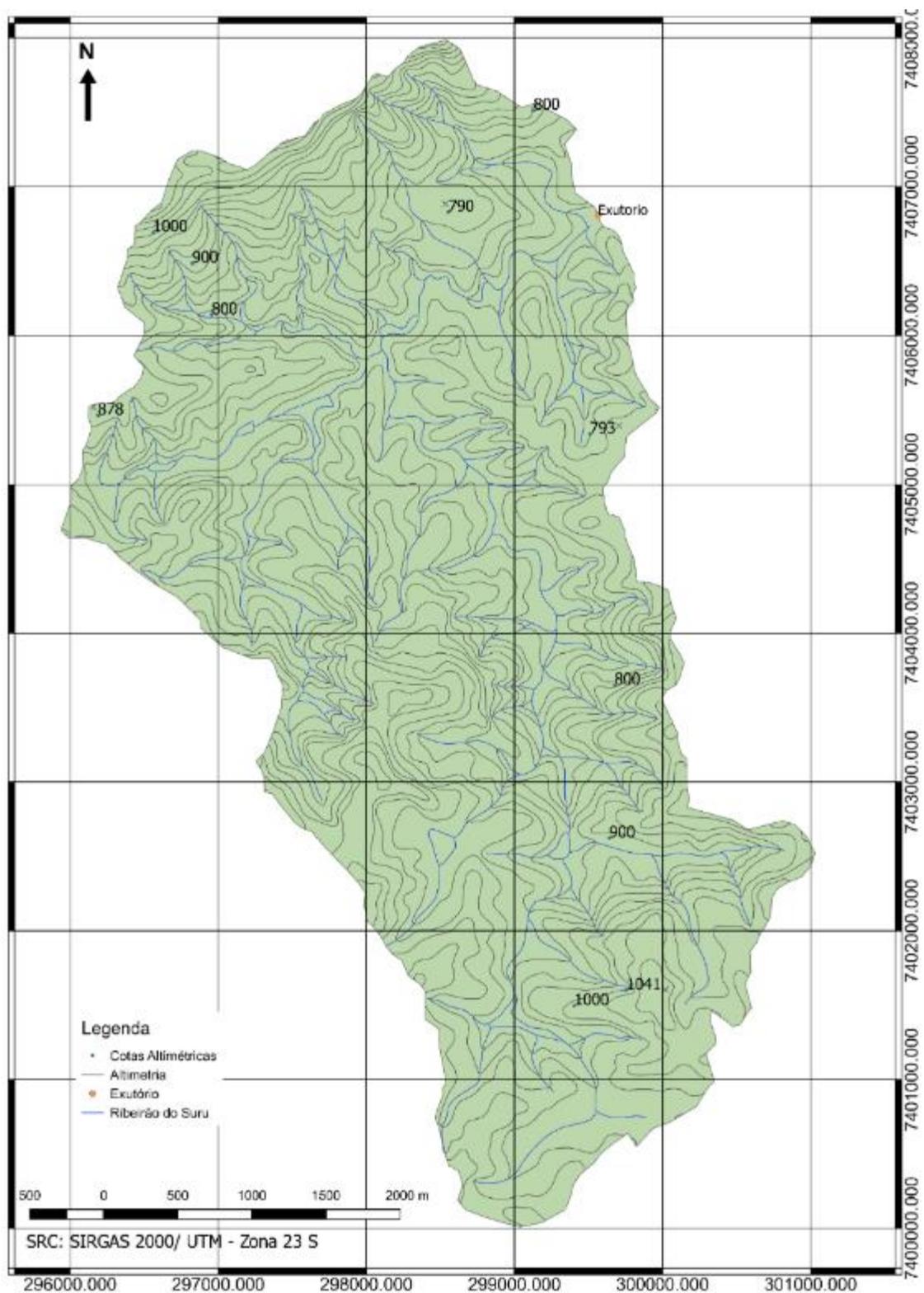
De acordo com o Posto Pluviométrico do DAEE (2017), E3-020, que está localizado à 2,8 Km da sub bacia do Ribeirão do Suru, nas coordenadas E 304.152,00 e N 7.405.316,00 local apresentou para 2016 a precipitação média anual de 1391,81 mm. Dados históricos de 1956 à 2016, indicam que o período de escassez hídrica ocorre nos meses de julho e agosto com médias de 49,20 e 55,60 mm, enquanto as máximas acontecem nos meses mais quentes do ano, com temperaturas médias de 21,3 °C, enquanto as baixas se dão na estação do inverno, com 14,9 °C.

Quanto à vegetação, as espécies remanescentes correspondem à Floresta Ombrófila Densa (Floresta Tropical Fluvial) envolvendo vegetação de origem secundária e atividades agrárias (IBGE, 2004)

Os solos de Santana de Parnaíba, conforme observa-se a classificação de EMBRAPA (2005), possuem uma taxonomia com a predominância de argilossolos. Para a hidrologia, a taxonomia dos solos é um item importante para interpretação dos fenômenos de escoamento superficial, auxilia na caracterização de unidades vistas isoladamente ou compostas, representando unidades maiores. A classificação de solos tem que elencar quase sempre uma gama grande e heterogênea, impulsionando uma correlação para uniformizá-las em sistemas taxionômicos com representatividade do todo. Devido a incompatibilidade de representação e segundo IBGE (2015), por falta de uma escala mais apropriada para classificação dos solos na sub bacia, foram integrados os perfis de características mais comuns. Apesar de estarem em escala de resolução esquemática (EMBRAPA, 2005) as combinações podem ser complexas e estarem associadas em mais de um tipo de solo e apresentarem feições dissociáveis e repetidas, dando origem a classificações cujas nomenclaturas são representadas por duas ou mais classes de solo.

A sub bacia hidrográfica do ribeirão do Suru, possui área de 20,96 Km² (Figura 11) e o contorno dos divisores de água foi obtida por intermédio de um processo de delimitação automatizada de bacias hidrográficas por dados SRTM da missão *Shuttle Radar Topography Mission* que representa o relevo por um Modelo Numérico do Terreno (MNT) correspondente à altitude da superfície do terreno. Este modelo, também foi capaz de gerar a rede de drenagem conforme conformação do relevo.

Figura 11- Sub bacia do Ribeirão do Suru. Santana de Parnaíba, São Paulo

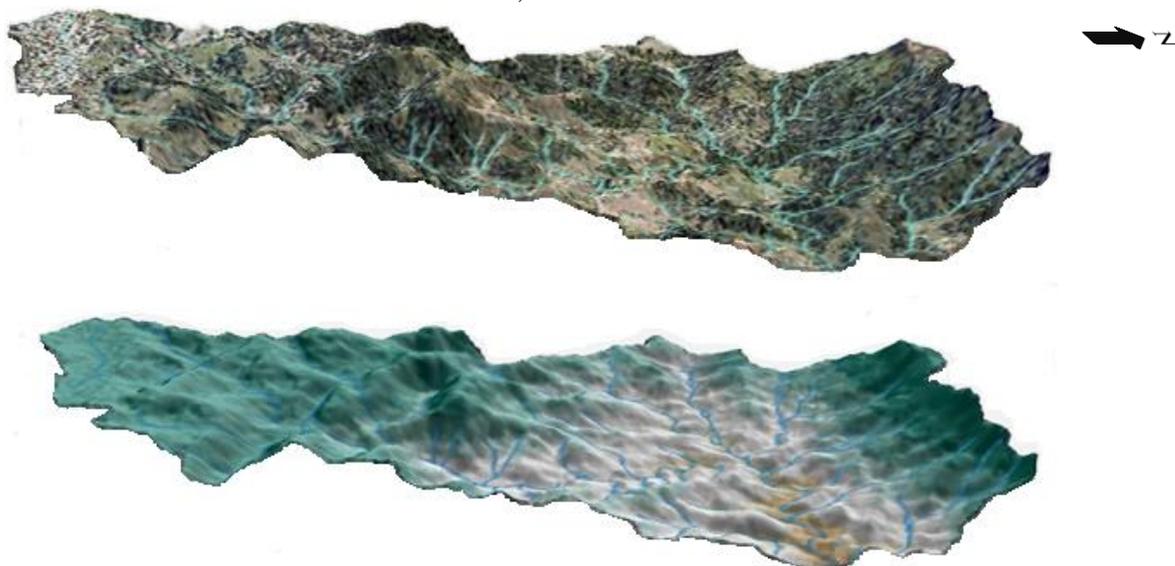


IBGE(1983), modificado pelo autor.

A elevação do terreno é representada pela classificação de De Biasi (1976) (Figura 12), variando do verde escuro para regiões altimontas, atingindo cotas até 1030 m e marrom para o cursos d'água (linha do talvegue) com cotas de 730 m, as maiores altitudes

compreendem as regiões limítrofes com o município de Pirapora do Bom Jesus ao norte e Barueri ao sul, sendo a declividade mais acentuada no norte da sub bacia, da nascente até a foz ou da nascente do extremo sul do ribeirão do Suru até o exutório apresenta rampas menos inclinadas com condições favoráveis ao espraiamento.

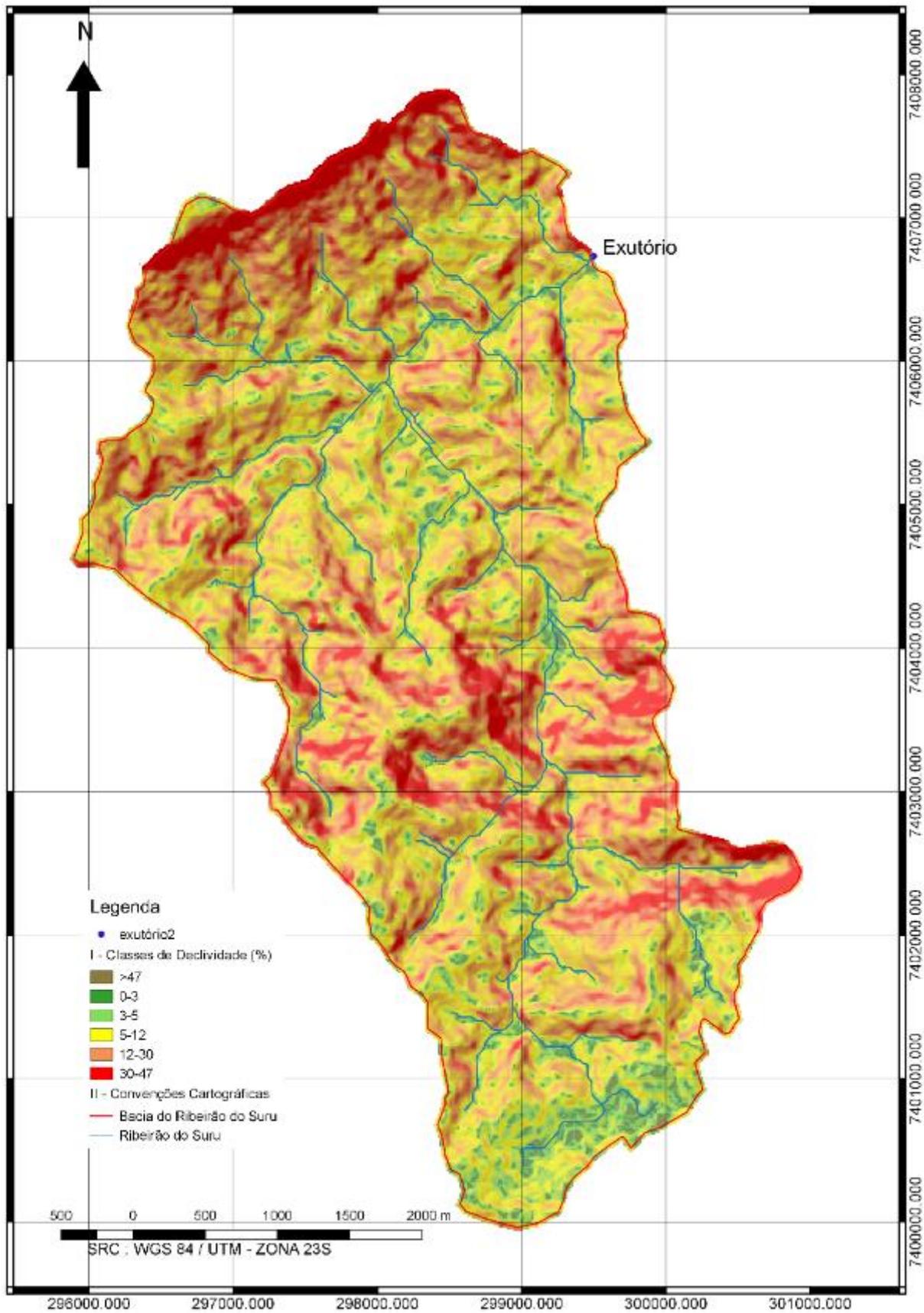
Figura 12– Modelos Digitais de Elevação, Sub bacia do Ribeirão do Suru, Santana de Parnaíba, São Paulo.



Fonte: EMPLASA (2006) JAXA/METI (2010), adaptado pelo autor.

O Modelo Digital de Elevação (MDE) gerado a partir dos dados SRTM foi determinado pela indicação da posição do exutório sobre a rede de drenagem. Os dados SRTM foram tratados com a aplicação TAUDDEM do QGIS. O tratamento consistiu a princípio preencher as depressões e picos do MDE destoantes, que poderiam implicar na indicação da interrupção do fluxo d' água. A aplicação TAUDDEM é capaz de gerar a partir dos dados matriciais de altimetria do SRTM, classes de declividade da sub bacia (Figura 13). Tais classes seguiram intervalos definidos por Embrapa (1979) [Plano (0-3%); Suave ondulado (3-8%); Ondulado (8-20%); Forte Ondulado (20-45%); Montanhoso (45-75%); Forte Montanhoso (>75%)]. Também fruto do MDE, obteve-se o mapa de Orientação de Vertentes, em função de códigos de matriz-fluxo {1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128} (Figura 14). As imagens resultantes dos dados SRTM de média resolução, (12,5 m) com correção do terreno foram obtidas através do DATA POOL proveniente do sitio *Alaska Satellite Facility's*, captado em 13 de fevereiro de 2011 com a denominação AP 26927 FBS F6710 RT1.

Figura 13–Declividade sub bacia do Ribeirão do Suru, Santana de Parnaíba, São Paulo

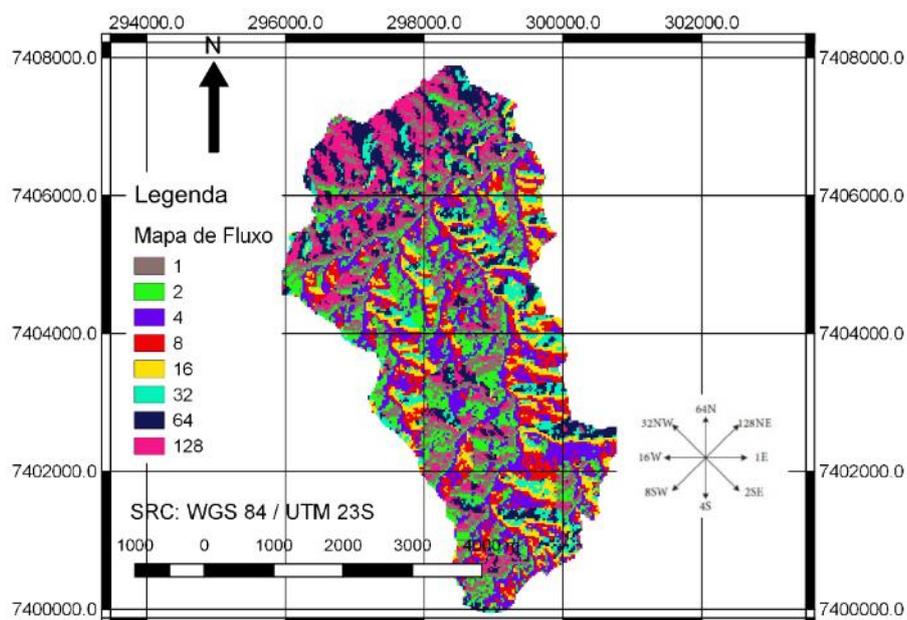


Fonte: JAXA/METI (2011) adaptado para EMBRAPA (1979)

Através do perfil longitudinal do rio e dos modelos de declividade (Figura 13) e Orientação de Vertentes (Figura 14) da sub bacia que é possível observar que as tendências mais comuns da água superficial são da região mais elevada e mais urbana possuem o relevo menos acidentado com vertentes de contornos convexos e divergentes com geometrias propícias para o espriamento , enquanto nas regiões mais próximas aos mananciais ocorre a predominância de encostas com perfis côncavos com características de transporte, ainda, nesta parcela da sub bacia existem vertentes que direcionam água de chuva para pequenas depressões formadoras de lagos. A parcela reservada e a forma como a água é conduzida pelas vertentes é de extrema importância para se avaliar a contribuição da precipitação no escoamento superficial.

O município de Santana de Parnaíba é bem acidentado, a sub bacia do Ribeirão do Suru se destaca pela grande variação de declividade. Nas regiões em que ocorre a maior aceleração do fluxo d'água apresentam declividades mais acentuadas, formação de relevo que se dá destaque ao norte da sub bacia, onde há predominância de curvatura com perfil divergente, compensadas por áreas fortemente vegetadas, protegidas por lei. Na porção central da sub bacia, de maior densidade de drenagem, as encostas são convergentes, se destacam pelo encontro de declives mais propícios ao escoamento superficial e menos favoráveis à infiltração.

Figura 14– Orientação de Vertentes Ribeirão do Suru, Santana de Parnaíba, São Paulo.



Fonte: JAXA/METI (2011)

De acordo com a classificação realizada por EMBRAPA (2005), a sub bacia do ribeirão do Suru é formada por solo com grande heterogeneidade mineral devido às variações climáticas na região. Na classificação de EMBRAPA (2005) é nítida a separação dos solos argilosos com a presença de argila e metais, ou de baixa fertilidade natural (solos com características hidromórficas) ou bem estruturado e bem drenado. Em parte não são recomendados para plantações de cultivos agrícolas devido a sua susceptibilidade à erosão, principalmente nas regiões com o declive mais acentuado, assim, estas áreas que não sofrem especulação tanto agrícola quanto para fins de assentamentos residenciais são destinadas para criação de áreas de proteção ambiental.

Existem particularidades do solo que precisam ser levantadas com afinco, mudanças abruptas de solo de horizontes classificados superficialmente como bem drenados podem apresentar permeabilidade lenta do perfil, ou ainda, o oposto a presença de selos superficiais de poucos milímetros que determinam baixas taxas de infiltração, contribuindo para o escoamento superficial.

De acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação do Solo (EMBRAPA, 1995) a sub bacia hidrográfica do Ribeirão do Suru, possui solo Argilossolos Vermelho Amarelo (predominante), Cambissolos Háplicos (em relevos fortes ondulados ou montanhoso) e Gleissolos Háplicos (se destacam nas áreas de relevo de várzea que acompanham as margens do Ribeirão do Suru).

4.2 CARACTERIZAÇÃO DO BARRAMENTO

A Barragem do Suru (Santo André) foi construída no ano de 1993 e tem como principal função elevar o nível de água para captação pela Estação Elevatória de Água Bruta. A vazão de água captada é transportada para a ETA Santana do Parnaíba por uma distância de aproximadamente 8 Km. Atualmente a barragem é composta por um vertedouro de superfície em gabião, provido de escada para dissipação de energia. Na sua face de montante instalou-se manta geotêxtil e em seguida compactou-se argila na conformação do talude. Esta parte, bem como um trecho de aproximadamente 10 m da ombreira esquerda a montante e do vertedouro a jusante recebeu proteção superficial composta por gabião tipo colchão com painel de malha tornando a estrutura mais rígida, a seguir segundo os dados de projeto da Sabesp (2009) o barramento possui as seguintes características geométricas:

(a) a barragem do Suru é em parte uma barragem de terra compactada revestida em concreto na sua crista e parte do paramento de montante. O paramento de jusante é protegido

em parte com caixas de gabião e medem, aproximadamente 40 m de comprimento de crista e 2,5 m de altura sobre a fundação;

(b) como sistema de extravasão, a barragem possui em seu maciço próximo à ombreira esquerda, um vertedouro tipo soleira livre também em gabião com argila compactada. Existem duas tubulações de ferro fundido diâmetro 300 mm aproximadamente no centro da barragem com a função de descarga de fundo;

(c) o transporte de água é feito por uma tubulação de ferro fundido com diâmetro de 900 mm que está inserida no maciço da Barragem a 2,5 m da ombreira direita;

(d) sua vazão é controlada por meio de uma válvula borboleta, que opera graduada seguindo por um canal de 60 m de comprimento conduzindo a água captada por canal de alvenaria estrutural até a caixa de sucção e estação elevatória, a partir da qual é bombeada até a Estação de Tratamento de Água de Santana do Parnaíba;

(e) a crista da Barragem de terra revestida de concreto apresenta uma cota de 702 m e largura de 7 m, o vertedouro de acordo com os estudos hidrológicos ficou na cota 699,30 m.

(f) juntamente a entrada da tubulação, o talude de entrada, localizado próximo a ombreira direita, responsável pela captação do sistema foi restruturado através do corte de uma parte do maciço da barragem nas proximidades da ombreira direita seguido da colocação de gabiões do tipo caixa;

(g) posteriormente realizou-se a segunda fase da recuperação com execução de gabiões tipo colchão Reno, seguido do revestimento em concreto ao longo da crista, taludes e canal de captação.

