UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE FILOSOFIA, LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA FÍSICA

YURI VENEZIANI

**A abordagem da geomorfologia antropogênica e de modelagens hidrológica
e hidráulica na bacia do Córrego Três Pontes (SP) para determinação de
picos de vazão e da vulnerabilidade a inundações**

São Paulo
2014

YURI VENEZIANI

A abordagem da geomorfologia antropogênica e de modelagens hidrológica e hidráulica na bacia do Córrego Três Pontes (SP) para determinação de picos de vazão e da vulnerabilidade a inundações

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia Física do Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Geografia Física.

Área de concentração: Geomorfologia

Orientadora: Profa. Dra. Cleide Rodrigues

De acordo:____/____/____

Assinatura da orientadora:

São Paulo

2014

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catálogo na Publicação
Serviço de Biblioteca e Documentação
Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo

Va	<p>Veneziani, Yuri</p> <p>A abordagem da geomorfologia antropogênica e de modelagens hidrológica e hidráulica na bacia do Córrego Três Pontes (SP) para determinação de picos de vazão e da vulnerabilidade a inundações / Yuri Veneziani ; orientadora Cleide Rodrigues. - São Paulo, 2014.</p> <p>298 f.</p> <p>Dissertação (Mestrado)- Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo. Departamento de Geografia. Área de concentração: Geografia Física.</p> <p>1. Inundação. 2. Geomorfologia antropogênica. 3. Modelagem hidrológica. 4. Região Metropolitana de São Paulo. 5. Abordagem multidisciplinar. I. Rodrigues, Cleide, orient. II. Título.</p>
----	--

Nome: VENEZIANI, Yuri.

Título: A abordagem da geomorfologia antropogênica e de modelagens hidrológica e hidráulica na bacia do Córrego Três Pontes (SP) para determinação de picos de vazão e da vulnerabilidade a inundações.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia Física do Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Geografia Física.

Área de concentração: Geomorfologia

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof. Dr. _____

Instituição _____

Julgamento _____

Assinatura _____

Prof. Dr. _____

Instituição _____

Julgamento _____

Assinatura _____

Prof. Dr. _____

Instituição _____

Julgamento _____

Assinatura _____

Aos meus pais, Marly Mary da Silva Veneziani e Nelson Veneziani;
A Dalva Veneziani, uma das pessoas mais lindas da minha vida;
A Juliana da Costa Mantovani, uma companheira inigualável.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço à Professora Doutora Cleide Rodrigues por toda credibilidade e confiança depositadas em mim, por suas magníficas orientações e recomendações, pela parceria nesta empreitada e por sua amizade.

Aos Professores Doutores Antônio Carlos Colângelo e Sidneide Manfredini pelas críticas e contribuições no exame de qualificação.

À Professora Dra. Rosely Pacheco Dias, com quem tive a sorte e o imenso prazer de desfrutar de aulas na pós-graduação e cujas dicas foram valiosíssimas para a fotointerpretação.

Ao Maurício Ranzini, Valdir de Cicco e Francisco Carlos Soriano Arcova por compartilhar o imenso arcabouço teórico, conceitual e prático de hidrologia ao longo de 4 anos no Instituto Florestal de São Paulo.

A toda equipe de geógrafos da Prominer (Maria Keiko, Helen Xavier, Ligia Sena) e aos demais profissionais que contribuíram indiretamente para o desenvolvimento desta pesquisa.

Ao Mestre Geógrafo Universal João Cláudio Estaiano, cuja amizade e contribuições foram essenciais para este estudo.

À Isabel Cristina Moroz que, diretamente, pelo apoio e fornecimento de informações e, indiretamente, por meio de sua tese, contribuiu imensamente a este estudo.

Ao Marcos do Laboratório de Pedologia por ouvir as angústias metodológicas e oferecer dicas preciosas ao andamento do estudo.

À Helga Grigorowitschs por auxiliar na composição dos relatórios da Fapesp e de qualificação.

À Barbara Berges por compartilhar da monitoria da disciplina de Hidrografia em 2012 e ouvir sobre as dúvidas e encruzilhadas da pesquisa.

Ao Pablo Nepomuceno, técnico do Laboratório de Sensoriamento Remoto e Aerofotogeografia, pelo suporte em SIG e conversas de corredores.

Ao Jorge Wilson Carriço um grande amigo que muito me apoiou no início desta tarefa.

À Gizelle Prado e Estevão José Barbosa, colegas de pós-graduação, que foram fundamentais nos quase três anos de mestrado.

Ao pessoal do Grupo de Estudos do Laboratório de Geomorfologia da USP (GelGeo) pelas discussões coletivas de temas intimamente relacionados a esta pesquisa.

Ao Manuel Leal de Oliveira e Luiz Fernando Bissoli pelas discussões e contribuições no ambiente caseiro.

Aos colegas que fiz na escola Politécnica da USP: Rodrigo Martins Lucci, Tiago da Silva Souza, Marcos Gaia, Afonso Reis, Flávio Conde, Cristiane Andrioli, pelo fornecimento de

informações hidrológicas, hidráulicas, telemétricas e pelo conhecimento compartilhado ao longo das disciplinas realizadas.

À equipe do LabSid, em particular à engenheira Carla Voltarelli, por ouvir as minhas dificuldades técnicas com os modelos hidrológicos e por compartilhar seu conhecimento sobre o programa PCSWMM.

Ao Centro de Gerenciamento de Emergências da Prefeitura de São Paulo pelo fornecimento de dados pluviométricos.

Ao Instituto de Astronomia e Geofísica da USP pelo fornecimento de dados pluviométricos.

Ao Computational Hydraulics International (CHI) pelo fornecimento de licença para utilização do software PCSWMM utilizado em simulações hidráulicas de testes paralelos realizados para esta pesquisa.

Ao Sistema de Alerta à Inundação do Estado de São Paulo (Saisp), em nome do diretor Flávio Conde, pelo fornecimento de informações.

Ao Departamento de Águas e Energia Elétrica e, particularmente, ao pessoal responsável pelas obras de manutenção e desassoreamento de rios e córregos urbanos pelo fornecimento de informações de seção transversal.

À Prefeitura de São Paulo, principalmente, ao corpo técnico da Divisão de Projetos de Águas Pluviais (PROJ 4) da Superintendência de Projetos Viários da Secretaria de Infraestrutura Urbana e Obras pelo acolhimento de minha visita, e fornecimento de informações e instruções técnicas.

Ao Cometa (José Luiz Adeve) e ao pessoal do Núcleo de Comunicação Comunitária São Miguel no Ar pelo apoio no reconhecimento da área de estudo.

Aos Diretores da Associação de moradores do Jardim Lapenna, Marcel e Maria Xique Xique, pela disponibilidade em receber e fornecer informações sobre a área de estudo.

À Fapesp pelo fomento financeiro da pesquisa (processo nº 2011/16.396)

A toda minha família, em especial à minha avó Joaquina Veneziani.

À Juliana da Costa Mantovani, pelo companheirismo e compreensão nos três anos de mestrado.

Estes agradecimentos deixam claro que este estudo, assim como todos outros, é sempre feito a muitas “mãos”, e que cabe ao autor principal, no mínimo, fazer constar as organizações de apoio à pesquisa e os nomes de tantas pessoas indispensáveis a sua realização.

RESUMO

VENEZIANI, Y. A abordagem da geomorfologia antropogênica e de modelagens hidrológica e hidráulica na bacia do Córrego Três Pontes (SP) para determinação de picos de vazão e da vulnerabilidade a inundações. 2014. 300 f. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

Os atuais e persistentes cenários de enchentes da Região Metropolitana de São Paulo, e suas consequências em seu espaço e cotidiano, evidenciam a complexidade dessa problemática. A recorrência das enchentes sugere que, mesmo diante da adoção de medidas de controle, combate e mitigação, tais ações demonstraram-se insuficientes, estando associadas a limitações das metodologias e dos modelos a serem abordados. Este estudo relaciona-se a esta última proposição, testando e aplicando formas de integração das abordagens geomorfológicas, às abordagens oriundas da hidrologia e da hidráulica. O objetivo foi analisar as variabilidades temporal e espacial dos resultados de simulações hidrológicas e hidráulicas e compará-los aos mapeamentos obtidos pela Geomorfologia Antropogênica a partir da cartografia geomorfológica evolutiva na bacia hidrográfica do córrego Três Pontes (SP), de modo a identificar potenciais de complementariedade e integração dessas metodologias. Primeiramente, realizou-se a fotointerpretação e reconstituição das morfologias originais (1962) e das formas antropogênicas (2011), gerando cartografias de perturbação que assumiram diferentes graus de susceptibilidades às inundações e ao escoamento superficial concentrado. Em seguida, modelos hidrológicos (Ven Te Chow – SCS e Hidrograma Unitário – SCS, pelo ABC6) e hidráulico (pelo HEC-RAS) foram aplicados nos cenários reconstituídos anteriormente, determinando o aumento da vazão de pico e das áreas inundadas entre os anos estudados para tormentas de diferentes tempos de retornos. Os resultados das modelagens hidrológicas e hidráulicas demonstraram aumento significativo da vazão de pico e uma ampliação expressiva da área inundada na BHTP entre 1962 e 2011. Comparados os limites de áreas inundadas obtidos pela modelagem hidráulica à cartografia de vulnerabilidade à inundações, constatou-se uma compatibilidade de resultados. Por um lado, foram identificadas e discutidas limitações relacionadas aos pressupostos, parâmetros e coeficientes de ambas as metodologias; por outro lado, foram assinalados potenciais de integração entre elas. De modo geral, pode-se afirmar que os resultados obtidos contribuem ao conhecimento hidrológico e geomorfológico urbanos, em especial à área de estudo, e constitui um esforço interdisciplinar de aproximar duas especialidades fundamentais ao planejamento territorial urbano.

PALAVRAS-CHAVE: Inundações, Geomorfologia Antropogênica, Modelagem Hidrológica e Hidráulica, Região Metropolitana de São Paulo, Abordagem Multidisciplinar.

ABSTRACT

VENEZIANI, Y. The Anthropogenic Geomorphology approach and hydrological-hydraulic modelling applied in stream Três Pontes basin (São Paulo) to determine peak flow and flood vulnerability. 300 f. Dissertation (Master's degree) – Department of Geography, University of São Paulo, São Paulo, 2014.

The current and persistent flooding scenarios in the Metropolitan Region of São Paulo, and their consequences on its space and life, point out to the complexity of this issue. The recurrence of flooding suggests that, even though policies of control, ordering and mitigation were adopted, its measures demonstrated not to be enough, associated with limitations of the methodologies and hydrological and hydraulic forecast models. This research is related to this last proposition, testing and applying ways in which the approaches of geomorphology, hydrology and hydraulics, can be integrated. Therefore, the study aims to analyze the temporal and spatial variability of hydrologic and hydraulic simulations results and to compare them with the mappings obtained by Anthropogenic Geomorphology from evolutionary geomorphological mapping at the stream Três Pontes basin, in order to identify the dialogues and potentials of integration between these methodologies. Firstly, airphotos and satellite images were interpreted and the original morphologies (1962) and anthropogenic forms (2011) reconstructed and mapped, from which disturbance maps were produced considering different susceptibilities to flooding and concentration of discharges. Afterwards, hydrological models (Ven Te Chow-SCS and Unit Hydrograph-SCS using ABC6) and hydraulic models (using HEC-RAS) were applied considering the same scenarios previously reconstituted and, as a result, the increase on peak discharge and of flooding areas, between 1962 e 2011, were determined for different recurrence intervals. When compared, the boundaries of flooded areas obtained through the hydraulic modeling and the flood susceptibility cartography, demonstrated the compatibilities between the results. Limitations of some parameters, coefficients and assumptions related to both methodologies were identified and discussed, as well as, the potential of integration between the two. As a whole, the obtained results contribute to the urban hydrological and geomorphological knowledge, especially in the studied area, and constitute an interdisciplinary effort to approximate two fundamental territorial planning fields.

KEYWORDS: Flood, Anthropogenic Geomorphology, Hydrological Modeling, Hydraulic Modeling, Metropolitan Region of São Paulo, Multidisciplinary Approach.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
2. METODOLOGIA	26
2.1. REFERENCIAIS TEÓRICO-METODOLÓGICOS.....	26
2.2. PROCEDIMENTOS.....	30
2.2.1. Universo de análise: recortes espacial e temporal.....	32
PARTE 1.....	33
2.2.2. Abordagem da geomorfologia antropogênica	33
2.2.2.1. Levantamento de dados	33
2.2.2.2. Sistematização dos dados e derivação de informações	34
2.2.2.3. Análises geomorfológicas.....	35
PARTE 2.....	53
2.2.3. Modelagem hidrológica e hidráulica	53
2.2.3.1. Dados para caracterização da temporalidade das precipitações	53
2.2.3.2. Modelagem chuva-vazão Ven Te Chow-SCS.....	55
2.2.3.3. Modelagem chuva-vazão Hidrograma Unitário Triangular-SCS	60
2.2.3.4. Aplicação dos modelos hidrológicos e análises comparativas dos resultados	63
2.2.3.5. Modelagem hidráulica	63
PARTE 3.....	75
2.2.4. Procedimentos para comparação e avaliação do potencial de integração entre as abordagens.....	75
3. CARACTERIZAÇÃO REGIONAL DA ÁREA DE ESTUDO	77
3.1. SISTEMA FÍSICO	77
3.1.1. Geologia	77
3.1.2. Geomorfologia	81
3.1.3. Climatologia	85
3.2. CARACTERÍSTICAS ANTRÓPICAS	90
3.2.1. Urbanização regional e o contexto da BHTP	90
3.2.2. Caracterização do uso da terra atual na BHTP.....	93
3.2.3. Intervenções hidráulicas na BHTP	97
4. APLICAÇÃO DA ABORDAGEM GEOMORFOLÓGICA ANTROPOGÊNICA	100
4.1. MORFOLOGIAS ORIGINAIS – CENÁRIO 1 (1962)	100
4.2. MORFOLOGIAS ANTROPOGÊNICAS – CENÁRIO 2 (2011).....	120
4.3. UNIDADES MORFOLÓGICAS COMPLEXAS	129
4.4. VULNERABILIDADE À INUNDAÇÃO E PRODUÇÃO DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL CONCENTRADO... 142	
4.5. CAPACIDADE DE ESTOCAGEM DA PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO	149
5. APLICAÇÃO DE MODELAGENS HIDROLÓGICAS E HIDRÁULICA	152
5.1. CARACTERIZAÇÃO DAS PRECIPITAÇÕES.....	152
5.1.1. Regimes anuais e mensais das precipitações	152
5.1.2. Precipitações diárias intensas	158
5.1.3. Curva Intensidade-Duração-Frequência para a cidade de São Paulo.....	169
5.1.4. Precipitações de projeto	172
5.2. RESULTADO DA MODELAGEM HIDROLÓGICA VEN TE CHOW-SCS.....	175
5.2.1. Deflúvio – Curve Number (CN).....	175
5.2.2. Coeficiente de armazenamento (S).....	178
5.2.3. Precipitação Excedente (Re) e Fator de deflúvio (X)	180
5.2.4. Fator de redução de pico – termo Z.....	183
5.2.5. Vazões de pico pelo método Ven Te Chow – Soil Conservation Service (SCS)	185
5.2.6. Análise dos resultados da modelagem hidrológica Ven Te Chow – SCS	188
5.3. RESULTADOS DA MODELAGEM HIDROLÓGICA HU-SCS	191
5.3.1. Precipitação total e excedente	191
5.3.2. Hidrogramas de cheias e picos de vazão	196
5.4. ANÁLISE DOS RESULTADOS DAS MODELAGENS HIDROLÓGICAS.....	199
5.5. RESULTADOS DA MODELAGEM HIDRÁULICA.....	201
5.5.1. Seções transversais e capacidade de vazão	201
5.5.2. Vazões máximas de entrada no fluxo permanente	208
5.5.3. NA máximo ao longo do perfil longitudinal	210
5.5.4. Área e limite das inundações simuladas	221
5.5.5. Volume das inundações simuladas	229

6. ANÁLISE COMPARATIVA E AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE CONTRIBUIÇÃO ENTRE AS ABORDAGENS.....	234
6.1. ANÁLISE GEOMORFOLÓGICA DA MODELAGEM HIDROLÓGICA E SEUS PARÂMETROS	234
6.2. COMPARAÇÃO DAS INUNDAÇÕES SIMULADAS PELO HEC-RAS COM OS MAPEAMENTOS DA MORFOLOGIA ORIGINAL E DE VULNERABILIDADE À INUNDAÇÃO OBTIDOS PELA GEOMORFOLOGIA ANTROPOGÊNICA	241
6.3. PARÂMETROS DA MODELAGEM HIDRÁULICA ANALISADOS A PARTIR DA GEOMORFOLOGIA ANTROPOGÊNICA	250
6.3.1. Seções transversais de vale no HEC-GeoRAS	251
6.3.2. Perfil longitudinal do canal modelado produzido no HEC-RAS	253
6.3.3. Potencial de introdução de dados morfológicos na construção das seções de vale e do perfil longitudinal.....	254
6.4. POTENCIAL DE CONTRIBUIÇÃO DA MODELAGEM HIDRÁULICA À GEOMORFOLOGIA ANTROPOGÊNICA	255
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	258
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	272

Apêndices

APÊNDICE A – REFERÊNCIAIS TEÓRICO-METODOLÓGICOS	CD-ROM
APÊNDICE B – IMAGEM DE SATÉLITE DA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO TRÊS PONTES	291
APÊNDICE C – CARTA-BASE OFICIAL. TOPOGRAFIA DA EMPLASA	292
APÊNDICE D – MAPA DE USO DA TERRA EM 1962	293
APÊNDICE E – MAPA DE USO DA TERRA EM 2011	294
APÊNDICE F – DADOS DE SEÇÃO TRANSVERSAL DE TRECHO DO CÓRREGO TRÊS PONTES.....	CD-ROM
APÊNDICE G – RESULTADOS BRUTOS DAS SIMULAÇÕES HIDRÁULICAS PRODUZIDAS PELO HEC-RAS	CD-ROM
APÊNDICE H – MAPAS DE COMPARAÇÃO ENTRE OS CENÁRIOS DE SIMULAÇÕES 1962 E 2011	295
APÊNDICE I – MAPAS DE COMPARAÇÃO ENTRE AS MORFOLOGIAS ORIGINAIS FOTOINTERPRETADAS E AS MANCHAS DE INUNDAÇÃO SIMULADAS PARA O CENÁRIO DE 1962	296
APÊNDICE J – MAPAS DE COMPARAÇÃO ENTRE AS VULNERABILIDADES À INUNDAÇÃO E AS MANCHAS DE INUNDAÇÃO SIMULADAS PARA O CENÁRIO DE 2011	297
APÊNDICE K – MAPA DE PONTOS CHECADOS EM CAMPO	298
APÊNDICE L – FORMULÁRIO DE ENTREVISTAS	CD-ROM

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - LOCALIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO TRÊS PONTES.	25
FIGURA 2 - FLUXOGRAMA DOS FUNDAMENTOS TEÓRICO-CONCEITUAIS DA PESQUISA.....	29
FIGURA 3 – PROCEDIMENTOS EXECUTADOS NA PARTE 1 – APLICAÇÃO DA ABORDAGEM DA GEOMORFOLOGIA ANTROPOGÊNICA.	30
FIGURA 4 – FLUXOGRAMA DE PROCEDIMENTOS EXECUTADOS NAS ETAPAS REFERENTES À PARTE 2 - MODELAGEM HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA.	31
FIGURA 5 – FLUXOGRAMA DE PROCEDIMENTOS EXECUTADOS NAS ETAPAS REFERENTES À PARTE 3 – COMPARAÇÃO E APROXIMAÇÃO ENTRE AS METODOLOGIAS APLICADAS.....	31
FIGURA 6 - RECLASSIFICAÇÃO DO USO DA TERRA DE ACORDO COM AS CATEGORIAS PROPOSTAS PELO SCS, PARA DETERMINAÇÃO DO CN. EXEMPLO DE FLUXO DE TRABALHO EM SIG.....	60
FIGURA 7 - INTERFACE DE CONFIGURAÇÃO DOS DADOS DE RETARDO DA BACIA E DE N DE MANNING COMPOSTO NO ABC6.....	62
FIGURA 8 - LOCALIZAÇÃO DAS SEÇÕES TRANSVERSAIS LEVANTADAS PARA O PROJETO DE RETIFICAÇÃO DE TRECHO DO CÓRREGO TRÊS PONTES.....	65
FIGURA 9 – SEÇÕES TRANSVERSAIS TÍPICAS: NATURAL (CONTÍNUA) E PROJETADA (TRACEJADA).....	66
FIGURA 10 - LOCALIZAÇÃO DAS SEÇÕES TRANSVERSAIS OBTIDAS PELO HEC-GEORAS AO LONGO DO TRECHO DE PLANÍCIE DO CANAL PRINCIPAL.	67
FIGURA 11 - EXEMPLO DE OBTENÇÃO E PLOTAGEM DE SEÇÃO DE VALE OBTIDA PELO HEC-GEORAS NO ARCGIS, COM ESTIMATIVA VISUAL DA LARGURA DAS SEÇÕES.	67
FIGURA 12 – SEÇÃO TRANSVERSAL INSERIDA NO HEC-RAS A PARTIR DE DADOS DO SIG. EXEMPLO DE TRATAMENTO DAS INFORMAÇÕES GEOMÉTRICAS NO SOFTWARE.	70
FIGURA 13 – SUB-BACIAS HIDROGRÁFICAS CONSIDERADAS PARA O CÁLCULO DAS VAZÕES DE PICO UTILIZADAS NAS SIMULAÇÕES DE FLUXO PERMANENTE NO HEC-RAS.	72
FIGURA 14 – EXEMPLO DE JANELA PARA INTRODUÇÃO DAS INFORMAÇÕES DE CONTORNO E PERFIS A SEREM SIMULADOS NO FLUXO PERMANENTE.	74
FIGURA 15 – UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS DA RMSP (SEM ESCALA).	78
FIGURA 16 – GEOLOGIA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO TRÊS PONTES.....	79
FIGURA 17 – SEÇÃO GEOLÓGICA DA SERRA DA CANTAREIRA AO MACIÇO DE SANTOS.	82
FIGURA 18 – UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS NA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO	84
FIGURA 19 - RUA VALDOMIRO GONZAGA DA SILVA, COORDENADAS UTM 359.741ME; 7.401.350MN (WGS84, 23S). VISADA SW.	95
FIGURA 20 – AVENIDA KEMEL ADDAS, COORDENADAS UTM 360.428ME; 7.400.126MN (WGS84, 23S). VISADA NE.....	95
FIGURA 21 – CÓRREGO TRÊS PONTES VISTO A PARTIR DA AV. MARECHAL TITO, COORDENADAS UTM 359.347ME; 7.402.260MN (WGS84, 23S). VISADA N.	95
FIGURA 22 – RUA NICOLA GAGLIOTTI, COORDENADAS UTM 360.202ME; 7.397.652MN (WGS84, 23S). VISADA N.....	95
FIGURA 23 – RUA NOVO HORIZONTE, COORDENADAS UTM 360.605ME; 7.397.859MN (WGS84, 23S). VISADA W.	96
FIGURA 24 – COORDENADAS UTM 360.697ME; 7.397.988MN (WGS84, 23S). VISADA N.	96
FIGURA 25 – COORDENADAS UTM 360.697ME; 7.397.988MN (WGS84, 23S). VISADA E.....	96
FIGURA 26 – RUA ORLANDO MORAES FÉRIA. COORDENADAS UTM 359.630ME; 7.401.734MN; (WGS84, 23S). VISADA E..	96
FIGURA 27 – ALTIMETRIA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO TRÊS PONTES.....	103
FIGURA 28 – DECLIVIDADE DA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO TRÊS PONTES.	106
FIGURA 29 – MAPAS DE CURVATURA EM PLANTA E EM PERFIL DA BACIA DO CÓRREGO TRÊS PONTES.	107
FIGURA 30 – PERCENTUAL DE ÁREAS DAS CURVATURAS EM PLANTA.....	108
FIGURA 31 – PERCENTUAL DE ÁREAS DAS CURVATURAS EM PERFIL.....	108
FIGURA 32 - COMBINAÇÃO ENTRE MODELADOS DE CURVATURAS EM PLANTA E EM PERFIL.....	110
FIGURA 33 – PERCENTUAIS DE ÁREA DAS MORFOLOGIAS DE VERTENTE.	111
FIGURA 34 - PERCENTUAIS DOS TIPOS DE FORMAS NO CONJUNTO DE MORFOLOGIAS FLUVIAIS.....	114
FIGURA 35 – PERFIL LONGITUDINAL DO CÓRREGO TRÊS PONTES E UNIDADES LITOLÓGICAS.....	116
FIGURA 36 – MAPA DAS MORFOLOGIAS ORIGINAIS RESTITUÍDAS.....	118
FIGURA 37 – MAPA DAS MORFOLOGIAS ORIGINAIS E MODELADO DE VERTENTE.....	119
FIGURA 38 – MAPA DAS MORFOLOGIAS ANTROPOGÊNICAS.....	121
FIGURA 39 – MAPA DE SOBREPOSIÇÃO DAS MORFOLOGIAS ORIGINAIS E MORFOLOGIAS ANTROPOGÊNICAS	130
FIGURA 40 – MAPA DE UNIDADES MORFOLÓGICAS COMPLEXAS	131
FIGURA 41 – PERCENTUAIS DAS MORFOLOGIAS ANTROPOGÊNICAS QUE OCUPAM A BACKSWAMP DA BHTP.	135
FIGURA 42 – PERCENTUAIS DE MORFOLOGIAS ANTROPOGÊNICAS QUE OCUPAM AS PLANÍCIES DA BHTP.	136
FIGURA 43 – DISTRIBUIÇÃO DOS PERCENTUAIS DE ÁREA DAS MORFOLOGIAS ANTROPOGÊNICAS QUE OCUPAM OS TERRAÇOS DA BHTP.....	137

FIGURA 44 – PERCENTUAIS DE ÁREA DAS MORFOLOGIAS ANTROPOGÊNICAS QUE OCUPAM AS VERTENTES DE DOMÍNIO DISPERSOR.	141
FIGURA 45 – PERCENTUAIS DE ÁREA DAS MORFOLOGIAS ANTROPOGÊNICAS QUE OCUPAM AS VERTENTES DE DOMÍNIO CONCENTRADOR.	141
FIGURA 46 – MAPA DE VULNERABILIDADE À INUNDAÇÃO E PRODUÇÃO DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL CONCENTRADO.	144
FIGURA 47 – PERCENTUAIS DE ÁREAS POTENCIAIS PRODUTORAS DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL CONCENTRADO.	145
FIGURA 48 – PERCENTUAIS DE ÁREAS DE VULNERABILIDADE À INUNDAÇÃO PRESENTES NA BACIA DO CÓRREGO TRÊS PONTES.	147
FIGURA 49 – TOTAIS DE PRECIPITAÇÃO ENTRE 1943 E 2003 PARA O POSTO E3-091.	152
FIGURA 50 - TOTAIS DE PRECIPITAÇÃO ENTRE 1928 E 1986 PARA O POSTO 2346194.	154
FIGURA 51 – PRECIPITAÇÃO MENSAL PARA O POSTO E3-091	155
FIGURA 52 – PRECIPITAÇÃO MENSAL PARA O POSTO 2346194	155
FIGURA 53 – PRECIPITAÇÃO ANUAL E TOTAIS DE DIAS COM CHUVA PARA O POSTO DO CGE ENTRE 2003 E 2012.	157
FIGURA 54 – PRECIPITAÇÃO MENSAL PARA O POSTO DO CGE	158
FIGURA 55 - TOTAIS PLUVIOMÉTRICOS DE DIAS COM CHUVA EM JANEIRO (2003 A 2012).	160
FIGURA 56 - TOTAIS PLUVIOMÉTRICOS DE DIAS COM CHUVA EM FEVEREIRO (2003 A 2012).	160
FIGURA 57 - TOTAIS PLUVIOMÉTRICOS DE DIAS COM CHUVA EM MARÇO (2003 A 2012).	161
FIGURA 58 - TOTAIS PLUVIOMÉTRICOS DE DIAS COM CHUVA EM OUTUBRO (2003 A 2012).	161
FIGURA 59 - TOTAIS PLUVIOMÉTRICOS DE DIAS COM CHUVA EM NOVEMBRO (2003 A 2012).	161
FIGURA 60 - TOTAIS PLUVIOMÉTRICOS DE DIAS COM CHUVA EM DEZEMBRO (2003 A 2012).	162
FIGURA 61 - DISTRIBUIÇÃO TEMPORAL DA PRECIPITAÇÃO PARA O EVENTO DE 21 E 22/01/2010.	164
FIGURA 62 - DISTRIBUIÇÃO TEMPORAL DA PRECIPITAÇÃO PARA O EVENTO DE 12/03/2007.	165
FIGURA 63 - DISTRIBUIÇÃO TEMPORAL DA PRECIPITAÇÃO PARA O EVENTO DE 29 E 30/12/2006.	165
FIGURA 64 - DISTRIBUIÇÃO TEMPORAL DA PRECIPITAÇÃO PARA O EVENTO DE 12 E 13/02/2003.	166
FIGURA 65 - DISTRIBUIÇÃO TEMPORAL DA PRECIPITAÇÃO PARA O EVENTO DE 17 E 18/12/2005.	167
FIGURA 66 - DISTRIBUIÇÃO TEMPORAL DA PRECIPITAÇÃO PARA O EVENTO DE 10 E 11/01/2011.	168
FIGURA 67 – CURVAS IDF PARA SÃO PAULO EM FUNÇÃO DO TEMPO DE RETORNO.	171
FIGURA 68 – CURVAS IDF PARA SÃO PAULO COMO FUNÇÃO DO TEMPO DE DURAÇÃO (TD)	171
FIGURA 69 – IETOGRAMAS CONSTRUÍDOS POR BLOCOS ALTERNADOS PARA DIFERENTES TEMPOS DE RETORNO.	175
FIGURA 70 – DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO COEFICIENTE DE ARMAZENAMENTO S (MM) NA BACIA DO CÓRREGO TRÊS PONTES EM 1962.	178
FIGURA 71 - DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO COEFICIENTE DE ARMAZENAMENTO S (MM) NA BACIA DO CÓRREGO TRÊS PONTES EM 2011.	179
FIGURA 72 – DISPERSÃO ENTRE CHUVAS TOTAIS E CHUVAS EXCEDENTES PARA 1962 E 2011.	182
FIGURA 73 - ALTIMETRIA DA BACIA DO CÓRREGO TRÊS PONTES E PERFIL LONGITUDINAL AUTOMÁTICO DO CANAL PRINCIPAL.	184
FIGURA 74 – HIDROGRAMAS DE VAZÕES MÁXIMAS SIMULADAS PARA DIFERENTES TRS EM 1962.	187
FIGURA 75 – HIDROGRAMAS DE VAZÕES MÁXIMAS SIMULADAS PARA DIFERENTES TRS EM 2011.	187
FIGURA 76 – HIDROGRAMAS DE VAZÕES MÁXIMAS (m ³ /s) SIMULADAS PARA DIFERENTES TRS EM 1962 POR HU-SCS.	197
FIGURA 77 – HIDROGRAMAS DE VAZÕES MÁXIMAS (m ³ /s) SIMULADAS PARA DIFERENTES TRS EM 2011 POR HU-SCS.	197
FIGURA 78 – SEÇÕES TÍPICAS DO CÓRREGO TRÊS PONTES.	203
FIGURA 79 – VARIAÇÃO DO NA PARA CADA TR AO LONGO DO PERFIL LONGITUDINAL EM 1962.	211
FIGURA 80 – VARIAÇÃO DO NA PARA CADA TR AO LONGO DO PERFIL LONGITUDINAL EM 2011.	211
FIGURA 81 – VARIAÇÃO DA VAZÃO DE PICO EM 1962 AO LONGO DO CANAL PRINCIPAL.	214
FIGURA 82 – VARIAÇÃO DA VAZÃO DE PICO EM 2011 AO LONGO DO CANAL PRINCIPAL.	214
FIGURA 83 – VARIAÇÃO DA VELOCIDADE DO FLUXO EM 1962 AO LONGO DO CANAL PRINCIPAL.	216
FIGURA 84 – VARIAÇÃO DA VELOCIDADE DO FLUXO EM 2011 AO LONGO DO CANAL PRINCIPAL.	216
FIGURA 85 – VARIAÇÃO DA ÁREA MOLHADA DA SEÇÃO EM 1962 AO LONGO DO CANAL PRINCIPAL PARA SIMULAÇÃO DE FLUXO PERMANENTE.	219
FIGURA 86 – VARIAÇÃO DA ÁREA MOLHADA DA SEÇÃO EM 2011 AO LONGO DO CANAL PRINCIPAL PARA SIMULAÇÃO DE FLUXO PERMANENTE.	219
FIGURA 87 – DISPERSÃO DE PONTOS CORRELACIONANDO A VELOCIDADE DOS FLUXOS NAS VAZÕES DE PICO ÀS ÁREAS RELATIVAS ÀS SEÇÕES MOLHADAS NOS EVENTOS SIMULADOS PARA 1962.	220
FIGURA 88 – DISPERSÃO DE PONTOS CORRELACIONANDO A VELOCIDADE DOS FLUXOS NAS VAZÕES DE PICO ÀS ÁREAS RELATIVAS ÀS SEÇÕES MOLHADAS NOS EVENTOS SIMULADOS PARA 2011.	220
FIGURA 89 – EXEMPLO DE REPRESENTAÇÃO TRIDIMENSIONAL DOS RESULTADOS DA MODELAÇÃO HIDRÁULICA NO HEC-RAS.	221
FIGURA 90 – LIMITES DAS MANCHAS DE INUNDAÇÃO PRODUZIDAS A PARTIR DAS SIMULAÇÕES DE PICO DE VAZÃO PARA O CENÁRIO DE 1962.	223