4.3 QUALIDADE DAS ÁGUAS

Segundo o Decreto Estadual nº 10.755 de 1977 (São Paulo, 1977), que dispõe sobre o enquadramento dos corpos d'água na classificação descrita no Decreto Estadual 8.468 de 1976, o Ribeirão do Suru possui conformidade de classe 4. Tal classificação é inerente à afluência, o Rio Tietê, a jusante da foz do Rio Itaquera. Tal condição não reflete a real situação da qualidade das águas do Ribeirão, é superior ao enquadramento adotado, a sub bacia é beneficiada pela legislação municipal para uso e ocupação da terra, 9,74% da sub bacia é contemplada pela lei municipal de zoneamento 2.462 de 2003, pertencentes à Zona de Proteção Especial (ZPE), enquanto os 90,26% restantes possuem área ocupada ou com permissão para assentamentos residenciais, em maior parte por Zonas Residenciais de Baixa Densidade (ZRBD) e ambas proporcionam benefícios pelos menores índices de captação e menores pontos de lançamento de efluentes domésticos.

4.4 INSTRUMENTO DA COLETA DE DADOS (HIDROLÓGICOS E DE USO E OCUPAÇÃO DA TERRA)

As cartas utilizadas no estudo são Cartas Topográficas do Instituto Geográfico Cartográfico (IGC) georreferenciadas pela EMPLASA (1981) na escala 1: 10.000 – Índice de Nomenclatura SF-23-Y-C-III-3-SO-C e SF-23-Y-C-III-3-SO-E, Folhas Capela Velha e Cururuquara, Articulação 2433 (75) e 2435 (93). O valor da área e perímetro foi determinado com o auxílio do *software* QGIS. As variáveis para o cálculo da vazão máxima foram determinadas a partir desta delimitação e considerando elementos planialtimétricos da sub bacia hidrográfica.

A princípio nas cartas, foram levantados dados espaciais como os comprimentos do talvegue principal a cada projeção horizontal das curvas de nível, acumulando os valores de distâncias entre cada segmento e a sua soma para cálculo da média harmônica (declividade equivalente) e subsequentemente os demais parâmetros, como o tempo de concentração e intensidade pluviométrica.

O uso e ocupação da terra por segmentação e classificação manual na sub bacia foi determinado por meio de Ortofotos Digitais de EMPLASA (2011) com resolução aproximada de 1 m, compatível com as cartas topográficas do IGC.

As imagens provenientes do conjunto de satélites *Rapideye* para auxílio da análise visual nas ortoimagens para consolidar amostragem nas chaves de classificação, ortoimagem foi obtida em 2012 pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Renováveis (IBAMA) e fornecida originalmente pelo *Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)*. A imagem possui resolução espacial de 5,0 metros, com as bandas referentes ao comprimento de onda do espectro visível [azul (0,440 – 0,510) μm , verde (0,520 – 0,590) μm e vermelho (0,630 – 0,685) μm] e da faixa invisível [vermelho limite (0,690 – 0,730) μm e infravermelho próximo (0,760 - 0,850) μm].

A classificação do uso da terra e a determinação do coeficiente volumétrico C_2 (do modelo chuva-vazão I-Pai-Wu) foram realizados a partir de imagens aéreas obtidas da EMPLASA (2011) resolução de 1 metro – Articulação (folhas) SF-23-Y-C-III-3-SO e SF-23-Y-C-VI-1-NO, em escala compatível de 1:10.000.

A vetorização da rede de drenagem oriunda dos dados de SRTM e vetorização dos divisores de águas através do Software aberto QGIS.

O tratamento de imagens seguiu pelo pré-processamento de imagens do *RapidEye* (Bandas 1, 2, 3, 4 e 5) e foram preparadas por meio do recorte das Bandas do espectro visível

(RGB) no software ENVI®. O recorte é proveniente da sub bacia Hidrográfica conforme delimitação dos divisores de águas, traçada sobre cartas da EMPLASA pelo IGC (1981) ou determinada por aplicação *Taudem* do QGIS.

Enquanto no software QGIS por meio das ferramentas de edição vetorial segmentou-se e classificou-se a sub bacia manualmente, pelo eCognition®, software de SIG, o levantamento do uso da terra seguiu Classificação Baseada em Objeto em função de teorias de Lógica Difusa.

Para auxiliar a interpretação no mapeamento dos usos foi realizado uma checagem em campo com o auxílio de receptor GPS modelo Garmin 12ch. Esse procedimento visou identificar pontos de interesse de uso e cobertura da terra, os pontos escolhidos foram georreferenciados em mapas de logradouros fornecidos pelos Centro de Estudos da Metrópole (CEM) (2018). O recorte das camadas das vias vicinais, ruas, rodovias e estradas indicou que sub bacia do Ribeirão do Suru apresentou linhas de tráfego que somavam 65 Km, assim foi definido, os pontos mais estratégicos para levantamento de campo.

4.5 USO E OCUPAÇÃO DA TERRA

O levantamento e uso e ocupação através de técnicas classificação devem ser capazes de demonstrar como o território vem sendo modificado pelo homem e como estas constantes mudanças alteram os ciclos naturais da água, verificando como a taxa de escoamento é alterada, e, a que nível de detalhes podem ser obtidas informações para os modelos de chuva-vazão.

4.5.1 Uso da terra em Santana de Parnaíba

O levantamento de informações sobre os usos e ocupação da terra na sub bacia do Ribeirão do Suru foi realizado por meio da análise espacial da sub bacia hidrográfica, em imagens aéreas obtidas de EMPLASA (2011) com resolução espacial de 1 m com precisão planialtimétrica compatível com a escala de 1:10.000.

Conforme as classes pré-definidas para o Coeficiente de Escoamento Superficial (*Runoff*) é voltada para impermeabilização e áreas edificadas, adotou-se uma metodologia manual capaz de fazer estas separações, em *pixels* ou objetos com característica semelhantes.

Segmentação ocorreu com a poligonização de feições com características similares: rodovias; solos expostos; áreas verdes; edificações; lagos; plantações; estradas; recreativos; industriais e acessos. Polígonos foram formados atentando-se para agrupar nas regiões residenciais densidades de assentamento homogêneas, separando áreas condominiais ajardinadas e vegetadas, seguindo com áreas arborizadas uniformes, prosseguindo-se com separação mais apurada para residências e edificações isoladas.

A classificação do uso e ocupação do solo seguiu princípios de drenagem Urbana estabelecidos por São Paulo (1999), dispostos na Tabela 11 para a determinação do coeficiente de escoamento superficial (C).

Tabela 11 - Valores do coeficiente de escoamento superficial conforme classes

CARACERÍSTICAS DA CLASSE	Valor de C
Edificação muito densa: Partes centrais, densamente construídas de uma cidade com ruas e calçadas pavimentadas	0,70 a 0,95
Edificação não muito densa: Partes residenciais com baixa densidade de habitações, mas com ruas e calçadas pavimentadas	0,60 a 0,70
Edificações com poucas superfícies livres: Partes residenciais com construções cerradas, ruas pavimentadas	0,50 a 0,60
Edificações com muitas superfícies livres: Partes residenciais com ruas macadamizadas ou pavimentadas	0,25 a 0,50
Subúrbios com alguma habitação: Partes de arrabaldes e suburbanos com pequena densidade de construção	0,10 a 0,25
Matas, parques e campos de esportes: Partes rurais, áreas verdes, superfícies arborizadas, parques ajardinados, campos de esportes sem pavimentação.	0,05 a 0,20

Fonte: São Paulo (1999)

Para Tomaz (2013), em casos que a bacia hidrográfica apresentar ocupação diversificada, o coeficiente de escoamento superficial pode ser calculado por média ponderada. O trabalho de classificação de imagens é significativo neste aspecto, mapeamento de uso e ocupação da terra apresentam condições para eleger e mapear áreas, estimando um Coeficiente de Escoamento Superficial próximo às condições de projeto por meio da referida média (eq. 37).

$$C = \frac{C_1 \times A_1 + C_2 \times A_2 + C_3 \times A_3 + C_4 \times A_4 + \dots + C_i \times A_i}{A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + \dots + A_i} \quad (37)$$

Onde:

$C_1, C_2, C_3, C_4, \dots, C_i$ = coeficientes de escoamento superficial para cada uma das áreas levantadas, enquanto $A_1, A_2, A_3, A_4, \dots, A_i$ correspondem a estas áreas

Para consubstanciar a análise visual para a formação de segmentos, segundo Novo (2008) é necessário conhecimento por parte do intérprete das feições à serem classificadas, em função do comportamento espectral, estrutura, no caso de vegetação variam conforme a sua fenologia.

A princípio, preferência foi dada à segmentação manual devido a capacidade de interpretação visual para assimilar feições, concepções de formas (padrões), textura e contexto, a segmentação das áreas verdes envolveu os diversos tipos de vegetação, como árvores, arbustos, gramados, campos, dentre outros.

A classificação dos pixels foi realizada após a segmentação. Na segmentação, o polígono formado manualmente, compreendem estruturas semelhantes, de mesma espécie, com necessidades ecológicas similares.

Para consolidar composição visual das feições de áreas disjuntas e adjacentes, respeitando-se as diferenças estruturas fisionômicas e a topologia dos espaços constituídos por cada uma das suas feições, de modo a evitar desvios na conformação das paisagens geográficas e homeomorfismos de camadas distinguíveis.

Em 6 classes organizou-se a informação espacial de forma ordenada para caracterizar a paisagem conforme a sua ocupação, destacando em cores para o cálculo das áreas e coeficiente de escoamento superficial.

Para diminuir os graus de subjetividades formaram-se chaves de classificação. Novo (2008) indica como as principais características, adjetivações da cobertura terrestre, à serem seguidas no processo de análise visual (Quadro 5).

Segundo o Sistema básico de Classificação de Coberturas e do uso da terra (SCUT) do IBGE (2013) e adaptação de Pires (2016) a classificação de imagens do terreno é definida conforme atributos locais como: formato; arranjo espacial; resolução espectral e a maneira com as ocupações refletem a luz e a variação de tonalidades dentro de uma imagem, desta forma, o levantamento abordado nesta etapa, realizada por meio do software QGIS, baseou-se em chave de classificação (Quadro 6) de imagens e classe definidas por São Paulo (1999).

A chave de classificação, elaborada para classificação manual, ilustrada e caracterizada no quadro 6 foi realizada através de capturas de “cenas” das ortoimagens, objetivando uma análise visual mais apurada das ortoimagens, ação foi fruto de diagnóstico, obtidos de nuances que compõem as Componentes Principais das imagens *RapidEye*, da qual eliminam-se as redundâncias e permitem identificar feições com maior facilidade. Etapa ocorreu através por meio do software Spring versão 5.1.8, logo em seguida detalhes foram identificadas nas ortoimagens cedidas pela EMPLASA, em melhor escala definida pelo software QGIS.

Quadro 5 - Características das imagens avaliadas no processo de análise visual.

Tonalidade/ Cor	Representa o registro da radiação que foi refletida ou emitida pelos objetos da superfície. Tonalidades claras estão associadas à área de elevada radiância, emitância ou retroespalhamento em imagens de sensores ópticos, termais e ativos de micro-ondas, respectivamente. Tonalidades escuras indicam de áreas de baixa radiância ou emitância em imagens ópticas, termais e áreas de sombra ou de reflexão especular em sensores ativos de micro-ondas. As cores mais claras e mais escuras, e suas combinações, são derivadas da combinação de tonalidade das bandas individuais.
Textura	A textura de imagem representa a frequência de mudanças tonais por unidade de área dentro de uma dada região. A textura da imagem depende da resolução espacial do sistema, do processo de imageamento e da escala da imagem utilizada. O significado da textura também varia com o tipo de imagem utilizada
Padrão	O padrão define o arranjo espacial dos objetos na cena. O significado do padrão também depende do tipo de imagens analisadas, de sua escala e sua resolução espacial.
Localização	A localização apresenta a posição relativa do objeto ou feição dentro da cena. Muitas vezes, em imagens <i>TM-Landsat</i> , não se pode identificar diretamente o rio, mas pela localização da mata galeria, e levando em conta o conhecimento de que esta acompanha o curso do rio, este pode ser mapeado, indiretamente.
Forma	Representa a configuração espacial do objeto. Esta forma pode ser observada em duas dimensões em imagens que não possuem o atributo de estereoscopia, ou em três dimensões em imagens estereoscópicas.
Sombra	A sombra dos objetos pode ser utilizada como fonte de informação sobre limites de unidades geológicas, dimensões relativas de escarpas, árvores. O significado das sombras também é afetado pelo tipo de sensor utilizado, pela resolução espacial do sensor e pela escala da imagem
Tamanho	O tamanho dos objetos é função da resolução do sistema e da escala das imagens. O tamanho do objeto pode ajudar em sua identificação

Fonte: Novo (2008)

Quadro 6 – Chave de Classificação para o uso e ocupação do solo

Classe	Descrição	Amostra de Ortofoto
Edificação muito densa	<p>Forma: reticular</p> <p>Arranjo Espacial: aglomerado quadriculado bem definido</p> <p>Tonalidade: vermelho alaranjado, acinzentado</p> <p>Textura: relativamente lisa, onde se sobressaem árvores grosseiras</p> <p>Padrão misto, curvilíneo retilíneo de residências de médio porte.</p> <p>Partes centrais, densamente construídas de uma cidade com ruas e calçadas pavimentadas.</p>	
Edificação Não Muito Densa	<p>Forma: reticular</p> <p>Arranjo Espacial: quadriculado espaçados.</p> <p>Tonalidade: vermelho alaranjado</p> <p>Textura: Predominantemente lisa</p> <p>Padrão de residências de médio porte, bem espaçadas.</p> <p>Partes residenciais com baixa densidade de habitações, mas com ruas e calçadas pavimentadas.</p>	

Continuação

<p>Edificação com poucas superfícies livres</p>	<p>Forma: reticular</p> <p>Arranjo Espacial: quadriculado espaçado.</p> <p>Tonalidade: Predominantemente branco com feições alaranjadas</p> <p>Textura: relativamente lisa.</p> <p>Padrão de residências periféricas, alto adensamento</p> <p>Partes residenciais com construções cerradas, ruas pavimentadas.</p>	
<p>Edificações com muitas superfícies livres</p>	<p>Forma: reticular</p> <p>Arranjo Espacial: aglomerado quadriculares.</p> <p>Tonalidade: Predominantemente cinza e branco.</p> <p>Textura: granulada/grosseira</p> <p>Padrão aleatório.</p> <p>Partes residenciais com construções cerradas, ruas pavimentadas.</p>	

Continuação

Subúrbios com alguma habitação	<p>Forma: irregular</p> <p>Arranjo Espacial: aglomerado curvilíneo, sinuoso e aleatórios com canais em forma de trança.</p> <p>Tonalidade: Alaranjado.</p> <p>Textura: grosseira/lisa.</p> <p>Padrão aleatório.</p> <p>Partes de arrabaldes e suburbanos com pequena densidade de construção.</p>	
Matas, Parques e Campos de esportes	<p>Forma: irregular.</p> <p>Tonalidade: Verde Escuro.</p> <p>Textura: grosseira.</p> <p>Padrão de estruturas sistemáticas não lineares.</p> <p>Partes rurais, áreas verdes, superfícies arborizadas, parques ajardinados, campos de esportes sem pavimentação.</p>	

Fonte: EMPLASA (2011), adaptado pelo autor

Conforme classificação adotada de São Paulo (1999), verificou-se a predominância de uma classificação hierárquica em níveis (Quadro 7), uma separação da paisagem natural e a outra antropizada, elencadas como baixa influência humana e média influência humana. Na separação não se destaca o tipo de floresta, níveis de sucessão ecológica, presença de rios, enfoque é mais voltado para os graus de urbanização do meio.

Quadro 7 – Níveis de Classificação do uso e ocupação da terra da sub bacia do Ribeirão do Suru

Nível 1	Nível 2
Paisagem Natural	Matas, Parques e Campos de esportes
Paisagem Antrópica	Subúrbios com alguma habitação
	Edificações com muitas superfícies livres
	Edificação com poucas superfícies livres
	Edificação Não Muito Densa
	Edificação muito densa

Porção analisada trata-se de tratos antrópicos, segundo definição dada por IBGE (2012), feições segmentadas de áreas que sofreram em grande parte intervenções humanas que descaracterizam a vegetação primária, conforme avança a ocupação da sub bacia. No entanto, interveniências na sub bacia estudada não foram suficientes para identificar as porções vegetadas, seja em áreas de recuperação natural, em áreas protegidas, ou em usos cujas finalidades servem de fonte para cultivo agrícola e agropecuário.

A Densidade de Ocupação que define como a intensidade de uso do solo, relacionando o número de áreas ocupadas por m², em função da razão de áreas construídas pela área do terreno (eq. 38). Como os loteamentos da sub bacia do Ribeirão do Suru não possuem assentamentos verticalizados o índice não ultrapassa 1,0, ao mesmo tempo, as 06 classes, conforme o grau de impermeabilização do terreno, foram distribuídas (Quadro 08) conforme o estágio de ocupação do terreno, a exemplo do que SMA (2010) determina. Pelo predomínio de áreas naturais o peso maior do índice de ocupação define a sessão de classificação para as áreas verdes enquanto as classes restantes foram distribuídas equitativamente.

$$i = \text{índice de ocupação} = \frac{\text{Área Construída}}{\text{Área do Terreno}} \quad (38)$$

Quadro 8–Sessão de Classificação conforme o índice de ocupação do terreno.

Índice de ocupação (i)	Sessão de classificação
0 - 0,2	Matas, Parques e Campos de esportes
0,2 - 0,36	Subúrbios com alguma habitação
0,36 - 0,52	Edificações com muitas superfícies livres
0,52-0,68	Edificação com poucas superfícies livres
0,68 - 0,84	Edificação Não Muito Densa
0,84 - 1,00	Edificação muito densa

Refinando os dados de classificação, para cada segmentação realizou-se a pós-classificação de dos dados de SIG, obtidas reclassificando-se dados de áreas incluídas em classes que não a pertencem, como a agricultura e solo exposto, confundidas com a superfícies de telhados dos centros urbanos.

4.6 CLASSIFICAÇÃO BASEADA EM OBJETO (OBIA)

A Classificação Baseada em Objeto (OBIA) conforme trabalho de Blaschke (2010) apresenta vantagens para áreas urbanizadas por apresentar feições geométricas conhecidas e correlacionáveis interclasses e intraclasses

A segmentação de acordo com Gonzales (2000) é a etapa principal para se trazer bons resultados para classificação. Assim, a melhor escala de segmentação realizada no eCognition®, definida para formação dos segmentos, ocorreu por algoritmo (*Multiresolution Segmentation*) reconhecendo as suas partes constituintes (de cada objeto). Necessária para separação de segmentos em um conjunto que apresentem semântica similar, o algoritmo fundamenta-se na formação de segmentos através da abordagem de crescimento de regiões conforme heterogeneidade interna dos objetos. Definida melhor escala de segmentação, geraram-se regras de decisão automatizadas no eCognition® conforme comportamento espectral, geométrico e textural dos segmentos.

Após a primeira separação de nível, determinou-se nova escala de segmentação com o algoritmo de segmentação para discretização de feições pertencentes ao meio urbano, testou-se vários níveis de escala para evitar desconexão dos objetos formados no nível inicial “Não Vegetado”, sendo ressaltada a importância da escala para distinguir os padrões obtidos por meio das regras de decisão para as feições urbanas.

Esta fase teve por finalidade criar uma separação em níveis “vegetado” e “não vegetado”, permitindo a correlação entre as classes e seus grupos, ao mesmo tempo abriu o caminho para citada segmentação, gerando segmentos para constituírem segundo ARAUJO, KUX e FLORENZANO (2011) objetos com nível de distinção mais elevado, objetivando o aumento e a separabilidade diminuindo a confusão espectral.

Após segmentação, através de diversas regras de decisão, classificou a região de estudo em: (i) Vegetação Densa; (ii) Vegetação Rasteira; (iii) corpos d’água; (iv) Cultivo; (v) Urbano (Telhados e Vias de tráfego).

Conforme EMPLASA (2006) e Santana de Parnaíba (2006) um dos percentuais mais baixos de uso e ocupação do solo são destinadas à cultura perenes e temporárias, desta forma, para evitar a confusão entre solo exposto e de culturas criou-se regras de decisão para o tamanho da Área.

Determinação de objetos com características geométricas em que se podem definir padrões se tonaram mais práticos para as zonas urbanas, destarte, melhoria na qualidade espacial leva a um aumento da confusão de classes distintas e um aumento na variabilidade entre classes. Verificou-se assim que as classes definidas para o uso e ocupação da terra identificadas na sub bacia são adequadas para as ortoimagens da EMPLASA, no entanto, foram formados em uma imagem RGB, pancromática, o que acabou dificultando o reconhecimento de espécies vegetadas.