FIGURA 91 – LIMITES DAS MANCHAS DE INUNDAÇÃO PRODUZIDAS A PARTIR DAS SIMULAÇÕES DE PICO DE VAZÃO PARA O CENÁRIO DE 2011.	224
FIGURA 92 – PROFUNDIDADES ESTIMADAS PARA A LÂMINA D'ÁGUA MÁXIMA ALCANÇADA NOS CENÁRIOS DE INUNDAÇÃO TR 2 E 100 ANOS, PARA 1962.	230
FIGURA 93 – PROFUNDIDADES ESTIMADAS PARA A LÂMINA D'ÁGUA MÁXIMA ALCANÇADA NOS CENÁRIOS DE INUNDAÇÃO TR 2 E 100 ANOS, PARA 2011.	231

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - CORRESPONDÊNCIAS ENTRE A RELAÇÃO TD/TP E O FATOR Z.	57
TABELA 2 – VALORES DE X E Y DAS LAMELAS DE CADA UMA DAS SEÇÕES TÍPICAS OBTIDAS.	65
TABELA 3 – COORDENADAS E VALORES NORMALIZADOS DE X E Y PELA LARGURA E PROFUNDIDADE MÁXIMAS DA SEÇÃO TÍPICA.	68
TABELA 4 – EXEMPLO DE PLANILHA DE CÁLCULO PARA INSERÇÃO DA GEOMETRIA DA SEÇÃO TÍPICA NATURAL À SEÇÃO DE VALE OBTIDA EM SIG.	69
TABELA 5 – VALORES DE RUGOSIDADE N DE MANNING PARA O CONDUTO E PARA AS PLANÍCIES ADJACENTES EM CADA REVESTIMENTO PREDOMINANTE VERIFICADO.	71
TABELA 6 - DADOS DAS SUBUNIDADES HIDROGRÁFICAS PARA MODELAGEM HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA CONSIDERANDO O CENÁRIO DE 1962.	73
TABELA 7 - DADOS DA SUBUNIDADES HIDROGRÁFICAS PARA MODELAGEM HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA CONSIDERANDO O CENÁRIO DE 2011.	73
TABELA 8 – ÁREAS DAS CURVATURAS EM PLANTA MAPEADAS NA BHTP.	108
TABELA 9 – ÁREAS DAS CURVATURAS EM PERFIL MAPEADAS NA BHTP.	108
TABELA 10 – ÁREAS DAS MORFOLOGIAS DE VERTENTE MAPEADAS NA BHTP.	111
TABELA 11 – ÁREAS DAS MORFOLOGIAS FLUVIAIS MAPEADAS NA BHTP.	114
TABELA 12 – ÁREAS DAS MORFOLOGIAS ANTROPOGÊNICAS MAPEADAS NA BHTP.	120
TABELA 13 – EXTENSÃO E PORCENTAGEM DA HIDROGRAFIA ANTROPOGÊNICA NA BHTP.	127
TABELA 145 – ÁREAS DAS UNIDADES COMPLEXAS DE PLANÍCIE NA BHTP.	134
TABELA 156 – ÁREA E PERCENTUAL DAS UNIDADES COMPLEXAS DE PLANÍCIE NA BHTP.	134
TABELA 16 – ÁREAS DAS UNIDADES COMPLEXAS DOS SISTEMAS INTERFLUVIAIS NA BHTP.	139
TABELA 17 – ÁREA E PERCENTUAL DAS UNIDADES COMPLEXAS DE SISTEMA INTERFLUVIAL NA BHTP.	139
TABELA 18 – ÁREA E PERCENTUAL DOS NÍVEIS POTENCIAIS DE PRODUÇÃO DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL CONCENTRADO NO CONJUNTO DE SISTEMAS INTERFLUVIAIS.	143
TABELA 19 – ÁREA E PERCENTUAL DA VULNERABILIDADE À INUNDAÇÃO NAS PLANÍCIES FLUVIAIS.	147
TABELA 20 – ESTIMATIVA DA CAPACIDADE DE ESTOCAGEM DAS MORFOLOGIAS FLUVIAIS NO PERÍODO PRÉ-INTERVENÇÃO.	149
TABELA 21 – ESTIMATIVA DA CAPACIDADE DE ESTOCAGEM DAS MORFOLOGIAS FLUVIAIS REMANESCENTES NO PERÍODO PÓS-URBANIZAÇÃO.	150
TABELA 22 – ESTIMATIVA DA PERDA DE CAPACIDADE DE ESTOCAGEM DAS MORFOLOGIAS FLUVIAIS ENTRE 1962 E 2011.	150
TABELA 23 – ESTIMATIVA DOS VOLUMES DAS MORFOLOGIAS FLUVIAIS, PERCENTUAIS SUPRIMIDOS E VOLUME ATENDIDO PELO PISCINÃO JARDIM ROMANO.	151
TABELA 24 – PRECIPITAÇÃO ANUAL E MENSAL DE ANOS COM TOTAIS SUPERIORES A UM DESVIO PADRÃO ACIMA DA MÉDIA DO POSTO E3-091.	153
TABELA 25 - PRECIPITAÇÃO ANUAL E MENSAL DE ANOS COM TOTAIS SUPERIORES A UM DESVIO PADRÃO ACIMA DA MÉDIA DO POSTO 2346194.	154
TABELA 26 - TOTAIS MENSALIS DE CHUVA PARA O POSTO DO CGE, DESTACANDO ACUMULADOS EXTREMOS.	157
TABELA 27 - CARACTERÍSTICAS E ESTATÍSTICAS BÁSICAS DAS PRECIPITAÇÕES DOS DIAS COM CHUVA PARA OS MESES MAIS ÚMIDOS.	159
TABELA 28 - EVENTOS CONSIDERADOS EXTREMOS NA SÉRIE HISTÓRICA DO CGE DE 2003 A 2012.	162
TABELA 29 - INTENSIDADES MÉDIAS ESTIMADAS (MM/HORA) PARA OS Tr E TD DEFINIDOS.	170
TABELA 30 - PREVISÃO DAS ALTURAS MÁXIMAS DE CHUVA R (MM).	170
TABELA 31 - SÍNTESE DAS PRECIPITAÇÕES DE PROJETOS POR BLOCOS ALTERNADOS.	172
TABELA 32 – ÁREA, VALOR CN ATRIBUÍDO E CN PONDERADO PARA A BHTP EM 1962.	176
TABELA 33 - ÁREA, VALOR CN ATRIBUÍDO E CN PONDERADO PARA A BHTP EM 2011.	177
TABELA 34 - CHUVA EXCEDENTE (MM) ESTIMADA PARA 1962.	180
TABELA 35 - CHUVA EXCEDENTE (MM) ESTIMADA PARA 2011.	180
TABELA 36 – RAZÃO DE AUMENTO DO VOLUME DE CHUVA EXCEDENTE SIMULADO ENTRE 1962 E 2011.	181
TABELA 37 - COEFICIENTE DE DEFLÚVIO X (MM/H) PARA CADA ALTURA RE ESTIMADAS PARA 1962.	183
TABELA 38 - COEFICIENTE DE DEFLÚVIO X (MM/H) PARA CADA ALTURA RE ESTIMADAS PARA 2011.	183
TABELA 39 - COEFICIENTES DE REDUÇÃO DE PICO RELATIVOS AOS TEMPOS DE DURAÇÃO.	184

TABELA 40 – EXEMPLO DE DERIVAÇÃO DE $Q_{\text{MÁX}}$ (m^3/s) PARA $T_r=10$ ANOS E DIVERSOS TDS PARA 1962.....	185
TABELA 41 – VAZÕES MÁXIMAS (m^3/s) SIMULADAS PARA 1962.....	186
TABELA 42 – VAZÕES MÁXIMAS (m^3/s) SIMULADAS PARA 2011.....	186
TABELA 43 – PERCENTUAIS DE AUMENTO DAS VAZÕES DE PICO ENTRE 1962 E 2011.....	188
TABELA 44 – PRECIPITAÇÕES DE PROJETO DE 1962 E 2011, POR BLOCOS ALTERNADOS.	191
TABELA 45 – TOTAIS DE CHUVAS DE PROJETOS (MM) PARA 1962 E 2011, NOS TEMPOS DE RETORNO CONSIDERADOS.	195
TABELA 46 – TAXAS DE VARIAÇÃO DOS VALORES DE PRECIPITAÇÃO TOTAL (MM) E DAS CHUVAS EFETIVAS ENTRE 1962 E 2011. ...	196
TABELA 47 – HIDROGRAMAS DE PROJETO PARA OS CENÁRIOS DE 1962 E 2011, COM BASE NA METODOLOGIA DO HIDROGRAMA UNITÁRIO SINTÉTICO TRIANGULAR.....	198
TABELA 48 – PICOS DE VAZÃO (m^3/s) SIMULADOS PELOS MÉTODOS VEN TE CHOW-SCS E HU-SCS PARA 1962.	199
TABELA 49 – PICOS DE VAZÃO (m^3/s) CALCULADOS PELOS MÉTODOS VEN TE CHOW-SCS E HU-SCS PARA 2011.....	200
TABELA 50 – PARÂMETROS HIDROGEOMÉTRICOS DA SEÇÃO TÍPICA NATURAL DO CÓRREGO TRÊS PONTES (ATÉ 2011).	204
TABELA 51 – PARÂMETROS HIDROGEOMÉTRICOS DA SEÇÃO TÍPICA PROJETADA DO CÓRREGO TRÊS PONTES (APÓS 2011).....	205
TABELA 52 – VAZÕES (m^3/s) REFERENTES A PERCENTUAIS DE CAPACIDADE DAS SEÇÕES E INTERVALOS DE SUPORTE ÀS VAZÕES EXTREMAS OBTIDAS PELOS MODELOS CHUVA-VAZÃO.	206
TABELA 53 – VALORES DE VAZÃO DE PICO EM 1962 PARA SIMULAÇÃO DE FLUXO PERMANENTE.	208
TABELA 54 – VALORES DE VAZÃO DE PICO EM 2011 PARA SIMULAÇÃO DE FLUXO PERMANENTE.	208
TABELA 55 – RAZÃO DE AUMENTO DOS VALORES DE VAZÃO DE PICO MODELADAS ENTRE 1962 E 2011.	209
TABELA 56 – MÉDIAS DAS VAZÕES DE PICO PARA CADA T_r NOS DOIS CENÁRIOS ABORDADOS.	215
TABELA 57 – VELOCIDADES MÉDIAS DOS PICOS DE VAZÃO PARA CADA T_r NOS CENÁRIOS ABORDADOS.	218
TABELA 58 – ESTIMATIVA DAS ÁREAS DAS MANCHAS DE INUNDAÇÕES SIMULADAS EM 1962 E COTAS DO NA NO EXUTÓRIO.	226
TABELA 59 – ESTIMATIVA DAS ÁREAS DAS MANCHAS DE INUNDAÇÕES SIMULADAS EM 2011 E COTAS DO NA NO EXUTÓRIO.	226
TABELA 60 – COMPARAÇÃO DAS ÁREAS INUNDADAS DE ACORDO COM OS DIFERENTES T_r s PARA OS CENÁRIOS DE 1962 E 2011.	228
TABELA 61 – VOLUMES ESTOCADOS (m^3), COTA MÁXIMA E MÉDIA PONDERADA DAS COTAS (M) PARA OS DIFERENTES CENÁRIOS DE INUNDAÇÃO.	232
TABELA 62 – AUMENTO DO VOLUME E DA COTA MÁXIMA ENTRE OS CENÁRIOS DE 1962 E 2011 PARA DIFERENTES T_r s.	232
TABELA 63 – ÁREAS RESULTANTES DA SOBREPOSIÇÃO ENTRE AS INUNDAÇÕES SIMULADAS PARA 1962 E AS MORFOLOGIAS ORIGINAIS RESTITUÍDAS.....	242
TABELA 64 – ÁREAS RESULTANTES DA SOBREPOSIÇÃO ENTRE AS INUNDAÇÕES SIMULADAS PARA 2011 E AS MORFOLOGIAS ORIGINAIS RESTITUÍDAS.....	245

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - CARTAS TOPOGRÁFICAS 1:10.000 UTILIZADAS.	34
QUADRO 2 - FOTOGRAFIAS AÉREAS 1:25.000 UTILIZADAS.	34
QUADRO 3 - LEGENDA DAS MORFOLOGIAS ORIGINAIS.	37
QUADRO 4 – CARACTERÍSTICAS DAS MUDANÇAS ANALISADAS NOS SISTEMAS GEOMORFOLÓGICOS.....	40
QUADRO 5 - LEGENDA DO MAPA DE USO DA TERRA EM 2011.	40
QUADRO 6 – MATRIZ DE COMBINAÇÃO DAS MORFOLOGIAS ORIGINAIS (COLUNAS) E ANTROPOGÊNICAS (LINHAS) DAS QUAIS DERIVARAM AS UNIDADES COMPLEXAS DE PLANÍCIE (PL).	46
QUADRO 7 – MATRIZ DE COMBINAÇÃO DAS MORFOLOGIAS ORIGINAIS (COLUNAS) E ANTROPOGÊNICAS (LINHAS) DAS QUAIS DERIVARAM AS UNIDADES COMPLEXAS DE SISTEMA INTERFLUVIAL (SI).	47
QUADRO 8 – CLASSIFICAÇÃO DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL CONCENTRADO DE ACORDO COM AS COMBINAÇÕES ENTRE MO E MA.	49
QUADRO 9 – CLASSIFICAÇÃO DA VULNERABILIDADE À INUNDAÇÃO DE ACORDO COM AS COMBINAÇÕES ENTRE MO E MA.	50
QUADRO 10 – SEÇÕES AMOSTRAIS UTILIZADAS NA ESTIMATIVA DO DESNÍVEL MÉDIO DAS MORFOLOGIAS FLUVIAIS.....	52
QUADRO 11 – FONTES DE INFORMAÇÃO HIDROMETEOROLÓGICAS UTILIZADAS.	54
QUADRO 12 - PARÂMETROS HIDROMORFODINÂMICOS E DE OBRAS HIDRÁULICAS UTILIZADOS PARA SELEÇÃO DOS T_r s.....	59
QUADRO 13 – DADOS DE ENTRADA UTILIZADOS NA GERAÇÃO DO PICO DE VAZÃO E HIDROGRAMA DE CHEIA PELO ABC6.	61
QUADRO 14 – UNIDADES CLIMÁTICAS CLASSIFICADAS DE ACORDO COM A ESCALA DE DETALHE E CONTROLES AMBIENTAIS ADOTADOS PARA CADA REGIÃO.....	87
QUADRO 15 – ATRIBUTOS CLIMÁTICOS DAS UNIDADES TOPOCLIMÁTICAS ABRANGIDAS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO TRÊS PONTES.....	87
QUADRO 16 – SUBUNIDADES DE CLIMA URBANO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO TRÊS PONTES.....	89
QUADRO 17 – PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO TRÊS PONTES.....	100
QUADRO 18 - LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE CHEGAGEM DE CAMPO RELACIONADOS AO MAPEAMENTO MORFOLÓGICO E OBSERVAÇÕES CARTAS TOPOGRÁFICAS 1:10.000 UTILIZADAS.....	248

QUADRO 19 - LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE CHECAGEM DE CAMPO RELACIONADOS ÀS MANCHAS DE INUNDAÇÃO RESULTANTES DA MODELAGEM HIDRÁULICA E OBSERVAÇÕES.	248
QUADRO 20 - SÍNTESE DAS POSSIBILIDADES DE INTEGRAÇÃO ENTRE OS CAMPOS E PROPOSIÇÕES DE APROXIMAÇÃO.	270

LISTA DE SIGLAS

ABC6 – Software de Análise de Bacias Complexas
 AFA – Acervo de Fotografias Aéreas do DG/FFLCH/USP
 ANA – Agência Nacional de Águas do Ministério do Meio Ambiente
 BHTP – Bacia Hidrográfica do Córrego Três Pontes
 Cc – Vertente de curvatura com tendência côncava
 CGE – Centro de Gerenciamento de Emergências do município de São Paulo
 CHIWater – Computational Hydraulics International
 CLiv – Software de Simulação de Escoamento em Conduitos Livres FCTH
 CTH – Centro de Tecnologia Hidráulica da EP/USP
 CN – Curve Number (Número de curva)
 CPTM – Companhia Paulista de Trens Metropolitanos
 CRED – Centre for Research on the Epidemiology of Disasters of Université Catholique de Louvain, Bruxelas (Centro de Pesquisa em Epidemiologia de Desastres).
 Cv – Vertente de curvatura com tendência convexa
 DAEE – Departamento de Águas e Esgoto de São Paulo
 Emplasa – Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano S.A.
 EP – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
 FCTH – Fundação Centro de Tecnologia Hidráulica
 GSP – Grande São Paulo
 HEC-RAS – Hydrologic Engineering Centers – River Analysis System of USAC (Centro de Engenharia Hidráulica – Sistema de Análise de Rios do Corpo de Engenheiros do Exército Americano)
 HEC-GeoRAS - Hydrologic Engineering Centers River Analysis Geosystem of USAC
 HEC-HMS - Hydrologic Engineering Centers – Hydrologic Modeling System of USAC (Centro de Engenharia Hidráulica – Sistema de Modelagem Hidrológica do Corpo de Engenheiros do Exército Americano)
 HU – Hidrograma Unitário
 Ib – Índice de Bifurcação
 IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
 Ic – Índice de Circularidade
 IDE – Infraestrutura de Dados Espaciais
 IDF – Relação probabilista de Intensidade-Duração-Frequência
 MA – Morfologia Antropogênica
 MDT – Modelo Digital de Terreno
 MDE – Modelo Digital de Elevação
 MO – Morfologia Original
 NA – Nível d'Água
 NRCS – *Natural Resources Conservation Services*
 LabSid – Laboratório de Sistemas de Suporte à Decisão em Engenharia Ambiental e Recursos Hídricos EP/USP
 Lasere – Laboratório de Aerofotogeografia e Sensoriamento Remoto DG/FFLCH/USP
 IPH – Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS
 PCSWMM – SIG de Suporte a Decisão Espacial em Hidrologia
 Ret – Vertente de curvatura com tendência retilínea
 RMSP – Região Metropolitana de São Paulo
 Saisp – Sistema de Alerta à Inundação do Estado de São Paulo
 SCS – Soil Conservation Service (Serviço de Conservação do Solo)
 SI – Sistema Internacional de medidas
 Sigrh - Sistema Integrado de Gerenciamento dos Recursos Hídricos
 SIG – Sistema de Informação Geográfica
 SSD – Sistema de Suporte à Decisão
 TR – Tempo de Retorno
 TIN – Triangular Irregular Network (Rede triangular irregular)
 UC – Unidade Complexa
 UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Unesco – United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura)

USP – Universidade de São Paulo

WMO – World Meteorological Organization (Organização Mundial de Meteorologia)

LISTA DE SÍMBOLOS

A – Fator área da bacia hidrográfica no modelo Ven Te Chow – SCS

CN – Parâmetro adimensional que relaciona R e Re

I – Declividade média do canal principal no modelo Ven Te Chow – SCS

$i_{td,Tr}$ – Intensidade de precipitação para Tr e td específicos

k – Parâmetro da equação de IDF básica

L – Extensão longitudinal do canal

n – Parâmetro de rugosidade de Manning

n – Parâmetro da equação de IDF básica

o – Parâmetro da equação de IDF básica

P – Profundidade máxima da seção transversal

Q – Vazão

Q_{máx} – Vazão máxima

R – Coluna total de chuva

Re – Chuva excedente total

Rh – Raio hidráulico

s – Declividade

S – Infiltração

Si – Infiltração inicial

Tb – Tempo de recessão

tc – Tempo de concentração

td – Tempo de duração

tp – Tempo de pico

to – Parâmetro da equação de IDF básica

Tr (ou T) – Tempo de Retorno

V – Velocidade do fluxo

Y – Fator climático no modelo Ven Te Chow - SCS

X – Fator de deflúvio no modelo Ven Te Chow – SCS

Z – Fator de redução de pico no modelo Ven Te Chow – SCS

1. INTRODUÇÃO

As enchentes urbanas são uma das calamidades públicas mais frequentes no Brasil, tendo especial relevância nas regiões metropolitanas como a da Grande São Paulo (GSP). A compreensão e as discussões acerca deste fenômeno abrangem, necessariamente, o entendimento de diversos elementos físicos da bacia hidrográfica, tais como, o regime pluviométrico do sistema, a morfologia, a tectônica, a litologia, as variações da vazão, os elementos introduzidos pelo processo histórico de ocupação, dentre outros. Estes últimos, por seu turno, são, ainda, relacionados a dimensões sociais e econômicas amplas, tais como as políticas de ordenamento e regularização territorial, e à gestão da drenagem urbana (SEABRA, 1987; RODRIGUES, 1997, 2010; CUSTÓDIO, 2002).

As inundações são processos fluviais naturais determinados pelo aumento temporário das vazões e o consequente transbordamento do fluxo fluvial, aumentando bruscamente a largura e área da seção molhada para seu escoamento. Associados ao transporte e deposição de sedimentos, os processos de inundação são, entre outros, os responsáveis pela formação das planícies fluviais, e as suas ocorrências estão relacionadas às magnitudes e frequências de eventos pluviométricos e processos fluviais decorrentes, de modo que, as formas de planície fluvial fornecem indicadores espaciais, e por vezes temporais, da vulnerabilidade das áreas ao extravasamento do canal.

Se por um lado o conhecimento da dinâmica natural é imprescindível aos estudos de inundação, por outro, a evolução da ocupação urbana contemporânea tornou o território descontínuo e desigual em relação à vulnerabilidade às enchentes (SANT'ANNA NETO, 2008). Nas cidades, as áreas mais vulneráveis são, recorrentemente, as regiões mais suscetíveis do ponto de vista social, concentradas às margens da capital.

Na maioria das grandes cidades do sudeste e sul do Brasil, a ocupação urbana a partir da segunda metade do século XX foi marcada pelo crescimento das manchas urbanas e da população que, vigorosamente, adensaram-se nas periferias. Na imensa maioria dos casos, a capacidade de planejamento e gestão territorial de Estados e Municípios esteve muito aquém das necessidades emergentes de planejamento urbano.

De acordo com Marcelino (2007), as enchentes urbanas perfizeram cerca de 60% dos “desastres naturais” ocorridos no século XX no Brasil, dos quais, 40%, aproximadamente, concentraram-se na região sul e sudeste. Apenas para a Grande Curitiba, Lima (2000) assinalou que, entre 1976 e 1999, 40% dos problemas ambientais consistiram em enchentes.

Na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) muitos têm sido os problemas ambientais derivados do crescimento populacional e territorial desacompanhados de infraestrutura urbana e sanitária. No que tange à drenagem urbana, o que se observou foi a

configuração de cenários de enchentes progressivamente mais críticos e catastróficos, tanto nas planícies dos grandes rios que drenam a capital, quanto nas de seus tributários de menor ordem, como é o caso do córrego Três Pontes, no extremo leste da cidade, onde está localizada a área de estudo.

Considerando todos os atendimentos prestados pela Coordenadoria de Defesa Civil Estadual (CEDEC, 2009) decorrentes de inundações no Estado de São Paulo, entre 2000 e 2008, estima-se que 40% deles localizaram-se na Bacia Hidrográfica do Alto Tietê (BHAT). Especificamente à cidade de São Paulo, dos pontos permanentemente monitorados pelo Centro de Gerenciamento de Emergências (CGE, 2011), 11 estão na zona leste, 7 na zona norte, 7 na zona sul, 3 na zona oeste, 2 na zona sudeste, 1 no centro, e um em cada uma das vias das marginais Pinheiros e Tietê.

A despeito da suscetibilidade natural, inerente à dinâmica das planícies fluviais em geral, o crítico cenário de escoamento superficial urbano na RMSP deve-se, basicamente, a três motivos: (i) à insistência na realização de intervenções estruturais orientadas exclusivamente pela perspectiva sanitaria, dominante durante a maior parte do século XX na hidrologia urbana (baseadas, em muitos casos, em dados pluviométricos heterogêneos, não detalhados e não consistidos); (ii) ao crescente aumento percentual de áreas ocupadas por aterro e impermeabilizadas; e (iii) às políticas e ações pontuais e insatisfatórias, espacial e socialmente.

A constatação da persistência deste problema nos dias atuais, mesmo após numerosas e onerosas intervenções terem sido realizadas para sua mitigação e resolução, sugere uma alta complexidade de fatores espaciais e temporais envolvidos, e a existência de limitações nas ações e técnicas empregadas sobre as inundações urbanas.

Os efeitos dos impactos do adensamento urbano sobre a rede de drenagem e escoamento superficial têm sido investigados em bacias hidrográficas urbanas no Brasil e no mundo. Complementarmente, críticas têm sido realizadas sobre os modelos de planejamento territorial que conduzem a gestão e a regularização das áreas ocupadas das grandes cidades.

Este estudo se dedicou à análise de abordagens e ferramentas técnicas que oferecem suporte às decisões do planejamento, com base na aplicação e comparação de resultados de duas metodologias distintas oriundas, uma da geomorfologia e outra da hidrologia, primando por uma abordagem interdisciplinar.

Em uma condição ideal, durante a fase de planejamento do espaço urbano, os técnicos responsáveis pela concepção do projeto de drenagem urbana e obras de infraestrutura e saneamento, de interesse, especificamente, ao atendimento das enchentes, fornecem informações de subsídio às decisões políticas, por meio da utilização de

procedimentos metodológicos e conjuntos de instrumentos técnicos que abrangem uma grande variedade de elementos, tais como: levantamentos topográficos, mapeamentos de uso da terra, mapeamentos morfológicos, mapeamentos geotécnicos, informações hidrogeométricas de condutos, batimetria de corpos d'água, informações hidrológicas, modelos hidráulicos, entre outros.

Tendo em vista (i) as possíveis limitações metodológicas e técnicas de alguns destes procedimentos no complexo contexto de mudanças ambientais antropogênicas do espaço urbano, e (ii) as potencialidades de complementação metodológica providas de abordagens interdisciplinares entre a geomorfologia e a hidrologia, este estudo se atentou ao reconhecimento de conexões entre duas metodologias oriundas destas diferentes disciplinas, com a finalidade última de proporcionar reflexões sobre ferramentas de aplicação relacionadas às preocupações com inundações urbanas.

1.1. Objetivo

A partir deste contexto esta pesquisa teve como objetivo geral a análise comparativa de abordagens metodológicas oriundas da geomorfologia e da hidrologia, com o intuito de realizar proposições integrativas entre estes campos primordiais à investigação da vulnerabilidade urbana e amplamente utilizados na gestão e regularização territorial.

Na busca para atender a esse objetivo geral, o presente estudo teve como objetivos específicos: (1) aplicar a abordagem da Geomorfologia Antropogênica, por meio da cartografia morfológica evolutiva e seus parâmetros, e (2) modelar hidrológicamente e hidráulicamente, a bacia hidrográfica do córrego Três Pontes (BHTP), considerando dois momentos: 1962 e de 2011. A partir dessas metodologias, o estudo buscou determinar os picos de vazão e a vulnerabilidade à inundação.