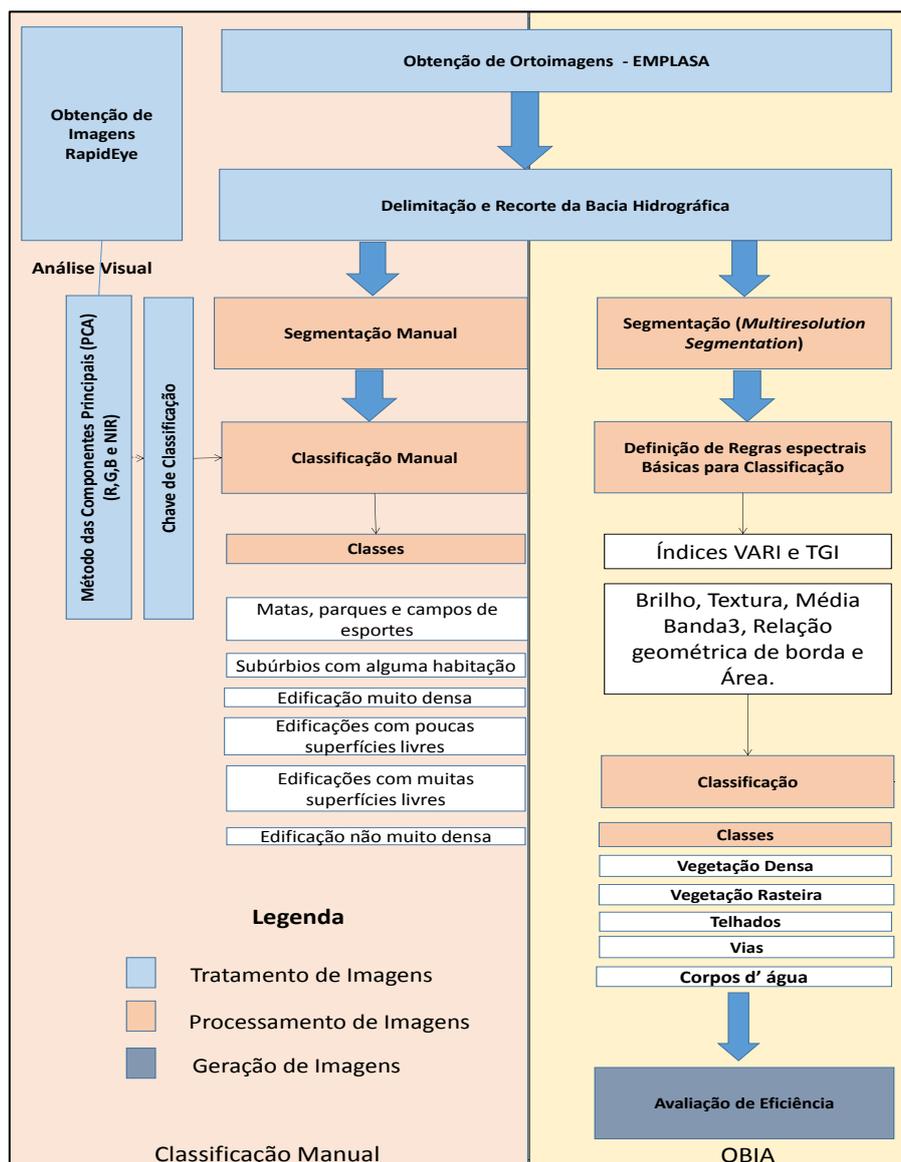
McKinnon e Hoff (2017) citam índices de vegetação utilizando apenas os espectros de cores visíveis, no entanto, não são totalmente eficientes para criação de mapas temáticos capazes de identificar lavras e culturas. Como o predomínio de vegetação na sub bacia do Ribeirão do Suru são as adensadas e rasteiras utilizou-se os índices de McKinnon e Hoff (2017), o Índice Visível de Resistência Atmosférica (*VARI*) e o *Índice de Greenness Triangular* (TGI), (eqs. 39 e 40) para destacar áreas verdes das partes urbanas.

$$VARI = \frac{\text{Banda 2} - \text{Banda 3}}{\text{Banda 2} + \text{Banda 3} - \text{Banda 1}} \quad (39)$$

$$TGI = \text{Banda 2} - 0,39 \times \text{Banda 3} - 0,61 \times \text{Banda 1} \quad (40)$$

Resumidamente, para classificação de imagens as etapas que envolvem o tratamento, processamento e geração de imagens são representadas pela Figura 15

Figura 15 – Fluxograma dos Procedimentos para Classificação Manual e OBIA.



Fonte: Autor (2018)

A avaliação de acurácia da classificação OBIA foram realizadas por coleta de amostras (objetos amostra no OBIA) para o teste no software eCognition®

Com as classes de usos da sub bacia e posteriormente a avaliação de eficiência do método OBIA, definidos os coeficientes de deflúvio (CN) e escoamento superficial (C). Através das equações (23) e (29) obtiveram-se: a vazão de pico (método I-Pai-Wu), da qual foi verificada a segurança do barramento por meio do amortecimento de onda de cheia (eqs. 35 e 36). Como a classificação adotada por São Paulo (1999) apresenta faixas para o coeficiente de escoamento superficial, adotou-se os valores mínimos, médios e máximos para analisar a sensibilidade e verificar o comportamento do barramento com o risco de inundação à jusante. Da estimativa de SCS de USDA (1986), foi possível obter com o cálculo da precipitação excedente: os

Hietogramas de Precipitação; hidrogramas unitários e convolução do HU para disposição de Hidrogramas Compostos para análise de precipitações com durações diferentes.

4.7 PARÂMETROS FÍSICOS DA SUB BACIA DO RIBEIRÃO DO SURU

Os parâmetros físicos da sub bacia foram obtidas por meio de índices representativos de parâmetros espaciais da bacia, elencando feições do formato e relevo. Todas estas feições foram espacializadas por meio de vetorização de camadas no QGIS no contorno da bacia e talvegue do Ribeirão. Utilizando-se desta forma, como camada máscara vetorial, restringindo a área de estudo aos mananciais pertencentes à sub bacia do Ribeirão do Suru, compreendendo no levantamento a nascente mais distante exutório.

O conjunto teve base referência a extração de parâmetros de IGC (1981), em escala compatível 1:10.000. Os modelos de chuva-vazão I-Pai-Wu e SCS utilizaram-se a média harmônica (declividade equivalente) para o cálculo de tempo de concentração (tc), que, por sua vez, foi necessário para a intensidade pluviométrica (i). Empregou-se o SIG como ferramenta de suporte para correlacionar classes de uso e ocupação com coeficientes de deflúvio (CN) e escoamento superficial (C). A partir da área e tempo de concentração (tc), determinou-se o coeficiente de distribuição espacial de precipitação (Figura 4) (K) e o valor da vazão de pico do modelo de chuva-vazão I-Pai-Wu. Para o modelo SCS de USDA (1986) obteve-se a vazão de pico unitária (qp) em que pode se determinar deflúvios conforme tempo de duração da precipitação.

4.8 INTENSIDADE PLUVIMÉTRICA

Para o cálculo da chuva de projeto foi utilizada a equação de chuva intensa da cidade de São Paulo de Martinez Junior et al (2016) (eq. 41), adotou-se equação em função de ter a maior proximidade em relação aos pontos de interesse. Os períodos de coleta de dados foram de “1933 a 1936, 1938, 1940 a 1945, 1948 a 1961, 1963-1973, 1975, 1977 a 1982, 1984 a 1998, 2001 a 2005, 2008 a 2009 e 2011 (66 anos) a partir da estação” São Paulo – IAG/USP – E3-035R. (Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) e Universidade de São Paulo (USP), 2016). Sendo assim:

$$i(t, TR) = 32,77 (t+20)^{-0,878} + 16,10 (t+10)^{-0,9306} * [-0,4692 - 0,8474 \ln \ln (TR/TR-1)]$$

(41)

onde:

i = intensidade de chuva, correspondente à duração t e período de retorno TR, em mm.min⁻¹;

t = duração da chuva, em minutos; e

TR = período de retorno, em anos.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pompermeier (2013) esclarece que a formação do relevo é crucial para determinação de parâmetros em uma bacia hidrográfica e a partir de Modelos Digitais de Elevação (MDE) é possível obter elementos topográficos como altitude, declividade, comprimento do talvegue e por meio de algoritmos mapas de fluxo capaz de indicar a direção de escoamento em uma bacia de contribuição. No estudo, foram dadas imagens onde as aplicações SRTM, com algoritmos, geraram codificação de fluxo assimilando-o à movimentação d'água em 8 diferentes direções, sendo que a codificação ocorre através dos dados de altimetria em que o fluxo de direcionamento são representados dos pixels com maiores valores para os menores. No fim da etapa, ocorreu a identificação dos divisores de águas em que é possível definir a área de contribuição e a formação dos leitos fluviais. Sobrinho et al (2010) ressalta que a identificação dos interflúvios e do contorno da bacia através de dados SRTM é vantajoso uma vez que pode definir formas automatizadas para área de contribuição de uma bacia proporcionando um traçado padronizado.

Para verificar a precisão dos dados ALOS PALSAR (2007) o IBGE (2011) realizou através de uma comparação de dados coletados em campo com as imagens provenientes do satélite ALOS PALSAR, avaliação foi feita com medições dos deslocamentos planimétricos de pontos lotados em imagens SRTM ortorretificadas, com pontos coletados *in-loco*. Localizado no Rio de Janeiro, área amostrada cobriu parte de oito municípios na Região central do estado, testes foram capazes de identificar alta correlação, e a capacidade de eliminar pixels espúrios através da aplicação de filtros. No entanto, para parcela de relevo mais movimentado verificou-se a necessidade de corrigi-los através de pares de imagens em perspectivas distintas para correta extração de dados tridimensionais. IBGE (2011) avaliou a possibilidade de adquirir estes dados SRTM de fonte baixo custo, análise poderia concretizar aquisição se comparação entre pontos levantados em campo percorressem os diferentes formatos de relevo, altitudes e usos e ocupações.

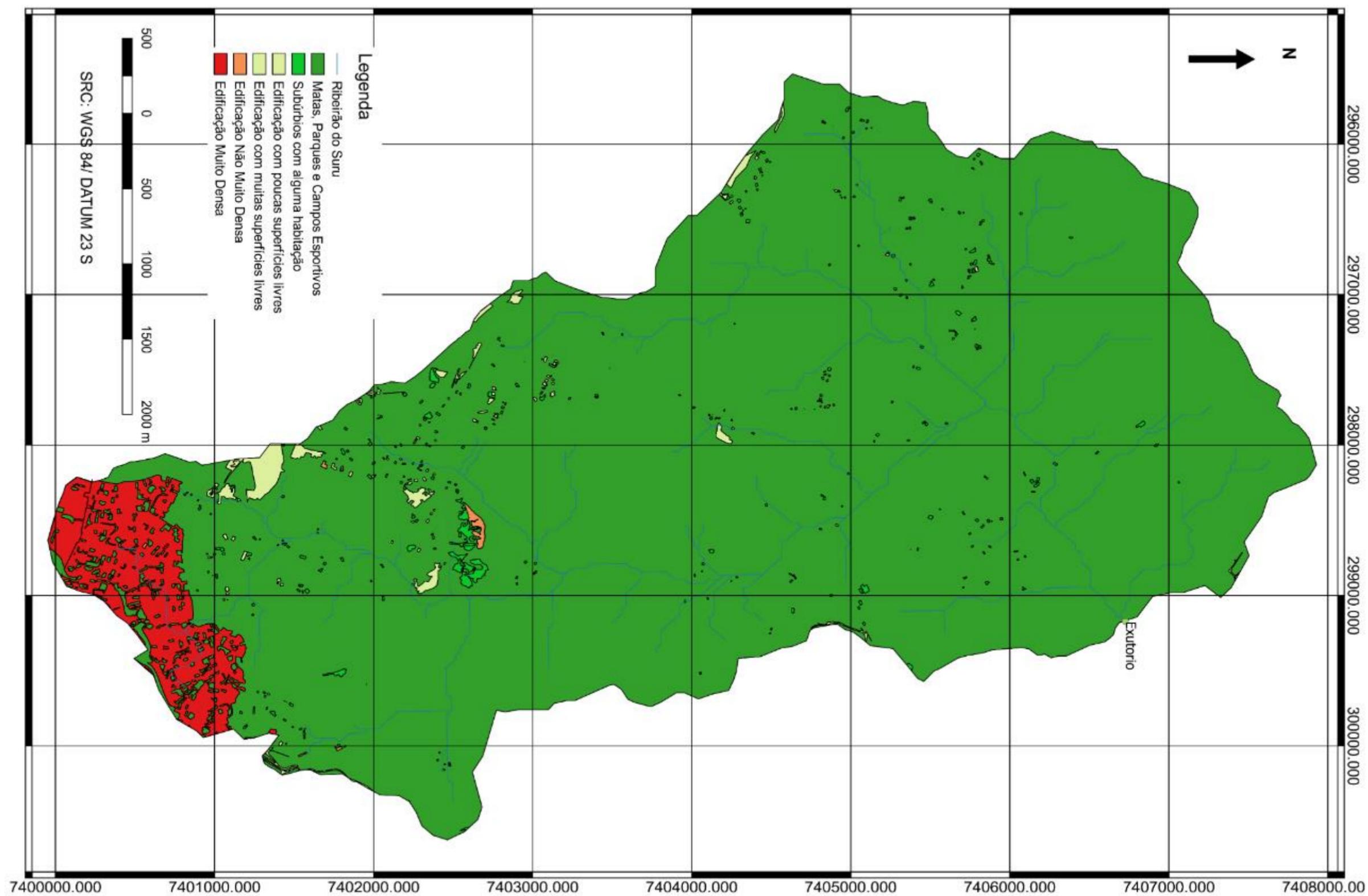
5.1 SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (SIG) COMO FERRAMENTA PARA ESTUDOS DE RENOVAÇÃO DE OUTORGA

A classificação manual (Figura 16 e 17) demonstra que a sub bacia não é fortemente adensada, os condomínios de alto padrão ao sul da bacia, na divisa com o município de Barueri são as classes que mais afetam o volume do escoamento superficial, os parâmetros de tempo de concentração e a vazão de pico.

Na classificação manual certas considerações para as classes devem ser feitas: vegetação rasteira tem aderência com denominação dada para classe “Matas, Parques e

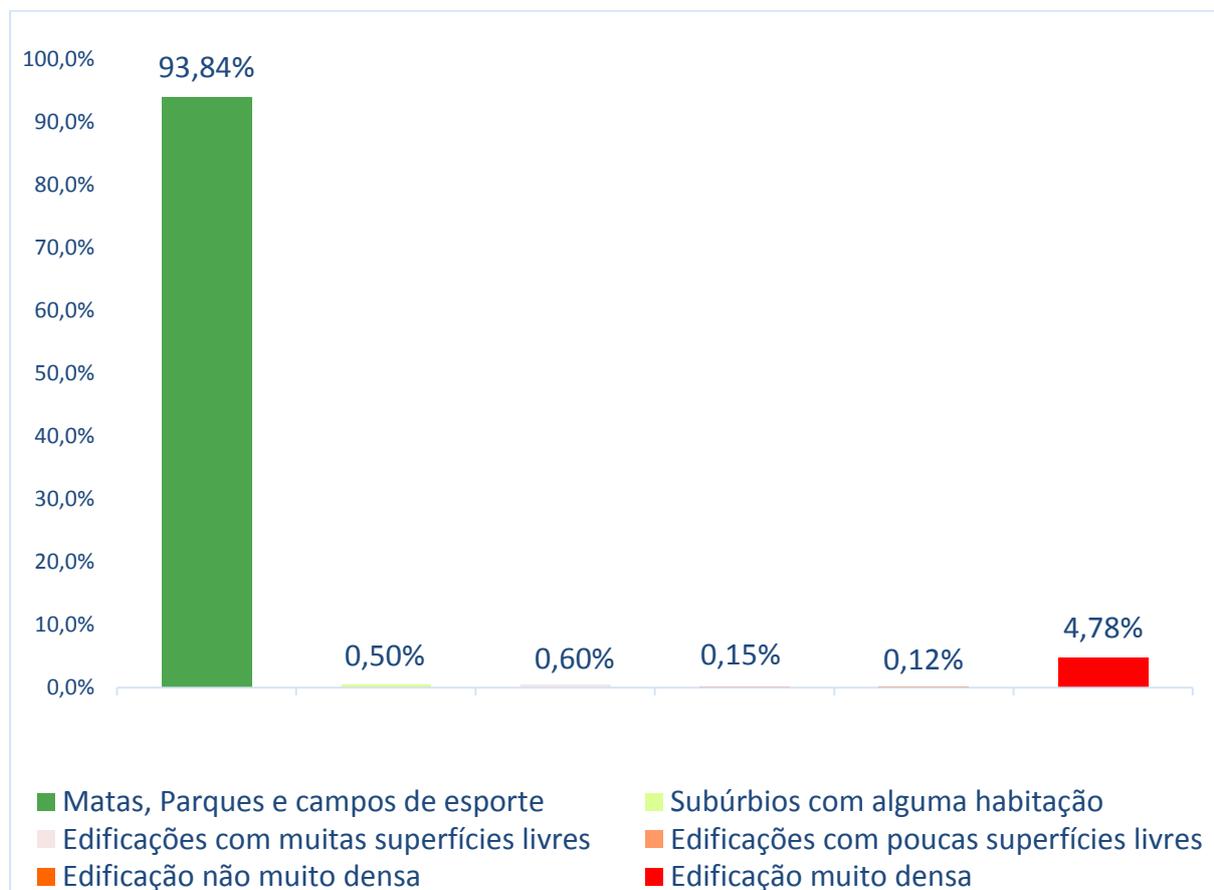
Campos de esportes” e não há distinção maior intraclasses capazes de separar as espécies arbóreas que são capazes de contribuir para infiltração diferentemente das classes voltadas para espécies gramíneas.

Figura 16 – Uso e Ocupação da Terra na sub bacia do Ribeirão do Suru (Santo André), Santana do Parnaíba - quanto aos graus de urbanização.



Fonte: EMPLASA (2011), adaptado pelo Autor

Figura 17 – Áreas quanto aos graus de urbanização da sub bacia do Ribeirão do Suru – Santana de Parnaíba.



Fonte: EMPLASA (2011), adaptado pelo autor

O uso de práticas de SIG e Sensoriamento Remoto vem ganhando destaque como ferramentas de apoio à tomada de decisão. Pessoa (2010) utiliza um SIG para dar apoio à estimativa da disponibilidade hídrica de uma bacia extraindo-se parâmetros físicos e topológicos, com o auxílio de modelos de elevação.

Diferente do que ocorre em obras hidráulicas de barramento que requerem a vazão máxima, a vazão de captação de rios ($Q_{7,10}$) varia conforme a disponibilidade hídrica, o modelo obtido com mapas de solo e uso e ocupação da terra e dados de postos pluviométricos embasam modelos de chuva-vazão. Enquanto a vazão de escassez hídrica, necessária para o atendimento público compreende demandas de contribuições mínimas. Neste estudo de Pessoa (2010) a análise feita compreendeu a análise do impacto da retirada da água da rede fluvial, e nos mananciais analisados, integrou-as, especializando-as, como os diversos requerimentos de outorgas e renovações de recursos hídricos podem ser trabalhadas, sazonalmente e com demandas variáveis.

Gonçalves (2009) contou em seu trabalho com auxílio de um modelo para gestão adequada de outorgas de recursos hídricos subterrâneos para identificar em um ambiente de SIG com informações de geologia, tipo de solo, declividade, precipitação, uso e ocupação da terra, vazão média de aquíferos, disponibilidade, potencial de recarga, bem como as classes de solo, favoráveis à exploração (boa condutibilidade hidráulica) e riscos potenciais de contaminação. Método empregado no estudo para capacidade de retenção de água nos Solos utilizou modelo de SCS de USDA (1986) combinando dados de uso e cobertura vegetal da terra com grupos hidrológicos de solos.

Para interface com Outorgas de Recursos Hídricos, Zanetti (2010) utiliza o SIG como ferramenta de recursos hídricos subterrâneos para o cálculo da disponibilidade Hídrica, comparando-os com a vazão outorgada pelo DAEE de 53 poços profundos.

Com a classificação OBIA realizada por meio das ortoimagens, devido à baixa resolução espectral e a baixa eficiência do VARI e TGI para separar vegetação rasteira da densa e concomitantemente o solo lavrado, o número de parâmetros de Textura GCLM desenvolveu-se em grande complexidade, abrangeu várias índices e partes (estatística de 2º ordem, índices e padrões geométricos). Analisou-se caso a caso a coocorrência com métricas de Homogeneidade para separação da Vegetação Densa; Segundo Momento Angular em todas as direções (0, 45, 90 135, 180 °, e, em todas direções simultaneamente) para extrair telhado do agrupamento formado com as vias pavimentadas e Desvio Padrão para a vegetação rasteira remanescente.

Estabeleceu-se regras geométricas (relação com borda e graus de assimetria) para diminuir a confusão criada entre as vias e os telhados. Regras (Tabela 12) não foram suficientes práticas para diminuir o grau de confusão criado tanto entre vias, telhados e solo lavrado (cultivos), tanto para solo lavrado e vegetação rasteira.

Com uma imagem pancromática, sem a banda do infravermelho próximo, os espelhos d'água foram identificados manualmente. Análise visual no eCognition® da classificação, permitiu uma pós-classificação, objeto por objeto na imagem, tornando a identificação das classes mais precisa.

Tabela 12 – Regras de Decisão para Classificação OBIA

Regras de decisão													Nível Hierárquico			
Classe	Textura						Geometria			Baseados em índices						
	Gray Level Coocurrence Matriz (GLCM)						Relação de bordas (vias)	Assimetria	Número de Bordas	Brilho	Média B3	Diferença Máxima		TGI (eq. 25)	VARI (eq. 24)	
	Segundo Momento Angular (Ang. 2nd)					Homog.										Desvio Padrão
	0	45	90	135	todas direções	todas direções										todas direções
Vegetação Densa	-	-	-	-	-	>0,031	-	-	-	<121	<108	-	-	-	1VD	
Vegetação Rasteira	-	-	-	-	-	-	<44	-	-	<88	-	-	-	-	1VD-2VR	
Urbano	Vias e Telhados	-	-	-	-	-	-	>0,10	-	-	-	-	<0,069	-	>=0 e <0,2	1(V+T)
	Vias	-	-	-	-	-	-	-	>0,78	-	-	-	-	-	-	1(V+T) - 2V
	Telhado	<=0,01 e >0,00095	>0,001	>0,00101	<=0,01 e >0,00099	>0,00046 e <0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1(V+T) - 2T
Cultivo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<0	-	1VD-2C 2VR - 3C	

Fonte: Autor (2018)

1 – 2 . Primeiro Nível Hierárquico – Segundo Nível Hierárquico.

C - Cultivo; T – Telhado; V – vias; V+T – Vias + Telhados, VR – Vegetação Rasteira; VD – Vegetação Densa.

Através do diagnóstico compreendeu-se que os condomínios fechados de áreas da sub-bacia do Ribeirão do Suru onde há predominância de assentamentos residenciais, possuem lotes com construções horizontais e ruas asfaltadas com árvores espalhadas isoladas ou lado a lado formando pequenos fragmentos, não há um padrão uniforme das casas, logicamente há uma grande heterogeneidade de tamanhos e formas das edificações. Desta forma, a segmentação e a classificação OBIA demonstrou que as casas são em grande parte formadas por cobertura cerâmica e minorias de telhas metálicas e lajes de concreto de cores claras, por tanto é a parcela

da sub bacia que possui maior dificuldade para separá-las em níveis, acarretando em subsequente desvio na estimativa do escoamento superficial.

Ribeiro, Fonseca e Kux (2011) foram mais afundo, com imagens de alta resolução *QuickBird II e WorldView II* definiram classes de cobertura do solo conforme o nível de detalhe que o material foi confeccionado: telha cerâmica, telha metálica, cobertura em cimento claro, médio e escuro, telha de cimento pigmentado, asfalto, piso em pedra natural, piscina e cobertura em PVC.

As resoluções espaciais das imagens utilizadas no trabalho de Ribeiro, Fonseca e Kux (2011) permitiram tal nível de detalhamento, portanto, este trabalho não abrangeu tal nível, as imagens utilizadas são provenientes de fontes *Open Source*, para o detalhamento exigido são necessárias aquisição de imagens com maior escala para identificação de diferentes feições com diferentes índices de infiltração.

As áreas construídas e pavimentadas aumentam gradativamente a impermeabilização dos solos da bacia, reduzindo sua capacidade natural de absorver as águas das chuvas, o que retarda o escoamento superficial, verifica-se que a urbanização de uma bacia altera a sua resposta à ocorrência de chuvas.

O método SCS de USDA (1986) estima maiores valores para o tempo de deslocamento da água nas superfícies do terreno, leva em consideração as perdas iniciais decorrentes da interceptação arbórea, e retenção de água nas depressões do terreno, diferentemente do que ocorre nas bacias urbanizadas, onde há uma diminuição do seu tempo de resposta. Pompermeyer (2013) confirma que no Brasil não há análise conclusiva sobre a parcela que é adotada para abstração inicial, reconhece-se que este aumento conseqüentemente acarreta na diminuição das vazões. Sobretudo, verificou-se através de análise que o método SCS de USDA (1986) não é totalmente viável para centros metropolitanos onde ocorre exatamente o contrário, tendência à valores de vazão de pico alto e menos tempos de deslocamento da água sobre a superfície.

Os estudos realizados para a vazão de projeto nas solicitações da obtenção de outorga ou renovações são aceitas com métodos calculados que não incorporam todas variáveis e fases do ciclo hidrológico. Em sub bacias com baixo grau de urbanização como a do Suru é prática aceitável considerar o método SCS de USDA (1986) que se destaca por representar bacias experimentais com predominância de vegetação, obtidos com técnicas integradas de SR e GIS, com um bom nível de associação à parâmetros de modelos de chuva-vazão.

Ribeiro (2009), através do OBIA criou classes semânticas de separação com características permeáveis e impermeáveis tomando por base imagens do Satélite *QuickBird II*, obtidas em diferentes datas para criação de regras capazes de gerar classes independentes

dos desvios causados pelas sombras das edificações, transformações urbanas da superfície terrestre e mudanças no vigor florestal, e, regras para determinação da rede semântica com diferentes condições atmosféricas, geométricas e de aquisição com modificações sutis nas regras de definição, cujo intuito, de separação de níveis das áreas impermeáveis, reconheciamas como as grandes responsáveis pelo aumento do escoamento superficial, diminuição da infiltração, aumento da velocidade de escoamento, inundações e erosão de solos expostos.

Conforme o agrupamento hidrogeológico em que se define o *Curve Number* (CN) podem contribuir mais ou menos para o escoamento superficial, condição específica é observada para a classe “vias” ou “telhados” para qualquer que seja o agrupamento de solo (de A até D) os CNs apresentarão o mesmo valor, 98, tal motivo de agrupá-las em uma única classe urbana.

Levantamento indica que o enfoque que pode ser dado aos sistemas de drenagem com medidas estruturais, com atenuação dos volumes de pico. Ramos et al (2017), em seu estudo elencou medidas estruturais que podem ser utilizadas separadamente ou em conjunto para minimizar os efeitos da impermeabilização do solo, pavimentos permeáveis e telhados verdes contribuem com uma diminuição de 20% para uma pequena bacia de 270 m². Estudo de Ramos et al (2017) demonstrou a necessidade do emprego conjunto de valas de drenagem com os telhados e pavimentos sustentáveis para Períodos de Retorno maiores como ocorre para obras hidráulicas de macrodrenagem como os barramentos.

Classificação é mais precisa e mais adequada para os modelos de chuva-vazão como o SCS de USDA (1986) do que as classes pré-definidas por EMPLASA (2006), Santana de Parnaíba (2006) e SMA (2010) anteriormente mencionadas, da sub bacia do Ribeirão do Suru, a única classe que apresenta a mesma ordem de grandeza é o solo exposto, respectivamente correspondem à cada um destes órgãos 2,52, 1,98 e 4,17% da sub bacia, mas que não tenha sido definida para este estudo.

Corpos d'água apesar de não representar parcela considerável para os modelos de chuva-vazão de SCS de USDA (1986) são apresentados apenas os espelhos d'água e classe ficou ausente em Santana de Parnaíba (2006).

As classes nos três órgãos não são totalmente apropriadas para correlacioná-las com CNs – SCS de USDA (1986) muito menos para o modelo de chuva vazão I-Pai-Wu, EMPLASA (2006) considera lotes com ocupação inferior à 10% como uso urbano. No tocante à áreas construídas, EMPLASA (2006), Santana de Parnaíba (2006) e SMA (2010) correspondem respectivamente à 4,52, 5,20 e 8,17%, com sutis diferenças à Santana de Parnaíba (2006) que admite uma parcela inferior à 0,30% que leva em conta na mesma classe

equipamentos urbanos de serviços públicos com áreas destinadas a práticas esportivas que possuem o potencial de infiltração superior à parte urbana.

Classes poderiam ser separadas em níveis na Classificação Baseada em Objeto para obter Coeficientes de Deflúvio com o grau de precisão mais acurado e determinar a parcela de vegetação esparsa em EMPLASA (2011). Chegam-se à valores próximos em Santana de Parnaíba (2006) e SMA (2010), correspondentes à 36,72 e 31,18%, mais coerente e adequados do que os 7,52% dado por EMPLASA (2006).

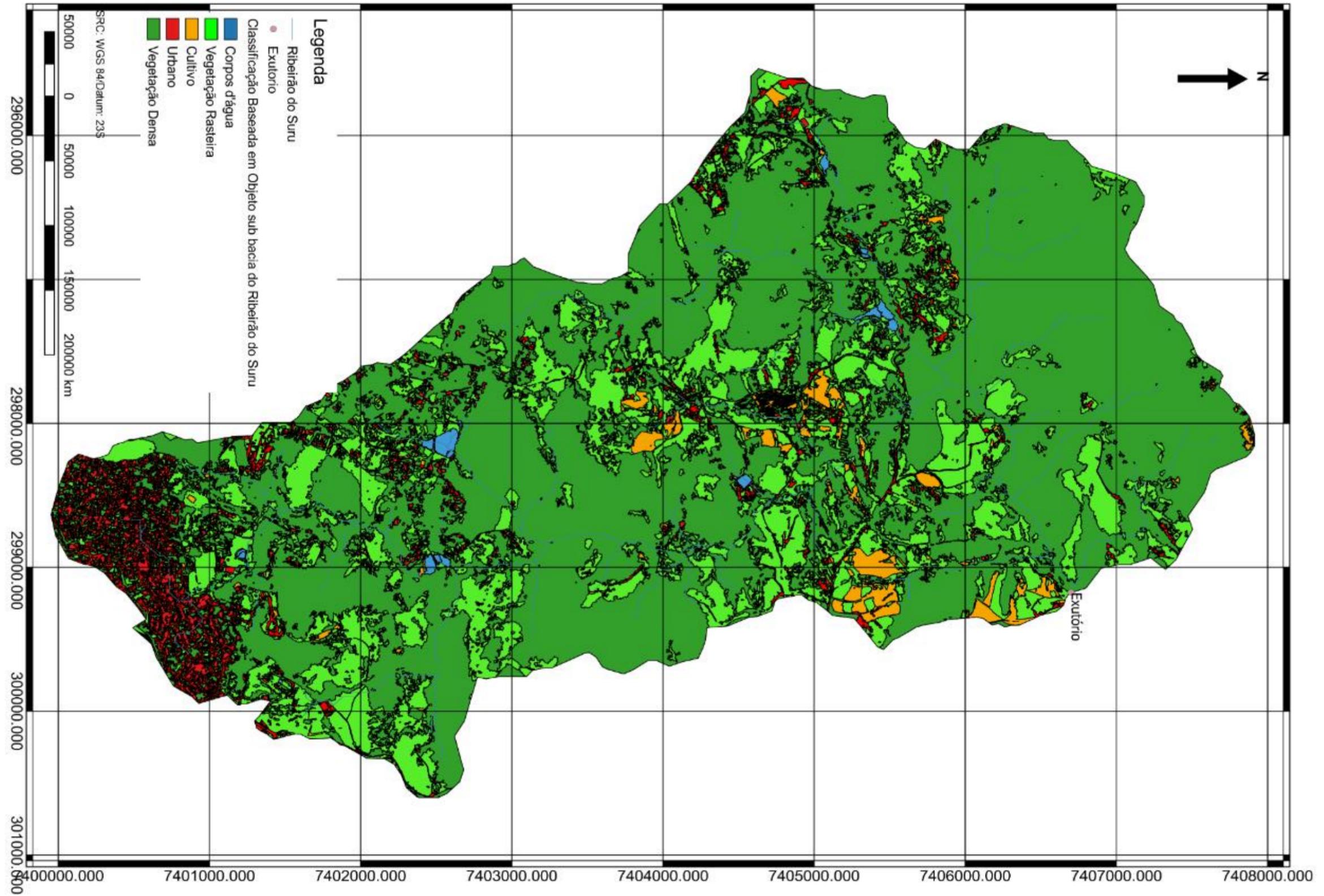
Incompatibilidade torna-se maior para as áreas agriculturáveis e pastoráveis de SMA (2010) que se elencam em classes de características esparsas. A vegetação considerada como densa (Mata, reflorestamento e silvicultura) não fugiram das expectativas, corresponderam à maior parte da sub bacia com EMPLASA (2006), Santana de Parnaíba (2006) e SMA (2010) respectivamente à 40,86, 43,48 e 55,97%.

Quando ocorre a segmentação em grandes polígonos, na classificação Baseada em Objeto, a escolha errada de uma escala de segmentação altera a formação de conjuntos e conseqüentemente incluem mais classes, abrangendo nos segmentos uma média de níveis de cinza que poderiam ser divididas em classes menores. IBGE (2012) esclarece que a visão humana não possui habilidade para distinguir diferentes tonalidades de cinza, mesmo se as imagens forem realçadas.

Para esta classificação de uso e ocupação do solo a preferência representação fotográfica de escala equitativa, seja qualquer ponto analisado, corrigidas de deformações da terra. A utilização de imagens ortoretificadas pancromáticas se apresentaram em condições melhores para a Classificação Manual e Baseada em Objeto nas áreas urbanas pela representação com uma boa escala à nível de detalhamento para resolução espacial. No entanto, na escala para a segmentação na classificação OBIA indica-se que a resolução oferecida pelas ortoimagens abrange médias de pixels complexas para definir regras para separá-las, resultando em uma maior interação manual do intérprete para o arremate final dos objetos que se encontravam fora de suas classes.

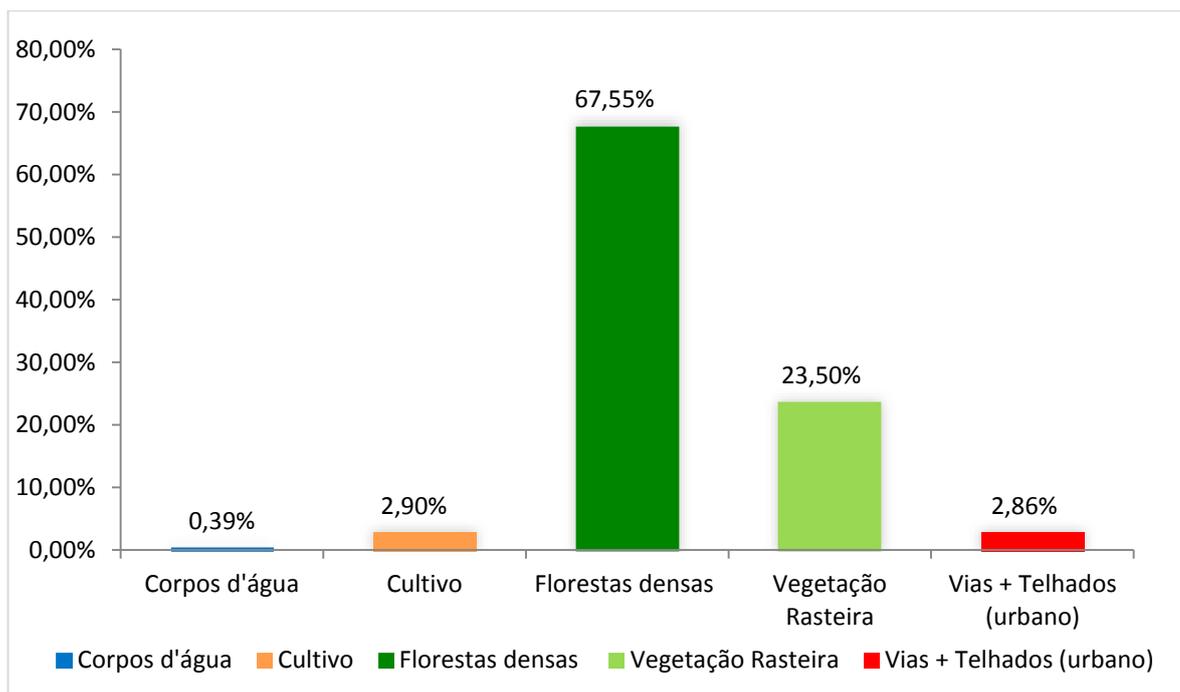
Na Ortoimagem, imagem pancromática gerou 6.191 segmentos (Figura 18), dentre os quais 25 segmentos são de corpos hídricos, 1.194 de Plantações regulares em fileiras retas (cultivos), 1.820 de Florestas densas de alta precipitação (vegetação densa), 1.217 de vegetação rasteira, 1.935 (de Arruamentos Asfaltadas e telhados) das feições urbanas. Respectivamente, correspondem à 0,39; 2,90; 67,55; 23,50; 2,86 e 2,80% de área da sub bacia (Figura 19).

Figura 18– Classificação Baseada em Objeto na sub bacia do Ribeirão do Suru (Santo André), Santana do Parnaíba.



Fonte: EMPLASA (2011), adaptado pelo autor

Figura 19– Áreas conforme classificação OBIA. Sub bacia do Ribeirão do Suru, Santana de Parnaíba



Fonte: EMPLASA (2011), adaptado pelo Autor (2018)

O processamento de imagens em escala adequada, com aproximação feita para o intérprete descrever as paisagens mais adequadas à situação real, chega-se a feições que deveriam ser visíveis para a classificação. No entanto, nem sempre as imagens disponíveis estão em escala adequada, o que prejudica a diferenciação das feições e limiares. Situação ocorre com frequência no levantamento de obtidos por órgãos públicos como visto em Santana de Parnaíba (2006), EMPLASA (2006) e SMA (2010).

Neste caso, as cenas obtidas por imagens gratuitas são fontes de dados e não estão em escala ou resolução espectral adequada para: definição de uma classe de vegetação esparsa; separar o solo exposto da região urbanizada com perfeição e identificar as espécies de vegetação densa ou gramíneas.

Enquanto o volume do escoamento superficial de USDA (1986) é determinado pelo: volume precipitado; características de infiltração do solo; chuva antecedente; tipo de cobertura vegetal; parcelas de superfície impermeável e retenção superficial, o tempo de concentração da água que estão em função da declividade, solos, comprimento de percurso e profundidade d'água do canal. Assim, merecida atenção deve ser dada aos cálculos do parâmetro temporais do hidrograma de cheias. Os parâmetros de tempo devem ser avaliados caso a caso.

Uma bacia com características urbanas e relevo acidentado, adotam-se métodos para estimativa do tempo de concentração das águas com modelos cinemáticos, mais apropriados para as maiores rampas, no entanto, quando se trata áreas vegetadas, tanto a infiltração como a interceptação devem ser considerada para o cálculo do tempo de concentração.

As taxas de infiltração e os volumes de subtração inicial do método SCS de USDA (1986) podem ser mais precisos se o tamanho e diâmetro das espécies arbóreas forem determinados com maior precisão, árvores de porte maior interceptam mais precipitação do que a vegetação rasteira e esparsa.

Indicadores de porte conforme o estudo de Ozdemir et al (2008) apresentam parâmetros de textura GCLM em imagens *ASTER* de resolução espacial de 15 m e várias escalas de segmentação para se obter estimativas sobre o tamanho médio de árvores em uma floresta mediterrânea na Turquia. Método empregado seguiu a classificação baseada em objeto correlacionando por meio de índices da diversidade do tamanho das espécies de acordo com o diâmetro das árvores. A textura por meio da matriz de coocorrência e descritivos de contraste, homogeneidade e homogeneidade nas quatro direções principais 0, 45, 90 e 135° trouxeram indicativos que permitiram relacionar a diversidade com o tamanho das árvores em grandes áreas geográficas, demonstrando-se aptas para avaliar mudanças na diversidade do tamanho das árvores conferindo vantagens nas intervenções como o de manejo florestal.

Devida importância da resolução das imagens ortorectificadas devem ser destacadas, no geral, imagens de melhor resolução espacial mostram-se mais eficientes, sobremaneira, nas fases de transição entre classes e na delimitação dos caminhos florestais, onde é possível para o olho humano identifica-las com mais facilidade, frequente nos fragmentos em que há delimitações bem definidas. Assim, além destas vantagens, neste aspecto é mais eficiente e conveniente trabalhar-se com imagens de alta resolução.

Por outro lado, conforme ressaltaram SCHIEWE e TUFTE (2011), há de se observar a resposta dos usuários quando lhes são apresentadas imagens aéreas, que nem sempre se dispõem de conhecimento prático de Sensoriamento Remoto quanto à textura, padrões e tonalidades da imagem para a identificação destas feições.

Em defesa de análises mais concretas para a determinação de parâmetros do solo que influenciam os valores de CN no método do SCS de USDA (1986), determinações de campo como testes de infiltração, permeabilidade com e sem a presença de lençol freático devem ser realizada para avaliar o comportamento da condutibilidade hídrica do solo, e a escolha dos perfis de solo que embasariam SCS de USDA. Costa (2010) realizou uma análise mais precisa dos solos para simulação o modelo de escoamento superficial baseado em SCS de USDA (1986),

avaliação consistiu em coletar amostras em campo e definir as classes do solo conforme suas propriedades extraídas de ensaios de porosidade, permeabilidade, condutibilidade hidráulica e fertilidade que demonstraram com maior clareza as taxas de abstração inicial (Ia) e taxas menos propícias ao escoamento superficial.

Em uma análise temporal sobre uma bacia hidrográfica de 35,845 km², Soares (2017) realizou levantamentos de uso e ocupação da terra em 1986 e 2011 em mapas com escalas regionais da ordem de 1:250.000, afim de verificar se o método *SCS de USDA (1986)* apresenta compatibilidade com a escala de trabalho, e determinou quais são os melhores variáveis para definir o comportamento hidrológico da bacia através de uma análise canônica, o teste atribui pesos para os Coeficientes de Deflúvio (CN) se demonstrou apta nesta escala, com uma forte correlação. No entanto, a escala dos mapas utilizados não são os melhores, os levantamentos disponíveis para o reconhecimento de solos para estudos integrados de micro bacias segundo EMBRAPA (2005), devem possuir imagens e mapas em uma escala superior a 1:50.000, enquanto projetos de drenagem em levantamento detalhado devem ser superiores a 1:20.000, bem distante da escala fornecida para o estudo do solo.

Para a análise hidrogeológica dos solos, segundo o levantamento conforme determina Rossi (1999) e da classificação de EMBRAPA (1999) verificou-se que os solos pertencem ao agrupamento hidrogeológico D. Devido à falta de dados para este tema, utilizou-se classificação definida pela Embrapa (2001) cuja escala de trabalho foi realizada em 1:5.000.000, em escala esquemática. Pompermeyer (2013) esclarece que a disponibilidade de informações sobre os solos no país é limitada, ao mesmo tempo que são essenciais para determinação do CN no modelo SCS de USDA (1986).