Esta dupla aplicação teve como finalidade permitir a análise comparativa e a aproximação dos resultados obtidos pelas duas abordagens, visando à realização de reflexões sobre sua compatibilidade, ou mesmo, complementariedade metodológica. A utilização das datas de 1962 e 2011, além de pré-requisito à abordagem geomorfológica antropogênica, foi realizada com o intuito de analisar as mudanças da dinâmica de inundações a partir de uma perspectiva espaço-temporal.

Neste sentido, a magnitude dos picos de vazão e a abrangência das áreas de inundação caracterizam-se como dois indicadores hidromorfológicos que quantificam o grau de mudança geomorfológica de um sistema devido à ocupação urbana.

A abrangência espacial das inundações refere-se não somente à magnitude das vazões, como também à morfologia da planície, apontando para a espacialidade da

vulnerabilidade destas morfologias ao extravasamento do rio. As características de magnitude dos fluxos fluviais produtores de inundações relacionam-se, por sua vez, às características da tormenta e da bacia hidrográfica.

Aspectos morfológicos, morfométricos e de permeabilidade e rugosidade do material superficial estão presentes na análise geomorfológica, os quais, em tese, propiciam o reconhecimento de superfícies de maior ou menor potencial para geração de fluxos subterrâneos ou superficiais, e inclusive de fluxos concentrados.

Os mapeamentos desses elementos da geomorfologia original podem combinar-se aos da geomorfologia antropogênica na identificação de superfícies semelhantes em relação aos processos de circulação hídrica. Disto decorre a possibilidade de delimitação de unidades morfológicas complexas e níveis de perturbação morfológica, que auxiliam na discriminação de processos hidromorfológicos predominantes nos diferentes setores da bacia hidrográfica diversamente urbanizada.

Assim, a metodologia da abordagem geomorfológica antropogênica pode auxiliar na identificação da vulnerabilidade às inundações em três perspectivas básicas:

- (a) Em sua dimensão espacial, ao definir cartograficamente os limites das feições Morfológicas Originais (MO) de interesse à vulnerabilidade mencionada, integrando-as às Morfologias Antropogênicas (MA) para derivação de Unidades Complexas (UC), as quais são caracterizadas e classificadas à luz do conhecimento geomorfológico sobre as tendências de processos hidromorfológicos atuais;
- (b) Oferecendo elementos quantificáveis para estimativas de aumento das magnitudes das vazões de pico como funções do aumento relativo das áreas geradoras de fluxos torrenciais, por meio do mapeamento de morfologias complexas (UC); e
- (c) Ao disponibilizar, a partir da identificação das morfologias originais, referências espaciais da magnitude de paleofluxos e, em especial, de paleovazões produzidas por eventos extremos de precipitação.

Amparada em uma consolidada base teórica e empírica, a abordagem da geomorfologia antropogênica possibilita compreender e avaliar as mudanças sofridas pelo sistema geomorfológico. A partir dos parâmetros espaciais e temporais dos quais se utiliza, esta metodologia possibilita a ponderação dos diferentes graus de vulnerabilidade a inundações nos setores de fundo de vale e do exame do potencial de geração de escoamento superficial concentrado nas vertentes, mostrando-se, assim, de grande utilidade ao planejamento territorial.

Moroz (2010), ao estudar a bacia hidrográfica do rio Tamanduateí ao longo do processo centenário de desenvolvimento do sítio urbano de São Paulo, demonstrou que a

abordagem da geomorfologia antropogênica, com ampla análise histórica e com suporte da cartografia geomorfológica evolutiva (RODRIGUES, 2005), pode ser um aporte metodológico para se estudar as vulnerabilidades desses sistemas às inundações, a partir da produção de informações espaciais sobre as interferências humanas e a respectiva criação de novas feições morfológicas.

A abordagem geomorfológica antropogênica também foi aplicada no Plano de Manejo da Área de Preservação Ambiental Várzeas do Rio Tietê (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2013). Por meio da produção de mapeamentos da MO, da MA e das unidades morfológicas complexas, que incluíram os efeitos dos estrangulamentos de micro topografias antrópicas na definição preferencial dos fluxos, a abordagem geomorfológica antropogênica foi desenvolvida nas fases de diagnóstico geomorfológico e hidrológico, e foi determinante no zoneamento da Unidade de Conservação.

Todavia, em relação à espacialidade das inundações, supõe-se que a utilização exclusiva de indicadores originados pela cartografia geomorfológica evolutiva aplicada ao prognóstico de áreas submersas, apresenta restrições, principalmente quando da necessidade de realizar projeções temporais, justificando, assim, a comparação de seus resultados aos de outra metodologia, visando integrá-los e potencializar seu uso no prognóstico temporal e espacial.

Atualmente, o planejamento urbano praticado com vistas aos problemas de inundação em bacias hidrográficas urbanas na GSP, tendo em vista a carência de monitoramento fluviométrico em tais unidades, vem sendo tratado por cânones da engenharia hidráulica, principalmente baseados na utilização de modelos hidrológicos, com ênfase nas modelagens chuva-vazão, e hidrodinâmicos computacionais, como os nacionais ABC6, CLiv, AcquaNet, SAD-IPH, MGB-IPH, SIAQUA-IPH; e os internacionais HEC-HMS, HEC-RAS, PCSWMM, entre outros. Esses modelos, imprescindíveis aos Sistemas de Suporte à Decisão (SSD), voltam-se à avaliação de cenários críticos e ao dimensionamento de obras hidráulicas, envolvendo a entrada de diversas variáveis, rotinas longas e complexas de cálculos, e oferecendo respostas em diversas saídas como por hidrogramas de cheia, por taxas de amortecimento da onda na bacia hidrográfica e no canal, e por estimativas de áreas inundáveis. As obras de micro e macrodrenagem, por exemplo, baseiam seus dimensionamentos nestas respostas (TUCCI, 2005).

A continuidade das taxas e frequências das enchentes sugere que a interferência produzida pelo crescimento da cidade ao longo do tempo não é absorvida plenamente pelas intervenções hidráulicas baseadas nos modelos aplicados, podendo torná-los defasados ou incongruentes aos cenários produzidos.

A maior parte dos modelos hidrológicos chuva-vazão, por exemplo, inclui parâmetros espaciais referentes à permeabilidade ou rugosidade da superfície, como os muito utilizados: CN (Curve Number) do SCS (Soil Conservation Service) ou n de Manning, a partir dos quais derivam os valores de precipitação excedente, pico de vazão e hidrograma de cheia.

No caso dos modelos que utilizam estes parâmetros, atribui-se as superfícies um valor aproximado de impermeabilidade considerando os materiais predominantes de revestimento e suas características de geração de escoamento efetivo. Ao se realizar esta classificação, que é seguida da atribuição do parâmetro, pressupõe-se que o sistema bacia hidrográfica possa ser simplificado, de um complexo sistema tridimensional, a um conjunto de setores de área, correspondendo, em outras palavras, a considerar as superfícies como homogêneas e não inclinadas.

Para as simulações de áreas inundáveis, utilizam-se modelos hidrodinâmicos que se estruturam, basicamente, em três níveis de informação: dados geométricos das seções transversais de canal e do vale; nível da água (ou cota, ou limnigrama, ou hidrograma); e Modelo Digital de Terreno (MDT) dos vales simulados. A qualidade das simulações de traslado da onda e das manchas de inundação é, assim, subordinada à qualidade, precisão e acurácia desses dados de entrada.

As bases topográficas utilizadas nos modelos hidráulicos de estudos técnicos e científicos com tal objetivo são, em geral, extraídas das cartas topográficas oficiais, cujas escalas de maior detalhe raramente ultrapassam 1:10.000, correspondendo a curvas de nível com equidistâncias de 5 metros. Estas bases são, reconhecidamente, menos detalhadas que as fotografias aéreas nas quais se baseiam, em virtude de simplificações cartográficas necessárias ao mapeamento e, por isso, deixam de considerar inúmeras morfologias presentes na superfície, principalmente as morfologias lineares (rupturas), tais como estrangulamentos de vale e descontinuidades entre planície e vertente, entre outras. Para cartografias geomorfológicas de detalhe, por outro lado, a base topográfica disponível é, normalmente, utilizada no fornecimento de informações morfométricas que auxiliam na caracterização das morfologias. No entanto, o dado morfológico derivado da restituição de tais fotografias aéreas possui maior credibilidade e precisão, sendo, ainda hoje, largamente utilizado em pesquisas geomorfológicas e desdobrando-se a outras aplicações de problemas relativos ao meio físico.

Estes podem ser considerados como pressupostos e primeiros aspectos que evidenciam pontos de intersecção entre as metodologias da abordagem geomorfológica antropogênica e da modelagem hidrológico-hidráulica. Além disto, a geomorfologia reconhece a importância de alguns aspectos geométricos da vertente fundamentais aos

balanços e direção dos fluxos hídricos, a exemplo da utilização de mapas de curvaturas em planta e perfil e de declividade, frequentemente desconsiderados em modelos hidrológicos e hidráulicos.

Por outro lado, a modelagem hidrológico-hidráulica para determinação de vazões extremas e simulação de áreas sujeitas à inundação, potencializou-se ao longo de sua história, particularmente após a apropriação, pelos engenheiros hidráulicos, de plataformas de dados espaciais. Com isto, um grande número de variáveis e parâmetros pôde ser incorporado em modelagens matemáticas e em simulações topográficas, sobre as quais, a geomorfologia e, mais especificamente a geomorfologia fluvial, podem ser aproximadas.

1.2. Aplicações

Dividida em três grandes partes, a primeira etapa da pesquisa referiu-se à aplicação da abordagem geomorfológica antropogênica na BHTP, e foi constituída da análise evolutiva da paisagem morfológica considerando dois períodos: pré-intervenção (1962) e atual (2011), utilizando-se da cartografia geomorfológica evolutiva. Produziu-se o mapeamento das unidades morfológicas complexas e de vulnerabilidade às inundações, baseando-se nas tendências espaciais de escoamento superficial e inundação, conforme a metodologia descrita por Rodrigues (2005 e 2010). Com isso, pretendeu-se aprofundar o entendimento a respeito de como os diferentes usos urbanos da terra, em setores distintos do relevo, podem derivar processos hidromorfológicos que incidem diretamente sobre o escoamento superficial concentrado e sobre as inundações urbanas.

A segunda etapa foi composta da aplicação de modelagens hidrológicas chuva-vazão Ven Te Chow-SCS e Hidrograma Unitário-SCS, e hidráulica pelo HEC-RAS nesta mesma bacia hidrográfica, considerando, também, os usos da terra 1962 e 2011 e tendo como objetivo, específico, obter as vazões de pico e simulações de áreas de inundações. Para tanto, definiram-se precipitações de diferentes tempos de retorno (T_r) e intervalos de duração (t_d), conforme curva de Intensidade-Duração-Frequência (IDF) elaborada para a cidade.

Foram definidos T_r s de 2, 5, 10, 15, 20, 25, 50, 100 e 200 anos, e t_d de 60, 120, 150, 180, 210, 240 e 270 minutos. A inexistência ou dificuldade de aquisição de dados de precipitação com passo horário, que permitissem tais estimativas oriundas de dados observados de chuva, exigiu a definição de t_d arbitrados.

Por último, na terceira parte, confrontaram-se os resultados prevendo aproximações entre os produtos da geomorfologia antropogênica e suas análises, e os resultados da aplicação dos modelos hidrológicos, objetivando identificar compatibilidades, complementariedades e combinações entre as abordagens. Nesta etapa, pretendeu-se

realizar considerações introdutórias sobre a possibilidade de mútua contribuição metodológica para o aprimoramento das capacidades preditivas, em termos de precisão e acurácia, temporal e espacial, particularmente em relação às inundações simuladas.

Em uma perspectiva mais abrangente, espera-se que os resultados deste estudo possam fornecer subsídios e proposições de novos limiares e potenciais aos recursos técnicos envolvidos no planejamento e desenvolvimento da gestão territorial e da hidrografia urbana, indicando uma abordagem multidisciplinar baseada em técnicas de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) para análise da vulnerabilidade à inundações.

1.3. Justificativas

As justificativas do estudo podem ser classificadas e detalhadas em quatro categorias principais:

(1) Social, com ênfase ao esforço para o desenvolvimento de técnicas e de metodologias ainda mais precisas e cientificamente coerentes, voltadas ao atendimento do problema de inundações urbanas, cuja abrangência tem atingido um número cada vez maior de pessoas em diferentes níveis socioeconômicos.

(2) Local, a escolha da bacia hidrográfica do córrego Três Pontes justifica-se, neste plano, pelas recentes e frequentes catástrofes sofridas pela população residente às margens deste canal. O caráter crítico da questão tende a se tornar alarmante nos centros metropolitanos dentro dos próximos anos, considerando-se as perspectivas de intensificação de extremos climáticos;

(3) Legal, destacando-se que, apesar da utilização, por um lado, da abordagem geomorfológica antropogênica em estudos de gestão e planejamento territorial¹; e, por outro, dos modelos hidrológicos e hidráulicos para o dimensionamento de obras e avaliação de vulnerabilidade social às inundações²; há um subaproveitamento de ambas, enquanto ferramentas legais.

Neste sentido, em um plano legal mais específico, como em diretrizes para elaboração de projetos de obras e planos de ocupação e gestão ambiental-territorial, acredita-se que a apresentação de parâmetros hidromorfológicos e hidráulicos (embutidos nas metodologias), os resultados das discussões efetuadas e as potenciais integrações entre as abordagens possam fornecer subsídios ao avanço de questões legais relacionadas à ocupação territorial, à avaliação de riscos, políticas de habitação e ao planejamento de obras de micro e macrodrenagem.

¹ Como tem sido realizado dentro da elaboração de Planos de Manejo e Zoneamentos de Unidades de Conservação há alguns anos.

² Conforme consta nas diretrizes ao projeto de obras hidráulicas da Superintendência de Projetos e Obras da Prefeitura de São Paulo.

(4) E, por fim, científico, sobressaindo-se, no conjunto de justificativas deste plano, (i) a promoção de um estudo que privilegia a interdisciplinaridade em detrimento da verticalização, pura ou aplicada, de estudos específicos; (ii) a disponibilização de dados, resultados e análises que buscaram o preenchimento de lacunas teórico-conceituais e técnicas presentes nas metodologias abrangidas na fronteira de interesse desta pesquisa; (iii) o grau de ineditismo na tentativa de realizar diálogo entre a geomorfologia antropogênica e modelagens hidrológicas e hidráulica, com particular esforço à introdução de dados morfológicos da cartografia evolutiva nos modelos hidrológicos, e a contribuição recíproca a partir do fornecimento de acurácia temporal à cartografia e às análises geomorfológicas; e (iv) o desenvolvimento e aprimoramento de uma linha de pesquisa em geomorfologia aplicada que tem sido estudada ao longo de pelo menos três décadas no Laboratório de Geomorfologia do Departamento de Geografia da Universidade de São Paulo (USP), com orientação da Professora Dra. Cleide Rodrigues, valorizando, assim, a maturidade do conhecimento, das metodologias e das técnicas desenvolvidas por esta escola.

1.4. Área de estudo: seleção e apresentação

Como critérios previamente definidos para seleção da área de estudo, foram observados aspectos de (i) localização na GSP; (ii) sujeição a inundações anuais ou bianualmente; (iii) significância em termos de impacto à comunidade residente e à economia; (iv) observância pública considerando investimentos estaduais e municipais na mitigação dos problemas relacionados a enchentes; (v) viabilidade de mapeamento e acesso (entre 5 e 15 km²); (vi) disponibilidade de dados pluviométricos e cartográficos de escala compatível ao mapeamento proposto; (vii) o contexto de alteração morfológica e hidrológica, principalmente dos setores de planície; e (viii) disponibilidade de dados de seção transversal.

Realizou-se análise de imagens de satélite e de cartas topográficas (1:50.000 e 1:10.000), averiguou-se a disponibilidade de fotos aéreas capazes de retratar condições o mais preservadas possível, e de dados de precipitação (Agência Nacional de Águas – ANA, Departamento de Águas e Energia Elétrica – DAEE, Sistema Integrado de Gerenciamento dos Recursos Hídricos – SIGRH, Centro de Gerenciamento de Emergências – CGE, e Sistema de Alerta de Inundação de São Paulo - Saisp). Foram essenciais, ainda, leituras de reportagens e textos institucionais a respeito dos principais pontos de preocupação governamental quanto ao risco de inundação na GSP.

Observados os critérios mencionados acima, definiu-se a bacia hidrográfica do córrego Três Pontes como objeto de estudo, considerando como recorte temporal o período de 1962 (ano mais antigo para o qual há disponibilidade de fotografia aérea com estereoscopia e de

escala compatível ao mapeamento) e 2011 (período mais atual para o qual se obteve gratuitamente imagem de alta resolução).

O córrego Três Pontes é afluente da margem esquerda do rio Tietê e o canal principal coincide com o limite municipal de São Paulo e Itaquaquecetuba. Sua bacia hidrográfica drena, ainda, parte dos municípios de Ferraz de Vasconcelos e Poá, conforme apresentado na figura 1, abaixo.

FIGURA 1 - Localização da bacia hidrográfica do córrego Três Pontes.

Fonte: I3Geo, Ministério do Meio Ambiente (MMA). Disponível em:

<http://mapas.mma.gov.br/i3geo/mma/openlayers.htm?7tjv2e5eo2qgchcjkpdid44m4>

2. METODOLOGIA

A metodologia desta pesquisa abrange os arcabouços teóricos e metodológicos da geomorfologia e da hidrologia que estão diretamente relacionados à aplicação das abordagens da geomorfologia antropogênica e das modelagens hidrológicas e hidráulica, respectivamente. O presente capítulo está dividido em: 2.1. Referenciais teórico-metodológicos e 2.2. Procedimentos.

No primeiro subcapítulo é dada ênfase no resgate das bases do conhecimento da geomorfologia e da hidrologia que permitiram o desenvolvimento das abordagens aplicadas neste estudo e que sustentam as argumentações realizadas ao longo das discussões. No segundo subcapítulo, detalharam-se os percursos metodológicos e os procedimentos técnicos adotados em cada parte da pesquisa, buscando pontuar, inclusive, os procedimentos computacionais envolvidos nos diferentes momentos de aplicação das metodologias.

2.1. Referenciais teórico-metodológicos

Com o intuito de apresentar a fundamentação teórico-metodológica e as definições conceituais essenciais ao desenvolvimento da presente pesquisa, foi elaborado texto dividido em dois subitens: Referências teórico-metodológicas da geomorfologia no geral e da geomorfologia antropogênica e Revisão bibliográfica da hidrologia urbana e das modelagens utilizadas na pesquisa.

Tendo em vista que este estudo voltou-se a uma análise de interface entre a geomorfologia e a hidrologia, e pressupondo que, em geral, os geomorfólogos são pouco familiarizados com os conhecimentos da hidrologia e vice-versa; o texto referente aos referenciais teórico-metodológicos objetivou, sobretudo, instrumentalizar os leitores com as bases metodológicas e as técnicas aplicadas. Diante do volume de texto e priorizando a objetividade e clareza da dissertação, os referenciais teórico-metodológicos são detalhados no apêndice A (CD-ROM).

No que se refere à geomorfologia e às abordagens utilizadas por este campo do conhecimento, foram revisados os seguintes temas:

- **Bases do estudo geomorfológico: formas, processos e materiais**, no qual se apresentou e discutiu as contribuições de Tricart (1965), Joly (1977) e Hart (1986) na consolidação da tríade formas, processos e materiais como objeto da geomorfologia, no estudo da gênese, evolução, relações espaciais e processos atuais na superfície terrestre, como resultado da interação entre a litologia, o solo, o modelado e os processos subaéreos;

- **Teoria Geral dos Sistemas em Geomorfologia e os Sistemas Geomorfológicos Naturais e Antropogênicos**, baseando-se, fundamentalmente, nas contribuições de Christofletti (1971), Chorley (1971), Bertalanffy (1975) e Rodrigues (2004);
- **O Homem como agente geomorfológico**, nos sistemas geomorfológicos controlados ou antropogênicos, abordagem na qual, autores fundamentais como: Tricart (1977), Nir (1983), Goudie (1993), Surtegaray (1997), Rodrigues (1997), Gupta e Ahmad (1999), entre outros, merecem destaque.
- **Geomorfologia e Urbanização**, no qual as discussões de base foram travadas considerando os aportes básicos trazidos por Rodrigues (2004 e 2005), Pellogia (2005), Botelho (2011), Jorge (2011) e Gupta e Ahmad (1999).
- **A Geomorfologia Antropogênica**, onde se sistematizou as contribuições de Rodrigues (1999, 2004, 2005 e 2010) e Moroz (2010), enfatizando os aspectos aplicados desta metodologia e os procedimentos básicos de seu desenvolvimento.
- **Indicadores Hidromorfológicos**, por meio do qual se encerrou as discussões voltadas aos temas centrais em geomorfologia, utilizando, para tanto, as contribuições de Coltrinari e McCall (1995), Berger e Ians (1996), Rodrigues e Coltrinari (2004), Rodrigues (2010).
- **A Cartografia Geomorfológica de Detalhe, Escalas da Análise Geomorfológica** (eventos e processos) e **Cartografia Geomorfológica Evolutiva de Detalhe**, temas que objetivaram reunir sucintamente os principais aspectos da cartografia geomorfológica de detalhe e consolidar uma perspectiva sobre o que se entende, particularmente, sobre a questão da representação e os problemas de escala, refletindo, ainda, sobre a aplicação da cartografia geomorfológica evolutiva como ferramenta metodológica da geomorfologia antropogênica.
- Por fim, **Modelos como instrumentos da Geomorfologia Fluvial**, no qual se realiza breve discussão sobre a introdução e utilização de modelagens fluviais na avaliação de processos geomorfológicos, principalmente em condições urbanizadas. Neste sentido, como nomes de referência na discussão, foram incluídos Chorley (1967), Chorley e Hagget (1967), Kirkby (1996), Tucci (1998), Christofletti (1999) e Darby e Van der Wiel (2003).

No que concerne aos temas revisados no interior da hidrologia urbana, preocupou-se em traçar um panorama do estado da arte dos estudos desenvolvidos neste campo e delinear os conceitos e termos utilizados amplamente ao longo da pesquisa. Assim, os principais tópicos abrangidos foram agrupados da seguinte maneira:

- **Bacias hidrográficas urbanas**, baseando-se em Drew (1983), Botelho (2011) e Chow (1994) para descrever as principais mudanças ambientais envolvendo os processos hidrológicos decorrentes da ocupação urbana;
- **Cheias urbanas: expressão da crise de águas nas cidades**, item dedicado à introdução de discussões compreendendo as inundações urbanas como um dos problemas de maior relevância social e econômica nos principais centros urbanos;
- **Definição de hidrologia urbana**, em que, por meio das contribuições de Hall (1984), buscou-se, sucintamente, delimitar o objeto de estudo e as preocupações centrais dos estudos de hidrologia urbana;
- **Histórico e desenvolvimento da hidrologia urbana no Brasil**, enfocando as fases vividas pelo campo científico em termos de seus objetivos, metodologias e técnicas principalmente aplicadas aos problemas de drenagem urbana no país. Este item teve, ainda, o intuito de complementar e refinar a definição de hidrologia urbana, localizando-a em seu atual contexto histórico;
- **Medidas de controle e mitigação**, item elaborado com o objetivo de caracterizar os principais modos de intervenção sobre a drenagem urbana, que preveem a redução das magnitudes de vazão e a ocorrência de inundações;
- **Hidrologia determinística e modelação de etapas: ferramentas de elaboração, gestão, intervenção e operação**, item no qual foram incluídos procedimentos e definições básicos em hidrologia para obtenção de informações envolvidas na elaboração de projetos de drenagem, como: tempo de retorno, chuva de projeto, chuva excedente, tempo de concentração, hidrograma unitário sintético, hidrograma de projeto;
- **Modelagens Hidrológicas Ven Te Chow-SCS e Hidrograma Unitário-SCS e Modelagem Hidráulica**, enfatizando procedimentos básicos das modelagens hidrológicas e hidráulicas utilizadas na determinação de picos de vazão e manchas de inundação e, ainda, descrevendo os programas computacionais utilizados (ABC6 e HEC-RAS).

No fluxograma da figura 2 abaixo, destacam-se termos e conceitos derivados da geomorfologia e da hidrologia que sintetizam o arcabouço teórico-metodológico da pesquisa, primordiais a estudos relacionados a inundações urbanas.

FIGURA 2 - Fluxograma dos fundamentos teórico-conceituais da pesquisa.

2.2. Procedimentos

Tendo em vista os objetivos deste estudo, a pesquisa foi dividida em 3 partes:

PARTE 1 - Abordagem da Geomorfologia Antropogênica; onde se procurou constituir, pela cartografia morfológica evolutiva, os cenários de pré e pós-urbanização, a definição de unidades morfológicas complexas e a classificação da vulnerabilidade à inundação da BHTP (FIGURA 3);

PARTE 2 - Modelagem hidrológica e hidráulica, em que se seguiram os fluxos de trabalho e as rotinas descritas para aplicação dos modelos chuva-vazão Ven Te Chow-SCS e do Hidrograma Unitário-SCS; e da modelagem hidráulica, por meio do HEC-RAS (FIGURA 4);

PARTE 3 - Comparações e aproximações entre os parâmetros e resultados das metodologias aplicadas; o qual constituiu o esforço central da pesquisa que consistiu em discutir, comparativamente, os parâmetros e resultados obtidos por cada aplicação e apontar para potenciais complementações metodológicas e técnicas (FIGURA 5).

FIGURA 3 – Procedimentos executados na PARTE 1 – Aplicação da abordagem da Geomorfologia Antropogênica.

FIGURA 4 – Fluxograma de procedimentos executados nas etapas referentes à PARTE 2 - Modelagem hidrológica e hidráulica.

FIGURA 5 – Fluxograma de procedimentos executados nas etapas referentes à PARTE 3 – Comparação e aproximação entre as metodologias aplicadas.

Anteriormente ao detalhamento das metodologias sistematizadas nos fluxogramas acima, duas etapas fundamentais precederam a aplicação das metodologias: (i) os critérios de escolha dos recortes espacial e temporal da pesquisa e (ii) o levantamento e a sistematização de informações essenciais sobre a área de estudo. Estas duas etapas preliminares são descritas nos subcapítulos a seguir.

2.2.1. Universo de análise: recortes espacial e temporal

A bacia hidrográfica é compreendida, por muitos autores, como a principal unidade de estudo do sistema físico, abordada tanto para o desenvolvimento científico, quanto para a gestão territorial. Doornkamp e King (1971) corroboram esta perspectiva ao mencionarem que as variáveis de uma bacia hidrográfica, principalmente relativas à sua forma, são resultados da intrincada relação entre elementos externos (subaéreos) e internos (endógenos), continuamente sujeitos a mudanças.

Desta forma, o presente estudo possui como recorte espacial a bacia hidrográfica do córrego Três Pontes, localizada na Zona Leste de São Paulo, conforme representado sobre imagem de satélite e carta topográfica, nos apêndices B e C, respectivamente. Além do reconhecido problema de inundações, consistindo na principal premissa de escolha da área, algumas características adotadas como critério em relação ao sistema físico foram: (i) inexistência de controles estruturais marcantes sobre a hidrografia; (ii) modelado predominantemente composto por colinas sedimentares e planícies fluviais quaternárias; (3) uniformidade dos tipos de solo, implicando baixa interferência deste fator na dinâmica hidrológica de superfície; e (4) dimensão espacial, de aproximadamente 9km², que facilitou o mapeamento morfológico de detalhe e viabilizou a extrapolação pluviométrica, dispensando a ponderação da variabilidade espacial das precipitações.

Razões adicionais para definição do recorte espacial foram: a disponibilidade de dados de precipitação para a área; o acesso às cartas e aos levantamentos topográficos de 1:10.000 e 1:2.000 da Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano S/A (Emplasa); e a aquisição de dados secundários de geologia e pedologia em escalas médias, e de fotografias aéreas e imagens de satélite de escalas compatíveis aos mapeamentos morfológicos detalhados.

Para a escala temporal, o limite superior corresponde aos dias atuais, cujas informações foram obtidas de imagens de satélite e trabalhos de campo. O limite inferior, período mais antigo, baseou-se na disponibilidade de levantamentos de fotografias aéreas com estereoscopia e de cartas topográficas disponíveis de período mais antigo possível, visando a reconstituição morfológica pré-urbana. No Acervo de Fotografias Aéreas (AFA) do

Departamento de Geografia (USP) estão disponíveis levantamentos de 1962 para a BHTP, os quais foram utilizados no mapeamento da MO e uso da terra em 1962.

(a) Revisão dos aspectos regionais do sistema físico e antrópico

Os passos iniciais de investigação da BHTP envolveram a caracterização do sistema físico e de aspectos antrópicos da área, tendo sido revisados temas elementares ao entendimento global de seu contexto e do processo de urbanização ocorrido.

Abordaram-se aspectos regionais relacionados à geologia, geomorfologia e climatologia. A geologia foi levantada a partir de cartografias na escala de 1:100.000 (COUTINHO, 1980). A geomorfologia teve como base os estudos clássicos sobre o sítio urbano da cidade de São Paulo e produções cartográficas pertinentes à escala desta contextualização. Foram consultados Ab'Saber (1953, 1957, 1969, 1978), Ross e Moroz (1997), Batista (2003) e Rodrigues (2004), entre outros. E, por último, a climatologia foi caracterizada com base nas pesquisas de climas da cidade de São Paulo, realizadas por Tarifa e Armani (2001a,b).

PARTE 1

2.2.2. Abordagem da geomorfologia antropogênica

Os procedimentos para análise geomorfológica antropogênica basearam-se nas sustentações teóricas e metodológicas citadas no capítulo 2 e desenvolvidas no apêndice A (CD-ROM). Foram realizados os mapeamentos da morfologia original (semi-preserveda) e antropogênica, a partir das quais se derivaram os mapas de unidades morfológicas complexas e obtiveram-se informações essenciais para interpretar e classificar as áreas mais vulneráveis à inundação nas planícies e potencialmente produtoras de escoamento superficial concentrado nas vertentes.