A sub bacia do Ribeirão do Suru é protegida por lei, nas disposições observadas do zoneamento municipal em Santana de Parnaíba, florestas fortemente adensadas e remanescentes arbóreos compõem grande parte da sub bacia, tais regiões, com os menores índices de escoamento superficial devem ser analisadas de modo que não negligencie como os *pedons* e a cada espécie vegetal que contribuem para infiltração.

No estado de São Paulo, devido ao dispendioso e custoso trabalho de levantamento pedológico, não há fonte atualizada de mapas de solo capazes de fornecer informações para a escala de trabalho 1:10.000 ou resolução espacial de 1 m. É recorrente a falta de estudos específicos de solo no Brasil e em maior escala de detalhe na região de estudo, as observações de comportamento do solo devem ocorrer pontualmente em locais estratégicos capazes de gerar representações para a sub bacia, e devem ocorrer em observações reais da sub bacia sem se declinar para a situação mais crítica, à favor da segurança.

A ausência de um estudo mais apurado sobre a pedologia da região dificulta a identificação correta do solo ao qual a parcela pertence para se estimar a vazão de projeto, representá-lo corretamente inclui grande expertise nos fenômenos que envolvem na sua formação. A região apresentada tem uma média precipitação DAEE (2017), indicando que o processo de formação dos solos envolve tanto alterações químicas quanto físicas e grande diferenciação da rocha matriz aumentando o grau de dificuldade para a escolha de parâmetros dos modelos hidrológicos. Contexto pode ser atribuído para escolha de imagens de boas resoluções temporais com condições de indicar o grau saturação que influenciam nos modelos de chuva-vazão.

Classes de relativas às porções de solos expostos e áreas agrícolas como cultivo intensivo de culturas que levam ao desgaste do solo, (em classificação adotada neste trabalho ocorre certa confusão entre os cultivos recém colhidos com solos desnudos), por conseguinte ficam totalmente expostos à ação das enxurradas, produzindo a erosão superficial e consequentemente o aumento do transporte sólido na área da sub bacia de menor declividade.

É certo que ocorrem desvios temporais, físicos, instrumentais e interferências atmosféricas. A coleta *in-loco* de referências com aparelho de GPS deve garantir a eficácia das coletas de treinamento tem que atuar à favor da avaliação de eficiência classificatória

Somam-se com dados obtidos pela amostragem do solo a identificação das camadas Horizontes. Imagens aéreas para dados pedológicos nem sempre são as fontes mais confiáveis para classificações de solos, mudanças abruptas de horizontes mascaram as reais propriedades dos perfis de solo, a exemplo, horizonte A mais profundos com características arenosas indicam uma rápida drenagem, no entanto, nos seus horizontes subjacentes a presença de materiais argilosos reduzem a infiltração de água no solo, encharcando e saturando as camadas arenosas suprajacentes, aumentando gradativamente o escoamento na superfície acarretando no desgaste, erosão e perda de coesão das mais superficiais.

5.2 AVALIAÇÃO DE ACURÁCIA

A classificação OBIA por meio de Ortoimagens proporcionou um grau de eficiência maior (Tabela 13), no entanto, como imagem não possui bandas no espectro do Infravermelho Médio e Próximo, e não foi possível criar índices que permitam o usuário distinguir a classe de “Vegetação Esparsa”, ao mesmo tempo, a aplicação de Matrizes de coocorrência para separação de classes por meio de textura, cujos conceitos envolvem estatísticas de 2º ordem para os níveis de cinza com repetições e padronizações das unidades de pixel dentro das classes vegetação não se tornaram totalmente eficientes.

A classificação OBIA resultou em um número reduzido de classes vegetais, visto que as “classes urbanas” possuem feições mais apropriadas para classificação OBIA já que possuem características geométricas mais adequadas para a mesma, diferente do que ocorre nas classes com padrões aglomerado curvilíneo, sinuosos ou aleatórios das classes vegetadas.

Tabela 13 – Matriz de Confusão da classificação OBIA em ortoimagens.

Classes	Referência	VD	V	VR	C	T	A	Σ colunas
Classificação								
Vegetação Densa (VD)		10	0	0	4	0	0	14
Vias (V)		0	9	0	0	0	0	9
Vegetação Rasteira (VR)		0	0	10	3	0	0	13
Cultivo (C)		0	1	0	5	0	0	6
Telhado (T)		0	0	0	0	10	0	10
Corpos d'água(A)		0	0	0	0	0	8	8
Σ linhas		10	10	10	12	10	8	60
Σ Diagonal	52							
Número das amostras (N)	60							
Σ produto da soma entre colunas e linhas	596							
Kappa (K)	0,8402							
K%	84,02%							

Os resultados da classificação OBIA apresentou graus de segmentação superiores à classificação manual utilizando o modelo de chuva-vazão de I-Pai-Wu e classificação de São Paulo (1999). Nota-se que escala destas seis classes estão inseridas em classes urbanas com características fortemente detalhadas, e não há fonte de dados gratuita de imagens com a resolução espacial adequada.

A ortoimagem cedida pela EMPLASA apresenta a resolução espacial de 1 metro, no entanto, na classificação OBIA para separação das classes vegetadas, não se pode de separar uma classe para vegetação esparsa devido à impossibilidade de coletar dados das imagens sem os sensores no infravermelho médio e próximo, segundo Florenzano (2011) para o mapeamento de relevo nas regiões de baixa densidade de cobertura vegetal são apropriados imagens do infravermelho médio, enquanto nas regiões com forte adensamento vegetal são apropriados usos das imagens de infravermelho próximo. Bouvier, Bouchenaky e Trambly (2018), utilizaram espectros de bandas do Infravermelho próximo através do Índice de Vegetação e Diferença Normalizada (NDVI) para monitorar a sazonalidade da vegetação estabelecendo uma correlação com o comportamento hidrológico de uma média bacia rural de 16,2 Km², observando 28 eventos de precipitação, e demonstrou-se que a correlação é superior aos obtidos por modelos hortonianos de infiltração do solo. Análise indica o papel da vegetação no aumento da capacidade máxima de armazenamento de água à medida que as áreas verdes crescem e como o crescimento das plantas é capaz de alterar a abstração inicial (Ia) dada pelo modelo SCS de USDA (1986).

No levantamento *in situ* dos diferentes usos da terra na sub bacia do Ribeirão do Suru foi possível observar nos arredores das rodovias (das principais vias percorridas Estrada Ecoturística do Suru e Estrada do Ingai) na baixa, média e alta bacia foi possível observar diversos usos do solo, áreas de empréstimo de solos (Figura 20 - a), depressões formadoras de lagos (Figura 20 - b) agriculturáveis (região não apresenta solo favorável para cultivos) (Figura 20 - c), assentamentos residenciais de alto padrão (condomínios) (Figura 20 - d), chacareiros (Figura 20 - e), hermitões em casebres ao longo de leitos de rios (Figura 20 - f) e pesqueiros (Figura 20 - g) próximos ao exutório da sub bacia, um deles, o pesqueiro do Suru, possui o principal acesso ao barramento (Figura 20 - h). Contraste no cenário é mais visível quando se percorre a sub bacia do Norte, divisa com Pirapora do Bom Jesus até o limite municipal ao sul onde estão Barueri e Itapevi. Enquanto na baixa bacia é possível avistar áreas de cultivos, áreas degradadas por queimadas (Figura 20 - i) e solo exposto (Figura 20 - j), na alta bacia situam-se uma hípica de equinos (Figura 20 - k), casas de luxo e áreas com alto índice de ocupação (Figura 20 - l).

Figura 20 – Diversos usos do solo na sub bacia do Ribeirão do Suru



Figura 20 – Diversos usos do solo na sub bacia do Ribeirão do Suru. (continuação)



Fonte: Acervo Pessoal (2018)

É notório que em regiões vegetadas ou em uma fase de transição da metrópole para área o rural, os mais indicados para analisar o efeito da urbanização no cálculo de vazão é a classificação baseada em objeto com o modelo chuva-vazão SCS-CN de USDA (1986). Ao contrário da segmentação manual por pura percepção do visual do interprete, os segmentos, tanto em número quanto em formato, apresentaram-se mais eficientes para aplicação do método, objetos identificados possuem compatibilidade maior com os pressupostos do SCS-CN de USDA (1986).

O SIG e o Sensoriamento Remoto são ferramentas que trazem vantagens para verificação do uso e ocupação da terra ao modo que permitem as tarefas mais onerosas e demoradas serem mais rápidas e eficazes, obtendo bons resultados. A cobertura da terra sofre com constantes alterações provocadas e devem ser empregadas métodos que demonstrem como estas mudanças alteram o escoamento superficial e na dimensão deste estudo, como influenciam na estimativa de vazão da sub bacia.

Como próximos passos, reconhece-se que existem modelos de chuva-vazão mais robustos e torna-se um desafio para o hidrólogo demonstrar como todos fenômenos físicos e

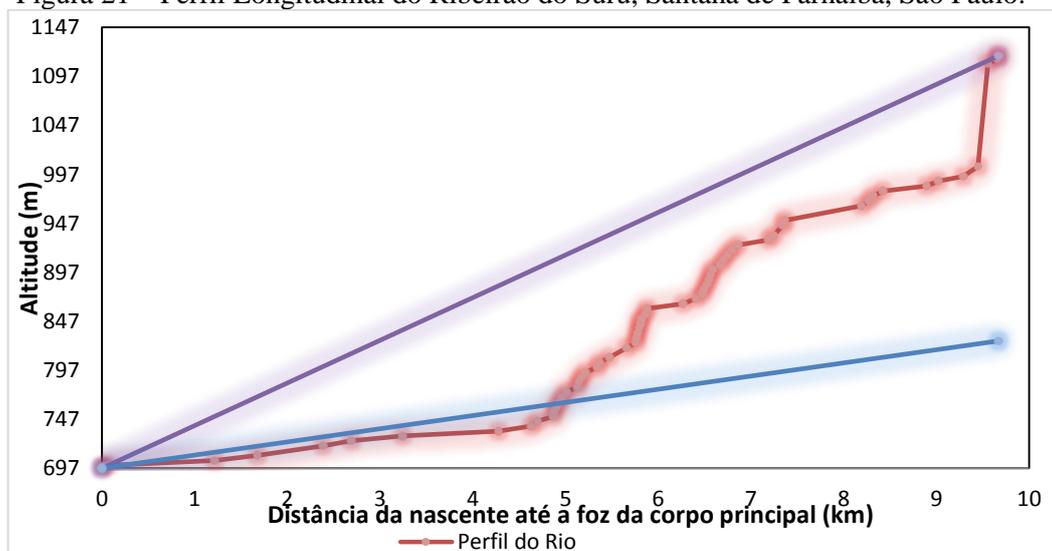
temporais refletem sobre as bacias hidrológicas e abordarem ainda classes oriundas de levantamento de uso e ocupação da terra com maiores graus de correlação.

Verificou-se que tanto a classificação baseada em objeto quanto a classificação manual são métodos capazes de obter uma boa correlação com classes obtidas por técnicas de levantamentos de uso e ocupação da terra, e, servirem como parâmetros para os modelos de chuva-vazão. Assim, as classes de: (i) vegetação densa; (ii) vegetação rasteira; (iii) urbano e (iv) cultivos se relacionam com as classes de usos do SCS de USDA (1986) (tabelas 7 e 8). Enquanto a classificação voltada para o adensamento urbano (São Paulo, 1999) com as classes de: (i) Matas, Parques e Campos Esportivos; (ii) Subúrbios com alguma habitação; (iii) Edificação com poucas superfícies livres; (iv) Edificação com muitas superfícies livres; (v) Edificação não muito densa e (vi) Edificação muito densa possuem condições de gerar estimativas de deflúvio embasando parâmetros de I-Pai-Wu, pormenorizando e atendendo os valores do Coeficiente de *Runoff* recomendados por DAEE (2005) (Tabela 1).

5.3 PARÂMETROS DIMENSIONAIS E HIDROLÓGICOS DA BACIA DO RIBEIRÃO DO SURU

A velocidade de escoamento superficial, volume de água infiltrado e a quantidade de água retida em depressões depende da declividade dos canais, a forma mais comum de se obter a inclinação do perfil é dividindo as diferenças de elevação pela extensão dos rios (Figura 21). Por outro lado, o perfil longitudinal é mais representativo se obtido pela divisão em vários segmentos retilíneos, devido a variação da declividade e do tempo de percurso que sempre variam em toda sua extensão (média harmônica) assim como o levantamento das cotas e distâncias. Resumidamente, a Tabela 14 trata das principais características físicas do Ribeirão do Suru.

Figura 21 – Perfil Longitudinal do Ribeirão do Suru, Santana de Parnaíba, São Paulo.



Fonte: Autor (2018)

Tabela 14- Características Físicas.

Curso D'água	declividade equivalente m/km	Comprimento do Talvegue Principal L (km)	Tempo de Concentração (tc)	
			(min)	(h)
Ribeirão do Suru (Santo André)	13,44	9,67	120	2

Fonte: Autor (2018)

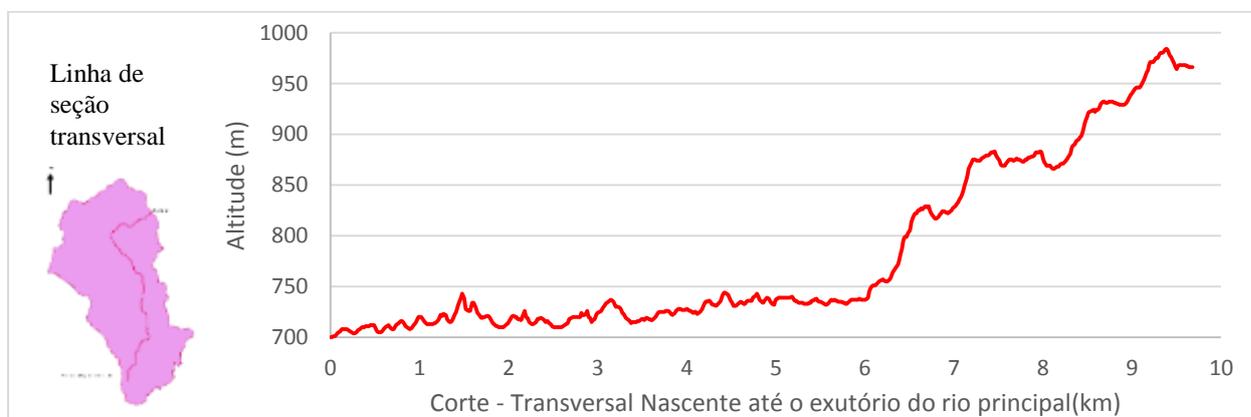
Por se tratar de uma bacia relativamente pequena com predominância de usos rurais, utilizou-se a fórmula de *Kirpich* (1940). Silveira (2005) explica que a fórmula foi concebida a partir da experimentação de apenas 06 bacias rurais no estado do Tennessee nos EUA, com áreas predominantemente rurais e pequenas áreas com declividades consideráveis, o que pode ser verificado na sub bacia do Ribeirão do Suru.

De acordo com Vergultz (2016), que a fórmula foi adaptada pelo Centro de Tecnologia em Hidráulica (CTH) com média equivalente do talvegue principal da bacia de contribuição.

Reforça-se a escolha com o estabelecido pelas diretrizes mínimas da Instrução técnica do DAEE (2017) para integrarem cálculos dos pedidos de outorga, e, recomenda que os valores do tempo de concentração não sejam maiores que a referida fórmula do CTH. Obteve-se para a bacia do Suru o tempo de concentração de $tc = 120,00 \text{ min}$ ou $tc = 2,0\text{h}$.

Analisando a seção transversal da sub bacia (Figura 22), do exutório até o ponto mais afastado, nota-se a que a média harmônica calculada de forma distribuída com o método aplicado neste estudo não seja representa a melhor indicação, já que o valor de $0,013 \text{ m/m}$ demonstra um movimento lento, pouco sensível para o modelo adotado na sub bacia.

Figura 22 – Altimetria do Talvegue, do exutório até a nascente mais distante da sub bacia do ribeirão do Suru, Santana de Parnaíba, São Paulo.



Fonte: JAXA/METI (2010), adaptado pelo autor

USDA (1986) ressalta que o Modelo de SCS de USDA (1986) é condizente para simular o deflúvio em bacias com características rurais, é intrínseco à modelagem obter uma boa correlação

com o tempo de concentração, diferente do que ocorre em bacias com áreas altamente impermeabilizadas. Ramos et al (2017) estimou o tempo de concentração por diferentes métodos em uma pequena bacia de aproximadamente 270,00 m² e demonstrou que o tempo de concentração pela fórmula de *Kirpich* é inferior ao tempo dado por SCS em 55%, estudo simulou ainda cenários com a bacia para maiores índices de impermeabilização e indicaram um aumento na vazão de 71% (0,67 m³/s) em relação às condições iniciais, utilizando o tempo de concentração médio, superior à 20% (12 minutos) de *Kirpich* e inferior à 20% de SCS (20 minutos).

Reconhece-se também que os valores obtidos nestes métodos trarão sempre uma imprecisão, devido às incertezas hidrológicas, às simplificações adotadas. Não é a ausência dados históricos de vazão e precipitação que não se deve atuar sem cuidados, como utilizar o tempo de concentração em metodologia de cálculo de bacias urbanas em bacias rurais ou que tenham predominância de áreas verdes.

Período de Retorno da Chuva de Projeto

Para a estimativa da chuva de projeto, conforme a Tabela 5 adotou-se Período de Retorno igual a 100 anos, através da (eq. 41) :

$$i(120;100) = 51,84\text{mm/h}$$

Determinando os coeficientes do método I-Pai-Wu Fator de Forma (eq. 21) (F) =1,87 e o Coeficiente de Forma (eq. 22) C₁=1,03

Martinez Junior (2016) et al indicou que as séries históricas das quais foi possível obter a expressão de chuvas intensas do Estado de São Paulo foram suficientes para gerar médias consistentes diminuindo desvios, no mínimo são necessárias amostragem de 20 anos para tal e as recomendam para o dimensionamento de obras hidráulicas, ora que podem sofrer variações pelas condições locais, regime de precipitação ou proximidade à estação pluviométrica que apresenta a referida equação.

Do ponto de vista hidrológico, a média harmônica calculada de forma a indicar um movimento lento, pouco sensível para o modelo SCS de USDA (1986) e I-Pai-Wu. Ressalta-se que este parâmetro tem sensibilidade considerável na definição do tempo de concentração, que define o tempo de pico no método do SCS de USDA (1986).

Considerou-se para a área em questão, o grau de impermeabilização BAIXO, por apresentar áreas cultivadas, pastagens e vegetação esparsa, sendo utilizado coeficiente C₂ referente a interpretação das feições distribuídas na porção da sub bacia do Ribeirão do Suru (Figura 17 e 18). Verificou-se por meio da classificação que o índice de adensamento é bastante prático para regiões urbanas e não possuem similaridade com os padrões encontrados para área com predominância de áreas verdes.

5.4 AMORTECIMENTO DE ONDA DE CHEIA NO BARRAMENTO DO CÓRREGO DO RIO SURU

Admitindo-se a vazão limite do sangradouro do barramento da sub bacia do Ribeirão do Suru como vazão máxima de saída, desconsiderando-se as perdas e infiltrações, das equações 32 e 35:

$$Q_{vert} = 21,04 \text{ m}^3/\text{s}$$

E o volume de entrada do reservatório:

$$V_e = 372.481,20 \text{ m}^3$$

Para estimativa dos volumes parciais do reservatório, calculou-se o valor da área intermediária entre duas cotas adjacentes, multiplicando-se este valor pelo desnível para determinar o volume contido nestas duas cotas de nível. Admitiu-se as cotas do talvegue na seção do barramento, determinando-se as áreas entre as cotas (Tabela 15). Com exceção da primeira linha, toda a estimativa de volume é dada pela conformação de “tronco de pirâmide”, já o primeiro volume é dado pela determinação de um tetraedro, cujo vértice é dado pelo talvegue.

Tabela 15- Relação Cota – Área – Volume.

Cota (m)	Área (m ²)	Área Média (m ²)	Volume (m ³)	Volume Acumulado (m ³)
699,30	0	0,00		0,00
700,00	3.105,96	-	724,72	724,72
705,00	136.271,29	69.688,62	348.443,12	349.167,85
710,00	302.630,71	219.451,00	1.097.255,01	1.446.422,86

Fonte: Sabesp (2009), adaptado pelo autor.