A cartografia morfológica evolutiva foi produzida na escala de 1:10.000 e apresentada nas figuras 36 a 40 e 46, em 1:20.000 e 1:25.000, obedecendo às recomendações para mapeamento de detalhe (DEMEK, 1972) e representando apropriadamente os mosaicos de uso da terra e morfologias identificadas na BHTP.

2.2.2.1. Levantamento de dados

A principal fonte de informação cartográfica da BHTP foram cartas topográficas da Emplasa (várias datas), escalas 1:10.000 e 1:2.000, que integram o Sistema Cartográfico Metropolitano (QUADRO 1), das quais se extraíram informações de hidrografia e topografia, fundamentais à checagem da fotointerpretação morfológica. A aquisição de tal material

ocorreu por empréstimo e escanerização do acervo da mapoteca da biblioteca Florestan Fernandes (USP).

QUADRO 1 - Cartas topográficas 1:10.000 utilizadas.

Folha	Nomenclatura	Articulação
São Miguel Paulista	SF-23-Y-D-I-3-SO-F	4436
Itaquaquecetuba	SF-23-Y-D-I-3-SE-E	4445
Jardim São Miguel	SF-23-Y-D-IV-I-NO-B	4312
Poá	SF-23-Y-D-IV-I-NE-A	4321

Fonte: Emplasa, várias datas.

O mapeamento da morfologia original baseou-se em restituição de dois pares estereoscópicos de fotografias aéreas, escala 1:25.000, de 1962, obtidas dos levantamentos aerofotogramétricos do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) e, atualmente, disponíveis no AFA (DG/USP) (QUADRO 2).

QUADRO 2 - Fotografias aéreas 1:25.000 utilizadas.

Ano	Produção
1962	Instituto Agrônomo de Campinas – Aerofoto Natividade S.A.

Fonte: AFA, 1962.

O mapeamento morfológico antropogênico foi precedido do mapeamento de usos da terra, cujas categorias de uso da terra foram escolhidas com base em dois critérios: sua ocorrência e significância hidromorfológica. O primeiro leva em consideração a ocorrência especificamente dos usos consolidados. O segundo consiste em uma escolha baseada em critérios relacionados às intervenções hidrológicas e hidromorfológicas promovidas por cada uso, tendo em vista, principalmente, a produção de escoamento superficial concentrado e a vulnerabilidade à inundação.

2.2.2.2. Sistematização dos dados e derivação de informações

As cartas de morfologia original, de morfologias antropogênicas, de unidades complexas, e de vulnerabilidade à inundação e produção de escoamento superficial concentrado, foram elaboradas de forma analógica e digital.

Primeiramente realizou-se a fotointerpretação morfológica das aerofotos a partir de técnicas de identificação e interpretação estereoscópica, com demarcação de área útil, *overlays* em *ultraphan* e canetas especiais de ponta fina. Posteriormente, o tratamento das informações foi realizado em SIG, envolvendo o registro espacial das cartas topográficas, das fotografias aéreas e *overlays*, e a produção dos mapas finais e informações derivadas.

As informações fotointerpretadas nos overlays e os dados de topografia e hidrografia provenientes da base cartográfica 1:10.000 foram vetorizadas no *software* ArcGIS 9.3. Todos os registros espaciais foram compatibilizados com as referências adotadas pelo sistema de referência espacial horizontal e vertical do IBGE, respectivamente, *South American Datum* 1969 (SAD69) e Marégrafo de Imbituba-SC.

As distorções próprias de fotografias aéreas, provenientes do efeito de paralaxe, agregadas às distorções relativas ao escaneamento e ao desgaste físico das fotografias aéreas, foram minimizadas no registro da imagem sobre a carta topográfica 1:10.000 da Emplasa, por terem sido georreferenciadas apenas as áreas úteis e por ter sido adotado grau polinomial 3 no ajuste da imagem a partir de pontos de controle. Não foram empregados procedimentos de ortorretificação.

A escolha dos pontos de controle do georreferenciamento³ dos *overlays*, das fotografias aéreas e da imagem de satélite considerou pontos notáveis existentes nos documentos e na carta topográfica, em geral optando-se por encontro de vias.

2.2.2.3. Análises geomorfológicas

(a) Geomorfologia original - período pré-intervenção (ou semi-preservedo)

A pesquisa considera como período de morfologias originais a configuração da BHTP anterior a 1962, data das aerofotos nas quais se buscou, por janelas de interpretação, mapear as formas sem qualquer interferência antrópica.

Com este intuito, as contribuições do clássico estudo geomorfológico de Ab'Sáber (1957) sobre o sítio urbano de São Paulo, foram fundamentais para caracterizar regionalmente a bacia hidrográfica e orientar a fotointerpretação dos modelados originalmente existentes nas unidades de relevo por ela abrangidas.

Apesar da metodologia de investigação da morfologia original salientar a necessidade de evidências em fontes diversas de informações, principalmente iconográficas, em fotografias aéreas e mapas históricos (COLTRINARI, 1996), é necessário apontar as limitações da disponibilidade, ou mesmo inexistência, deste tipo de informações para períodos anteriores a 1962, restringindo a análise morfológica original aos elementos semi-preservedos.

O mapeamento das morfologias originais abrangeu os principais modelados regionalmente existentes na Bacia Sedimentar de São Paulo e entorno. Em relação às morfologias de natureza flúvio-aluvionar quaternárias, a BHTP apresenta planície, terraço, *backswamp* (bacias de inundação) e meandro colmatado. Nos sistemas de vertentes,

³ O termo georreferenciamento é adequadamente aplicado para alocação da imagem a partir de informações espaciais obtidas em campo com GPS geodésico ou outro equipamento com precisão equivalente. O uso trivial do termo é mais abrangente e designa o registro baseado em outro documento espacialmente alocado.

destaca-se o enfoque dado às mudanças e rupturas de declive e à identificação de setores com diferentes tendências hidrológicas deduzidas a partir da morfologia de concavidades, convexidades e retilinearidades, conforme sistematizado e proposto por Colângelo (1996).

Carta das morfologias originais (FIGURAS 36 e 37)

As morfologias originais foram fotointerpretadas com base na legenda do quadro 3, cuja escolha foi inspirada (i) nas cartografias geomorfológicas aplicadas em São Paulo e Minas Gerais, no contexto das experiências francesas com orientação dos professores Queiroz Neto e Jornaux (1978), e (ii) na legenda morfológica de detalhe desenvolvida por Savigear (1965), adaptada por Cooke e Doornkamp (1990). Ambas foram elaboradas para mapeamento de feições de detalhe, tendo sido recomendadas para mapeamentos de escalas maiores que 1:50.000. O mapa de morfologias originais está apresentado na figura 36.

A fotointerpretação morfológica aplicou a legenda francesa para identificação dos fluxos superficiais perenes e intermitentes, dos interflúvios e colos, e das unidades fluviais, tais como planícies de inundação, terraços, *backswamp*, meandro colmatado e formas de vale. Para as formas de vertente, utilizou-se a legenda de Savigear (1965) com suporte de dados morfométricos providos de MDT.

Apoiado nesta classificação de segmentos de vertentes de Savigear (op. cit.) e em MDT da bacia hidrográfica, derivou-se o mapeamento de setores de curvatura das vertentes, conforme Colângelo (op. cit), abrangendo as formas côncavas, convexas ou retilíneas, em planta e em perfil, que sustentaram a interpretação das tendências de fluxos superficiais. Esta derivação foi realizada semi automaticamente, por meio da ferramenta *Curvature* do SIG. O mapa morfológico que inclui as formas de vertente é apresentado na figura 37.

Complementarmente, para identificar o contexto de ocupação das morfologias semi-preservedas na BHTP, realizou-se o mapeamento dos usos da terra em 1962 no SIG, conforme é apresentado no apêndice D. Os resultados deste mapeamento foram aplicados, também, na modelagem hidrológica.

QUADRO 3 - Legenda das morfologias originais.

Nome	Descrição morfológica	Tendência de processos hidrológicos	Simbologia	Visão vertical
Córrego perene	Canal fluvial permanente alimentado por nível freático. Apresenta talvegue bem definido, normalmente no centro do vale.	Principal descarga da bacia hidrográfica, apresenta flutuação conforme oscilações sazonais e eventos de chuva.
Curso intermitente	Incisões menos proeminentes, formam concavidades que concentram fluxos pluviais, mas não definem talvegue fluvial.	Corpos d'água com funcionalidade descontínua no tempo e atuação como coletores nas cabeceiras de drenagem.
Vales em "V"	Vales de incisão profunda, com calha fluvial e sem conformação de planícies. Declividades >10° e distância interfluvial <300m, denotam dissecação do relevo.	Quanto maior a incisão, mais fechadas e íngremes tendem a ser as vertentes. O escoamento superficial tende a ser predominante e veloz (>1m/s).
Vales em berço	Vales abertos, com vertentes <10° de declividade, sem talvegue. Localizado em cabeceiras, apresentam concavidade na base e forma curva.	Predomínio de infiltração, no início das chuvas, com aumento do escoamento superficial concentrado induzido pela concavidade. Convergência de fluxos.
Planície de inundação	Áreas rebaixadas em relação ao entorno e aplanada, com declividades <4°. Associadas a cursos perenes, estendem-se longitudinalmente no eixo principal da bacia, alargando-se nas proximidades de confluências fluviais. Podem apresentar contato abrupto côncavo com a vertente.	Morfologia sujeita a inundações regulares (<2 anos), com nível freático pouco profundo, má drenagem superficial e saturação constante do solo.
Backswamp (bacias de inundação)	Setores aplanados e rebaixados dentro da planície de inundação. Normalmente localizados na retaguarda da planície com terraço ou com vertente.	Constantemente saturada, pode apresentar afloramento de nível freático. Os excedentes fluviais tendem a permanecer mais tempo ocupando estas bacias, do que o entorno da planície de inundação.

Meandro colmatado	Formas senoidais em planta, rebaixadas em relação ao nível da planície. Conformam alças meândricas não ativas associadas ao antigo curso fluvial que sofrem intenso processo de assoreamento.	Setores constantemente saturados e caracterizados pelo predomínio do assoreamento por aluviões. Estão sujeitas à inundação e permanência da água quando em situações de chuva intensa.
Terraços	Paleosuperfícies elevadas em relação ao nível da planície e com morfologia aplanada $<4^\circ$, localizadas entre a planície e a vertente. O contato com a vertente é em geral côncavo ou em rampa.	Formas onde a inundação não é o processo predominante e sujeitas a erosão nas bordas. Com melhor drenagem superficial em relação à planície de inundação, a infiltração é mais elevada, favorecendo a diminuição do fluxo concentrado.
Rupturas e mudanças convexas (terço superior da vertente)	Limites ou zonas convexas da ruptura ou da mudança de declividade entre o topo do morro ($<4^\circ$) e o sistema vertente ($>4^\circ$). A importância dessa alteração denuncia o grau de dissecação do relevo na alta vertente.	Drenagem eficiente com predomínio de divergência de fluxo. Denota o grau de dissecação do modelado na alta vertente.	Ruptura - Mudança -
Rupturas e mudanças convexas (terço médio e inferior da vertente)	Limites ou zonas convexas da ruptura ou da mudança de declividade entre a alta/média vertente ($<4^\circ$), com a superfície a jusante ($>4^\circ$).	Drenagem eficiente com predomínio de divergência de fluxo. Denota o grau de dissecação do modelado nos terços médios.	Ruptura - Mudança -
Vertente côncava	Recuo central côncavo na vertente, a partir da perspectiva em planta. Variação positiva da orientação das faces.	Tende à concentração de fluxos com predomínio de escoamento superficial concentrado. Cursos efêmeros.
Vertente convexa	Proeminência central convexa na vertente, a partir da perspectiva em planta. Variação negativa da orientação das faces.	Tende à dispersão de fluxos, área melhor drenada. Podem ocorrer afloramentos de rocha devido à erosão laminar intensa.
Vertente retilínea	Vertente com morfologia plana a partir da perspectiva em planta. Não há variação da orientação das faces.	A tendência hidrológica nestes setores depende do grau de inclinação da vertente.

(b) Período atual – morfologias antropogênicas

A avaliação do relevo como um resultado do acúmulo de intervenções antrópicas, especialmente de natureza urbana, pode recorrer à geomorfologia antropogênica e sua metodologia de análise, estruturada na cartografia geomorfológica retrospectiva e evolutiva, e na averiguação da dinâmica histórica de ocupação da bacia hidrográfica, enumerando o histórico de interferências no canal, na planície e nos sistemas interfluviais.

Esta etapa da parte 1 consistiu na elaboração e análise do mapa de morfologias antropogênicas no qual se abrangeu o conjunto de intervenções ocorridas na BHTP até 2011. Não foram delimitadas fases de ocupação urbana e de tipos de intervenção das configurações originais ao longo do período de 1962 a 2011, tendo sido considerado apenas dois cenários de apropriação.

Apesar disso, a BHTP, no contexto de ocupação do extremo leste do município de São Paulo, passou por fases correspondentes à expansão da metrópole paulistana. Com base na temporalização proposta por Moroz (2010), o intervalo mais significativo à periferização das cidades foi de 1952 a 1981, um período no qual a autora, baseada em Batista (2003) e Rodrigues (2004), identificou uma tendência à urbanização das morrarias de substrato cristalino, constituindo o contexto da bacia hidrográfica em estudo.

Assim, o mapa de morfologias antropogênicas constitui-se do acúmulo de alterações que progrediram desde o referido período de expansão metropolitana até os dias atuais, no qual a consolidação urbana, acompanhada da evolução das técnicas de produção do espaço urbano, denotou uma melhora das condições da ocupação, por meio do asfaltamento de vias, de obras de drenagem urbana, entre outras operações de saneamento.

Os primeiros passos da análise morfológica antropogênica incluíram o reconhecimento das modalidades de intervenção antrópica presentes na BHTP, a consideração sobre a possibilidade de serem mapeadas, tendo em vista a escala de saída dos mapas (1:20.000), e a delineação das morfologias concernentes às mudanças promovidas no escoamento superficial concentrado e comprometimento da drenagem dos fundos de vale, implicando cenários mais críticos de inundação. Para isso, foram definidos indicadores hidromorfológicos de forma e materiais superficiais norteadores da análise, conforme apresentado no quadro 4, sintetizando a proposta realizada por Rodrigues (2010).

QUADRO 4 – Características das mudanças analisadas nos sistemas geomorfológicos.

Sistema geomorfológico/	Parâmetros
Canal fluvial	Comprimento Declividade Largura Padrão
Planície	Área Forma Altitude
Interflúvios	Área Declividade Curvatura
Materiais superficiais	Parâmetros
Cobertura vegetal	Área e tipos de vegetação
Superfícies urbanizadas	Área e padrão construtivo Forma Altitude

Carta das morfologias antropogênicas (FIGURA 38)

Este mapeamento se baseou na carta de uso da terra de 2011 (APÊNDICE E), o qual foi elaborado a partir das categorias usualmente aplicadas por pesquisadores que se dedicam à cartografia morfológica retrospectiva e evolutiva, podendo-se citar Moroz (2010) e Berges (2013). As classes de uso da terra constam no quadro 5 e são explorados detalhadamente na legenda expandida do mapa de morfologias antropogênicas (FIGURA 38).

O mapa de morfologias antropogênicas é apresentado em escala 1:20.000, sendo que a interpretação orbital e vetorização do uso da terra de 2011 foram realizadas em 1:2.500.

QUADRO 5 - Legenda do mapa de uso da terra em 2011.

Uso da terra (2011)	Descrição	Imagem de satélite
Lagos (corpos d'água)	Pequenos açudes com barramentos que formam espelhos d'água perenes ao longo do ano, normalmente com plumas de sedimentos no deságue de afluentes. Ocorrem na média ou baixa vertente, e, ocasionalmente, nos setores superiores, e estão associados a usos não urbanos.
Fragmento de vegetação arbórea	Gleba florestada com vegetação predominantemente arbórea e densa, muitas vezes composta por <i>pinus</i> . Normalmente define um polígono regular. Estão localizados, preferencialmente, nas médias vertentes dos interflúvios de montante.
Vegetação arbórea e arbustiva marginal	Áreas longitudinalmente distribuídas às margens dos canais fluviais, descontínuas e compostas de remanescentes de vegetação arbustiva e arbórea. São geometricamente irregulares.

Uso da terra (2011)	Descrição	Imagem de satélite
Terreno urbano livre	Terrenos não impermeabilizados inseridos em área urbana na forma de terrenos baldios. Em geral, são recobertos por gramíneas e podem apresentar árvores esparsas e setores de solo exposto.
Campo de Futebol	Terrenos retangulares bem definidos no contexto urbano. Predominam gramíneas como cobertura vegetal e podem apresentar setores de solo exposto.
Campo antrópico	Áreas localizadas, preferencialmente, nas bordas da ocupação urbana, são recobertas por arbustos entremeados em gramíneas. Não apresentam uso específico.
Urbano residencial com taxa de 95% de ocupação	Áreas urbanas residenciais impermeabilizadas, com taxa de ocupação acima de 95%.
Urbano residencial com taxa de 85% de ocupação	Áreas urbanas residenciais impermeabilizadas, com taxa de ocupação entre 85 e 95%.
Urbano indefinido com taxa de 95% de ocupação	Áreas urbanas edificadas e impermeabilizadas com taxa de ocupação acima de 95%. Caracterizam-se pela presença de estabelecimentos comerciais e elementos urbanos não identificados.
Urbano indefinido com taxa de 85% de ocupação	Áreas urbanas edificadas e impermeabilizadas com taxa de ocupação entre 85 e 95%. Caracterizam-se pela presença de estabelecimentos comerciais e elementos urbanos não identificados.
Urbano residencial com padrão construtivo precário - Favela	Áreas urbanas residenciais compostas por edificações de baixo padrão construtivo, desprovidas de estruturas de saneamento e arruamento. A taxa de ocupação é acima de 95%.
Equipamento urbano	Unidades de serviços públicos de abrangência relativamente grande na BHTP, destinados à educação, saúde, lazer, assistência social, administração pública, etc. Ilustram esta classe as escolas, os CEUs, os terminais de ônibus, o CDHU e as subestações elétricas. A impermeabilização é superior a 95% da área.

Uso da terra (2011)	Descrição	Imagem de satélite
Unidade industrial	Unidades industriais de destaque no contexto urbano, composto por edificações de grande porte. A presença de galpões é a característica mais marcante para sua identificação.
Pátio	Áreas urbanas sem edificação e totalmente impermeabilizadas, em geral, com presença de carros. Compõem estacionamentos dos estabelecimentos comerciais e industriais.
Solo exposto	Áreas desprovidas de cobertura vegetal, sem uso destinado. Podem constituir áreas sob terraplenagem ou terrenos de depósitos tecnogênicos.
Mineração	Cava de mineração (portos de areia) e, em alguns casos, com a presença da unidade de beneficiamento associada. Nas cavas esgotadas, a mineração é identificada pelos lagos de inundação.
Linha férrea	Eixo principal dos trilhos da CPTM e área de servidão da ferrovia, incluindo, ainda, pátio ferroviário. Esta modalidade de ocupação implica alteamento significativo em relação ao nível da planície.

A partir destas classes de uso da terra e considerando os padrões de interferência sobre as morfologias dos canais fluviais, planícies de inundação e sistema interfluvial, deflagrando e alterando taxas de processos geomorfológicos, definiram-se três categorias gerais de morfologias pós-urbanização: (i) morfologias semi-preservedas (ou originais); (ii) morfologias antropogênicas de natureza urbana e (iii) outras morfologias antropogênicas de natureza não urbana, descritas a seguir.

- As morfologias semi-preservedas (ou originais) referem-se às formas que não sofreram intervenções antrópicas que alterassem significativamente sua configuração original ou os materiais a ela relacionados. Por essa razão, as categorias de uso da terra que não realizam modificações profundas, tendem a manter as características naturais dos processos hidromorfológicos. Foram incluídos no conjunto de morfologias semi-preservedas, os seguintes usos da terra: fragmento de vegetação arbórea, vegetação arbórea e arbustiva marginal, terreno urbano livre, campo de futebol e campo antrópico.

- As morfologias antropogênicas de natureza urbana estão relacionadas às formas produzidas ou derivadas pela ocupação urbana, a qual abrange os arruamentos, a edificação de casas ou prédios, e demais construções que impliquem remoção da vegetação e da camada superficial de solo, reconfiguração topográfica para aplainamento dos terrenos e impermeabilização da superfície. Em geral, estas morfologias antropogênicas apresentam como tendências hidrológicas superficiais, a queda da capacidade de infiltração, o aumento da produção de escoamento superficial, a concentração destes escoamentos nos arruamentos e nas baixas vertentes, formação de poças localizadas em arranjos micro topográficos específicos e o rebaixamento do nível freático. Estes processos incidem em todas as unidades morfológicas antropogênicas, contudo, eles podem assumir diferentes magnitudes e frequências conforme a morfologia original sobre a qual ocorrem. As morfologias antropogênicas de natureza urbana foram subdivididas em duas classes;

- Estágio consolidado de urbanização (final) que abrange as áreas urbanizadas de padrão residencial, comercial ou industrial, com arruamento perenizado por asfaltamento, densamente ocupado, e presença, predominante, de padrões construtivos adequados, providos de fundações, sistemas de drenagem e saneamento. Sobre os sistemas de vertente, estes padrões decorrem diretamente em reconfigurações topográficas de médio e grande porte, com a realização de cortes e aterros, e a produção de descontinuidades no contato entre os materiais tecnogênicos e a superfície original da vertente. Secundariamente, a impermeabilização vinculada a estes potencializa a produção de escoamento superficial e os arruamentos tendem a concentrar este escoamento produzindo fluxos torrenciais, críticos na base da vertente. Sobre as planícies de inundação, estas morfologias urbanas, normalmente, implicam alteamento de terrenos e construção de sistemas de drenagem eficientes, o que tende a reduzir a vulnerabilidade à inundação pela retirada da água excedente e a diminuição do tempo de permanência dela em superfície. No conjunto destas morfologias, incluíram-se os seguintes usos da terra: usos urbanos residenciais, com exceção do uso residencial com padrão construtivo precário, equipamento urbano, unidade industrial e pátio.

- Estágio não consolidado de urbanização (intermediário), que se refere à classe de uso residencial com padrão construtivo precário (favela), singularizada em função do tipo de modificação de forma e de processos hidromorfológicos que implica aos sistemas geomorfológicos a que se sobrepõe. As ocupações de favela, embora muitas vezes caracterizem ocupações consolidadas, apresentam características antropogeomorfológicas típicas de processos intermediários de ocupação do território, com a abertura de vias, exposição de grandes volumes de solo em canteiros de obras e superfícies terraplanadas, sistemas temporários e improvisados de drenagem pluvial e

retenção de sedimentos, entre outros. Em setores de planície de inundação, além de poderem deflagrar processos erosivos intensos, as ocupações de padrões construtivos precários agravam a condição de escoamento de áreas naturalmente mal drenadas, o que redundará na diminuição da infiltração, na aceleração dos fluxos e diminuição do tempo de enchimento. Por serem desprovidas de estruturas de fundação adequadas, normalmente as casas não são alteadas em relação ao nível da planície, configurando um quadro crítico e extremamente vulnerável às inundações.

- E, por fim, outras morfologias antropogênicas de natureza não urbana que se referem às formas produzidas ou decorridas da ação antrópica, mas que não se caracterizam como padrões construtivos urbanos e normalmente refletem usos específicos de terrenos isolados no contexto urbano, associados a processos hidromorfológicos igualmente distintos. Nesta categoria foram incluídos os seguintes usos da terra: solo exposto, mineração e linha férrea. Os solos expostos denotam superfícies totalmente desprovidas de vegetação e que podem estar vinculadas a processos de urbanização em curso, por vezes apresentando movimentação de terra e características de terrenos aplanados para construção civil. Tanto em setores de vertente quanto em setores de planície, os solos expostos são as áreas fontes de sedimentos mais importantes no contexto urbano, devido à falta de proteção da superfície ao arraste e carreamento. Além disso, a aceleração da velocidade do fluxo pluvial e o aumento do volume de sedimentos carregados para jusante agravam esta produção de sedimentos.

As minerações, em qualquer contexto morfológico original que estejam instaladas, implicam movimentação de grandes volumes de material, com remoção total da vegetação. A abertura e o aprofundamento de cavas, além do impacto direto que produzem, exigem a construção simultânea de áreas destinadas aos depósitos de estéril, material este extremamente suscetível à erosão. No caso dos portos de areia desativados presentes na área, as cavas abandonadas estão sujeitas ao afogamento pelo nível freático e formação de lagos artificiais, em geral, com plumas de sedimentos e setores colmatados. Secundariamente, os cortes e taludes de pilhas de inertes abandonadas e os taludes das bordas das cavas podem apresentar baixa estabilidade morfológica e deflagrar processos erosivos intensos.

A linha férrea constitui uma morfologia antropogênica particular das formas produzidas pela ocupação urbana na BHTP. Ela denota um alteamento na ordem de 3 metros em relação ao nível da planície e uma estruturação deste setor aterrado com fundações e sistemas de drenagem pluvial eficientes, indicando assim, que esta morfologia antropogênica tem como principal tendência hidrológica a retirada de água. Com isso, os níveis de planície adjacentes à linha férrea passam a ser receber este excedente hídrico produzido por ela,

pressionando-se à assimilação de inundações ainda mais elevadas. Secundariamente, a ponte que atravessa o córrego Três Pontes, à altura do Jd. Fiorelo, pode atuar como um elemento estrangulador de seção provocando problemas relacionados ao escoamento fluvial.

(c) Unidades morfológicas complexas

A derivação das unidades complexas é uma etapa fundamental na análise geomorfológica antropogênica, uma vez que sintetiza a evolução hidromorfológica da bacia hidrográfica, utilizando-se da sequência de mudanças ocorridas ao longo do tempo pela ocupação urbana sobre a morfologia original. Assim, sua leitura, análise e interpretação demandam filtragem dos dados de origem e análise detida de cada combinação entre as morfologias originais e antropogênicas.

Os indicadores morfológicos e hidromorfológicos considerados em itens anteriores foram explorados, uma vez que a sobreposição dos mapeamentos dos dois cenários sugere uma dinâmica de transformação das formas e dos processos, suas taxas, as direções das transformações e as tendências de evolução de cada unidade. Os procedimentos para a elaboração do mapa de unidades morfológicas complexas encontram-se descritos no subitem a seguir, ao passo que o mapa resultante de unidades complexas e sua legenda estendida são apresentados no capítulo concernente aos resultados da aplicação da abordagem geomorfológica antropogênica.

Mapa de unidades complexas (FIGURAS 39 e 40)

As unidades complexas provêm da sobreposição entre as morfologias originais e as morfologias antropogênicas, realizada em ambiente SIG, por meio de operação de overlay (*Union* da ferramenta *Spatial Analyst*) que facilitou a realização dos cálculos das áreas e análise espacial de suas formações. Cabe destacar que tal sobreposição pode ser realizada considerando as inferências derivadas do uso da terra atual, como aplicado na presente pesquisa, ou a partir da sequência de morfologias antropogênicas geradas nos diversos estágios de intervenção.

O produto desta sobreposição não tem como intuito, exclusivamente, representar as mudanças decorridas em uma unidade hidrográfica de estudo, constituindo, para além disto, uma ferramenta analítica que sintetiza espacialmente os níveis de perturbação morfológica e as mudanças antropogênicas processuais decorrentes da concomitância entre modalidades específicas de morfologia antropogênica e características específicas de morfologia original. As unidades morfológicas complexas permitem detalhar múltiplas combinações entre MA e MO, integrando-as espacialmente em um arranjo de diferentes tipos de intervenção e níveis

de perturbação morfológica, que podem ser desdobradas em análises específicas de problemas territoriais, a exemplo da vulnerabilidade à inundação.

Assim, a legenda estendida (FIGURA 40) oferece descrições dos processos predominantes considerando a combinação ocorrida, e busca indicar tendências hidromorfológicas das unidades morfológicas complexas, das quais se extraíram parâmetros para a classificação dos níveis de vulnerabilidade à inundação e formação de escoamento superficial concentrado.

De modo a facilitar a leitura e análise deste mapa (FIGURA 40) e com o objetivo de tornar mais clara as alterações ocorridas sobre os diferentes sistemas morfológicos da BHTP, de interesse à inundação, as unidades morfológicas complexas foram subdivididas, primeiramente, em duas categorias: derivadas de planície (PI) e derivadas de sistema interfluvial (Si).

Em seguida, cada uma dessas categorias foi classificada em ordem numérica, representando, escalonadamente, os níveis de perturbação inferidos. A numeração de cada categoria foi antecedida pela sigla PI, para as unidades complexas sobre planície, e Si, para as unidades complexas sobre os sistemas interfluviais (vertentes). A quantidade de classificações de cada sequência de unidades complexas é proporcional ao resultado do número de combinações existentes entre as morfologias originais e antropogênicas para planície e sistema interfluvial, e constam nos quadros 6 e 7.

QUADRO 6 – Matriz de combinação das morfologias originais (colunas) e antropogênicas (linhas) das quais derivaram as unidades complexas de planície (PI).

	<i>Backswamp</i>	Meandro colmatado	Planície	Terraço
Morfologia original ou semi-preservada	PI0			
Solo exposto	PI3	-	PI2	PI1
Via férrea	-	-	PI5	PI4
Estágio não consolidado de urbanização (intermediário)	PI7	-	PI6	-
Estágio consolidado de urbanização (final)	PI10		PI9	PI8
Mineração	-	PI11		

Os campos preenchidos com “-” referem-se a combinações que não ocorrem na BHTP.

QUADRO 7 – Matriz de combinação das morfologias originais (colunas) e antropogênicas (linhas) das quais derivaram as unidades complexas de sistema interfluvial (Si).

Planta/perfil	Cv/Cv	Ret/Cv	Cc/Cv	Cv/Ret	Ret/Ret	Cc/Ret	Cv/Cc	Ret/Cc	Cc/Cc
Corpo d'água	-	-	-	-	-	-	Si0		
Original ou semi-preservada	Si0								
Solo exposto	Si3	Si3	Si4	Si2	Si1	Si5	Si6	Si6	Si7
Estágio final de urbanização	Si10	Si10	Si11	Si9	Si8	Si12	Si13	Si13	Si14
Mineração	Si15	-	Si15	-	Si15	-	Si15	-	Si15

Cv – Convexa; Ret – Retilínea, Cc – Côncava. Os campos preenchidos com “-” referem-se a combinações que não ocorrem na BHTP.

As categorias atribuídas para cada uma destas sobreposições tiveram como critérios o tipo de intervenção antrópica, o grau de perturbação morfológica associado à implantação de tais usos da terra, as tendências de processos hidrológicos superficiais e a suscetibilidade dessas combinações a mudanças no sistema geomorfológico.

Desta forma, para as categorias de unidades morfológicas complexas de planície, por exemplo, foi atribuído o código PI0 às combinações entre todas as morfologias originais de planície com as morfologias semi-preservadas identificadas para o cenário atual, representando o menor nível de perturbação concebido dentre o conjunto de UCs de planície. Às categorias subsequentes (PI1 a PI11) foram atribuídos valores superiores com o objetivo de sugerir uma tendência crescente do grau de perturbação morfológica. Os mesmos pressupostos e procedimentos foram aplicados para a derivação das unidades morfológicas complexas do sistema interfluvial, em relação ao qual, foi produzido um conjunto de 16 unidades complexas (Si0 a Si15).

(d) Vulnerabilidade à inundação e potencial de produção de escoamento superficial concentrado

As unidades complexas constituem manchas homogêneas de múltiplas informações morfológicas e hidrodinâmicas, cujas mais relevantes a esta pesquisa dizem respeito ao sentido e à intensidade da alteração promovida sobre os indicadores elegidos.

Em relação às vulnerabilidades às inundações, partiu-se do pressuposto de que as morfologias originais de planícies são as mais susceptíveis ao transbordamento do canal. No entanto, no interior destas morfologias, as intervenções antrópicas promovem alterações hidromorfodinâmicas que resultam em diferentes condições de drenagem e vulnerabilidade,

de modo que, a classificação final do risco à inundação deve ser analisada individualmente para cada unidade morfológica complexa de planície derivada.

A produção de escoamento superficial concentrado levou em consideração, basicamente, três aspectos: (i) a morfologia das superfícies das vertentes e dos interflúvios em termos de curvatura e tendência de fluxo, (ii) as morfologias antropogênicas em relação às taxas de impermeabilização e (iii) o arranjo do arruamento e suas declividades, pois a convergência ou a divergência dos fluxos concentrados produzidos pela distribuição das sarjetas, pode agravar ou minimizar sua concentração na base da vertente. Desta forma, o mapa de vulnerabilidade à inundação e de produção de escoamento superficial concentrado é apresentado na figura 46, e os procedimentos realizados para sua elaboração e a legenda utilizada são descritos a seguir.

Mapa de vulnerabilidade à inundação e produção de escoamento superficial concentrado (FIGURA 46)

Os polígonos de vulnerabilidade à inundação e de produção de escoamento superficial concentrado constituem unidades espaciais com particularidades morfológicas que decorrem em diferentes tendências à ocorrência destes fenômenos, identificadas a partir de interpretação das UCs. Assim, a produção desse mapeamento consiste em uma reelaboração de legenda do mapa anterior de unidades complexas, substituindo o enfoque nos níveis de perturbação das formas pela interpretação da tendência dos fenômenos de interesse.

A legenda sistematizada reúne as informações das alterações morfológicas e de processos constatadas no mapa de unidades complexas e as inferências realizadas sobre a produção de escoamento superficial concentrado e vulnerabilidade à inundação. As classificações elaboradas estão dispostas nos quadros 8, para a produção do escoamento superficial concentrado, considerando as unidades complexas dos sistemas interfluviais (Si), e 9 para a vulnerabilidade à inundação, considerando as unidades complexas de planície (PI).

QUADRO 8 – Classificação do potencial de geração de escoamento superficial concentrado de acordo com as combinações entre MO e MA.

Unidades Complexas de Sistemas Interfluviais (Si)									
MO\MA	Cc/Cc	Ret/Cc	Cv/Cc	Cc/Ret	Ret/Ret	Cv/Ret	Cc/Cv	Ret/Cv	Cv/Cv
Corpo d'água	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Morfologia semi-preserveda	Alta	Alta	Média	Alta	Média	Muito baixa	Baixa	Muito baixa	Muito baixa
Estágio intermediário de urbanização	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Estágio final de urbanização	Muito alta	Muito alta	Alta	Muito alta	Alta	Baixa	Média	Baixa	Baixa
Solo exposto	Muito alta	Alta	Moderada	Alta	Média	Muito baixa	Baixa	Muito baixa	Muito baixa
Mineração	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Via férrea	-	-	-	-	Muito baixa	-	-	-	-

Cv – Convexa; Ret – Retilínea, Cc – Côncava. Os campos preenchidos com “-” correspondem a combinações que não ocorrem na bacia hidrográfica.

QUADRO 9 – Classificação da vulnerabilidade à inundação de acordo com as combinações entre MO e MA.

Unidades complexas de Planície (PI)				
Morf. Original Morf. Antrop.	<i>Backswamp</i>	Meandro colmatado	Planície	Terraço
Morfologia original ou semi-preservada	Muito alta	Muito alta	Alta	Baixa
Estágio intermediário de urbanização	Muito alta	-	Muito alta	-
Estágio final de urbanização	Alta	Alta	Média	Muito baixa
Solo exposto	Muito alta	-	Muito alta	Baixa
Mineração	-	Muito alta	Muito alta	Muito alta
Via férrea	-	-	Muito baixa	Muito baixa

Os campos preenchidos com “-” correspondem a combinações que não ocorrem na bacia hidrográfica.

Deve-se ressaltar que a classificação dos potenciais de ocorrência dos fenômenos trabalhados não se restringiu às sobreposições contidas nos quadros 8 e 9. Análises espaciais específicas foram realizadas ao longo de toda planície de inundação e, sobretudo, nos seus limites com terraços e baixa vertente, considerando assim (i) o arranjo das unidades complexas mapeadas (disposição topológica), (ii) arranjo e a declividade do arruamento nos modelados concentradores de fluxo, e (iii) o alteamento inferido de planícies, em condições de urbanização consolidada ou com construções de grande porte.

Em relação ao segundo aspecto mencionado acima, para estimar a declividade média das ruas utilizou-se a ferramenta *Add Surface Information*, disponível no conjunto de ferramentas do *3D Analyst* que integra o SIG utilizado (ArcGIS). Uma vez obtida a informação de declividade, foi aplicada a fórmula para escoamentos rasos do *Natural Resources Conservation Service* (NRCS, 2010) do *U.S. Department of Agriculture*, que auxilia na determinação da velocidade média do fluxo a partir da rugosidade de Manning, estimada em 0.025 para pavimentos impermeabilizados, e da coluna máxima de água equivalente a 0.2 pés (ou 6 cm). A fórmula, adaptada ao Sistema Internacional de Medidas, é dada abaixo:

$$V = (20,328 \cdot (s)^{0,5}) \cdot 0.30480 \dots\dots\dots \text{EQUAÇÃO 1}$$

Onde: V é a velocidade em m/s e s é a declividade em m/m.

Com isso definiram-se intervalos de velocidade de fluxo que puderam ser interpretados em relação à produção de escoamento superficial e à vulnerabilidade à inundação. Após a consideração das combinações apresentadas pelos quadros 8 e 9, os seguintes critérios foram também empregados para complementar a classificação de vulnerabilidade:

- Baixa vulnerabilidade à inundação de setores de terraço quando situados à jusante de áreas hiperconcentradoras de fluxo ou mesoconcentradoras radial ou longitudinal;
- Baixa vulnerabilidade à inundação de setores de terraço quando adjacentes a planícies fluviais sobrepostas por estágio urbano consolidado e possivelmente alteadas;
- Alta vulnerabilidade à inundação de setores de planícies quando estiverem à jusante de áreas hiperconcentradoras de fluxo ou mesoconcentradoras radial ou longitudinal;
- Alta vulnerabilidade à inundação de setores de planície de inundação ou terraço localizado à jusante de vertentes concentradoras de fluxo longitudinal e radial associado ao arruamento convergente e declividade acentuada;
- Muito alta vulnerabilidade à inundação de setores de planícies fluviais contíguos a trechos de córregos preservados ou retificados com talude em solo a jusante de trechos canalizados ou retificados em concreto;
- Muito alta vulnerabilidade à inundação de setores de planícies fluviais com remanescentes de morfologias semi-preservedas, quando localizadas nas estreitas faixas de mata no canal principal.
- Muito alta vulnerabilidade à inundação de setores conectados ao canal e imediatamente a montante de estruturas de travessias, como pontes e passagens de pedestres.

(e) Estimativa da capacidade de estocagem da planície fluvial

No âmbito desta pesquisa, de modo a ressaltar o papel de atenuação natural de cheias pelas morfologias originais relacionadas à inundação e destacar a perda desta funcionalidade pelas perturbações antropogênicas implantadas na BHTP, foi estimada a capacidade de estocagem hídrica das morfologias do sistema fluvial (planície de inundação, *backswamp* e meandro colmatado).

O volume de água capaz de ser retido por tais morfologias durante um pico de vazão está em função da área destas unidades hidromorfológicas e a altura da coluna d'água acima do nível das margens plenas. No entanto, considerando que este volume se distribui de forma desigual ao longo da extensão das morfologias, devido aos desníveis formados

pela topografia, é necessário realizar um cálculo para obter uma média da coluna d'água em cada uma dessas unidades, por meio da seguinte equação⁴:

$$V = a \cdot \left(\frac{h}{2} \right) \dots\dots\dots \text{EQUAÇÃO}$$

2

Onde V é o volume de água estimado (m^3), a equivale à área da unidade hidromorfológica e h é o desnível médio assumido entre as cotas das margens plenas e a cota mais alta relativa ao limite da morfologia.

Para considerar as diferenças de desníveis topográficos distribuídas ao longo de toda a extensão longitudinal da planície fluvial foram selecionados sete seções amostrais sendo uma localizada na morfologia de *backswamp* (B1), outra no meandro colmatado (N1), e as cinco restantes em pontos de jusante a montante na planície de inundação (P1 a P5). Estas cotas altimétricas foram obtidas a partir do MDT produzido para a área da BHTP com resolução espacial de 1m, gerado com base em cartas topográficas oficiais da Emplasa em escala original 1:10.000, nas quais as equidistâncias das curvas de nível equivalem a 5m.

O quadro 10 abaixo apresenta informações das seções amostrais e de seus valores obtidos:

QUADRO 10 – Seções amostrais utilizadas na estimativa do desnível médio das morfologias fluviais.

Código do ponto	Morfologia original	Referência	Cota aproximada(m)		Desnível máximo	Desnível estimado	Média
			Mais baixa	Mais alta			
B1	Backswamp	Jd Romano	729.0	730.0	1.0	0.5	0.5
M1	Meandro	Foz no rio Tietê	728.0	729.0	1.0	0.5	
P1	Planície	Vila Popular	738.2	739.9	1.7	0.8	1.3
P2		Jd. do Carmo	738.2	741.9	3.7	1.8	
P3		Jd Miliunas	745.5	746.9	1.4	0.7	
P4		Whitaker Machado	746.9	749.4	2.5	1.3	
P5		Cidade Kemel	754.9	758.5	3.6	1.8	

Por fim, para a realização do cálculo foram utilizados os desníveis médios obtidos para as planícies de inundação e para o conjunto formado por *backswamp* e meandro colmatado, conforme consta na última coluna do quadro 10 acima. Os resultados da estimativa da capacidade de estocagem da planície fluvial da BHTP encontram-se descritos e analisados no capítulo de aplicação da abordagem geomorfológica antropogênica, incluindo comparações com sistemas de reservatórios artificiais voltados ao amortecimento de cheia implantados na bacia hidrográfica.

⁴ Esta metodologia foi orientada pelo calculo de estimativa proposto por Luz, Lawson, Douglas e Rodrigues (*no prelo*), Historical sources and meandering river systems in urban sites: the case of Manchester, UK.

PARTE 2

2.2.3. Modelagem hidrológica e hidráulica

A modelagem hidrológica e hidráulica objetivou obter resultados de picos de vazão e manchas de inundação⁵ nos dois cenários de uso da terra mapeados para a BHTP e a partir chuvas de diferentes Trs. A aplicação desta metodologia pode ser subdividida em três principais etapas:

- (i) análise do regime temporal de precipitação e eventos extremos;
- (ii) aplicação dos modelos hidrológicos chuva-vazão Ven Te Chow-SCS, conforme proposto por Wilken (1971), e do Hidrograma Unitário, com base na metodologia do SCS, segundo descrito por Canholi (2005) e aplicado pelo ABC6, para obtenção de vazões de pico, e
- (iii) aplicação de modelo hidráulico computacional HEC-RAS para obtenção das manchas de inundação.

A análise do regime temporal de chuvas, na primeira etapa, buscou caracterizar a variação pluviométrica e alguns tipos de precipitação extrema que ocorrem na bacia hidrográfica. Em seguida, com base nos resultados das modelagens chuva-vazão e hidráulica avaliou-se, quantitativamente, o nível de alteração da vazão sob diferentes tormentas, como respostas às interferências antrópicas associadas à ocupação urbana ocorrida entre os dois cenários.

Por fim, ressalta-se que o uso de chuvas com diferentes magnitudes, considerando seu tempo de retorno (Tr), objetivou a análise do papel da urbanização sobre a infiltração, a produção de escoamento superficial e o tempo de concentração da BHTP.

2.2.3.1. Dados para caracterização da temporalidade das precipitações

Neste item, realizou-se a análise do regime de precipitações e identificação de eventos extremos empíricos, considerando informações de postos pluviométricos e rede telemétrica, localizados na BHTP e entorno. As precipitações extremas foram cotejadas em relação à última equação IDF constituída para o município de São Paulo (DAEE, 1999).

Pressupondo a distribuição uniforme da precipitação para toda a área da BHTP, dispensou-se a variabilidade espacial e aprofundou-se a análise da temporalidade dos eventos. Complementarmente, a caracterização do regime de chuvas em termos anuais e sazonais constitui etapa primordial à rodagem de modelos, pois fornece contexto empírico e

⁵ O termo manchas de inundação é mais frequentemente utilizado no campo da hidrologia, ao passo que, nos estudos geomorfológicos há preferência pelo uso do termo de tendência espaço-temporal de inundação. Porém, uma vez que pesquisa trata da interface entre estes campos, os dois termos foram utilizados de forma complementar ao longo do estudo.

parâmetros ao entendimento de eventos intensos artificiais produzidos a partir de curvas IDF.

A caracterização do regime temporal de chuvas teve como objetivo específico identificar as características principais da entrada de água, constatar eventos pluviométricos diários relevantes para as séries abrangidas, e apontar a ordem de grandeza deste fenômeno na BHTP e região.

Para tanto, foram obtidos dados de quatro órgãos governamentais de diferentes níveis, responsáveis pelo monitoramento hidrológico no Brasil e em São Paulo. A utilização de tal volume de dados, pode ser justificada com base em duas razões principais: a primeira, para viabilizar análises de comparação entre as séries históricas e bancos de dados; e a segunda, em virtude da disponibilização de diferentes resoluções temporais e séries históricas complementares por parte de cada uma das fontes (QUADRO 11).

QUADRO 11 – Fontes de informação hidrometeorológicas utilizadas.

Posto/estação	Fonte	Nível	Passo	Série	Utilização
2346194	ANA	Federal (MMA)	Diário	1928 a 1986	<ul style="list-style-type: none"> • Regimes anual e sazonal. • Identificação de eventos extremos. • Comparação entre bancos de dados e séries históricas
E3-091	SIGRH	Estadual (Secretaria de Saneamento e Recursos Hídricos)	Diário	1943 a 2004	
IT (Itaim Paulista)	CGE	Municipal (Defesa Civil)	Diário	2003 a 2012	
Rio Tietê - São Miguel	SAISP	Estadual (CTH)	10 min	2003 a 2012	<ul style="list-style-type: none"> • Eventos de alta magnitude. • Caracterização IDF e de variabilidade espacial.

Utilizou-se, assim, dentre os dados do SIGRH, a série do posto E3-091, Monte Belo, de coordenadas -23,48 de latitude e -46,36 de longitude, localizado a, aproximadamente, 790m de altitude na porção nordeste da bacia hidrográfica. Conforme o quadro 11, sua série histórica se estende de 1943 a 2004, sendo que deste período, estão consistidos 12 anos, relativos ao período de 1970 a 1992.

Além do SIGRH, dados mensais da Agência Nacional de Águas (ANA) do posto pluviométrico 2346194, denominado Itaquaquecetuba, também foram utilizados. Este posto localiza-se sob as coordenadas de latitude -23,50 e longitude -46,36, em altitude aproximada de 730m, no centro da BHTP. Com monitoramento iniciado em 1927 e encerrado em 1986, constituindo assim 59 anos de medição, o banco de dados da ANA fornece o acumulado total da chuva máxima mensal, a chuva máxima em um dia, além do número total de dias de chuva, porém, com série histórica apenas parcialmente consistida.

A análise temporal do regime pluviométrico compreendeu três momentos distintos: um, em que se caracterizaram anualmente e sazonalmente os regimes de chuva, levando-se em conta dados do SIRGH e DAEE; outro, no qual se realizaram avaliação e identificação de eventos diários extremos, utilizando-se de quartis e desvio padrão, a partir de dados do CGE; e, por último, foram caracterizadas as formas dos ietogramas de alguns dos eventos extremos.

No primeiro momento, dados do SIRGH e da ANA foram analisados descritivamente visando uma caracterização estatística simplificada dos regimes anual e mensal das precipitações no período de suas séries. Tal análise identificou características gerais dos totais anuais e da distribuição sazonal sobre a bacia hidrográfica. Os anos com séries históricas incompletas em mais de um mês, no entanto, foram desprezados.

Para identificação e caracterização dos eventos extremos no conjunto de dados diários do CGE, obtiveram-se os valores de desvio padrão e quartis, para os totais acumulados nos meses mais chuvosos (novembro a março). Assim, as precipitações extremas foram classificadas considerando os valores maiores que o 4º quartil ou superiores ao equivalente a dois desvios padrões para mais, dentro de cada mês abrangido.

Por fim, descreveu-se a distribuição temporal de quatro tipos de ietogramas empíricos considerados típicos de chuvas intensas na região, possibilitando análises da variabilidade da intensidade e da duração de tormentas reais, com base em dados telemétricos do Sistema de Alerta à Inundação do Estado de São Paulo (SAISP).

2.2.3.2. Modelagem chuva-vazão Ven Te Chow-SCS

(a) Obtenção dos parâmetros de entrada da modelagem hidrológica VTC-SCS

A aplicação da metodologia Ven Te Chow-SCS seguiu as orientações descritas por Wilken (1971) e sintetizadas por Nunes (2007), acompanhadas pelas demonstrações e deduções de fórmulas auxiliares colocadas por Ramos et al. (1989), Tucci (1998), FCTH (2003), DAEE (1999) e Righetto (1998). A equação principal da metodologia pode ser colocada a partir da seguinte relação.

$$Q_{m\acute{a}x} = \frac{A.X.Y.Z}{3,6} \dots\dots\dots \text{EQUAÇÃO 3}$$

Na qual $Q_{m\acute{a}x}$ é a vazão máxima (dada em m³/s); A é a área da bacia (dada em km²); Y é o fator climático (adotou-se 1, devido à existência de curva IDF para a localidade); Z é o fator de redução do tempo de pico de vazão; e X é o fator de deflúvio.

Na sentença, os termos A e Y são fixos para qualquer circunstância, pois constituem variáveis independentes. Para o estudo $A \approx 9,02$ e $Y=1$, restando X e Z a serem determinados. O termo X foi determinado por:

$$X = \frac{Re}{td} \dots\dots\dots \text{EQUAÇÃO 4}$$

Em que Re é a chuva excedente para um dado evento, e td o tempo de duração da mesma tormenta. O cálculo das precipitações excedentes (Re) considerou o número de deflúvio (CN) para os dois cenários de ocupação, 1962 e 2011, e as diversas precipitações extremas derivadas da IDF (DAEE, 1999).

A chuva excedente é função das condições de permeabilidade da superfície, da retenção potencial do solo e do total de chuva acumulada, e pode ser obtida a partir de:

$$Re = \frac{(R - 0,2S)^2}{R + 0,8S}, \text{ para } R > 0,2 \dots\dots\dots \text{EQUAÇÃO 5}$$

Onde, Re é a chuva excedente (mm), R é a chuva total (mm), e S é a retenção potencial do solo (mm). No Sistema Internacional, a equação de ajuste entre a precipitação total e a chuva efetiva é descrita por Wilken (1971) como sendo:

$$Re = \frac{(R - 5080/N + 50,8)^2}{R + 20320/N - 203,2} \dots\dots\dots \text{EQUAÇÃO 6}$$

Para se calcular S é necessário realizar a seguinte operação:

$$S = 25,4 \cdot \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) \dots\dots\dots \text{EQUAÇÃO 7}$$

Na qual, CN é o parâmetro de deflúvio (o valor N ou CN é adimensional).

Por último, o fator de redução de pico (Z) exigiu o cálculo da razão entre as durações da precipitação e o tempo do pico de vazão ($\frac{td}{tp}$), este último dependente de fatores físicos da bacia hidrográfica. O fator de redução (Z) é obtido pela relação entre o pico de vazão,

produzido por uma chuva de uma determinada duração, e o deflúvio resultante de precipitação igualmente intensa.

Seu valor pode ser obtido em tabelas disponíveis na literatura sobre o assunto (TABELA 1), e está relacionado à razão entre o tempo de duração de uma chuva (t_d em min) e a razão de ascensão de pico (t_p em min). Esta última variável, depende das características de declividade e comprimento da bacia hidrográfica, e é dado pela seguinte relação, de acordo com Nunes e Fiori (2007) e Wilken (1971):

$$t_p = 0,005055 \cdot \left(\frac{L}{\sqrt{I}} \right)^{0,64} \dots\dots\dots \text{EQUAÇÃO 8}$$

Em que, t_p é o tempo de pico da descarga (min); L a extensão longitudinal do canal principal (metros); e I a declividade média do rio principal (%). I e L foram obtidos a partir da carta topográfica 1:10.000 da Emplasa.

TABELA 1 - Correspondências entre a relação t_d/t_p e o fator Z .

t_d/t_p	Z	t_d/t_p	Z	t_d/t_p	Z	t_d/t_p	Z	t_d/t_p	Z
0.05	0.04	0.46	0.36	0.84	0.58	1.22	0.75	1.60	0.9
0.10	0.08	0.48	0.38	0.86	0.59	1.24	0.76	1.62	0.9
0.12	0.1	0.50	0.39	0.88	0.5	1.26	0.77	1.64	0.91
0.14	0.12	0.52	0.4	0.90	0.6	1.28	0.78	1.66	0.91
0.16	0.14	0.54	0.41	0.92	0.61	1.30	0.79	1.68	0.92
0.18	0.16	0.56	0.42	0.94	0.62	1.32	0.8	1.70	0.92
0.20	0.18	0.58	0.44	0.96	0.63	1.34	0.81	1.72	0.93
0.22	0.19	0.60	0.45	0.98	0.64	1.36	0.82	1.74	0.93
0.24	0.2	0.62	0.46	1.00	0.65	1.38	0.82	1.76	0.94
0.26	0.22	0.64	0.47	1.02	0.66	1.40	0.82	1.78	0.94
0.28	0.24	0.66	0.48	1.04	0.67	1.42	0.83	1.80	0.95
0.30	0.25	0.68	0.49	1.06	0.68	1.44	0.84	1.82	0.95
0.32	0.26	0.70	0.5	1.08	0.69	1.46	0.85	1.84	0.96
0.34	0.28	0.72	0.51	1.10	0.7	1.48	0.86	1.86	0.96
0.36	0.29	0.74	0.52	1.12	0.71	1.50	0.86	1.88	0.97
0.38	0.3	0.76	0.54	1.14	0.72	1.52	0.87	1.90	0.97
0.40	0.32	0.78	0.55	1.16	0.73	1.54	0.88	1.92	0.98
0.42	0.33	0.80	0.56	1.18	0.74	1.56	0.88	1.94	0.98
0.44	0.34	0.82	0.57	1.20	0.74	1.58	0.89	1.96	0.99

Fonte: Nunes (2007)

Para a BHTP os valores obtidos foram: tempo de pico de 1,4 horas; I igual a 1%, e L igual a 6.929 m. Devido a tais valores de declividade (1%) e comprimento do canal (6,9 km),

alguns resultados da relação td/tp foram superiores aos contidos nas tabelas consultadas (que apresentam até $td/tp = 1,98$). Para estes casos, adotou-se $Z=1$.

As informações morfométricas foram obtidas em cartas topográficas e na restituição da morfologia original. Para determinação do CN utilizou-se do mapeamento de uso da terra realizado para os anos de 1962 e 2011. Por fim a informação de precipitação total foi derivada da equação IDF escolhida.

Equação IDF e derivação da precipitação total

A análise das curvas IDF produzidas pela equação escolhida para cidade de São Paulo (para obtenção de R), conforme proposta do DAEE (1999), seguiu a expressão apresentada abaixo:

$$i_{td,Tr} = 39,3015(td + 20)^{-0,9228} + 10,1767(td + 20)^{-0,8764} \cdot \left[-0,4653 - 0,8407 \cdot \ln \left(\ln \left(\frac{Tr}{Tr - 1} \right) \right) \right] \dots\dots\dots \text{EQUAÇÃO. 9}$$

Em que: $i_{td,Tr}$ é a intensidade média do evento (mm/min), td é o tempo de duração (min) e Tr é o tempo de retorno (anos).

Para td arbitraram-se os seguintes tempos de duração, em minutos, na análise dos picos de vazão segundo a modelagem Ven Te Chow-SCS: 10, 30, 60, 120, 150, 180, 210, 240, 270, 300, 360, 720 e 1440. Para a mesma simulação definiu-se como Trs os períodos de: 2, 5, 10, 15, 20, 25, 50, 100 e 200.

A escolha dos tempos de duração consiste em esforço de definição do período de permanência do evento mais crítico à bacia, resposta que depende das características da própria unidade hidrográfica. Os períodos de retorno, por outro lado, possuem caráter menos aleatório, sendo que cada intervalo probabilístico levou em consideração, além do próprio detalhamento da informação, dois critérios fundamentais: um relativo à análise hidromordinâmica da magnitude das inundações, e outro voltado ao dimensionamento de obras hidráulicas, conforme o quadro 12:

QUADRO 12 - Parâmetros hidromorfodinâmicos e de obras hidráulicas utilizados para seleção dos *Trs*.

<i>Tr</i>	Resposta hidromorfodinâmica esperada ¹	Dimensão de obra hidráulica
Anualmente	O NA atinge e pode superar as margens plenas	Microdrenagem: canaletas e sarjetas.
2 anos	O NA atinge o limite da planície de inundação	Microdrenagem: canaletas, sarjetas, bueiros e bocas de lobo.
5 anos	O NA submerge a planície de inundação e mantém coluna delgada de água	Microdrenagem: canaletas, sarjetas, bueiros e bocas de lobo.
10 anos	O NA pode atingir o limite do primeiro nível de terraço (se houver)	Microdrenagem: canaletas, sarjetas, bueiros, bocas de lobo e pequenas travessias.
20 anos	O NA pode atingir o limite do primeiro nível de terraço (se houver)	Microdrenagem e macrodrenagem: canaletas, sarjetas, bueiros, bocas de lobo, tubulações e travessias.
25 a 50 anos	O NA pode superar o limite do primeiro nível de terraço (se houver) e atingir níveis terraceados superiores.	Macrodrenagem: extravasores, travessias, tubulações, canalizações, tamponamentos, retificações e pontes (em áreas rurais)
100 anos	O NA pode superar o limite do primeiro nível de terraço (se houver) e suplantam níveis de terraços superiores.	Macrodrenagem: extravasores, vertedouros de grandes reservatórios, travessias, tubulações, canalizações, tamponamentos, retificações e pontes (em áreas urbanas)
200 anos	O NA pode superar o limite do primeiro nível de terraço (se houver) e suplantam níveis de terraços superiores.	Macrodrenagem: extravasores, vertedouros de grandes reservatórios, travessias, tubulações, canalizações, tamponamentos, retificações e pontes (em áreas urbanas)

¹As respostas hidromorfodinâmicas esperadas variam de acordo com as condições morfométricas e conforme a condição de mudança por alterações antrópicas presente na bacia hidrográfica. Estas informações constituem valores teóricos assumidos preliminarmente.

A partir destes *Trs* e *td* escolhidos, obteve-se a família de curvas IDF para a cidade de São Paulo, a partir das quais se derivou o total pluviométrico (*R* em mm) nos modelos hidrológicos. A produção dessas informações foi realizada em SIG, sendo que a derivação dos dados de declividade e comprimento de rio da BHTP se baseou em informações de cartografias sistematizadas dos levantamentos topográficos 1:10.000 da Emplasa.

Por último, as informações de permeabilidade da superfície relativas à geração de deflúvio (CN) foram extraídas do mapa de uso da terra de 2011, com suporte em análise de campo.

(b) Sistematização dos dados e dos resultados da modelagem VTC-SCS

As informações de terreno relativo às dimensões da BHTP e do curso d'água principal foram tratadas em SIG, onde se buscou precisão das variáveis. Da mesma maneira, os valores de CN que derivam do uso da terra na bacia foram igualmente calculados nesta plataforma, conforme se ilustra na figura 6.

FIGURA 6 - Reclassificação do uso da terra de acordo com as categorias propostas pelo SCS, para determinação do CN. Exemplo de fluxo de trabalho em SIG.

A sistematização, consistência e tratamento dos dados de precipitação utilizados na caracterização do regime pluviométrico, foram elaboradas em planilhas de cálculo do Excel. Da mesma forma, a obtenção da família de curvas IDF, as demais variáveis do modelo Ven Te Chow-SCS, os resultados das vazões de pico e os hidrogramas de cheia foram, igualmente, sistematizados em planilhas.

Os resultados obtidos para os dois cenários e os diferentes tempos de retorno e duração das chuvas são apresentados em tabelas e gráficos definidos a cada análise realizada.

2.2.3.3. Modelagem chuva-vazão Hidrograma Unitário Triangular-SCS

A aplicação desta metodologia para obtenção de vazão extrema e hidrograma de projeto foi inteiramente realizada no software ABC6, conforme detalhado no apêndice A (CD-ROM). A seguir, descreve-se a configuração dos parâmetros de cálculo, a escolha dos métodos de transformação e entrada dos valores necessários à rodagem do modelo, bem como a exportação de seus resultados ao Excel.