Por interpolação determinou-se o volume de amortecimento, pela diferença entre as cotas de soleira e paramento da barragem, resultando em:

$$V_R = 140.101,97 \text{ m}^3$$

Conforme a equação 33, calculou-se o Volume Acumulado e a Vazão afluyente:

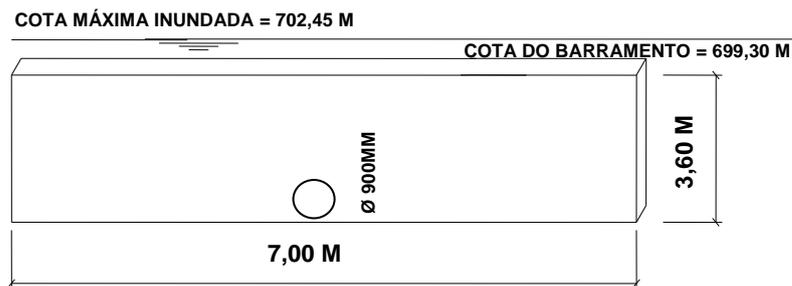
$$V_{s'} = 232.379,03 \text{ m}^3$$

Com $Q_{smax} = 21,52 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, próximo ao estimado para a Vazão do vertedouro na cota da soleira

5.5 VERIFICAÇÃO DA CAPACIDADE HIDRÁULICA DO BARRAMENTO

Realizou-se o cálculo capacidade limitante de cada dispositivo (eqs. 35 e 36) e a relação cota-descarga para o seu funcionamento em conjunto, a cada 0,5 m, simulação indicou que a cota 700,90 m é dada à extravazão da vazão determinada para o vertedouro e 702,00 m é a cota para que não ocorra o galgamento do barramento e 702,45 m a cota limite para que não ocorra danos mais expressivos à jusante. Simplificadamente o barramento da sub bacia do Ribeirão do Suru é representado pela Figura 23

Figura 23– Representação esquemática barramento do Ribeirão do Suru



Fonte: Autor (2018)

Conforme dados de projeto da Sabesp (2009) o dispositivo de descarga do reservatório do Suru é composto por um sangradouro de Soleira fixa na cota 699,30 m e altura do paramento na altura máxima de 702,30 m.

5.6 VAZÃO DE PICO – I-PAI-WU

Decorrente do levantamento do uso e ocupação da terra pelo método de classificação manual obteve-se o coeficiente de escoamento superficial (Tabela 16) das áreas classificadas conforme as seis classes definidas por São Paulo (1999).

Considerando que o volume efluente é igual ao volume afluente, sem ocorrência de perdas no barramento, os gráficos (Figuras 24 (a) e (b)) indicam que há uma atenuação de pico a jusante, ao longo do tempo o volume reservado é descarregado com valores inferiores aos de entrada, enquanto para os Cmin (Figura 24 (c)) demonstra que as baixos vazões de entrada não superam o vazão de extravasão estimada para os vertedouros.

Tabela 16 - Coeficiente de Escoamento Superficial C conforme classificação das áreas (Santana de Parnaíba).

Valor de C	% da sub bacia do Suru	Área (m ²)	C min	C méd	C máx	C minxA	C médxA	C máxxA
0,70 a 0,95	4,78%	1.002.195,24	0,70	0,825	0,90	701.536,67	826.811,07	901.975,71
0,60 a 0,70	0,12%	25.635,79	0,60	0,670	0,70	15.381,47	17.175,98	17.945,05
0,50 a 0,60	0,15%	31.051,83	0,50	0,550	0,60	15.525,92	17.078,507	18.631,10
0,25 a 0,50	0,60%	126.299,07	0,25	0,375	0,50	31.574,77	47.362,151	63.149,53
0,10 a 0,25	0,50%	105.656,21	0,10	0,175	0,25	10.565,62	18.489,837	26.414,05
0,05 a 0,20	93,84%	19.662.875,95	0,05	0,125	0,20	983.143,80	2.457.859,494	3.932.575,19
ΣArea		20.953.714,09	ΣCx/ΣA			0,08	0,16	0,24

Fonte: Autor (2018)

A Vazão efluente Qmin, Qmed e Qmax e afluente foram determinadas respectivamente conforme Cmin, Cmed e Cmax (Tabela 16), vazão pela cota de extravasamento, onde foi possível observar a Vazão de Saída da reservação formada pelo

barramento (vazão do vertedor - $21,04 \text{ m}^3/\text{s}$) com tempo de base conforme determina DAEE (2005) (Figura 9) ($3 \times t_c$)

.Figura 24– Vazão afluyente conforme (a) $C_{\text{máx}}$, (b) $C_{\text{méd}}$ e c) vazão afluyente.

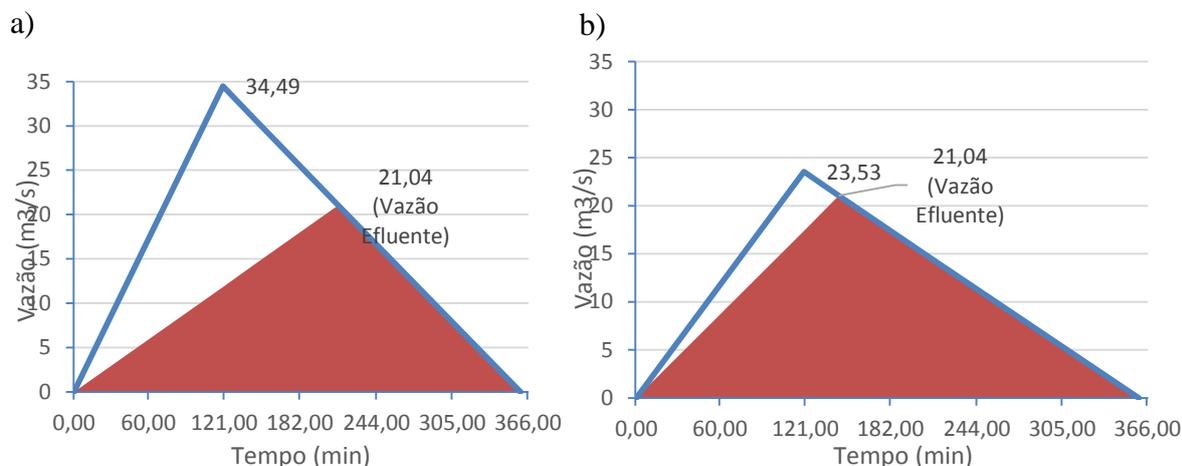
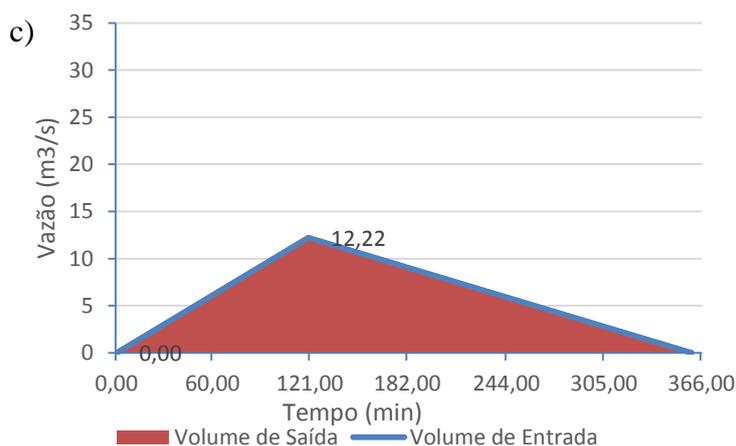


Figura 24– Vazão afluyente conforme (c) C_{min} e vazão efluente



Fonte: Autor (2018)

Maria Filho et al (2016) apresentaram propostas para controle de inundação em uma bacia situada no município de Taubaté através da utilização de barramentos para detenção do escoamento superficial, estudo utilizou concomitantemente a metodologia I-Pai-Wu e SCS de USDA (1986) para estimativa da vazão afluyente com chuva máxima com 100 anos de Tempo de Retorno. Na análise, de montante para jusante dividiu-se a bacia em quatro para controle da detenção do deflúvio das tais áreas, o método SCS através do CN foi proposto para o cálculo da precipitação efetiva e conseguinte cálculo do coeficiente de escoamento volumétrico C_2 de I-Pai-Wu, fornecendo a vazão máxima afluyente das 4 sub bacias, simplificadamente através da determinação da vazão efluente e das curvas cota x volume dos supostos represamentos do deflúvio das sub bacias constatou-se que é possível reter o escoamento superficial evitando problemas à jusante.

Por outro lado, em um estudo mais abrangente Genovez (1991), utilizando 15 bacias rurais, entre pequenas e médias bacias, variando de 15 a 400 km², o método I-Pai-Wu apesar de resultarem os menores valores de pico do que os métodos do HU sintético de SCS e Ven Te Chow possuíam uma forte tendência de apresentarem valores maiores. Em bacias menores o coeficiente de distribuição K é próximo a 1,00, apresentando grande similaridade à metodologia simplificada do método racional Q= C.i.A, apresentaram diferenças maiores pela exponenciação da área de contribuição, proximidades indicam valores de deflúvio mais altos, considerando que dificilmente a precipitação máxima venha a ocorrer com o Período de Retorno indicado por Maria Filho et al (2016) e sendo que os usos e ocupações da bacia sofrem constantes modificações, favorecendo o aumento do escoamento superficial, o método de I-Pai-Wu pode implicar em estimativas superiores levando o superdimensionamento de obras hidráulicas.

5.7 COEFICIENTE DE DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL (K)

Da Figura 4, através do tempo de concentração e da área de drenagem da sub bacia do Ribeirão do Suru determinou-se o coeficiente K = 0,97. Portanto, para a seção de controle tem-se uma vazão de (eq.21) 34, 50 m³/s

5.8 HIDROGRAMA UNITÁRIO – *SOIL CONSERVATION SERVICE* (SCS)

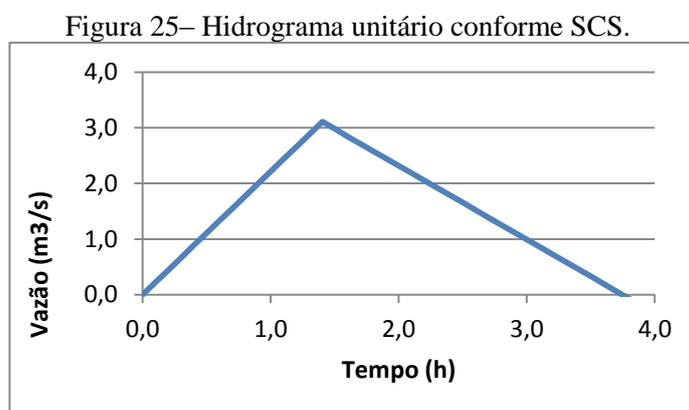
Os resultados da classificação das ortoimagens foram submetidas à análise, obteram-se os hietogramas e hidrogramas com o tempo de pico para precipitação unitária (P= 1, 00 mm) das equações (27 e 29):

$$t_p = 1,4 h$$

$$\text{Com } t_b = 3,7 h$$

$$\text{Logo: } q_p = 3,1 m^3 \cdot s^{-1}$$

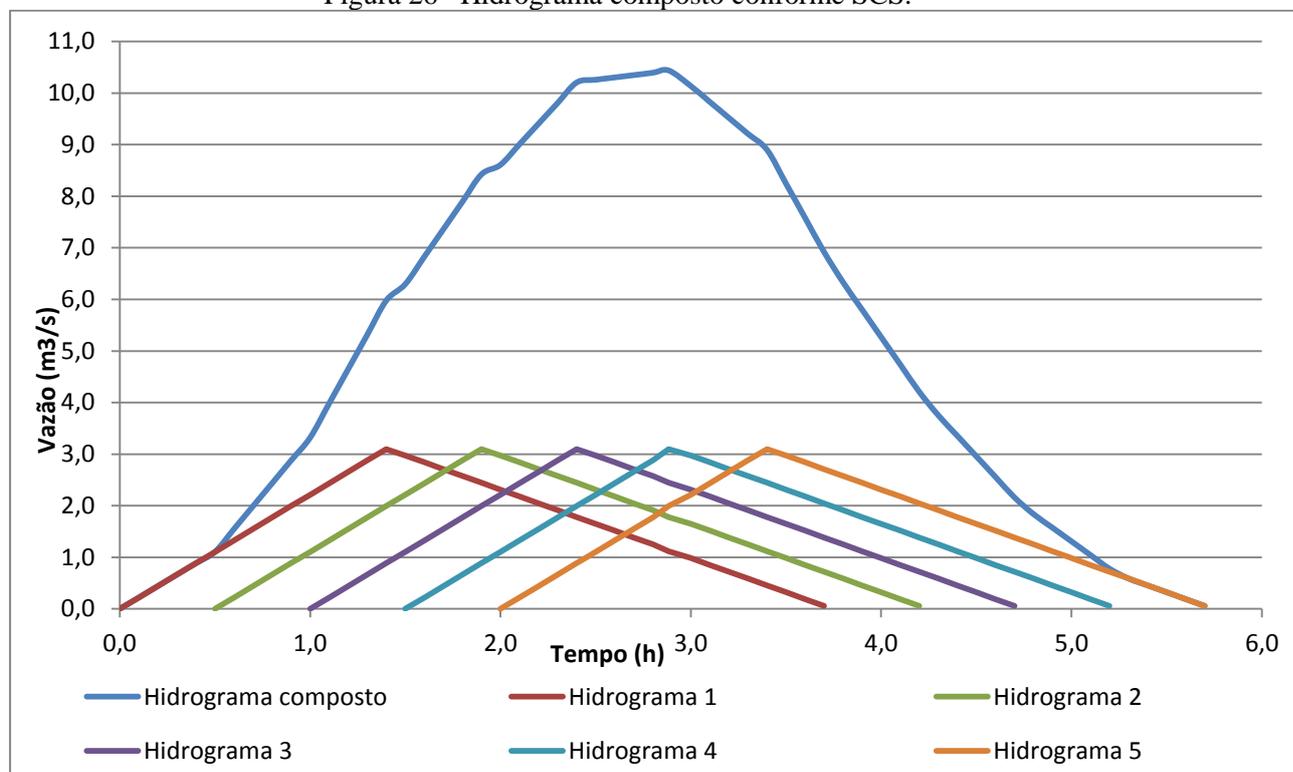
O Hidrograma Unitário resultante do Método *Soil Conservation Service* (SCS) (Figura 25).



Fonte: Autor (2018)

Por convenção para uma chuva com de duração de 2 horas determinou-se o hidrograma composto com a soma das ordenadas obtidas no hidrograma unitário com uma defasagem de 0,5 h (Figura 26), defasagem é recomendada em 1/4 à 1/5 do tempo de concentração segundo determina SCS de USDA (1986).

Figura 26– Hidrograma composto conforme SCS.



Fonte: Autor (2018)

5.9 HIETOGRAMA DE PROJETO

Com a porcentagem de cobertura da terra obtida por OBIA o *Curve Number* (Quadro 09) para solo do agrupamento hidrogeológico (Tabela 7 e 8) foi calculado através de média ponderada (equação 28).

Quadro 9–Coeficiente de Deflúvio – Curve Number (CN) .

% cobertura terrestre	<i>Curve Number</i> (CN)
2,90	90
67,55	69
2,86	98
23,50	78
2,80	98

Das eqs. 24 e 25 $CN = 73,10$ e $S_d = 93,47$ mm

Por meio das curvas de intensidade duração e frequência (idf), no município de São Paulo estimou-se a precipitação acumulada e excedente acumulada e o total para a duração de 10, 20, 30, 60 minutos e 2 horas, conforme a Tabela 17.

Ambientes lênticos como reservatórios e lagos nesta etapa não foram considerados, segundo o SCS de USDA (1986) o tempo de viagem é tão pequeno que pode ser considerado como fluxo nulo (USDA, 1986).

Tabela 17 – Precipitação Acumulada e Excedente

t (h)	Precipitação (mm)	Precipitação Acumulada (mm)	Precipitação Excedente Acumulada (mm)	Hietograma Excedente (mm)
0,167	207,6	207,6	126,38	126,38
0,333	160,3	367,9	275,47	149,10
0,500	131,2	499,1	402,16	126,69
1,000	86	585,1	486,18	84,02
2,000	52	637,1	537,21	51,03

Fonte: Autor (2018)

Seguindo as considerações feitas por Damé et al (2010) a forma como é feita a distribuição temporal das alturas precipitadas não está relacionada com os fenômenos de precipitação, e sim o rearranjo das alturas precipitadas para obter-se a situação mais crítica de precipitação. A metodologia a ser utilizada para a distribuição temporal da precipitação exerce influência na determinação do escoamento superficial, ou seja, no volume e pico do hidrograma de projeto, os quais determinam as estimativas de vazão conforme temporalidades e conseqüentemente na verificação das condições de segurança hídrica para o barramento da sub bacia do Ribeirão do Suru.

O hietograma de projeto efetivo foi obtido pelo método do *Soil Conservation Service* (USDA, 1986), descrito anteriormente, considera a relação entre o armazenamento máximo, S (mm); a precipitação máxima acumulada, P (mm); a precipitação efetiva acumulada, Pe (mm); a quantidade armazenada no instante (P-Pe); as abstrações iniciais, Ia, (0,2 x S) e o parâmetro curva número, CN.

Obteve-se o hietograma efetivo da seguinte forma: obtenção da lâmina cada duração através da relação idf para o Período de Retorno T=100 anos e Intensidade de chuva de projeto (Figura 27) – (a); lâmina efetiva para cada duração (equações 19 e 20) do modelo

chuva-vazão SCS de USDA (1986) (Figura 27) – (b) cálculo dos incrementos da lâmina efetiva acumulada, por intervalo de tempo (Figura 27) – (c)

Figura 27

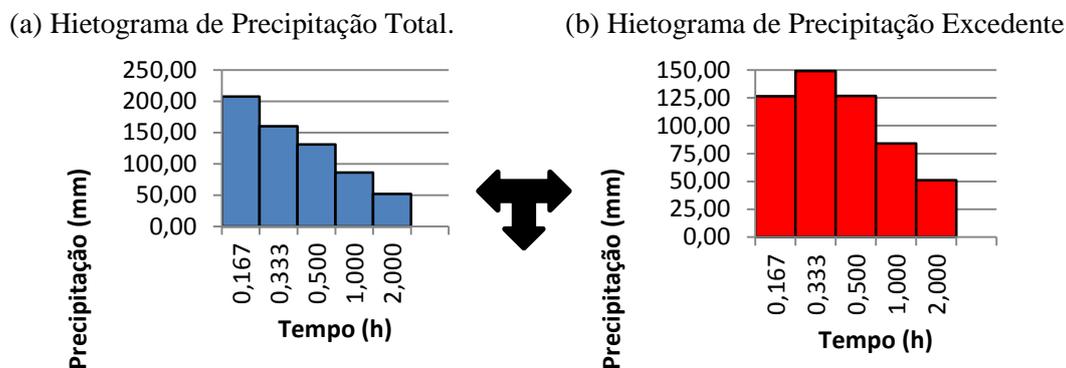
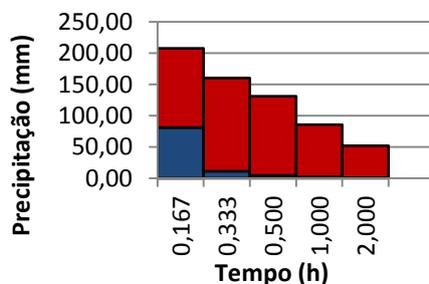


Figura 27

(c) Histograma de Precipitação Excedente x Precipitação Total



Fonte: Autor (2018)

Com a precipitação efetiva e equações de convolução (Tabela 18 e Figura 28). As ortomagens da EMPLASA (2011) por meio da classificação do uso e ocupação da terra, para estimar uma precipitação máxima de duração de 2 horas chegam à vazões próximas à ordem de $60 \text{ m}^3/\text{s}$.

Tabela 18 – Hidrograma de Precipitação Efetiva conforme convolução

t (h)	HU's tr = 0,4 h					q (m3/s)	q (m3/s)
	q (m3/s)	q (m3/s)	q (m3/s)	q (m3/s)	q (m3/s)		
0,0	0,000					0,000	0,000
0,1	0,221					0,221	0,044
0,2	0,443					0,443	0,089
0,3	0,664					0,664	0,133
0,4	0,886					0,886	0,177
0,5	1,107	0,000				1,107	0,221
0,6	1,328	0,221				1,550	0,310
0,7	1,550	0,443				1,993	0,399
0,8	1,771	0,664				2,436	0,487
0,9	1,993	0,886				2,878	0,576
1,0	2,214	1,107	0,000			3,321	0,664
1,1	2,436	1,328	0,221			3,985	0,797
1,2	2,657	1,550	0,443			4,650	0,930
1,3	2,878	1,771	0,664			5,314	1,063
1,4	3,100	1,993	0,886			5,978	1,196
1,5	2,975	2,214	1,107	0,000		6,296	1,259
1,6	2,842	2,436	1,328	0,221		6,828	1,366

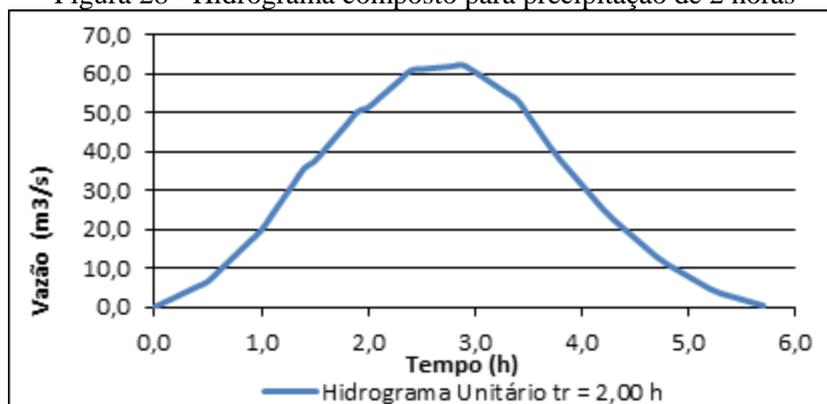
Tabela 18 – Hidrograma de Precipitação Efetiva conforme convolução (continuação)

t (h)	HU's tr = 0,4 h					q (m3/s)	q (m3/s)
	q (m3/s)	q (m3/s)	q (m3/s)	q (m3/s)	q (m3/s)		
1,7	2,710	2,657	1,550	0,443		7,359	1,472
1,8	2,577	2,878	1,771	0,664		7,891	1,578
1,9	2,445	3,100	1,993	0,886		8,423	1,685
2,0	2,312	2,975	2,214	1,107	0,000	8,608	1,722
2,1	2,179	2,842	2,436	1,328	0,221	9,007	1,801
2,2	2,047	2,710	2,657	1,550	0,443	9,406	1,881
2,3	1,914	2,577	2,878	1,771	0,664	9,805	1,961
2,4	1,782	2,445	3,100	1,993	0,886	10,204	2,041
2,5	1,649	2,312	2,975	2,214	1,107	10,257	2,051
2,6	1,516	2,179	2,842	2,436	1,328	10,302	2,060
2,7	1,384	2,047	2,710	2,657	1,550	10,347	2,069
2,8	1,251	1,914	2,577	2,878	1,771	10,392	2,078
2,9	1,119	1,782	2,445	3,100	1,993	10,437	2,087
3,0	0,986	1,649	2,312	2,975	2,214	10,136	2,027
3,1	0,854	1,516	2,179	2,842	2,436	9,827	1,965
3,2	0,721	1,384	2,047	2,710	2,657	9,518	1,904
3,3	0,588	1,251	1,914	2,577	2,878	9,209	1,842
3,4	0,456	1,119	1,782	2,445	3,100	8,901	1,780
3,5	0,323	0,986	1,649	2,312	2,975	8,245	1,649
3,6	0,191	0,854	1,516	2,179	2,842	7,582	1,516
3,7	0,058	0,721	1,384	2,047	2,710	6,919	1,384
3,8		0,588	1,251	1,914	2,577	6,331	1,266
3,9		0,456	1,119	1,782	2,445	5,801	1,160
4,0		0,323	0,986	1,649	2,312	5,270	1,054
4,1		0,191	0,854	1,516	2,179	4,740	0,948
4,2		0,058	0,721	1,384	2,047	4,210	0,842
4,3			0,588	1,251	1,914	3,754	0,751
4,4			0,456	1,119	1,782	3,356	0,671
4,5			0,323	0,986	1,649	2,958	0,592
4,6			0,191	0,854	1,516	2,561	0,512
4,7			0,058	0,721	1,384	2,163	0,433
4,8				0,588	1,251	1,840	0,368
4,9				0,456	1,119	1,575	0,315
5,0				0,323	0,986	1,309	0,262
5,1				0,191	0,854	1,044	0,209
5,2				0,058	0,721	0,779	0,156
5,3					0,588	0,588	0,118
5,4					0,456	0,456	0,091
5,5					0,323	0,323	0,065
5,6					0,191	0,191	0,038
5,7					0,058	0,058	0,012

Fonte: Autor (2018)

Tucci (2003) ressalta que a finalidade da Convolução é gerar uma função resultante de escoamento superficial espaçadas por um intervalo de tempo, a partir de outras duas funções, de um Hidrograma Unitário Sintético (HUS) (Figura 25) e a partir das chuvas excedentes obtidas principalmente pelo Coeficiente de Deflúvio (CN). Tomaz (2012) explica que a convolução pode ser aplicada à métodos capazes de formar um HU *Sintético* como *Clark, Snyder, Espey e SCS* e precipitações complexas de intensidades diferentes. O Hidrograma resultante (Figura 28) apresenta segundo Porto, Filho e Marcelini (1999) segue princípios de proporcionalidade e constância do tempo de base, sendo que ambas as funções geradoras da função de deflúvio devem se corresponder em intervalos de tempo Δt .

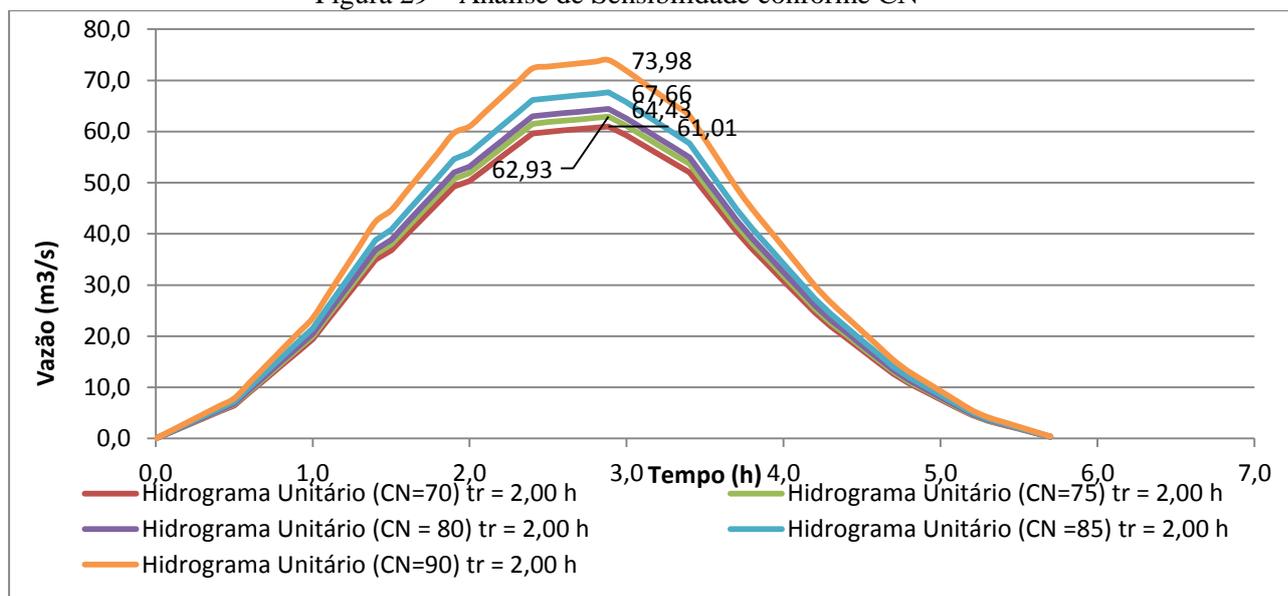
Figura 28 - Hidrograma composto para precipitação de 2 horas



Fonte: Autor (2018)

A figura 29 demonstra os resultados dos cálculos dos parâmetros hidrológicos no cenário levantado (EMPLASA, 2011), simulou-se a para análise a substituição do CN levantado por outros com ordem de grandeza maior (70 até 90) demonstrando que a vazão decorrente do CN = 70 é 2% inferior ao classificado, enquanto CN {75; 80; 85;90} aumentou respectivamente, 3,14, 5,61, 10,90 e 15,85% do deflúvio na sub bacia do Suru em uma precipitação de 2 horas.

Figura 29 – Análise de Sensibilidade conforme CN



Fonte: Autor (2018)

Schuchter Júnior e Miranda (2016) analisaram medidas estruturais em substituição a pavimentos diferentes graus de impermeabilização, o estudo comparou diferentes coeficientes de deflúvio de USDA (1986), da situação real e outras hipotéticas com levantamento de parâmetros via SIG. A diminuição mais expressiva do escoamento superficial ocorreu nas áreas em que o agrupamento hidrogeológico foram classificadas no grupo A, diminuindo para

até o grupo D, mais evidente em condições de solo seco, assim, correspondem respectivamente, de A até D :14,84; 8,88;5,92; e 4,56%.

Apesar de não realizar avaliação de parâmetros datas em épocas diferentes para verificar a evolução da impermeabilização da sub bacia do Suru estudou-se como o processo de ocupação e uso da terra na mesma poderia ser alterada com coeficientes de deflúvio em ordem crescente (Figura 29) para o agrupamento hidrogeológico, adotando a situação mais crítica, sendo que o cenário hipotético demonstrou aumento de 15,85% do deflúvio, comparando a sub bacia com o determinado CN =73,1 e estimado CN = 90.

Por meio de análise de sensibilidade para os parâmetros do modelo de chuva-vazão SCS de USDA (1986), constatou que os Períodos de Retorno empregados demonstram diferenças mais acentuadas sobre a sub bacia do Ribeirão do Suru, foram utilizados os Períodos de Retorno para verificação do deflúvio, de 2 a 500 anos. A classificação automatizada utilizou parâmetros do modelo SCS-CN, e pela análise foi possível constatar que uma variável deve ser tratada sem que se minimizem os efeitos obtidos pela correlação das classes de usos e ocupação encontrados, determinantes no estudo.

Conforme o estudo de Menezes Filho e Costa (2012), em obras de microdrenagem com o Período de Retorno estabelecido entre de 2 até 10 anos (em áreas em que o escoamento superficial não é bem definido e é determinado pela ocupação do solo), enquanto as redes primárias ou obras de macrodrenagem (relacionado aos escoamentos de fundo de vale) variam com um grau de segurança maior de 25 à 100 anos. A escolha deste parâmetro de segurança pode ser reforçada por DAEE (2005), em dimensionamento de pequenas obras hidráulicas e canalizações à céu aberto podem descrever equacionamentos com Períodos de Retorno que estão entre 50 e 100 anos, enquanto o DAEE (2017) especifica que se há risco eminente de residências ou pessoas, barramentos com alturas inferiores a 5 metros podem ser dimensionadas com o Período de Retorno de 500 anos.

O Período de Retorno para a situação mais segura pode gerar um caudal com 32,7 % a maiores do que para situações que não se considera risco para habitações ou pessoas (T=100 anos) (DAEE, 2017), enquanto que o aumento proporcionado pelo aumento da ocupação CN = 90 gera apenas uma diferença de aproximadamente 15,85%.

Como a sub bacia é protegida ambientalmente por lei, mesmo em 2014 com alteração dos limites do território de Preservação Ambiental do Voturuna, Santana de Parnaíba (2014), não há como municiar uma análise mais apurada sobre os efeitos da urbanização com o passar dos anos, as interferências e assentamentos que ocorrem na sub bacia são decorrentes de residências unifamiliares, fugindo de alterações mais expressivas.

6. CONCLUSÃO

Em nível de detalhamento que a resolução espacial das imagens fonte dos dados permitiu foi possível associar classes de usos da bacia com os parâmetros de chuva-vazão, garantindo a confiança e generalidade para a leitura de classes, apresentando bons resultados tanto nas classificações voltadas para o adensamento urbano tanto para classes com padrões standardizados, ambas podendo ser aplicadas em modelos de chuva-vazão alimentando estudos amplamente utilizados nos estudos hidrológicos para renovação de outorga, cumprindo adequadamente as exigências solicitadas pelo outorgante.

O estudo foi capaz de fomentar análises sobre o uso e ocupação da terra e correlacioná-las com modelos de chuva-vazão sem alterá-lo em sua essência. Os modelos SCS-CN e I-Pai-Wu que ganharam destaque por sua simplicidade e como uma base de referência para se trazer resultados satisfatórios não perde a boa capacidade de resposta para verificação do deflúvio sobre a sub bacia, com condições integrar estudos hidrológicos para renovação de outorga.

O diagnóstico sobre as classes definidas na sub bacia auxiliou no cálculo de vazão de projeto, os métodos I-Pai-Wu com segmentação/classificação manual e SCS com classificação automatizada cumprem as exigências de um processo de renovação de outorga (citados na revisão de literatura), demonstrando correlação das classes levantadas no diagnóstico com classes standardizadas para SIG e Sensoriamento Remoto.

7. REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS (Brasil). Brasil. PROJETOS DE BARRAGENS: São Paulo: Slides, 2016. Color, 25 x 20 cm. Disponível em: <<http://progestao.ana.gov.br/portal/progestao/destaque-superior/boas-praticas/curso-de-seguranca-de-barragens-dae-1/aula-2-segur-barragem-2016-pla.pdf>>. Acesso em: 27 maio 2018

ANTUNES, F. de S. et al. **Análise da integração entre Sensoriamento Remoto e SIG na classificação da cobertura da terra em Duque de Caxias/RJ**. Revista Brasileira de Geomática, Curitiba, v. 5, n. 1, p.82-102, 22 mar. 2017. Universidade Tecnológica Federal do Parana (UTFPR). <http://dx.doi.org/10.3895/rbgeo.v5n1.5503>. Disponível em: <<https://periodicos.utfpr.edu.br/rbgeo>>. Acesso em: 25 maio 2017

ARAI, F. K. **Critérios para Concessão de Outorga e eficiência do uso dos recursos hídricos pela irrigação**. 2014. 118 f. Tese (Doutorado) - Curso de Agronomia, Ciências Agrárias, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2014. Disponível em: <<http://files.ufgd.edu.br/arquivos/arquivos/78/MESTRADO-DOCTORADO-AGRONOMIA/Tese Fabiane Kazue Arai.pdf>>. Acesso em: 09 mar. 2017.

ARAUJO E, H, G.;KUX, H, J, H.; FLORENZANO T,G.; **Análise Multitemporal de dois Bairros de Belo Horizonte (MG) Usando Classificação Orientada a Objetos de imagens Quickbird e Interferências Espaciais (2011)**. In: Blaschke, T. e Kux H. Sensoriamento Remoto e SIG Avançados. 2ed. (2011).

BERTONI, J. C e TUCCI, C. E. M. (2003). Capítulo 01 In: BERTONI, J. C e TUCCI, C. E. M. Inundações Urbanas na América do Sul. 1. Ed. 2003. Porto Alegre. RS. 2003. Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH) 471 p.

BLASCHKE, GLÄSSER e LANG. **Processamento de Imagens num Ambiente Integrado SIG/Sensoriamento Remoto – Tendências e Consequências (2011)**. In: Blaschke, T. e Kux H. Sensoriamento Remoto e SIG Avançados. 2ed. (2011).

BRASIL(2015). Congresso Nacional. Câmara dos Deputados. Centro de Estudos e Debates Estratégicos **Instrumentos de gestão das águas** [recurso eletrônico] / Câmara do Deputados, Consultoria Legislativa, Centro de Estudos e Debates Estratégico; relator Félix Mendonça

Júnior; Maurício Boratto Viana, Alberto Pinheiro. – Brasília: Câmara dos Deputados, Edições Câmara, 2015. Disponível em: <www.camara.leg.br/editora>. Acessado em 28 nov. de 2016.

BRASIL. Constituição (1934). Decreto nº 24.634, de 10 de julho de 1934. **Código das Águas**. Brasil, FEDERAÇÃO, 10 jul. 1934. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/d24643.htm>. Acesso em: 11 ago. 2017

BRASIL. Lei Federal nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do artigo 21 da Constituição Federal, e altera o artigo 1º da Lei 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei 7.990, de 28 de dezembro de 1989.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Santana de Parnaíba - infográficos: dados gerais do município**. 2010. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/painel/painel.php?codmun=355220>>. Acesso em: 29 jun. 2016.

BOSSARD, M.; FERANEC, J.; Otahel, J. Corine land cover technical guide – Addendum 2000. Technical Report nº 40, European Environment Agency, 2000, 105p.

BOUVIER. C; BOUCHENAKI. L; TRAMBLAY. Y. **Comparison of SCS and GREEN-Ampt distributed models for flood modelling in a small cultivated catchment in Senegal**. Montpellier França, 29 mar. 2018. Disponível em: <<http://www.mdpi.com/2076-3263/8/4/122/htm>>. Acesso em: 23 abr. 2018

BRASIL. SÃO PAULO. Lei nº 7.663, de 30 de dezembro de 1991. **Estabelece normas de orientação à Política Estadual de Recursos Hídricos bem como ao Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos**. São Paulo, SP, 30 dez. 1991. Disponível em: <<http://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/1991/lei-7663-30.12.1991.html>>. Acesso em: 09 março de 2017

CANHOLI, A. P. **Drenagem Urbana e Controle de Enchentes**. 2 edição. São Paulo. Oficina dos Textos. São Paulo. 2014.

CHOW, Ven Te; MAIDMENT, David R.; MAYS, Larry W. **Hidrologia Aplicada**. Illinois: Macgraw-hill, 1988. 586 p

CONGALTON, R.G., GREEN, K., **ASSESSING the ACCURACY of REMOTELY SENSED DATA Principles and Practices**. LEWIS PUBLISHERS. New York 1999.

COSTA, C. D. de O. **Escoamento superficial e risco de erosão do solo na sub-bacia Jardim Novo Horizonte, município de Ilha Solteira-Sp.** 2010. 96 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências Agrômicas, Irrigação e Drenagem, Universidade Estadual Paulista Unesp, Ilha Solteira, 2010. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/93797>>. Acesso em: 23 abr. 2018.

CEM-CEBRAP, SAS-PMSP. **Municípios da Região Metropolitana de São Paulo.** São Paulo: RMSPP, 2007. Disponível em <http://web.fflch.usp.br/centrodametropole/716>. Acesso em 21 de fevereiro de 2018.

CRISTO S. S. V; TRENTIN R; ROBAINA L. E. de SOUZA **Análise do uso e ocupação da terra na Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins**, estados do Tocantins e Bahia. Tocantins: Geografia Ensino & Pesquisa, v. 20, n. 3, 09 out. 2016. Bimensal. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/geografia/article/view/22311/pdf>>. Acesso em: 22 abr. 2018

DAEE - Departamento de Águas e Energia Elétrica. **Guia prático para projetos de pequenas obras hidráulicas.** São Paulo: DAEE, 2005. 116. p. Disponível em: http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/guiapratico_dae_2005.pdf>. Acesso em 2 out. 2016.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. IT/DPO 11 2017: **Instrução Técnica DPO nº, de 30/05/17.** 1 ed. São Paulo: DPO, 2017. 10 p. Disponível em: <http://www.agencia.baciaspcj.org.br/docs/gestao/instrucao-dpo-011-17.pdf>>. Acesso em: 30 maio 2018.

DAEE - Departamento de Águas e Energia Elétrica. **Manual de cálculos de vazões máximas, médias e mínimas de bacias hidrográficas do Estado de São Paulo.** São Paulo: [2008]. 80.p

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA (São Paulo). São Paulo. **Hidrologia:** Banco de dados Hidrológicos. 2017. Disponível em: <http://www.hidrologia.dae.sp.gov.br/>>. Acesso em: 29 maio 2017

DAMÉ, R, de C. F. et al. **Hidrograma de projeto em função da metodologia utilizada na obtenção da precipitação.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 14, n. 1, p.46-54, 06 set. 2010. Mensal. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v14n1/v14n01a07.pdf>>. Acesso em: 05 maio 2018

EMBRAPA. **Árvore do Conhecimento**: Argissolos Vermelho-Amarelos. (s.d). Disponível em:

<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/territorio_mata_sul_pernambucana/equipe_editorial.html>. Acesso em: 05 maio 2018.

EMBRAPA. **Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos** (Rio de Janeiro, RJ). In: REUNIÃO TÉCNICA DE LEVANTAMENTO DE SOLOS, 10. 1979, Rio de Janeiro. Súmula... Rio de Janeiro, 1979. 83 p. (EMBRAPA-SNLCS. Micelânea, 1).

EMBRAPA Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa., 2006. 286 p. Disponível em: <<https://www.agrolink.com.br/downloads/sistema-brasileiro-de-classificacao-dos-solos2006.pdf>>. Acesso em: 1 jun. 2018.

FARIAS, T. Q. **Outorga de direito de uso dos recursos hídricos no ordenamento jurídico brasileiro**. Direito e Liberdade, Rio Grande do Norte, p.469-484, maio 2008. Mensal. Disponível em: <http://www.esmarn.tjrn.jus.br/revistas/index.php/revista_direito_e_liberdade/article/view/37>. Acesso em: 09 mar. 2017.

FRANCO, E. J. **Dimensionamento de bacias de detenção das águas pluviais com base no método racional**. Curitiba, 2004. Tese (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambientais) – Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná. Disponível em <https://docs.ufpr.br/~bleninger/dissertacoes/085-Edu_Jose_Franco.pdf>. Acesso em: 02 julho. 2018.

GARCEZ, L. N. **Hidrologia**. São Paulo: Editora Edgard Blucher Ltda, 249 p., 1976.

GENOVEZ, Abel Maia. **Avaliação dos métodos de estimação das vazões de enchente para pequenas bacias rurais do Estado de São Paulo**. 1991. 245 f. Tese (Doutorado) - Curso de Hidrologia, Departamento de Hidráulica e Saneamento, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1991. Disponível em: <http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/258778/1/Genovez_AbelMaia_LD.pdf>. Acesso em: 22 jun. 2018.

GONÇALVES T. D.; ROIG H. L.; CAMPOS. J. E. G. **Sistema de Informação Geográfica como ferramenta de apoio à outorga dos recursos hídricos subterrâneos no Distrito Federal**. Brasília: Revista Brasileira de Geociências, v. 39, n. 169 - 180, 1 mar. 2009. Mensal.