(a) Parâmetros de entrada da modelagem hidrológica HU-SCS (ABC6)

A primeira fase da modelagem no ABC6 é a configuração dos parâmetros básicos de cálculo, a saber: (i) o intervalo de discretização de cálculo (ou passo de cálculo), da precipitação e do hidrograma; (ii) o período de retorno no caso de utilização de equação de

chuva intensa para produção de uma tormenta sintética de projeto; e (iii) o método de cálculo da chuva excedente e do hidrograma de projeto.

Para a presente pesquisa definiu-se 10 minutos como tempo de discretização, considerou-se os mesmos períodos de retorno utilizados na modelagem Ven Te Chow-SCS (2, 5, 10, 15, 20, 25, 50, 100 e 200), e escolheram-se os métodos SCS para chuva excedente, e hidrograma triangular para o hidrograma de cheia.

Configurados os parâmetros de cálculo, iniciou-se a entrada dos valores básicos, os quais são divididos em três etapas: dados da bacia hidrográfica, dados de precipitação e valores de referência para cálculo da infiltração. Os dados utilizados constam no quadro 13.

QUADRO 13 – Dados de entrada utilizados na geração do pico de vazão e hidrograma de cheia pelo ABC6.

Aba	Campo	Subcampo	Entrada	
			1962	2011
Dados da bacia	Características	Área (km ²)	9,02	9,02
		Área impermeável (%)	0	77
		Área diretamente conectada (%)	0	70
		CN	79	93
	Tempo de concentração	Equação	Dooge	Kirpich I
		Comprimento do talvegue (m)	6965	6963,6
		Declividade (m/km)	9,76	9,76
		Rugosidade de retardo	0,06	0,007
		n de Manning (composto)	0,21	0,21
		Tempo de concentração (h)	1,97	1,77
	Dados do canal	Comprimento (m)	6965	6963,6
		Velocidade (m/s)	1,81	1,47
		Tempo de trânsito	1,31	1,31
Precipitação	Chuva Sintética	IDF - CTH/DAEE	300 minutos	
Infiltração	CN-SCS	Condição de umidade II	79	93

Valores morfométricos como área, extensão e declividade do canal principal foram obtidos a partir da cartografia sistemática, com a introdução de dados restituídos das morfologias fotointerpretadas para o cenário de 2011. Os percentuais de impermeabilidade e áreas conectadas ao canal, bem como o CN, foram obtidos, por sua vez, dos mapeamentos de uso da terra. Por fim, a rugosidade de retardo e o valor de n Manning composto (bacia hidrográfica e canal) foram estimados a partir das possibilidades de equalização do programa, baseado nas observações de imagens de satélite e das avaliações de campo. As demais entradas foram calculadas automaticamente pelo modelo ou deixadas nos valores padrões do software. A figura 7 ilustra a interface de introdução dos dados básicos no ABC6.

FIGURA 7 - Interface de configuração dos dados de retardo da bacia e de n de Manning composto no ABC6.

Além da agilidade no processamento das informações, as vantagens de utilização do ABC6 estiveram relacionadas à existência de equações de interesse no banco de dados do programa, a seu ambiente interativo e amigoso, e ao acesso gratuito.

O tratamento temporal da precipitação no ABC6 pode ser realizado considerando chuvas empíricas ou sintéticas construídas a partir de IDF's. O software ainda utiliza a metodologia de blocos alternados para construção das colunas de chuva, considerando tempos de retorno determinados, intervalos de discretização e a duração do evento.

Para a construção do hidrograma de cheia, o software considerou a metodologia de hidrograma unitário triangular, conforme descrito no apêndice A (CD-ROM). Para este resultado, os valores de tempo de duração do bloco (equivalente à discretização do cálculo), o tempo de concentração da bacia hidrográfica e a magnitude da precipitação são os parâmetros básicos utilizados para determinar o HU e o hidrograma final.

(b) Sistematização dos dados e dos resultados da modelagem HU-SCS

Após todos os parâmetros terem sido corretamente configurados no ABC6, as simulações de vazão de pico e do hidrograma excedente foram realizadas e seus resultados lidos e analisados nas interfaces de saídas do próprio software.

Contudo, para facilitar a visualização e manipulação dos dados de resposta, utilizou-se da interoperabilidade do programa para exportar as simulações às planilhas *Excel*, onde foram elaborados os hidrogramas de cheia para cada condição de td , Tr e cenário simulado; e selecionadas as vazões de pico produzidas em cada condição modelada.

Este procedimento foi fundamental para, posteriormente, ingressar os dados de vazão de pico no HEC-RAS, satisfazendo um dos níveis de informação necessários à simulação do escoamento permanente na modelagem hidráulica.

2.2.3.4. Aplicação dos modelos hidrológicos e análises comparativas dos resultados

Uma vez obtidos os resultados de pico de vazão e os hidrogramas de cheia pelos dois métodos, comparou-se os valores obtidos em cada um, para avaliar a criticidade frente às mesmas condições de entrada de água e de configuração da superfície.

Embora ambas as metodologias chuva-vazão constem nas diretrizes de projetos de dimensionamento de obras hidráulicas da Prefeitura do Município de São Paulo, existem poucos estudos dedicados à comparação entre os resultados produzidos pela modelagem Ven Te Chow-SCS e resultados de outras modelagens chuva-vazão, como, por exemplo, a do hidrograma triangular do SCS. Tanto o modelo Ven Te Chow-SCS como o HU-SCS são recomendados para dimensionamento de obras de drenagem em bacias hidrográficas de pequeno a médio porte.

2.2.3.5. Modelagem hidráulica

A modelagem hidráulica constitui o terceiro e último conjunto de procedimentos envolvidos na parte 2 desta pesquisa, e objetivou, especificamente, a obtenção do NA máximo em cada situação de chuva de projeto e do limite das manchas de inundação geradas. Para tanto, escolheu-se o modelo hidráulico computacional HEC-RAS e sua extensão HEC-GeoRAS, desenvolvidos pelo corpo de engenheiros do exército americano. Estes softwares são de uso livre e suas aplicações são amplamente realizadas em estudos hidráulicos na literatura de interesse, tanto com a finalidade de pesquisa pura, quanto em trabalhos técnicos.

A modelagem hidráulica no HEC-RAS exige duas naturezas de dados básicos para iniciar uma simulação: geométrica, abrangendo às seções transversais a serem modeladas, e de condições de contorno.

Primeiramente, contudo, duas análises antecederam a simulação propriamente dita e objetivaram a caracterização das seções transversais. De modo geral, estas análises constituíram-se de avaliações hidrogeométricas e da capacidade de débito de seções transversais de dois tipos: naturais (levantadas em campo) e projetadas para retificação de um trecho do canal. A partir destes dados, avaliou-se a capacidade de atendimento das requisições hidráulicas nas vazões críticas, modeladas nas simulações hidrológicas.

As seções transversais do conduto utilizadas para estas análises foram fornecidas pelo DAEE e pela Hidrostudio, e constam no projeto de retificação de trecho do córrego Três Pontes. Foram fornecidas 30 seções transversais sendo: 14 seções naturais levantadas, 14 seções projetadas para retificação nos mesmos locais das seções naturais, 1 seção natural típica e 1 seção projetada típica.

Para a modelagem da área de inundação no HEC-RAS, no entanto, o detalhamento dos limites inundáveis é mais minucioso quanto maior o número de seções transversais incluídas. Assim, houve necessidade de ampliar o número de seções do canal e do vale para além das seções fornecidas pelo DAEE e Hidrostudio. Para tanto, utilizou-se da extensão HEC-GeoRAS a qual permitiu derivar e inserir: (i) as seções transversais de vale ao longo do trecho do canal compreendido na planície de inundação; (ii) a largura do conduto em cada seção; e (iii) o número de Manning do canal e das planícies adjacentes a cada seção.

Além dos aspectos geométricos, no HEC-RAS foram introduzidas, ainda, as condições de contorno e de configuração dos perfis simulados de fluxo permanente necessários aos cálculos dos NAs máximos. A justificativa para a escolha do software HEC-RAS e seus métodos de cálculo foram descritos no apêndice A (CD-ROM).

Uma vez obtidos os resultados de NAs máximos, foi possível estabelecer a dimensão espacial da inundação por meio do mapeamento da mancha de inundação, cujo limite foi exportado ao SIG, possibilitando a comparação com os resultados da abordagem geomorfológica antropogênica.

Durante as simulações hidrológicas e hidráulicas, foi realizada uma série de análises preliminares, relacionadas aos dados de entrada e parâmetros das modelagens, identificando possíveis comparações, correlações e complementariedades à abordagem geomorfológica.

(a) Obtenção dos parâmetros de entrada da modelagem hidráulica

Seção transversal típica e estimativa da capacidade de débito

Conforme mencionado anteriormente, as seções transversais do canal foram requeridas junto ao DAEE e à Hidrostudio, os quais forneceram 30 seções transversais levantadas para o terço final do canal, ao longo de um trecho de 1.000m imediatamente a jusante da ponte da Estrada Valter da Silva Costa, entre o Jardim Romano (São Paulo) e o Jardim Fiorelo (Itaquaquecetuba) e à montante do polder Jardim Romano, conforme apresentado na figura 8, abaixo.

FIGURA 8 - Localização das seções transversais levantadas para o projeto de retificação de trecho do córrego Três Pontes.

A partir das seções projetadas e levantadas, o projetou do DAEE derivou as seções típicas do canal, as quais são apresentadas a seguir (TABELA 2 e FIGURA 9).

TABELA 2 – Valores de X e Y das lamelas de cada uma das seções típicas obtidas.

Canal natural 1962		Canal projetado 2011	
X(m)	Z(m)	X(m)	Z(m)
0.0	731.7	0.0	733.0
0.5	731.7	0.0	729.6
0.7	731.1	0.4	729.2
1.1	730.0	1.9	729.1
1.7	729.5	8.1	729.1
2.3	729.3	9.6	729.2
3.2	729.2	10.0	729.6
4.1	729.2	10.0	733.0
5.5	729.3		
7.2	729.3		
9.7	729.4		
10.6	729.6		
11.3	729.8		
11.7	730.1		
12.0	730.5		
12.2	730.9		
12.5	731.6		
13.3	731.7		

Fonte: DAEE/Hidrostudio, 2010.

FIGURA 9 – Seções transversais típicas: natural (contínua) e projetada (tracejada).

Para análise da capacidade de débito utilizou-se a equação de Chèzy-Manning (Equação 10) por meio de macro desenvolvida em *Excel* pelo professor Dr. Rodolfo Scarati Martins do Departamento de Hidráulica da Escola Politécnica da USP no contexto da disciplina de Hidrologia Fluvial. Para esta rotina de cálculo, os valores hidrogeométricos de cada lamela e da seção são obtidos considerando qualquer valor de NA escolhido e os dados das respectivas seções. A partir destas informações, e definindo-se a declividade média do trecho e a rugosidade Manning média, aferiu-se a capacidade de vazão para diferentes níveis d'água no canal.

$$V = \frac{Rh^{2/3} \cdot s^{1/2}}{n} \dots\dots\dots \text{EQUAÇÃO 10}$$

Em que: V é a velocidade média do fluxo, Rh é o raio hidráulico da seção molhada, s é a declividade da linha de energia (substituída pela declividade média do assoalho na seção) e n é o número de Manning estimado.

Seções de vale e extrapolação da seção típica (HEC-GeoRAS)

As seções de vale foram obtidas pela extensão HEC-GeoRAS a partir de um MDT baseado em interpolação do tipo *Triangulated Irregular Network* (TIN), cuja utilização para derivação das seções de vale consiste em um dos pré-requisitos da extensão.

Derivaram-se 124 seções transversais de vale, homogeneamente distribuídas ao longo de todo trecho de planície fluvial do canal principal da BHTP, conforme a figura 10.

FIGURA 10 - Localização das seções transversais obtidas pelo HEC-GeoRAS ao longo do trecho de planície do canal principal.

As seções de vale foram traçadas após a definição do curso principal (*flowpath* central), dos limites máximos por onde se estima preliminarmente que a água possa fluir em situações de transbordamento do canal (*flowpaths* laterais), e dos *bankflows* do canal. A distância dos *bankflows* a cada seção corresponde exatamente à separação das margens plenas do conduto, de forma que esta distância pôde ser aferida pela largura aproximada do canal a partir da imagem de satélite de alta resolução (FIGURA 11).

FIGURA 11 - Exemplo de obtenção e plotagem de seção de vale obtida pelo HEC-GeoRAS no ArcGIS, com estimativa visual da largura das seções.

O traçado de cada uma das seções foi obtido considerando: (i) distribuição com espaçamento uniforme entre as seções imediatamente a montante e a jusante; e (ii) largura representativa das morfologias do vale, do canal principal e de vales de tributários. Salienta-se que para produzir a mancha de inundação, as seções não podem se intersectar, evitando, assim, erros computacionais na extrapolação do NA máximo sobre as adjacências do canal fluvial. Demais regras do software foram seguidas conforme o tutorial disponível.

Uma vez obtidas todas as seções a partir do TIN, os dados geométricos e o traçado da rede simulada foram exportados para o HEC-RAS, onde um novo tratamento dos dados foi realizado de modo a incluir a seção típica do canal nas seções de vale.

(b) Pré-tratamento das informações geométricas no HEC-RAS

Inseridas as informações hidrogeométricas do SIG no HEC-RAS, a etapa seguinte constituiu-se de dois procedimentos: a extrapolação da seção típica natural derivada dos levantamentos enviados pelo DAEE a todas as demais seções de vale traçadas no SIG, e a determinação de n de Manning aos trechos de canal e planície de inundação.

A extrapolação foi realizada por meio de proporcionalidade das lamelas à largura e profundidade de cada seção. Em um primeiro momento, a partir dos valores de X e Y das lamelas da seção típica natural, normalizou-se os intervalos espaciais pela largura e profundidade das seções molhadas quando o NA fosse o máximo possível. Considerando-se a largura máxima como 13,3m e a profundidade máxima igual a 2,5m, foi necessário equivaler ambas a 1 e, a partir de relações lineares estabelecidas para os demais valores de X e Y da seção natural típica, obteve-se os valores percentuais equivalentes a cada par XY , conforme ilustra a tabela 3.

TABELA 3 – Coordenadas e valores normalizados de X e Y pela largura e profundidade máximas da seção típica.

Ponto	X	% em X	Y	Y Desnível	% em Y
ME	0.0	0.000	731.7	2.5	1.000
1	0.5	0.038	731.7	2.5	1.016
2	0.7	0.049	731.1	1.9	0.763
3	1.1	0.081	730.0	0.8	0.309
4	1.7	0.124	729.5	0.3	0.129
5	2.3	0.170	729.3	0.1	0.036
6	3.2	0.238	729.2	0.0	0.012
7	4.1	0.304	729.2	0.0	0.000
8	5.5	0.413	729.3	0.0	0.020
9	7.2	0.543	729.3	0.0	0.020
10	9.7	0.725	729.4	0.2	0.076
11	10.6	0.798	729.6	0.3	0.141
12	11.3	0.847	729.8	0.6	0.229
13	11.7	0.881	730.1	0.9	0.345
14	12.0	0.903	730.5	1.3	0.506

Ponto	X	% em X	Y	Y Desnível	% em Y
15	12.2	0.917	730.9	1.6	0.659
16	12.5	0.937	731.6	2.4	0.972
MD	13.3	1.000	731.7	2.5	0.992

O valor de largura do canal nas seções transversais de vale foi obtido diretamente da visualização e pelo traçado dos *bankflows*. A partir desta informação, estimou-se linearmente a profundidade média máxima de cada seção, a partir de uma relação direta entre largura e profundidade, a qual pode ser expressa por:

$$P = \frac{L \cdot 2,5}{13,3} \dots\dots\dots \text{EQUAÇÃO 11}$$

Onde: *P* é a profundidade média máxima da seção a ser desenhada, *L* é a largura máxima estimada entre os *bankflows* pela imagem; 2,5m equivalem à profundidade máxima em metros da seção típica; e 13,3 é a largura máxima em metros da seção típica.

Uma vez obtida a largura e a profundidade máximas de cada seção, foram estabelecidas as relações de distâncias em X e Y, com base na normalização da tabela 3, e extrapoladas as seções, conforme apresentado tabela 4, abaixo, a qual ilustra a adequação da seção típica à seção de vale 5537,55 localizada no terço de montante do canal.

TABELA 4 – Exemplo de planilha de cálculo para inserção da geometria da seção típica natural à seção de vale obtida em SIG.

Seção 5537,55							Set width	
Ponto	L'	L	%X	P	Desnível	%Y		
ME	107.87	0.00	0.000	760	1.160	1.000	13.3	2.5
1	108.10	0.23	0.038	759.981	1.179	1.016	6.26	1.160
2	108.18	0.31	0.049	759.725	0.885	0.763		
3	108.38	0.51	0.081	759.199	0.359	0.309		
4	108.64	0.77	0.124	758.989	0.149	0.129		
5	108.93	1.06	0.170	758.882	0.042	0.036		
6	109.36	1.49	0.238	758.854	0.014	0.012		
7	109.77	1.90	0.304	758.840	0.000	0.000		
8	110.46	2.59	0.413	758.863	0.023	0.020		
9	111.27	3.40	0.543	758.863	0.023	0.020		
10	112.41	4.54	0.725	758.929	0.089	0.076		
11	112.87	5.00	0.798	759.003	0.163	0.141		
12	113.17	5.30	0.847	759.106	0.266	0.229		
13	113.38	5.51	0.881	759.241	0.401	0.345		
14	113.52	5.65	0.903	759.427	0.587	0.506		
15	113.61	5.74	0.917	759.604	0.764	0.659		
16	113.74	5.87	0.937	759.967	1.127	0.972		
MD	114.13	6.26	1.000	759.991	1.151	0.992		

Obs.: Ponto corresponde ao número da lamela, sendo ME a margem esquerda e MD a margem direita; L' é a coordenada X (equivalente a metro) do limite do *bankflow* esquerdo contada a partir do início de uma dada seção de vale; L é a largura das lamelas da seção do canal já extrapoladas; %X é o valor percentual das larguras das

lamelas da seção natural típica utilizada para a extrapolação; P é a cota da profundidade de cada lamela da seção de transversal já extrapolada; “Desnível” é a profundidade em metros a partir do ponto mais fundo da seção já extrapolada; %Y é o valor percentual das profundidades das lamelas da seção natural típica utilizada para a extrapolação; e o Set Width é a matriz de cálculo da extrapolação, onde se inseriu o valor de largura total e de profundidade máxima da seção a ser extrapolada.

Na tabela 4, L corresponde às distâncias em X estabelecidas a partir da normalização %X, enquanto a coluna “Desnível” refere-se às distâncias em Y estabelecidas a partir da normalização dada por %Y. Ajustada proporcionalmente a geometria das lamelas a partir da largura, a introdução da seção do canal na topografia do vale foi feita tomando-se: (i) X inicial como L’ mais baixo, que corresponde à distância em metros desde o início da seção do vale, até o primeiro *bankflow*, considerando a extensão crescente da esquerda para a direita; e (ii) Y inicial com o valor de P mais elevado, que corresponde à cota limite das margens plenas. Um exemplo de seção transversal tratada no HEC-RAS pode ser visualizado na figura 12.

FIGURA 12 – Seção transversal inserida no HEC-RAS a partir de dados do SIG. Exemplo de tratamento das informações geométricas no software.

A tabela da esquerda na figura 12 contém as informações das coordenadas X e Y da seção desenhada à direita. Os campos à direita da tabela são, de cima para baixo, as distâncias em metro da seção enfocada até a próxima seção de jusante, considerando o fluxo central e os laterais; os valores de rugosidade de Manning atribuídos ao canal e às planícies; as distâncias das posições das margens plenas da esquerda para a direita do desenho; e os coeficientes de contração e expansão nas simulações de fluxo permanente, mantidos os valores padrões. Ressalta-se que em virtude da inexistência de longos trechos

retificados no canal principal da BHTP, apenas a seção típica natural foi extrapolada para o restante da bacia.

Constituídas as 124 seções transversais do conduto, ajustadas às seções dos vales, atribuíram-se os valores de rugosidade dos *flowpaths* central e laterais. Para tanto, uma varredura visual detalhada destes setores foi realizada, determinando-se, para cada seção, um valor de rugosidade a partir das características predominantes de uso da terra, conforme as categorias e os valores contidos na tabela 5.

TABELA 5 – Valores de rugosidade n de Manning para o conduto e para as planícies adjacentes em cada revestimento predominante verificado.

Setor	Revestimento predominante	n de Manning
Canal	Condição média	0.020
	Pavimento/Urbano	0.025
Planície	Solo Nu/Exposto	0.051
	Grama/pasto	0.073

Algumas simulações foram realizadas para analisar a adequação dos valores de Manning atribuídos. Em casos específicos, os fluxos superficiais que ocorrem na planície estiveram em condições de rugosidades menores do que no canal, devido ao pavimento urbano de recobrimento e à falta de estruturas hidráulicas em trechos do conduto, resultando em velocidades maiores na planície do que no canal.

Configuração dos parâmetros de fluxo permanente

Por fim, para concluir a entrada de dados no HEC-RAS, foram introduzidos os valores de perfis de fluxo permanente simulados e as informações de contorno.

Os valores de perfis do fluxo permanente referiram-se aos picos de vazão obtidos pela modelagem hidrológica HU-SCS aplicada na bacia hidrográfica. Com o intuito de detalhar a simulação, as vazões de pico foram recalculadas, considerando, desta vez, subunidades da BHTP, com tamanho de, no máximo, 1.5km². A divisão destas subunidades consta na figura 13, abaixo.

O cálculo das vazões de pico para cada subunidade hidrográfica desenvolvido no software ABC6, considerando as metodologias de produção de chuvas sintéticas, com base na IDF de São Paulo CTH/DAEE, e nos procedimentos de cálculo de chuva excedente e hidrograma unitário triangular do SCS, seguiu as mesmas etapas de simulação realizadas modelagem chuva-vazão.

A subdivisão da bacia hidrográfica foi necessária para introduzir a variação dos picos de vazão ao longo do perfil longitudinal do conduto principal para eventos de mesmas intensidades, e, desta maneira, viabilizar a simulação de fluxo permanente.

As características das subunidades hidrográficas obtidas para simulações dos picos de vazão em 1962 e 2011 constam, respectivamente, nas tabelas 6 e 7.

FIGURA 13 – Sub-bacias hidrográficas consideradas para o cálculo das vazões de pico utilizadas nas simulações de fluxo permanente no HEC-RAS.

A delimitação das sub-bacias hidrográficas foi balizada por três aspectos fundamentais, na seguinte ordem de importância: (1) coerência topográfica para delimitação dos interflúvios; (2) separação de subunidades com áreas similares; e (3) abrangência de quantidade similar de seções transversais por cada subunidade. Estes critérios foram primordiais à modelagem hidrológica no ABC6, onde os valores dos parâmetros de entrada são definidos, quase integralmente, pelo usuário, como, por exemplo, as informações morfométricas, cuja obtenção precisa e detalhada é anterior à modelagem.

As tabelas 6 e 7 relacionam os parâmetros básicos das subunidades delimitadas para os cenários de 1962 e 2011, respectivamente. Para tanto, houve tratamento de uma série de informações no SIG.

TABELA 6 - Dados das subunidades hidrográficas para modelagem hidrológica e hidráulica considerando o cenário de 1962.

Sub	Área	S lenght	slope	CN	% umperv.	¶s cotas	Rugos. retardo	Manning	Eq. tc
1	0.76	1217.50	30.11	78	0.00	36.66	0.060	0.22	Dooge
2	0.14	252.20	7.95	76	0.00	1.89	0.060	0.22	Dooge
3	0.88	648.20	5.25	81	17.20	3.40	0.060	0.22	Dooge
4	0.98	455.60	7.16	79	12.50	3.26	0.060	0.22	Dooge
5	0.78	433.70	6.31	78	0.00	2.74	0.060	0.22	Dooge
6	1.46	328.60	3.14	80	0.20	1.03	0.060	0.22	Dooge
7	0.98	655.20	6.62	77	0.00	4.34	0.060	0.22	Dooge
8	1.00	506.30	6.70	78	2.20	3.39	0.060	0.22	Dooge
9	0.87	658.40	3.77	78	0.00	2.48	0.060	0.22	Dooge
<u>10</u>	<u>0.55</u>	<u>590.50</u>	<u>4.12</u>	<u>83</u>	<u>0.00</u>	<u>2.43</u>	<u>0.060</u>	<u>0.22</u>	<u>Dooge</u>
<u>11</u>	<u>0.62</u>	<u>1241.46</u>	<u>6.01</u>	<u>82</u>	<u>0.00</u>	<u>6.79</u>	<u>0.060</u>	<u>0.22</u>	<u>Dooge</u>

TABELA 7 - Dados da subunidades hidrográficas para modelagem hidrológica e hidráulica considerando o cenário de 2011.

Sub	Área	S lenght	slope	CN	% umperv.	¶s cotas	Rugos. retardo	Manning	Eq. tc
1	0.76	1217.50	30.11	83.85	81.31	36.66	0.007	0.19	Kirpich I
2	0.14	252.20	7.95	82.49	75.39	1.89	0.007	0.19	Brandby-Willians
3	0.88	648.20	5.25	82.77	68.83	3.40	0.007	0.19	Kirpich I
4	0.98	455.60	7.16	81.89	86.71	3.26	0.007	0.19	Kirpich I
5	0.78	433.70	6.31	84.02	55.35	2.74	0.007	0.19	Kirpich I
6	1.46	328.60	3.14	86.33	72.01	1.03	0.007	0.19	Kirpich I
7	0.98	655.20	6.62	85.98	80.90	4.34	0.007	0.19	Kirpich I
8	1.00	506.30	6.70	90.82	80.89	3.39	0.007	0.19	Kirpich I
9	0.87	658.40	3.77	86.49	75.33	2.48	0.007	0.19	Kirpich I
<u>10</u>	<u>0.55</u>	<u>590.50</u>	<u>4.12</u>	<u>90.80</u>	<u>58.51</u>	<u>2.43</u>	<u>0.007</u>	<u>0.19</u>	<u>Kirpich I</u>
<u>11</u>	<u>0.62</u>	<u>1241.46</u>	<u>6.01</u>	<u>86.90</u>	<u>65.74</u>	<u>6.79</u>	<u>0.007</u>	<u>0.19</u>	<u>Kirpich I</u>

Obs: "Sub" referem-se às subunidades definidas para simulação no ABC6; área é a área em km² de cada "Sub"; S lenght é o comprimento do canal principal em metros no trecho; slope é a declividade média do trecho em m/km; CN é o parâmetro SCS de infiltração médio ponderado; % umperv é o percentual de área totalmente impermeabilizada da bacia, cujo CN equivale a 100; ¶s cotas é o desnível máximo de cotas do assoalho do canal entre o início e a saída do trecho na subunidade; Rugos. Retardo é a rugosidade de retardo média assumida para o canal; Manning é a rugosidade composta de Manning para os fluxos superficiais; Eq. tc é a equação escolhida para definição do tempo de concentração. As equações escolhidas para cálculo do tc não utilizam os parâmetros de rugosidades de retardo e Manning em seus cálculos, por isso estes são apresentados apenas como referências ao leitor sobre a condição média de obstrução do fluxo. As linhas sublinhadas correspondentes às sub-bacias 10 e 11, são destacadas devido às suas contribuições hidrológicas que ocorrem a jusante da última seção transversal considerada na modelagem hidráulica.

A divisão em 11 subunidades hidrográficas, bem como, a derivação de picos de vazão para cada uma dessas subunidades, foi necessária para maximizar o potencial do HEC-RAS nas simulações hidráulicas. O software permite a simulação de mais de um perfil de vazão ao mesmo tempo e a atribuição de diferentes valores de pico para trechos distintos do canal. Assim, visando à minimização de erros, calculou-se no ABC6 os valores de vazões extremas das subunidades de 1 a 11, considerando os mesmos Trs utilizados ao longo das modelagens hidrológicas desta pesquisa. No HEC-RAS, às seções localizadas dentro de cada uma das subunidades, foram introduzidos valores de vazão de pico obtidos nas respectivas modelagens hidráulicas.

Para concluir a preparação da modelagem hidráulica, foi necessário inserir as condições de contorno da BHTP. Para uma simulação de cheia qualquer, ao menos uma condição de contorno deve ser inserida, ou a montante ou a jusante. O HEC-RAS permite a introdução de informações de ambos, conforme ilustrado na figura 14.

FIGURA 14 – Exemplo de janela para introdução das informações de contorno e perfis a serem simulados no fluxo permanente.

Como condição de contorno a montante definiu-se a declividade crítica, e à jusante uma curva-chave estimada a partir da análise de capacidade de vazão da seção típica natural, baseada na equação de Chèzy-Manning.

Concluída a introdução de todos os parâmetros, iniciou-se a simulação de fluxo permanente, tendo sido necessário configurar o tipo de regime modelado, o qual, para este caso, definiu-se como misto. Uma vez rodada corretamente a simulação, utilizou-se da extensão *GIS Tools\RAS Mapper*, para derivar informações espaciais referentes às variações de NA em cada cenário simulado. Para esta derivação, o programa exige, além dos resultados dos cálculos, a introdução de um Modelo Digital de Elevação (no formato .flt) da área a ser simulada, com referências espaciais iguais aos demais dados utilizados na modelagem, devendo, portanto, utilizar do mesmo *datum* e projeção para coincidir com as seções transversais.

Os resultados espaciais derivados das saídas da modelagem estão relacionados às variáveis possíveis de serem calculadas com os dados de entrada e que possuem características espaciais. Assim, a extensão permite obter mapas de limite da mancha de inundação, da profundidade atingida por esta e do cisalhamento do escoamento em cada ponto de seu interior, bem como da energia de fluxo da água e velocidade do fluxo em sua

respectiva área. Os resultados baseiam-se todos nos valores de rugosidade de Manning configurados para o canal e planície fluvial.

Por fim, os mapeamentos produzidos foram exportados do HEC-RAS para o SIG, onde se utilizou os limites de manchas de inundação e os dados de profundidades de cada mancha simulada, para estimativa das áreas e volumes das inundações.

(c) Sistematização dos dados e análise dos resultados da modelagem hidráulica

A partir das simulações hidráulicas foram obtidos resultados referentes: (i) à variação do NA máximo ao longo do canal de acordo com os picos de vazão em diferentes Trs e conforme a configuração das declividades; (ii) os limites de inundação atingidos na planície; e (iii) características hidrodinâmicas que auxiliam no entendimento e explicação destas variações no conduto, como velocidade do fluxo (m/s), área molhada (m²), largura máxima molhada e o coeficiente de Froude do fluxo para cada seção.

Os resultados foram salvos em arquivos de texto a parte e podem ser visualizados em tabelas, gráficos e animações 3D disponibilizados pelo próprio programa. Contudo, com a finalidade de tratar a informação derivada do *RAS Mapper* em um SIG e, assim, comparar os resultados das modelagens aos resultados da cartografia morfológica evolutiva aplicada à vulnerabilidade à inundação, as saídas da modelagem hidráulica foram exportadas ao formato *shapefile* e matricial e, então, manipuladas no ArcGIS. Os resultados e cálculos mais refinados foram concluídos em planilhas do *Excel*.

PARTE 3

2.2.4. Procedimentos para comparação e avaliação do potencial de integração entre as abordagens

Constituídos os mapeamentos da abordagem geomorfológica antropogênica e obtidos os resultados das modelagens hidrológicas e hidráulicas, a parte 3 desta pesquisa debruçou-se, primeiramente, sobre os resultados e parâmetros dos modelos hidrológicos, cotejando-os à luz da geomorfologia antropogênica; e, em um segundo momento, sobre os resultados e parâmetros das modelagens hidráulicas, comparando-os aos obtidos nos mapeamentos das morfologias originais e de vulnerabilidade à inundação.

Quanto à modelagem hidrológica Ven Te Chow-SCS, esta análise ocorreu, sobretudo, nas variáveis A (área da bacia), X (fator de deflúvio) e Z (fator de redução de pico), pois em todas, aspectos morfométricos sujeitos à alteração antrópica estão presentes e são, parcial ou totalmente, abrangidos pela geomorfologia antropogênica.

Realizou-se crítica dos parâmetros dos modelos chuva-vazão, particularmente, ao emprego do parâmetro *CN* como determinante à permeabilidade e geração de escoamento superficial concentrado. Esta leitura crítica apoiou-se nas unidades morfológicas complexas definidas e suas tendências hidrológicas superficiais.

Em relação ao modelo hidráulico, priorizou-se (i) a comparação dos limites de morfologias originais de planície às manchas de inundação geradas para o cenário de 1962, e (ii) a comparação entre os limites da carta de vulnerabilidade à inundação e as manchas de inundação produzidas para 2011. As comparações se deram em termos de área inundada, limites e volume correspondentes a cada inundação. Complementarmente, investigações pontuais de campo foram realizadas nos locais específicos da planície de inundação onde os limites obtidos por ambas as metodologias não foram similares, com o intuito de avaliar, empiricamente, quais elementos da ocupação urbana podem ter implicado imprecisões na cartografia de vulnerabilidade à inundação e na modelagem de manchas de inundação.

Foram enumerados quatro tópicos preliminares para análise detalhada da modelagem hidráulica, escolhidos por oferecer condições de emparelhamento e complementação às bases e ao raciocínio da geomorfologia antropogênica. Em ordem de significância:

- (1) Discutiu-se a elaboração das seções transversais de vale pelo HEC-GeoRAS e o potencial de alteração do MDT utilizado, com base nos limites obtidos pela cartografia morfológica original, vislumbrando, em um estudo futuro, a inserção de informações morfológicas em tal instrumento, potencializando a modelagem com informação mais precisas e consistentes obtidas pela restituição morfológica;
- (2) Voltou-se à análise do dado de perfil longitudinal do canal e suas implicações sobre os padrões espaciais de inundação. Neste sentido, notaram-se erros incurtidos nas simulações, em função de degraus produzidos pelo MDT utilizado.
- (3) Deteve-se às possíveis alterações de magnitude das vazões de pico, dos limites e dos volumes das inundações após a introdução de dados morfológicos; e,
- (4) Analisou-se o potencial de contribuição das simulações hidráulicas ao raciocínio da geomorfologia antropogênica, particularmente, quanto às tendências temporais das inundações. Em outras palavras, tratou-se de buscar incrementar as análises geomorfológicas oferecidas pela morfologia antropogênica com os resultados das simulações para os diferentes Trs, fornecendo parâmetro temporal ao mapeamento de vulnerabilidade à inundação.

Com o detalhamento destes quatro aspectos principais, buscou-se introduzir as possibilidades de aproximação e interferência das bases e parâmetros das modelagens

hidrológicas e hidráulicas às constituídas e empregadas pela geomorfologia antropogênica, de modo a indicar caminhos de potencialização de ambas.

3. CARACTERIZAÇÃO REGIONAL DA ÁREA DE ESTUDO

Este capítulo possui como objetivo caracterizar regionalmente a área de estudo, enfocando os aspectos de interesse central aos campos abrangidos pela pesquisa e às metodologias aplicadas. Assim, os aspectos regionais da área de estudo são apresentados em dois grandes blocos: (i) quanto ao sistema físico, em que são descritos elementos de geologia, geomorfologia e climatologia; e (ii) quanto às características antrópicas, no qual são detalhados o processo de urbanização, as características da ocupação urbana e da formação dos bairros abrangidos pela bacia hidrográfica, e incluindo, ainda, um histórico conciso das intervenções realizadas sobre o sistema hidromorfológico ao longo das últimas décadas.

Salienta-se que uma adequada caracterização da área de estudo possibilita, futuramente, o estabelecimento de comparação com outras bacias hidrográficas que estejam em contextos de uso da terra, geológico-geomorfológicos ou climáticos diferentes.

3.1. Sistema físico

3.1.1. Geologia

Os terrenos do sudeste brasileiro são descritos, regionalmente, como um conjunto de serras e morrarias sustentadas por rochas cristalinas, formadas no pré-cambriano e ao longo de reativações crustais recentes, ocorridas no terciário (IPT, 1981).

Marcado pelo Cinturão de Dobramentos do Sudeste do Brasil (CDSB), segundo Hasui et al. (1975), o Brasil de sudeste é composto, majoritariamente, por rochas metamórficas, cristalinas e blocos graníticos de distribuição irregular, cuja orientação geral é E-NE a E-W, sentido do cisalhamento regional da reativação responsável pela gênese do Rift Continental do Sudeste do Brasil (RCSB). Esta feição tectônica tem origem neoproterozóica e constitui uma faixa alongada de cerca de 900km de extensão, estreita e deprimida, abrangendo um corredor que se estende desde o leste do Estado do Paraná até o Rio de Janeiro. Ao longo de sua extensão, originaram-se sucessivas bacias de sedimentação individualizadas e formadas por abatimentos expressivos, dentre as quais, a Bacia de São Paulo, onde se encontra a área de estudo.

Originalmente, a Bacia de São Paulo se caracteriza como um *hemigráben* (fossa tectônica semi basculada), controlado por falhas normais nas zonas de cisalhamentos pré-existentes localizadas na borda norte da bacia sedimentar, entre os municípios de Embu-

Guaçu e Arujá. Em função da reativação cenozóica destes falhamentos, os pacotes terciários foram retrabalhados, resultando em soerguimentos e abatimentos localizados (RICCOMINI, 1989). Esta dinâmica de falhamentos deu origem às faixas de dobramentos São Roque e Açungui. O primeiro, disposto a norte da Bacia de São Paulo, composto pelos Grupos São Roque, Serra do Itaberaba e Amparo; e o segundo, ao sul, pelo Grupo Açungui, subdividido em Complexo Embu e Complexo Costeiro (RODRIGUEZ, 1998). Em meio a Bacia de São Paulo, ocorrem, ainda, suítes graníticas, conforme apresentado abaixo na figura 15.

FIGURA 15 – Unidades litoestratigráficas da RMSP (sem escala).

Fonte: DNPM/CPRM (1991)

A área de estudo está localizada no contato da Bacia Sedimentar de São Paulo com os conjuntos serranos cristalinos do Complexo Embu, conforme se observa no mapa da figura 16. O embasamento pré-cambriano é representado pelo Complexo Embu e compõe-se por rochas com graus diversos de metamorfismo, incluindo migmatitos, gnaisses, xistos, filitos, quartzitos e anfibolitos. Nas principais cabeceiras da bacia hidrográfica estudada estão presentes micaxistos ou meta-arenitos (PEAmx) e migmatitos e gnaisses graníticos (PEAmg).

Segundo Riccomini et al. (2004), os sedimentos terciários que formam a Bacia de São Paulo são compostos de depósitos coluviais e colúvio-aluvionares do Grupo Taubaté e, mais especificamente, das Formações Resende, Tremembé e São Paulo. A primeira constitui os depósitos basais e laterais do Grupo Taubaté e representa mais de 80% da composição sedimentar da Bacia de São Paulo. Sua formação está relacionada à ação de sistemas de leques aluviais associados a planícies aluviais de rios entrelaçados, com origem estimada no oligocênio.

FIGURA 16 – Geologia da bacia hidrográfica do córrego Três Pontes.

A Formação lacustre oligocênica Tremembé é composta de argilas maciças possivelmente originadas em condição semiárida. Pressupõe-se tratar de ambientes lacustres, dada a migração lateral do sistema de leques. Por fim, a Formação São Paulo decorre de sistema fluvial meandrante, com idade possivelmente oligocênica, sendo responsável por pacotes arenosos de granulometria média a fina (SUGUIO et al. 1971)

Luz (2010) enumera, com base no estudo de Riccomini, Coimbra e Takyia (1992)⁶, as principais litologias produzidas por processos hidromorfodinâmicos típicos de sistemas meandantes: (i) arenitos grossos e conglomeráticos, em geral com estratificação cruzada e base erosiva típicas de depósito de canal; (ii) siltitos e argilitos laminados pela colmatação de alças meândricas abandonadas, (iii) arenitos médios a grossos em bolsões dispersos originados de rompimentos de diques, e (iv) sedimentos finos, uniformemente dispostos e laminados como fruto da deposição em planície de inundação.

Mencionam-se, ainda, os Sedimentos Quaternários, recentes em termos geológicos, e compostos de sedimentos de origem pleistocênica-holocênica, que abrangem pavimentos delgados de colúvios, aluviões e coberturas neocenozóicas, distribuídos ao longo das planícies de inundações dos principais rios e córregos. Compreendem colúvios de textura argilo-arenosa, podendo ser encontradas lentes argilosas e conglomerados de matriz argilo-arenosa.

Localmente, a distribuição das formações oligo-holocênicas e pré-cambrianas na BHTP é apresentada na figura 16. Nas cabeceiras do canal principal predominam rochas metamórficas, incluindo xistos e meta-arenitos, que abrangem, aproximadamente, 2,7km² (30%) da área.

O leste da bacia hidrográfica, em um trecho de 0,8km² (10% da bacia) que se estende nos interflúvios de leste, rochas migmatíticas e gnaissicas compõem o setor de maior dissecação da unidade, com maiores amplitudes topográficas e menores distâncias interfluviais. Aproximadamente 4km² (45% da bacia) são compostos de sedimentos terciários localizados no conjunto de vertentes situados na metade de jusante da bacia hidrográfica. Por fim, ao longo dos terços médio e inferior do córrego Três Pontes e seus afluentes, predominam os pacotes quaternários relativos aos processos flúvio-aluvionares recentes da bacia hidrográfica.

⁶ RICCOMINI, C.; COIMBRA, A. M.; TAKYIA, H. Tectônica e Sedimentação na Bacia de São Paulo. In: Problemas geológicos e geotécnicos na Região de São Paulo. São Paulo: Associação Brasileira de Águas Subterrâneas (ABAS)/Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE)/Sociedade Brasileira de Geologia (SBG), 1992, p. 21-45.

3.1.2. Geomorfologia

Regionalmente, os limites da atual GSP abrangem dois compartimentos de relevo condicionados pelos substratos geológicos, conforme descrevem Batista (2003) e Rodrigues (2004): (1) os morros e serras alongadas estruturadas sobre o cristalino; e (2) as colinas terciárias e amplas planícies fluviais.

De acordo com Ross e Moroz (1997), o primeiro compartimento se associa, em termos gerais, à morfoestrutura do Cinturão Orogênico do Atlântico, originado da movimentação crustal, da reativação de falhas e dobramentos pré-cambrianos; enquanto o segundo, insere-se nas Bacias Sedimentares Cenozóicas relativas a abatimento de blocos.

Dentro do conjunto morfoestrutural do Cinturão Orogênico, caracterizado por serras alongadas de topos convexos, esporões secundários delineados por cumeadas extensas e morros convexizados separados por planícies fluviais restritas ou alveolares, é definida a Morfoescultura do Planalto Atlântico, que contempla as serras da Cantareira, de São Roque, do Mar, de Paranapiacaba e o Planalto de Paraibuna.

A Bacia Sedimentar de São Paulo é uma morfoescultura individualizada no conjunto de bacias cenozóicas do Estado, definida por Ross e Moroz (1997) como sendo correspondente ao núcleo a partir de onde se irradiou a metrópole paulista. Esta unidade integra o sistema de colinas amplas de topos aplainados a convexos e com vertentes de declividades raramente superiores a 20°; e os sistemas de fundo de vale, compostos por morfologias de planícies fluviais e terraços.

Ab'Sáber (1957) corrobora tal particularização desta unidade em relação ao Planalto de Sudeste do Brasil, conforme transcrito a seguir:

Espremida entre as áreas de relevo relativamente acidentado do Planalto Atlântico e colocada em posição de patamar de relevo suave, em relação à gigantesca ruptura de declividade da Serra do Mar, a região de São Paulo se comporta como um compartimento especial de terras altas do sudeste do Brasil (p. 63).

[...]

Distingue-se, portanto, a região de São Paulo, como pequeno compartimento de relevo e pequena unidade geomórfica, tanto dos maciços e cristas da série de São Roque (850-1275m), como dos contrafortes ocidentais da Mantiqueira (1000–1800m), das regiões serranas do Alto Paraíba (750–1100m), das cabeceiras do Tietê (850–950m), como, enfim, das áreas pouco rejuvenescidas da Serra de Paranapiacaba (850–1050m) (p.63).

[...]

A topografia regional se traduz por um relevo ondulado e colinoso, onde se sucedem colinas tabuliforme de diversos níveis, terraços fluviais descontínuos e alongadas planícies de inundação ficando as altitudes regionais compreendidas entre os limites de 720-730 metros (nível dos talvegues, planícies e baixos terraços fluviais) e 790-830 m (nível das plataformas interfluviais principais e colinas mais elevadas) (p. 67).

O perfil topográfico da figura 17 (trecho da Serra de Cantareira à Bacia de Santos), a seguir, apresenta a variação altimétrica das unidades geológicas e morfológicas presentes,

com destaque à bacia de São Paulo identificada no platô central suavizado, em que os cumes mais elevados das colinas, raramente, ultrapassam 790m.

FIGURA 17 – Seção geológica da Serra da Cantareira ao Maciço de Santos.

Fonte: Ab'Saber (1957)

Em escala sub-regional, algumas unidades morfológicas originais identificadas por Ab'Sáber (1957) podem ser verificadas na BHTP, dentre as quais as colinas terraceadas baixas, os baixos terraços fluviais descontínuos e as planícies aluviais recentes.

As colinas tabulares e colinas terraceadas baixas constituem um nível intermediário frequente no centro expandido metropolitano, localizando-se entre 735 e 755m e configurando rampas suaves, modeladas pelos afluentes do Tietê.

Os baixos terraços fluviais descontínuos são superfícies aluviais menos ativas, altimetricamente elevadas entre 3 a 6 metros da planície de inundação, compostos por cascalheiras com um ou mais horizontes de seixos e fragmentos de quartzo, em matriz argilo-arenosa. Os contatos entre os terraços e as planícies podem ser marcados por taludes ou rampas de baixa declividade. Estas últimas são mais abundantes na BHTP ocorrendo de forma descontínua.

Por fim, as planícies aluviais constituem desde os brejais até as superfícies elevadas de diques marginais. Nos termos do professor Ab'Saber (1957):

Trata-se de um conjunto de depósitos aluviais muito recentes, cuja gênese obedece às normas clássicas da sedimentação em planícies de inundação (*floodplains*); conjunto esse que permaneceu embutido discretamente nos desvãos dos baixos terraços fluviais pleistocênicos e das colinas pliocênicas. Restaram, assim, tais planícies, como que preenchendo e colmatando extensivamente as irregularidades que por certo existiram no fundo da calha dos vales regionais, após a ligeira retomada de erosão epiclíca que criou os baixos terraços fluviais de 724-730m. Os limites altimétricos dentro dos quais estão compreendidas tais planícies, ficam balizados pelas cotas de 719 e 723m, o que lhe dá uma amplitude altimétrica excessivamente modesta, nunca superior a 4 metros. (p. 145).

Com a expansão da cidade, os limites atuais da GSP extrapolaram o sítio urbano inicial descrito por Ab'Saber. Antes concentrada entre os ângulos internos formados pelas

confluências dos rios Tamanduateí e Pinheiros com o rio Tietê, a urbanização avançou das colinas terciárias do centro de São Paulo em direção aos morros e morrotes alongados das periferias, conforme apresentado na figura 18, por Rodrigues (2005). A BHTP encontra-se inserida nesta interface do relevo, abrangendo setores de colinas, morros e planícies quaternárias.

Características do sistema hidrográfico regional

O sistema hidrográfico da GSP é regionalmente controlado por três fatores principais: estrutura geológica, alta pluviosidade e presença de rios oriundos de uma superimposição pós-pliocênica, que determinam a diversificação de padrões de drenagens na Bacia Hidrográfica do Alto Tietê (BHAT), composta por padrões individualizados e anomalias de drenagem.

A BHAT apresenta, de modo geral, padrão de drenagem dendrítico, ainda que os padrões meandranes sejam, igualmente, típicos da região nos afloramentos de sedimentos quaternários, caracterizando alguns dos principais rios que drenam a RMSP, dentre os quais, destacam-se o rio Tietê, Pinheiros e Tamanduateí.

Os afluentes destes rios, no entanto, podem apresentar características morfológicas, morfométricas e morfodinâmicas distintas e associadas à influência tectônica, sendo possível, por exemplo, notar paralelismo entre alguns tributários perpendiculares ao rio Tietê, dentre os quais, para a região da BHTP, destacam-se os córregos do Itaim, ribeirão do Lageado, rio Itaquera e córrego do Jacú, onde os eixos das drenagens principais assumem sentido predominante S-N. A citação de Ab'Saber (1957), apresentada abaixo, descreve tais características hidrográficas da região.

De modo geral é nas regiões cristalinas, granítico-gnaissicas dos arredores de São Paulo que a drenagem se torna mais tipicamente dendrítica.[...]. As fortes precipitações recebidas pela região, aliada à profunda e generalizada decomposição das rochas e às formas de maturidade dominantes nos altos maciços antigos da região, favoreceram realmente o desenvolvimento de densas redes dendríticas. Entretanto, essa dendritificação [...], sirva assim como de pano de fundo para a padronagem geral da rede hidrográfica regional. Ela é composta de apenas minúsculos cursos d'água das cabeceiras de drenagem ou sulcos de enxurradas, nem sempre permanentes [...]. Eles existem, porque existe água suficiente para alimentar uma densa rede de canais e canaletes fluviais e porque a infiltração [...] é relativamente pequena nas regiões cristalinas e cristalofílicas regionais.

[...]

Fazendo-se, entretanto, abstração desses inumeráveis pequenos cursos insequentes dendríticos, resta um esqueleto de drenagem mais influenciado pela estrutura. Na realidade são os exemplos de pequenos rios e córregos de tamanho razoável que possuem trechos inteiros de seus cursos, orientados por imposições tectônicas. Daí existir nas zonas granítico-gnaissicas da região um padrão de drenagem que associa uma fina trama dendrítica a um mosaico bem marcado de rios orientados segundo ângulos retos. (p. 75 e 76)

BASE CARTOGRÁFICA KEY AND LEGEND

- LIMITE DA REGIÃO METROPOLITANA
METROPOLITAN AREA BOUNDARY
- LIMITE DE MUNICÍPIO
MUNICIPIO BOUNDARY
- SEDE DE MUNICÍPIO
MUNICIPIO (COART SEAT)
- RODOVIAS
HIGHWAYS
- FERROVIAS
RAILWAYS
- HIDROGRAFIA
STREAMS

- EMBASAMENTO SEDIMENTAR
SEDIMENTARY BEDS (TERTIARY)
- PLANÍCIE ALUVIAL
FLOOD PLAIN
- TERRAÇOS FLUVIAIS
FLUVIAL TERRACES
- COLINAS SEDIMENTARES
SEDIMENTARY HILLS
- EMBASAMENTO CRISTALINO
CRYSTALLINE BASEMENT
- MORROS
CRYSTALLINE HILLS

FIGURA 18 – Unidades geomorfológicas na Região Metropolitana de São Paulo
Fonte: Rodrigues (2004). Escala original: 1:1.000.000

Ainda segundo Ab'Saber (1957), estes tributários podem estar inseridos em três diferentes unidades espaciais: (1) na porção central da bacia sedimentar, denominada de Zona de Predomínio de Padrões Dendríticos e Paralelos; (2) nos maciços antigos que circundam a Bacia de São Paulo, onde predominam padrões dendríticos, retangulares, e, eventualmente, radiais; e (3) nas bordas da bacia sedimentar, definindo padrões anômalos decorrentes de epigênese.

Por estar inserido neste contexto, o arranjo hidrográfico dos cursos fluviais da BHTP apresenta aspectos dos três padrões definidos pelo autor, expressando predominantemente padrão dendrítico, com linearidades de duas direções de destaque: uma de sentido S-N, que se estende longitudinalmente e marca a característica longilínea da bacia; e, outra, secundária, que define o sentido perpendicular dos afluentes do córrego Três Pontes, frequentemente formando ângulos de confluência de 90°. Linearidades como estas configuram padrões retangulares e dendrítico-retangulares na escala da BHTP. Apesar disso, o rio principal apresenta tendência meandrante entre os terços médio e inferior de seu curso, onde escava sedimentos da planície do rio Tietê.

No capítulo seguinte, referente aos resultados obtidos para a aplicação da geomorfologia antropogênica, no que concerne à descrição da morfologia original são analisados parâmetros morfométricos específicos da BHTP e de suas unidades morfológicas.

3.1.3. Climatologia

O clima predominante numa dada região, juntamente com a geomorfologia, é responsável pelas características hidromorfodinâmicas dos processos atuais que implicam a evolução do modelado. Assim, os atributos climáticos, sobretudo de precipitação e sua distribuição temporal, são fundamentais ao entendimento completo do tema.

Descritivamente, a RMSP está sob uma dinâmica climática complexa determinada por um regime de alternância de sistemas tropicais e subtropicais que resultam em sazonalidade bem definida, com sucessão de estações secas e chuvosas ao longo do ano. De acordo com a classificação de Köppen, para a cidade de São Paulo o clima é Cwa, que corresponde à subtropical úmido, com verões chuvosos, devido a massas tropicais instáveis, e invernos frios e, relativamente, secos.

Em um ano típico, a média térmica é de 20,7°C, enquanto a máxima e a mínima giram entorno de 28°C e 12°C, respectivamente. A média pluviométrica é de 1.376mm, distribuídos desigualmente ao longo de um ano, sendo que no mês mais chuvoso é esperada uma coluna

de, aproximadamente, 240mm (janeiro) e no mês mais seco (agosto), as precipitações tendem a não superar 35mm.⁷

Em termos zonais, a GSP está em uma faixa de transição onde ocorre o avanço e a ação de sistemas de origens tropicais e subtropicais, fato que particulariza o clima do planalto. Além disso, fenômenos de escalas de maior detalhe, de ordem regional e local, produzem efeitos significativos sobre o clima. As brisas marítimas, associadas à orografia do perfil Santos-São Paulo, por exemplo, produzem uma condição particular à formação de nebulosidade e precipitação, não somente na faixa costeira e no *front* da Serra do Mar, como em seu reverso e na bacia de São Paulo.

Não obstante tal complexidade, as precipitações na capital estão vinculadas a três condicionantes meteorológicas principais: duas relativas à circulação zonal do continente sul-americano (os sistemas frontais e a Zona de Convergência do Atlântico Sul) e uma de escala regional e local (relativa aos eventos advectivos), todas atuantes, primordialmente, no verão.

Os sistemas frontais são os de maior destaque no que se refere à pluviometria, uma vez que respondem a mais de 60% dos eventos intensos de chuva e modificam as características dos atributos atmosféricos. Conforme destacado por Tarifa e Armani (2001a), a entrada de frentes frias marca o clima Tropical Úmido da região, decorrendo em variações bruscas de ritmo e sucessão de tipos de tempo.

Secundariamente, o corredor de umidade formado entre a Amazônia e o sudeste brasileiros, denominado Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), é uma dinâmica zonal de forte influência na precipitação da região sudeste do Brasil, levando a ocorrência de eventos de chuva intensa pela introdução de grandes quantidades de umidade e calor a partir da Amazônia.

Por último, de origem regional/local, estão os eventos convectivos intensos, caracterizados como chuvas de fim de tarde no verão. Menos abrangentes em termos espaciais, as precipitações decorrentes destes fenômenos são, frequentemente, as responsáveis pelas mais graves circunstâncias de inundação das bacias urbanas paulistanas, devido a sua elevada magnitude que exige, dos sistemas de drenagem urbana, uma condição ótima de desobstrução ao escoamento.

Complementarmente a esta análise sucinta e global dos sistemas atmosféricos produtores de chuva atuantes na região da bacia hidrográfica estudada, pode-se fazer uso da obra escrita

⁷ Dados disponibilizados pelo Cepagri (Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas a Agricultura) da Unicamp (Universidade Estadual de Campinas), 2012.

por Tarifa e Armani (2001a) intitulada “Os climas na cidade de São Paulo”, na qual os autores apresentaram as características de cada atributo atmosférico tendo em vista: (1) a condição natural da cidade, abstraindo os efeitos da urbanização e industrialização e considerando apenas os controles climáticos naturais; e (2) o clima urbano, incluindo as intervenções decorrentes do crescimento da metrópole.

Para o extremo leste de São Paulo, nas proximidades do rio Tietê, foram identificadas características de clima tropical úmido ou Clima Tropical Úmido de Altitude do Planalto Paulistano. No entorno da bacia hidrográfica estudada, esta unidade local foi subdividida em duas unidades mesoclimáticas, dentro das quais foram detalhados, em escala topoclimática, os tipos climáticos IB4 e IC1. Considerando os critérios e controles climáticos apresentados nas cabeceiras do córrego Três Pontes, é provável que ocorram, ainda, características da unidade IA1. O detalhamento destas unidades está reunido nos quadros 14 e 15.

QUADRO 14 – Unidades climáticas classificadas de acordo com a escala de detalhe e controles ambientais adotados para cada região.

Unidades climáticas			Controles ambientais	
Clima local	Mesoclima	Topoclima	Formas de relevo	Altitude (m)
I - Tropical úmido de Altitude do Planalto Paulistano	IA	IA1	Maciços, serras e morros do Alto Aricanduva e Itaquera	Terço superior (800 a 950m)
	IB	IB4	Terraços, colinas e Patamares do Tamanduateí e Aricanduva	Terço médio (740 a 800m)
	IC	IC1	Várzeas e baixos terraços do vale do Tietê	Terço inferior (720 a 740m)

Fonte: TARIFA e ARMANI (2001a)

QUADRO 15 – Atributos climáticos das unidades topoclimáticas abrangidas na bacia hidrográfica do córrego Três Pontes.

Subunidades	Atributos climáticos naturais				
	Temperatura (°C)			Pluviosidade (mm)	
	Média anual	Média anual das máximas	Média anual das mínimas	Totais anuais	Máx. diária
IA1	18,7 - 19,3	24,3 - 14,9	15,5 - 14,9	1400 - 1450	100 - 150
IB4	19,3 - 19,6	24,9 - 25,2	15,5 - 15,8	1400 - 1480	100 - 125
IC1	19,7 - 19,6	25,2 - 25,3	15,8 - 15,9	1350 - 1470	100 - 150

Fonte: TARIFA e ARMANI (2001a)

As unidades incluídas na classe IA se referem às linhas de cumeeada formadas por morrarias e outeiros dos bordos da cidade de São Paulo, representadas na região da bacia hidrográfica estudada pelos limites interfluviais do alto Aricanduva e dos afluentes de menor ordem do rio Tietê. A altitude representa o controle climático principal para determinar temperaturas mais amenas em relação às baixadas. Quanto às precipitações, nota-se que, quando os sistemas produtores de tormentas adentram a região do Alto Tietê, a rugosidade dos conjuntos de morros e a orientação das vertentes tendem a aumentar a instabilidade e intensificar a precipitação nestes setores. Os totais pluviométricos anuais são estimados entre 1.250 e 1.450mm, e os máximos acumulados diários podem superar os 175mm em eventos extremos.

Os terços intermediários que abrangem as médias vertentes da bacia hidrográfica, correspondem à subunidade IB, representados na região por IB4. Rebaixadas em relação a IA, esta subunidade topoclimática se caracteriza por maior regularidade pluviométrica e médias térmicas sensivelmente mais elevadas, com aquecimento diurno mais intenso e homogêneo em comparação às áreas de morros, resultando na maior entrada e absorção de energia.

As subunidades IC1 representam, por fim, as baixas vertentes, os fundos de vale e os terraços baixos, onde as temperaturas tendem a ser mais altas, em função da maior radiação recebida e do aquecimento por compressão adiabática, efeitos que, segundo Tarifa e Armani (2001a), implicam redução dos totais de chuva pelo aumento da estabilidade atmosférica. Por outro lado, as temperaturas mínimas são inferiores às subunidades adjacentes, em função da acumulação de ar frio e da presença das drenagens, que atuam, igualmente, na regulação térmica.

A expansão da mancha urbana na GSP decorreu em alterações nos atributos atmosféricos, tanto em suas características, como em seu ritmo, sustentando a hipótese da produção e caracterização de um clima urbano proposto por Monteiro (1975), e adotada como premissa nas considerações sobre a formação das ilhas de calor, conforme descrito por Lombardo (1985) e rediscutido por outros autores.

O adensamento populacional, o consumo elevado e concentrado de equipamentos emissores de energia, e as mudanças na superfície, são alguns dos fatores relacionados a tais alterações do clima. Em diferentes formas e intensidades, eles favorecem a concentração de poluentes, aerossóis e água na troposfera, resultando na absorção e aprisionamento do calor, conduzindo ao aumento das médias de temperatura, dos totais de chuva e à redução da pressão atmosférica.