Disponível em: <<http://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/rbg/article/view/7638>>. Acesso em: 24 abr. 2018

HARALICK, R.M. **Statistical and Structural Approaches to Texture**. Virginia: IEEE, v. 67, n. 5, 1979. Mensal. Disponível em: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.636.3328&rep=rep1&type=pdf>>. Acesso em: 28 dez. 2017

IBGE / EMBRAPA – **MAPA DE SOLOS DO BRASIL GRUPO DE MODELAGEM PARA ESTUDOS DA BIODIVERSIDADE (Brasil)**. Divisão de Processamento de Imagens. AMBDATA: Variáveis Ambientais para Modelagem de Distribuição de Espécies. 2001. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/Ambdata/index.php>>. Acesso em: 16 jan. 2018.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística -. **Avaliação Planialtimétrica de Dados ALOS/PRISM: Estudo de Caso: Itaguaí - RJ**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2011. 30 p. Disponível em: <http://geofpt.ibge.gov.br/metodos_e_outros_documentos_de_referencia/outros_documentos_tecnicos/avaliacao_planimetrica_prism.pdf>. Acesso em: 30 maio 2018.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. **Mapa de Vegetação do Brasil: Diretoria de Geociências**. Rio de Janeiro: IBGE, 2004. 1 mapa, colorido. Escala 1:5. 000.000. Disponível em: <ftp://geofpt.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/vegetacao/mapas/brasil/vegetacao.pdf>. Acesso em: 27 junho. 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Manual técnico da Vegetação Brasileira**. Sistema Fitogeográfico. Inventário das formações florestais e campestres. Técnicas de Manejo de Coleções Botânicas. Procedimentos para Mapeamentos. 2º edição Rio de Janeiro: IBGE. 2012, 272p. Disponível em: <http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv63011.pdf> . Acesso em 14 de março de 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Manual técnico de uso da terra**. Rio de Janeiro: IBGE. 2013a, 171p.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2010). **IBGE Cidades**. Disponível em <<http://cidades.ibge.gov.br/>>. Acesso em 01 de dez. de 2016

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (1983). Disponível em:<<http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/download/arquivos/index1.tif.shtm> e <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/download/arquivos/index1.shtm>>. Acesso em: 30 de Nov. de 2016.

JANOTH et al. **Procedimentos Baseados em Segmentação para Análise de Mudanças e Classificação Florestais com dados de Satélite de Alta Resolução** (2011). In: BLASCHKE, T. e KUX H. Sensoriamento Remoto e SIG Avançados. 2ed. (2011).

JAXA/METI. Alaska Satellite Facility. ALOS/PALSAR ALPSRP211366700 Mapa Hipsométrico. [1: 10000]. Disponível em: < <https://vertex.daac.asf.alaska.edu>> Acessado em 10 de fevereiro de 2018.

JENSEN R. J. Sensoriamento Remoto do Ambiente – Uma Perspectiva em Recursos Terrestres. Tradução autorizada da Segunda Edição. 2011. 2ª Edição. Editora Parêntese. São Paulo/SP.

LEUKERT, K. Utilização de Dados SIG para Obtenção de Objetos (2011). In: BLASCHKE, T. e KUX H. Sensoriamento Remoto e SIG Avançados. 2ed. (2011).

MACHADO, C; A; S. Técnicas de sensoriamento remoto para identificação de áreas de concentração de polos geradores de viagens. 2013. 190 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências, Engenharia de Transportes, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3138/tde-14052014-152928/pt-br.php>>. Acesso em: 29 dez. 2017

MARIA FILHO, P, J, et al. **Barragens de detenção em bacia hidrográfica com o uso de curvas cota-volume e hidrogramas triangulares sintéticos**. Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal Of Applied Science, Taubaté, v. 5, n. 11, p.1119-135, 02 nov. 2016. Sazonal. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=92852596009>>. Acesso em: 22 jun. 2018

MCKINNON, T; HOFF, P (2017) **Comparing RGB-based vegetation indices with NDVI for agricultural drone imagery**. USA: Agribotix, v. 21, n. 0, 2017. Mensal. Disponível em:

<<https://agribotix.com/wp-content/uploads/2017/05/Agribotix-VARI-TGI-Study.pdf>>. Acesso em: 16 jan. 2018.

MARTINEZ JUNIOR, F. et al **Precipitações intensas do Estado de São Paulo**. São Paulo: Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE), Centro de Tecnologia e Hidráulica, São Paulo. 2016. 270 p. Disponível em: <<https://drive.google.com/file/d/0B8iXiItOrl5acHV6cXNaYUJBSGM/view>>. Acesso em 1 de Dez. de 2016.

MEDEIROS, G. C. F. Capítulo 7 **Algoritmos de Visão Computacional**. In. Uso de texturas para o acompanhamento da evolução do tratamento de úlceras dermatológicas [doi:10.11606/D.18.2001.tde-26042001-125441]. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2001. Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica. [acesso 2018-01-31]

MENEZES Filho, F. C. M. de. COSTA, A. R. **Sistemática de cálculo para o dimensionamento de galerias de águas pluviais: uma abordagem alternativa**. Goiás: REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Civil, v. 4, n. 1, 25 jun. 2012. Semestral. Disponível em: <<https://revistas.ufg.br/reec/article/view/18162>>. Acesso em: 30 maio 2018

MORAES, M; E; B; de; LORANDI, Reinaldo. **Métodos e Técnicas de Pesquisa em Bacias Hidrográficas**. Bahia: Editus, 2016. 281 p

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto. Princípios e Aplicações**. 2008. 3ª Edição. Editora Blucher. São Paulo/SP.

OZDEMIR, I et al. **Estimation of Tree Size Diversity Using Object Oriented Texture Analysis and Aster Imagery**. Sensor (besel), Turquia, v. 2008, n. 8, p.4709-4724, 11 ago. 2008. Mensal. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3705467/>>. Acesso em: 03 jan. 2017.

PESSOA, M. M. E. P. **Integração de modelos hidrológicos e sistemas de informação geográfica na análise de processos de outorga quantitativa de uso da água: aplicação na bacia do rio dos Sinos - RS**. 2010. 136 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 2010. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/33788>>. Acesso em: 02 jul. 1984

PILZ, H. e STROBL, J. **Análise de Impermeabilização com Base em Ortofotografias Aéreas Coloridas Digitais através Processamento de Imagens Orientadas a Objetos (2011)**. In: Blaschke, T. e Kux H. Sensoriamento Remoto e SIG Avançados. 2ed. (2011).

PIRES, V. R. de O. **Análise da paisagem do município de Salto de Pirapora, SP como subsídio para o planejamento ambiental**. 2016. 81 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Sustentabilidade na Gestão Ambiental, Centro de Ciências e Tecnologias Para A Sustentabilidade, Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2016.

POMPERMAYER, R; C.. **MODELAGEM HIDROLÓGICA TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO APLICADAS AO MODELO SCS – SOIL CONSERVATION SERVICE – CURVE NUMBER**. 2013. 95 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/handle/1843/IGCM-9QEM87>>. Acesso em: 1 jun. 2018.

PORTO, M. F. A.; PORTO, R. L. L. **Gestão de Bacias Hidrográficas**. Revista Estudos Avançados, v.22 (63), São Paulo. 2008. 18 p.

PORTO, R. L.; FILHO, K. Z.; MARCELLINI, S. S. PHD 307 - Hidrologia Aplicada. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1999.

RAMOS, H. M. et al. Urban Floods Adaptation and Sustainable Drainage Measures. MDPI: fluids, Lisboa, v. 2, n. 4, p.1-18, 1 nov. 2017. Semestral. Disponível em: <<http://www.mdpi.com/2311-5521/2/4/61/htm>>. Acesso em: 02 jun. 2018

RIBEIRO, B. M. G, FONSECA, L. M. G; KUX, HERMANN J. H. **Avaliação das imagens WorldView-II para o mapeamento da cobertura do solo urbano utilizando o sistema InterIMAGE**. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Curitiba, 30 maio 2011. p. 0722-0729. Disponível em: <<http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/marte/2011/06.27.19.15/doc/p0452.pdf>>. Acesso em: 28 dez. 2017.

RIBEIRO. B. M. G. SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL, 2. 2009, Corumbá,. **Extração de superfícies impermeáveis a partir de imagens QuickBird aplicando classificação orientada a objeto**. São José dos Campos: Inpe, 2009. 11 p.

Disponível em: <<https://www.geopantanal.cnptia.embrapa.br/2009/cd/p186.pdf>>. Acesso em: 23 abr. 2018

ROSSI, M. MAPA PEDOLÓGICO DO ESTADO DE SÃO PAULO: REVISADO E AMPLIADO. São Paulo: IFSP, 2017. 122 p. Disponível em: <<http://iflorestal.sp.gov.br/2017/09/26/mapa-pedologico-do-estado-de-sao-paulo-revisado-e-ampliado/>>. Acesso em: 29 dez. 2017.

SANTANA DE PARNAÍBA (Município). Constituição (2003). Lei nº 2462, de 12 de setembro de 2003. **Dispõe sobre o Zoneamento de Uso e Ocupação do solo do município de Santana de Parnaíba.** Lei. Santana de Parnaíba, SP, 12 set. 2003. Disponível em: <http://www.santanadeparnaiba.sp.gov.br/planejamento/zoneamento/Corpo_de_Lei/LEI_2462.pdf>. Acesso em: 25 out. 2016.

SANTANA DE PARNAÍBA. **Município de Santana de Parnaíba Plano Diretor 2005 / 2006.** (2006). Volume II (Anexos 31 a 52).

SANTANA DE PARNAÍBA (Município). Lei nº 3431, de 20 de Outubro de 2014. Altera dispositivos da Lei Nº 3.297, de 08 de agosto de 2013. Lei. Santana de Parnaíba, SP, 20 out. 2014. Disponível em: <<https://leismunicipais.com.br/a/sp/s/santana-de-parnaiba/lei-ordinaria/2014/343/3431/lei-ordinaria-n-3431-2014-altera-dispositivos-na-lei-n-3297-de-08-de-agosto-de-2013>>. Acesso em: 11 ago. 2017.

SANTANA DE PARNAÍBA (Município). **Lei nº 3297**, de 08 de agosto de 2013. Cria no município de Santana de Parnaíba, o Território de Gestão de Proteção Ambiental do Voturuna e do Manancial Santo André, veda e fixa prazo que especifica procedimentos administrativos para fins imobiliários e correlatos. Lei. Santana de Parnaíba, SP, 08 ago. 2013. Disponível em: <<https://leismunicipais.com.br/a/sp/s/santana-de-parnaiba/lei-ordinaria/2013/330/3297/lei-ordinaria-n-3297-2013-cria-no-municipio-de-santana-de-parnaiba-o-territorio-de-gestao-de-protecao-ambiental-do-voturuna-e-do-manancial-santo-andre-veda-e-fixa-prazo-que-especifica-procedimentos-administrativos-para-fins-imobiliarios-e-correlatos>>. Acesso em: 11 ago. 2017

SANTANA DE PARNAÍBA (Município). **Plano Municipal de Saneamento de Santana de Parnaíba: Caracterização Geral do Município.** Santana de Parnaíba: Fral Consultoria, v. 1, n. 01, nov/2013. Rev.01. Disponível em:

<http://www.santanadeparnaiba.sp.gov.br/plano_diretor/relatorios/PMSB/RELATORIO_I_Rev_01.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2017

SANTOS, H. G. dos et al. Procedimentos Normativos de levantamentos pedológicos. Brasília: Serviço de Produção da Informação- SPI. 1995. 116 páginas. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/solos/busca-de-publicacoes/-/publicacao/330133/procedimentos-normativos-de-levantamentos-pedologicos>> . Acesso em 08jan. 2018.

SANTOS, M. R. R. dos; RANIERI, V. E. L. **Critérios para Análise do Zoneamento Ambiental como Instrumento de Planejamento e Ordenamento Territorial**. Ambiente & Sociedade, São Paulo, v. 16, n. 5, p.43-62, 1 dez. 2013. Bimensal. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/asoc/v16n4/04.pdf>>. Acesso em: 01 ago. 2018

SÃO PAULO. **Atlas de Uso e Ocupação do Solo do Município de Santana de Parnaíba**. (2006) Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano S.A (EMPLASA)/ Governo do Estado de São Paulo.

SÃO PAULO (Estado). **Instrução Técnica nº IT DPO 009**, de 30 de maio de 2017. Complementa a Portaria DAEE nº 1.630, de 30 maio 2017, estabelecendo as condições administrativas e técnicas mínimas a serem observadas para obtenção de outorgas de direito de uso (captações e lançamentos) de interferência (obras e serviços) em recursos hídricos superficiais, sob a jurisdição, qualquer título, do Departamento de Águas e Energia Elétrica DAEE. Instrução Técnica. São Paulo, SP, 30 maio 2017. Disponível em: <http://www.dae.sp.gov.br/images/documentos/outorgaefiscalizacao/it_dpo09_captsuper.pdf>. Acesso em: 11 ago. 2017.

SÃO PAULO (Estado). **Portaria nº 2292, de 14 de dezembro de 2006**. Fica aprovada a Norma que disciplina os usos que independem de outorga de recursos hídricos superficiais e subterrâneos no Estado de São Paulo, no art. 1º do Decreto Estadual nº 41.258/96, com redação dada pelo Decreto Estadual nº 50.667/06. Portaria. Disponível em: <http://www.dae.sp.gov.br/legislacao/arquivos/700/Portaria_DAEE_2292_RetiRati_03_08_12.pdf>. Acesso em: 11 ago. 2017.

SÃO PAULO (Estado). Assembleia Legislativa do Estado de São Paulo. Secretaria Geral Parlamentar. Departamento de Documentação e Informação. Decreto nº 10755, de 22 de novembro de 1977. **Dispõe sobre o enquadramento dos corpos de água receptores na**

classificação prevista no Decreto n. 8.468, de 8 de setembro de 1976 e dá providências correlatas. Disponível em:

<<http://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/decreto/1977/decreto-10755-22.11.1977.html>>. Acesso em: 25 out 2016.

SÃO PAULO. **Mapa de cobertura da terra do estado de São Paulo na escala de 1:100.000.** (2010). Secretaria do Meio Ambiente (SMA). Governo do Estado de São Paulo

SÃO PAULO. **Portaria nº 717**, de 12 de dezembro de 1996. Aprova a Norma e os Anexos de I a XVIII que disciplinam o uso dos recursos hídricos. Portaria. São Paulo, SP, 12 dez. 1996.

Disponível em:

<<http://www.saneamento.sp.gov.br/Arquivos/Manancias/Legislacao/PORTARIAS/717-96.pdf>>. Acesso em: 30 nov. 20

SÃO PAULO (São Paulo). São Paulo. **Diretrizes de Projeto para Estudos Hidrológicos: Método Racional.** São Paulo: -, 1999. 11 p. Disponível em:

<[http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/infraestrutura/NORMAS TÉCNICAS INSTRUÇÕES NOVAS/Hidráulica e drenagem urbana/DH-H03.pdf](http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/infraestrutura/NORMAS_TÉCNICAS_INSTRUÇÕES_NOVAS/Hidráulica_e_drenagem_urbana/DH-H03.pdf)>. Acesso em: 27 nov. 2016.

SCHIEWE, J; TUFTE, L. **O Potencial de Procedimentos Baseados em Regiões para Avaliação Integrada de Dados de SIG e Sensoriamento Remoto (2011).** In: BLASCHKE, T. e KUX H. Sensoriamento Remoto e SIG Avançados. 2ed. (2011).

SCHUCHTER JÚNIOR, L. R; MIRANDA, D. A. de. **Análise de sensibilidade de parâmetros hidrológicos com a utilização de pavimentos intertravados em bacias urbanas – estudo de caso da bacia do Córrego do Leitão em Belo Horizonte/Minas Gerais.** Petra. Belo Horizonte, 17 maio 2016. p. 17-35. Disponível em: <www3.izabelahendrix.edu.br/ojs/index.php/ptr/article/download/914/766>. Acesso em: 14 maio 2018

SOARES, M. R. G. J.; FIORI, C. O.; SILVEIRA, C. T.; KAVISKI, E. **Eficiência do Método Curve Number de retenção de águas pluviais.** Fortaleza: Mercator, v. 16, n. 16001, 2017.

Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/mercator/v16/1984-2201-mercator-16-e16001.pdf>>. Acesso em: 24 abr. 2018

SILVA, L. M. C.; MONTEIRO, R. A. **Outorga de direito de uso de recursos hídricos: uma das possíveis abordagens**. In: Machado, C. J. S. (Org.). Gestão de águas doces. Rio de Janeiro: Interciência. Cap. 5, 2004, p.135-178.

SILVEIRA, A.L.L. (2005). **Desempenho de formulas de tempo de concentração em bacias urbanas e rurais**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos 10, p.5-23. Disponível em: <<https://www.abrh.org.br/SGCv3/index.php?PUB=1&ID=29&SUMARIO=896>>

STUDART, T. M. Carvalho. **Hidrologia**. Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental- DEHA Ceará: 2006. 212 p. Disponível em: <<http://www.deha.ufc.br/ticiana/Arquivos/>>. Acesso em: 31 jan. 2018.

THOMPSON, D. B. **The Rational Method**. Texas Department Of Transportation, Texas, v. - , n. -, p.1-7, 20 set. 2006. Disponível em: <<http://drdbthompson.net/writings/rational.pdf>>. Acesso em: 29 nov. 2016.

TOMAZ, P. Convolução. In: Tomaz, Plinio. **Curso de Manejo de Águas Pluviais**. Guarulhos: 2013. Cap. 142. p. 1-7. Disponível em: <http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/Novos_livros/livro_metodo_calculos_vazao/capitulo142.pdf>. Acesso em: 20 out. 2016.

TOMAZ, P. Método Racional. In: Tomaz, Plinio. **Curso de Manejo de Águas Pluviais**. Guarulhos: 2013. Cap. 2. p. 1-15. Disponível em: <http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/Novos_livros/livro_metodo_calculos_vazao/capitulo02.pdf>. Acesso em: 20 out. 2016.

TOMAZ, P. Período de retorno. In: Tomaz, Plinio. **Curso de Manejo de Águas Pluviais**. Guarulhos: 2010. Cap. 3. p. 1-9. Disponível em: <http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/Novos_livros/livro_calculoshidrolicos/capitulo04.pdf>. Acesso em: 20 out. 2016.

TUCCI, C. E. M. (1993). Hidrologia: Ciência e Aplicação. EDUSP, Editora da UFRGS, ABRH, p 952

UNITED STATES. *Department Of Agriculture. United States. Time of Concentration. In: United States. Kenneth M. Kent. U.S. Department Of Agriculture (USDA) (Comp.). National Engineering Handbook. Washington: Natural Resources Conservation Service, 2008. Cap. 15.*

p. 1-15. Disponível em: <http://irrigationtoolbox.com/NEH/Part630_Hydrology/NEH630-ch15draft.pdf>. Acesso em: 29 out. 2016.

Um pouco do passado, presente e futuro. São Paulo: Revista Água e Energia, n. 10, 1998. Mensal. Disponível em: <<http://www.dae.sp.gov.br/acervoepesquisa/relatorios/revista/raee9810/hist.html>>. Acesso em: 09 mar. 2017.

UNITED STATES. Department Of Transportation. United States. Highway Hydrology. In: United States. Richard H. McCuen, Peggy A. Johnson, Robert M. Ragan. Department Of Transportation (USDOT) (Comp.). National Highway Institute, 2002. Disponível em: <<http://www.fhwa.dot.gov/engineering/hydraulics/pubs/hif02001.pdf>>. Acesso em: 27 nov1999. 2016.

URBAN HYDROLOGY FOR SMALL WATERSHEDS. Technical Release 55. *Soil Conservation Service*, U.S. Department of Agriculture, June 1986.

USGS. United States Geological Survey (USGS). Shuttle Radar Topography Mission 1 Arc-Second Global: SRTM1S24W048V3. Mapa Hipsométrico. [1: 10000]. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/> . Acessado em 10 de fevereiro de 2018.

VERGÜTZ, L; A; A. **Análise da Implantação de Reservatórios de Detenção na Bacia São Pedro e Modelagem Hidrodinâmica da Avenida Governador Rondon Pacheco.** 2016. 73 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2016. Cap. 1. Disponível em: <<https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/18115>>. Acesso em: 28 dez. 2017.

VILLELA, S. M.; Mattos, A. **Hidrologia Aplicada.** São Paulo: Editora McGraw-Hill, 1975. 245p.

VIEIRA, V. P. P. R. B. **Análise de Risco.** Capítulo 09 In: CAMPOS & STUDART. Gestão das Águas. 2. Ed. 2001. Fortaleza. CE. 2001. Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH) 197 p. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Jose_Nilson_Campos/publication/262725377_Gestao>

de_Aguas_pricipios_e_praticas/links/5639024008aecf1d92a9bbbb.pdf>. Acesso em 26 nov. 2016.

ZORZAL, R. **Sistema de suporte à decisão para análise de Outorga de lançamento de efluentes de fontes pontuais em rios**. 2009. 203 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2009. Disponível em: <<http://portais4.ufes.br/prppg/ext/mono.php?progpess=2592&curso=4&prog=30001013003P4>>. Acesso em: 09 mar. 2017.

ZANETTI, N; Galembeck, O; Rodrigues, V. R. **Utilização de SIG para gerenciamento de recursos hídricos subterrâneos: uma aplicação no município de Sorocaba-SP**, 2. 2009, Atibaia. Experiências em Gestão dos Recursos Hídricos por Bacia Hidrográfica. Atibaia: -, 2009. 13 p. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/305612046_Utilizacao_de_SIG_para_gerenciamento_de_recursos_hidricos_subterraneos_uma_aplicacao_no_municipio_de_Sorocaba-SP>. Acesso em: 23 abr. 2018.

YOGI, F. sub bacia do Ribeirão do Suru: 2018. [09/06/2018] 10 fotografias coloridas. 2592 X 1944 mm.

WU, I, e J. W. Delleur. **Design Peak Discharge for Small Watersheds in Indiana**: Technical Paper. Publication FHWA/IN/JHRP-63/11. Joint Highway Research Project, Indiana Department of Transportation and Purdue University, West Lafayette, Indiana, 1961. Disponível em :<<http://docs.lib.purdue.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2797&context=jtrp>>. Acesso em 29 out 2016.