Neste contexto, Tarifa e Armani (2001b) adicionaram aos controles ambientais dos climas naturais, abordados anteriormente, as componentes de superfície urbana, combinação a partir da qual é possível compreender, de forma geral, as tendências da dinâmica urbana e suas respostas sobre os elementos da atmosfera. Similarmente à divisão proposta aos climas naturais, os autores classificaram os climas urbanos, definindo-os com base nas características das escalas abrangidas. Assim, estão presentes na bacia hidrográfica do córrego Três Pontes, as subunidades de clima urbano IB21 e IIA1, cujos detalhes estão apresentados no quadro 16.

QUADRO 16 – Subunidades de clima urbano na bacia hidrográfica do córrego Três Pontes.

Unidades climáticas urbanas				Controles ambientais	
Clima local	Mesoclima	Meso/topo	Topo/micro	Uso do solo predominante	% de áreas verdes
I - Unidade climática urbana central	IB	IB2	IB21	Industrial, armazenamento, comercial e vias da Marginal do rio Tietê.	Muito pequena
II - Unidade climática urbana periférica	IIA	IIA1	-	Residencial de baixo padrão construtivo com presença de favelas (São Miguel Paulista)	Muito pequena

Fonte: TARIFA e ARMANI (2001b)

A categoria IB21, correspondente à planície de inundação do rio Tietê a montante da confluência com o rio Tamanduateí, é um setor caracterizado por indústrias, galpões de assessoria logística e áreas comerciais, usos reconhecidos como emissores significativos de poluentes, que tendem a se concentrar nos fundos vale e favorecer o aquecimento destes setores. O aplainamento associado à impermeabilização aumenta a absorbância da radiação, elevando as temperaturas no período diurno, podendo atingir 32° a 33°C.

A unidade IIA1 corresponde ao extremo leste da cidade de São Paulo e abrange os bairros residenciais, nos quais existem poucas áreas arborizadas relevantes e a densidade populacional e de casas de padrão construtivo inadequado é elevada. O uso de técnicas e materiais impróprios na construção, como telhas de amianto em lotes pequenos, associados à ínfima porcentagem de vegetação, decorre em temperaturas elevadas, frequentemente, acima dos 30°C, prejudicando, entre outras coisas, o conforto térmico.

A urbanização, que de maneira geral eleva as médias térmicas, produz condições para formação de centros de baixa pressão e desenvolvimento de células convectivas. Pressupõe-se que a disponibilidade hídrica nos fundos de vales, nos grandes corpos d'água e gerada pela

liberação de indústrias e residências, favoreça a formação de nebulosidade e o aumento da pluviosidade.

Assim, se por um lado, em escala sinóptica, os debates científicos demonstrem a existência incertezas a respeito de mudanças climáticas e da intensificação de extremos, em escala local e sub-regional, os efeitos da urbanização sobre os atributos atmosféricos e normais climatológicas nas metrópoles e em seus entornos, foram, há muito, comprovados. Tal constatação consiste em um dos principais argumentos para se justificar a necessidade de ampliação das redes de postos e estações meteorológicas e fluviométricas completas na GSP, bem como para o desenvolvimento de pesquisas que discutam e contribuam para o manejo de riscos urbanos e adaptações a alterações climáticas.

3.2. Características antrópicas

3.2.1. Urbanização regional e o contexto da BHTP

A bacia hidrográfica do córrego Três Pontes abrange os municípios de São Paulo, Itaquaquetuba, Poá e Ferraz de Vasconcelos, integrando os bairros de Jardim Romano, Whitaker Machado e Jardim Miliunas (em São Paulo); Vila Bartira, Vila Dolores, Vila Popular, Vila Monte Belo, Jardim do Carmo, Jardim Valparaíso, Jardim Zélia, Vila Arizona, Jardim Luciana, Vila Ursulina, Vila Londrina e Vila Miray (em Itaquaquetuba); Jardim Violeta, Jardim Planalto, Jardim Santa Luíza, Vila Cândida, Jardim Antônio Picosse e Jardim Helena (em Poá); e Jardim Santa Margarida e Vila Jurema (em Ferraz de Vasconcelos). O bairro Cidade Kemel é um dos mais importantes da região e está dividido entre os quatro municípios mencionados.

Na cidade de São Paulo, a BHTP envolve o distrito do Itaim Paulista, sub-região para a qual existe uma maior quantidade de informações históricas que permitiram reconstruir, brevemente, seu processo de ocupação.

O povoamento do distrito do Itaim Paulista, e de suas imediações, ocorreu apenas no início do século XX tendo sido finalmente estabelecido em 1925, com a conclusão e a inauguração da estação ferroviária do Itaim⁸. No entanto, anteriormente a isso, ao longo do século XIX, ocorreu uma fase de estagnação do processo de crescimento econômico e populacional, relacionado às dinâmicas de vilas vizinhas a São Paulo e a Mogi das Cruzes, tais

⁸ Esta estação integrou a Estrada de Ferro do Norte que, em 1925, passou a se chamar Estrada de Ferro Central do Brasil, nome com o qual permaneceu até 1957, quando mudou novamente para REFESA (Rede Ferroviária S.A.). Sob esta denominação permaneceu até o ano de 1994, quando enfim, recebeu o título, que carrega até hoje, ao integrar a rede de trens metropolitanos, Companhia Paulista de Transportes Metropolitanos (CPTM).

como a vila de São Miguel Paulista e Lajeado, edificadas no contexto das sesmarias, das grandes fazendas e chácaras da região, conforme exposto por Melo (2004).

Segundo este autor, ao longo dos primórdios do século XX, as fazendas foram, paulatinamente, sendo desativadas e procedeu-se ao loteamento por investidores e companhias, como a Companhia de Agricultura, Imigração e Colonização, estimulando a formação das primeiras vilas populares na região. A inauguração da Estrada de Rodagem São Paulo-Jacareí, em 1921, e sua ampliação em 1928 para o Rio de Janeiro, então capital nacional, são alguns dos marcos iniciais de urbanização nos bairros do Itaim Paulista. Neste período, houve também, as primeiras aberturas de ruas e a consolidação dos loteamentos.

No entanto, os bairros do extremo leste da cidade de São Paulo permaneceram sob o título de zona rural até a década de 60, quando, somente então, a câmara de São Paulo incorporou estes locais ao status de região urbana. A esta altura, a metropolização já havia constituído um processo em desenvolvimento, bem como a periferização da capital paulista.

Conforme a população da região do Itaim se ampliava devido à imigração nordestina, ocorreu a criação de diversos núcleos comerciais emergentes, que ofereceram certa autonomia regional ao bairro, culminando na criação do distrito do Itaim Paulista, no começo da década de 1980, e no seu crescimento demográfico e urbano.

A ocupação de espaços remanescentes foi permeada por uma intensa especulação imobiliária, a qual, vinculada à acelerada urbanização em curso, resultou no estabelecimento de condições sanitárias e de infraestruturas inadequadas (MELO, 2004).

As fotografias aéreas utilizadas para restituição das condições morfológicas originais do relevo nesta pesquisa datam de 1962, anteriores ao período de urbanização dos bairros, registrando, mais precisamente, o início do loteamento das antigas fazendas e as primeiras aberturas de vias e ocupações sobre os topos de morro. De modo geral, é possível entendê-las como registro de uma fase antecedente à urbanização.

Ao elevar sua condição de região à de distrito, o Itaim Paulista passou a estar mais sob a observância do governo municipal, demonstrada, por exemplo, na criação dos Conjuntos Habitacionais da CDHU no ano de 1985. A autonomia do distrito consagrou-se em 1981, quando foi criada a subprefeitura do Itaim Paulista, após intensa mobilização das associações de moradores e comerciantes com vistas ao atendimento pleno do bairro por obras de infraestruturas e serviços básicos.

Desde o início da década de 90 aos anos 2000, de modo geral, o crescimento populacional da capital paulista desacelerou, registrando uma taxa de 1% de aumento e

indicando, assim, o encerramento da fase de imigração ocorrida na GSP durante segunda metade do século XX. Entretanto, tal diminuição não ocorreu de modo uniforme em toda a RMSP. O distrito do Itaim Paulista, por exemplo, teve sua população mais do que duplicada neste mesmo período, como demonstrado pela construção de novos conjuntos habitacionais pelo governo paulista.

Atualmente a população do Itaim Paulista é estimada em 227.000 habitantes e possui uma das densidades demográficas mais elevadas da capital, de aproximadamente 200hab/ha, registrando, ainda, uma taxa anual de crescimento de 2,6% (SEADE, 2004).

Se por um lado estes dados refletem o elevado crescimento da população, por outro, as taxas de mortalidade bruta e infantil evidenciam a insegurança do distrito e da região no geral. Em relação à primeira, têm-se 28 mortes a cada cem mil mulheres em decorrência de doenças infecciosas e parasitárias. Se forem consideradas as mortes em razão de causas externas, o cenário é, igualmente, significativo com 21,3 mortes para cada cem mil mulheres e 189 mortes para cada cem mil homens. A mortalidade infantil também é relevante e gira em torno de 14,42 a cada mil nascidos vivos, conforme dados obtidos para o triênio de 2000 a 2002 na Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados (SEADE, 2004).

Outros indicadores sociais relativos à qualidade de vida e moradia apontam, no entanto, para uma tendência de melhora. O atendimento por abastecimento de água é de 99,5% para as 55.000 residências existentes no distrito e os percentuais de coleta e destinação dos resíduos sólidos também são relevantes, com 99% adequadamente coletados pelos sistemas de recolhimento do lixo e apenas 1% ainda queimado ou lançado em terrenos baldios. Embora este último percentual apresente um valor baixo, ele representa uma quantidade absoluta significativa de lixo e material tecnogênico sendo lançados no ambiente urbano, e podendo prejudicar os sistemas de drenagem ao obstruir fluxos excedentes. O esgotamento sanitário, também longe de ser considerado ideal, atende apenas 87,5% das residências com coleta e tratamento, sendo que quase 10% destas, ainda lançam-no *in natura* nos cursos d'água.

Por fim, cabe destacar que esta breve caracterização e sistematização de dados não teve como objetivo criar um perfil completo do distrito do Itaim e dos bairros vizinhos, mas organizar informações relevantes sobre as características de seu processo de ocupação e dos aspectos sociais notórios à avaliação de vulnerabilidade à inundação.

3.2.2. Caracterização do uso da terra atual na BHTP

A BHTP apresenta um uso predominantemente urbano com diversos padrões de urbanização presentes. Ao longo da expansão dos bairros abrangidos pela bacia hidrográfica, prevaleceu padrão de uso da terra com função residencial, de pequenos comércios e algumas indústrias e galpões.

Neste conjunto de padrões funcionais de usos existentes na BHTP, é relevante à análise da morfologia antropogênica e, mais especificamente, dos níveis de perturbação morfológica, as intervenções que estes exercem sobre o sistema físico, tais como: a taxa de impermeabilização, a densidade de edificações, o tamanho do lote, densidade e geometria dos arranjos do arruamento, entre outros.

Assim, na BHTP predominam lotes pequenos e com aproveitamento, praticamente, total do terreno, caracterizando uma ocupação extremamente densa, com altas taxas de impermeabilização na escala do lote e da bacia hidrográfica, e, conseqüentemente, com reduzidas áreas arborizadas e permeáveis. Tais áreas livres, restritas a áreas públicas e estreitas margens de córregos, constituem, em sua maioria, usos relacionados a lazer como campos de futebol, áreas de servidão de linhas de transmissão de energia, áreas isoladas e terrenos ociosos com gramíneas e arbustos.

No contexto da identificação das morfologias antropogênicas, estas áreas arborizadas e permeáveis são consideradas como remanescentes morfológicos dos sistemas originais da BHTP, devido à ausência de implicações significativas em termos de alteração da permeabilidade superficial, de taxas de infiltração, da reconfiguração topográfica e, sobretudo, da quantidade de material mobilizado por intervenções diretas, como movimentações de terra por corte e aterro. Apesar de tais áreas poderem, ainda assim, alterar as magnitudes, velocidades e sentidos dos processos geomorfológicos superficiais, suas permanências não configuram morfologias antropogênicas com base nos fatores expostos acima.

Desta forma, durante o processo de mapeamento do uso da terra atual, buscou-se delimitar tais áreas permeáveis, com o intuito de (i) identificar as áreas remanescentes de morfologia original; e (ii) classificá-las quanto ao parâmetro de infiltração, fornecendo este dados aos modelos hidrológico e garantindo maior confiabilidade à determinação do CN e aos resultados de vazão de pico.

Em contraposição, delimitaram-se as áreas impermeabilizadas, distinguindo alguns usos particulares, como: predominantemente residenciais, mistos, unidades industriais, equipamentos urbanos específicos (escolas, CEU, terminais rodoviários, etc.), pátios

pavimentados (estacionamentos) e linha férrea. As fotografias das figuras de 19 a 26 ilustram alguns destes usos da terra.

As classes de uso urbano consideradas apresentam implicações semelhantes ao meio físico, do ponto de vista das alterações nas magnitudes e frequências dos processos geomorfológicos. Por exemplo, tais categorias de uso apresentam respostas similares à taxa de infiltração decorrente da impermeabilização, resultando em volumes semelhantes de escoamento superficial, pois se considera que os revestimentos que compõem estes usos possuem potenciais equivalentes de produção de *runoff*.

Ainda assim, destaca-se que em termos hidromorfodinâmicos mais complexos, estas categorias podem apresentar diferenças relevantes na magnitude das alterações, como verificado no aumento da exportação lateral de excedentes pluviais na planície de inundação ou, ainda, no rebaixamento do nível freático devido a fundações de edifícios.

Análises adicionais sobre a influência dos padrões de uso da terra nos sistemas físicos da BHTP serão abordadas no capítulo seguinte, dedicado à aplicação da abordagem da geomorfologia antropogênica, considerando parâmetros como a taxa de impermeabilização, os alteamentos inferidos e o arranjo do arruamento, enquanto subsídios à análise de vulnerabilidade à inundação.

FIGURA 19 - Rua Valdomiro Gonzaga da Silva, coordenadas UTM 359.741mE; 7.401.350mN (WGS84, 23S). Visada SW.

Exemplo de via asfaltada com ocupação residencial densa na margem esquerda do córrego Três Pontes. Este setor está, aproximadamente, um metro e meio acima da planície de inundação e, por isso, não sofre com problemas frequentes relacionados a alagamentos.

FIGURA 20 – Avenida Kemel Addas, coordenadas UTM 360.428mE; 7.400.126mN (WGS84, 23S). Visada NE.

Centro comercial de serviços diversos aos bairros. Notam-se nas portas comerciais, junto ao chão, comportas de 30 a 90cm, sugerindo, conforme comprovado em entrevista, que este setor esteja sujeito a inundações periódicas.

FIGURA 21 – Córrego Três Pontes visto a partir da Av. Marechal Tito, coordenadas UTM 359.347mE; 7.402.260mN (WGS84, 23S). Visada N.

Em primeiro plano, a margem direita do canal é ocupada por vegetação arbustiva densa numa faixa menor que 10 metros de largura. Em segundo plano, há galpões de assessoria logística alteados em relação ao nível da planície por aterros construídos e cercados por amplos muros de concreto que limitam o avanço da vegetação e da inundação.

FIGURA 22 – Rua Nicola Gagliotti, coordenadas UTM 360.202mE; 7.397.652mN (WGS84, 23S). Visada N.

Visão semipanorâmica das vertentes da margem leste da bacia estudada, demonstrando a ocupação residencial intensa das áreas mais baixas e das cabeceiras. A foto foi obtida a partir do interflúvio de um dos afluentes de margem direita do córrego principal, de modo que, nota-se, pelo modelado da rua, um setor de mudança convexa de declividade, onde, possivelmente, formam-se fluxos torrenciais do tipo enxurrada na direção de jusante.

FIGURA 23 – Rua Novo Horizonte, coordenadas UTM 360.605mE; 7.397.859mN (WGS84, 23S). Visada W.

Visão semipanoarámica das vertentes da margem oeste da bacia estudada, enfatizando a densa ocupação residencial em todos os setores do relevo. No centro da foto está a Escola Municipal de Ensino Fundamental (EMEI) Maria Margarida Figueiredo, na qual ainda permanece algum remanescente de área permeável. Nota-se, ainda, um setor de mudança convexa de declividade na rua em primeiro plano, onde, possivelmente, formam-se fluxos torrenciais na direção de jusante.

FIGURA 24 – Coordenadas UTM 360.697mE; 7.397.988mN (WGS84, 23S). Visada N.

Visão semipanoarámica a partir da cabeceira de um dos afluentes da margem direita do córrego Três Pontes. Nota-se o predomínio de gramíneas que caracterizam áreas ociosas na bacia hidrográfica ou que compõem os setores de servidão da linha de transmissão. Em segundo plano, do centro para a direita da foto, constata-se um fragmento de vegetação arbórea no fundo de vale. Ambos os domínios constituem os principais remanescentes de vegetação e de áreas permeáveis na bacia em estudo.

FIGURA 25 – Coordenadas UTM 360.697mE; 7.397.988mN (WGS84, 23S). Visada E.

Proximidades de um dos campos de futebol presentes no bairro Jd. Antônio Picosse. Nota-se a área de servidão da linha de transmissão à esquerda ocupada por gramíneas e arbustos esparsos. Em destaque na foto, o solo exposto sobre uma área alteada por depósito de material tecnogênico caracteriza um dos usos da terra mapeados para 2011.

FIGURA 26 – Rua Orlando Moraes Féria. Coordenadas UTM 359.630mE; 7.401.734mN; (WGS84, 23S). Visada E.

Margem do córrego Três Pontes cerca de alguns metros a montante da travessia da Av. Marechal Tito. Além da vegetação marginal confinada, composta por formações que variam desde gramíneas a indivíduos arbóreos, nota-se o acúmulo de material tecnogênico lançado nas beiras do córrego, bem como a queima deste, praticada pelos moradores do entorno. Em segundo plano, observa-se outra edificação de grande porte característica de unidades industriais.

3.2.3. Intervenções hidráulicas na BHTP

O presente subcapítulo possui como objetivo enumerar e descrever sucintamente as principais intervenções hidráulicas realizadas na bacia hidrográfica do córrego Três Pontes, de modo a complementar as discussões promovidas nos subitens anteriores sobre as características dos padrões de ocupação urbanos e as respectivas interferências hidromorfológicas no sistema considerado.

Os tópicos a seguir elencam as principais obras de macrodrenagem e desassoreamento realizadas na BHTP, apresentando, quando pertinente, detalhamento adicional sobre cada uma:

- Anteriormente a década de 2000: as obras de macrodrenagem mais relevantes realizadas no canal principal da bacia hidrográfica, até então, consistiam nas travessias de duas importantes vias da região: Av. Marechal Tito e a linha férrea da CPTM. No contexto da rede de canais da BHTP, no entanto, outras intervenções de diversas modalidades, como alteração de traçado, canalização e tubulação, foram executadas em trechos de afluentes de primeira e segunda ordem do córrego Três Pontes;
- Entre 2000 e 2005: obras complementares de redimensionamento da tubulação da ponte da Av. Marechal Tito sobre o córrego Três Pontes⁹ foram realizadas prevendo a ampliação do calibre das manilhas e o aumento da capacidade de vazão do trecho. Contudo, ainda hoje, os moradores do entorno relatam que, em eventos de alta magnitude, a passagem da Av. Marechal Tito é insuficiente, levando a água a passar por sobre a ponte e inundar as áreas vizinhas.
- Em 2008: O agravamento das condições de drenagem em decorrência da ausência de intervenções hidráulicas sistemáticas nos cursos fluviais da BHTP resultou em uma preocupação maior por partes dos governos municipais das quatro cidades abrangidas e do Estado, culminando, em 2008, no anúncio da construção de parque linear às margens do córrego Três Pontes, com o objetivo de despoluí-lo, aumentar a área para amortecimento de cheias, reduzir o volume e a velocidade do escoamento superficial e incentivar a educação ambiental. Até o momento, no entanto, esta medida não foi efetivada.
- Em 2009: associada a esta medida de revitalização, foi firmado acordo em 2009, entre as prefeituras de Poá, Ferraz de Vasconcelos e a subprefeitura do Itaim Paulista, prevendo

⁹ O jornal do extremo leste de São Paulo, 2008, Obtido em:
<www.itaimpaulista.com.br/portal/index.php?secao=news&Id_noticia=511&subsecao=4>

um mutirão de desassoreamento de trechos do córrego Três Pontes. Segundo informe da prefeitura de Poá, o volume de material retirado um dia de limpeza chegou a trinta caminhões de entulho e resíduos em um trecho do córrego situado entre os municípios de São Paulo e Poá.

- Em 2010: em dezembro deste ano ocorreu o último maior evento de inundação da BHTP, no qual amplas áreas dos bairros Jardim Romano e Chácara Três Meninas, localizados no terço de jusante do córrego Três Pontes, permaneceram alagadas por 72 horas após um evento de chuva intensa que atingiu toda a zona leste de São Paulo, com cerca de 100mm em 18 horas de duração. Tanto pela magnitude da chuva originária quanto pela persistência da água em superfície, este evento exigiu a atenção dos poderes públicos que a partir de então passaram a realizar sucessivas intervenções hidráulicas na região.
- Em 2011: cerca de um ano após o evento de cheia mais noticiado da BHTP, foi concluída a construção do reservatório do Jardim Pantanal, localizado próximo à foz do córrego no rio Tietê, com capacidade de 15 mil m³ em operação livre (DAEE, 2012¹⁰).

Outra obra de relevância concluída de 2011 foi a construção de pôlder de 1.600m ao longo da margem esquerda do rio Tietê e do córrego Três Pontes na altura dos bairros Jd. Romano e Chácara Três Meninas, visando a contenção do extravasamento destes canais (DAEE, 2013).

- Em 2012: iniciou-se nova retificação em trecho do córrego Três Pontes, entre a rua Angatuba e a foz do córrego no rio Tietê, prevendo seu revestimento em concreto armado e redimensionamento da seção transversal que passaria a apresentar 10m de largura e 3,5m de profundidade, resultando em uma capacidade aproximada de 60mil L/s. Apesar das dificuldades na evolução da obra, associadas à desapropriação de famílias no Jd. Fiorelo (Itaquaquecetuba) a retificação ocorreu no segundo semestre de 2012, numa extensão de 1000 metros deste canal (DAEE, 2011)¹¹. Os dados do projeto executado foram fornecidos pelo DAEE e pela Hidrostudio para a utilização na presente pesquisa, e constituem informações de seções transversais projetadas e naturais levantadas em campo.

Conforme descrito inicialmente, os dados apresentados neste subcapítulo oferecem um panorama das intervenções realizadas no córrego Três Pontes e em seus afluentes. Não se

¹⁰ Obtido em: <www.daee.sp.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=60%>

¹¹ Obtido em: < http://www.daee.sp.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=530:daee-contrata-canalizacao-de-trecho-do-corrego-tres-pontes&catid=48:noticias&Itemid=53>

pretendeu detalhar todas as alterações, mas demonstrar a evolução das intervenções e preocupações relacionadas à área de estudo.

4. APLICAÇÃO DA ABORDAGEM GEOMORFOLÓGICA ANTROPOGÊNICA

4.1. Morfologias originais – Cenário 1 (1962)

As morfologias originais correspondem à condição preservada do modelado ou onde não ocorreram intervenções antrópicas significativas, diretas ou indiretas, sobre o sistema geomorfológico considerado (RODRIGUES, 2005).

Este capítulo possui, assim, como objetivo descrever e analisar as morfologias semi-preservadas, identificadas em quatro unidades geomorfológicas: bacia hidrográfica, sistema interfluvial, planície fluvial e canal fluvial; procurando inicialmente explorar os aspectos descritivos da morfologia e morfometria destas unidades, para em seguida abranger as tendências de processos hidromorfológicos superficiais associados a cada uma.

Os mapas de morfologias semi-preservadas são apresentados ao final deste subcapítulo, nas figuras 36 e 37.

(a) Morfologia Original da bacia hidrográfica

A descrição das morfologias originais da BHTP, sistematizada no quadro 17, disposto abaixo; foi desenvolvida com base nos seguintes parâmetros morfométricos: a área da bacia hidrográfica, sua assimetria, comprimento, forma, índice de circularidade e perímetro, o comprimento total dos canais, a densidade hidrográfica, a densidade de drenagem, o coeficiente de manutenção, o índice de bifurcação e sua a dissecação horizontal e vertical. A altimetria e a declividade foram mais amplamente exploradas a partir da leitura dos respectivos mapas (FIGURA 27 e 28), enfatizando a distribuição destes parâmetros na bacia hidrográfica.

QUADRO 17 – Parâmetros morfométricos da bacia hidrográfica do córrego Três Pontes.

Morfometria ou variável	Descrição	Resultado obtido
Área da bacia	Variável básica para outros parâmetros, é importante à diversidade de ambientes que pode abranger e à dimensão do canal. Grandeza quadrática principal à determinação do <i>runoff</i> .	9,02km²
Assimetria	Diferença de distribuição de área, altitude e outros aspectos morfológicos e morfométricos entre as vertentes das duas margens. Fundamental à análise de tectonismo, variedade litológica, capacidade de dissecação, etc.	Ligeiramente assimétrica na maior largura da bacia: 1,3km para ME e 1,5km para MD.
Comprimento da bacia	Possui relação com a forma da bacia e auxilia na definição da diversidade de ambientes abrangidos. Oferece-nos também uma ideia de distância entre o ponto mais afastado do exutório.	6,41km

Morfometria ou variável	Descrição	Resultado obtido
Perímetro da Bacia	Associado ao comprimento, possibilita novas considerações da forma da bacia e sua distribuição. É fundamental no cálculo de outros parâmetros	17,2km
Forma da bacia	Análise qualitativa referente à distribuição da área e do perímetro na bacia hidrográfica. Importante para caracterização da distribuição dos fluxos superficiais.	Marcadamente alongada. A relação comprimento sobre largura foi de 2,3km/km
Índice de circularidade (Ic)	Divisão entre a área da bacia pela área de um círculo com perímetro igual ao da bacia. Quanto mais circular, maior a tendência à retenção de água e de vulnerabilidade à enchente.	$9,02/23,40 = 0,38$.
Comprimento total dos canais	A soma dos comprimentos é uma morfometria relacionada total de produção de água por escoamento perene ou intermitente.	1,89km (1ª ordem) 5,05km (2ª ordem) 4,75km (3ª ordem) Total de 16,12km
Densidade hidrográfica	Divisão entre o número total de rios de uma bacia por sua área. Quanto maior os resultados, menores tendem a ser as distâncias interfluviais e o tempo de convergência dos fluxos difusos em escoamentos concentrados.	$52/9,0=5,07$ rio/km². Densidade relativamente elevada
Densidade de drenagem	Importante indicador de escala linear das formas do relevo na bacia. Oferece-nos a ideia da proporção de comprimento de rio por unidade de área, de forma que, quanto maior a densidade drenagem, mais velozmente os fluxos difusos são concentrados, e maior será a convergência nas baixadas.	1,78 km/km². Densidade relativamente elevada
Coeficiente de manutenção	O inverso da densidade de drenagem, diz respeito à área mínima necessária para manutenção de uma unidade de extensão de escoamento. Quanto maior for o coeficiente, menos dissecado tende a ser o relevo, e menor a convergência e concentração dos fluxos.	561 m²/m.
Índice de bifurcação	Relaciona o número de segmentos de rio de uma dada ordem hierárquica com o número de seguimentos de ordem imediatamente superior.	$1^{\text{a}}\text{ordem}/2^{\text{a}}\text{ordem}=2,21$ $2^{\text{a}}\text{ordem}/3^{\text{a}}\text{ordem}=2,00$.
Dissecação horizontal	Cômputo das dimensões interfluviais médias encontradas entre os afluentes do canal principal.	Distância interfluvial entre 300 e 500m.
Dissecação vertical	Cômputo do gradiente médio de incisão dos afluentes do córrego principal, resumido na diferença das altitudes entre o ponto mais alto do interflúvio e o talvegue.	Incisão fluvial entre 40 e 70m.

Fonte: Christofolletti (1969 e 1981), Strahler (1952), Schumm (1956), Machado et al. (2011), Brubacher, Oliveira e Guasselli (2011).

Dentre os parâmetros morfométricos apresentados acima, cabe destacar o índice de circularidade da bacia hidrográfica e de bifurcação dos canais fluviais, tendo em vista a importância que eles possuem na indicação das tendências de concentração de fluxos superficiais no canal principal da bacia e, conseqüentemente, à inundação de modo geral.

O Índice de Circularidade (I_c) pode simultaneamente indicar as tendências à concentração de fluxos superficiais na bacia hidrográfica, e a possibilidade de que um evento intenso seja capaz de abrangê-la como um todo. Em relação ao primeiro, os valores obtidos mais próximos a 1, representam maior tendência à concentração dos fluxos no centro da bacia, ao passo que, quanto mais afastado de 1, maior tende a ser o tempo de concentração, favorecendo o escoamento em direção ao exutório (CHRISTOFOLETTI, 1981).

Em relação ao segundo aspecto ressaltado, em bacias hidrográficas mais alongadas, a precipitação e o escoamento resultante tendem a ocorrer em diferentes pontos desta unidade, não abrangendo inteiramente em um único evento. Em contraposição, bacias hidrográficas com formatos circulares, tendem a ser mais suscetíveis ao recobrimento completo por um evento extremo, apresentando-se mais vulneráveis neste sentido, conforme descrito por Cardoso et al. (2006).

Assumindo o valor de $I_c=0,51$, proposto por Lana, Alves e Castro (2001), como sendo uma referência para a interpretação de níveis moderados de escoamento em bacias hidrográficas, o índice de circularidade obtido para a BHTP, de 0,38, permite constatar que se trata de uma unidade com formato alongado e, portanto, originalmente com tendência ao favorecimento do escoamento superficial e abatimento de picos de cheia.

Por sua vez, o Índice de Bifurcação (I_b) dos canais fluviais é composto pela proporção entre o número total de canais de uma determinada ordem hierárquica, em relação ao número total de canais de uma ordem imediatamente acima, indicando a dissecação do relevo, a ramificação dos cursos fluviais e, conseqüentemente, as tendências de coleta de fluxos provenientes dos tributários (PÉRICO et al., 2011). Ainda que não tenham sido encontrados valores de referência que apontem uma classificação de I_b voltada à concentração de fluxos e conseqüente vulnerabilidade à inundação, os valores obtidos nesta pesquisa para a BHTP, de 2,21 para a relação entre canais de 1ª e 2ª ordem e 2,00 para a relação entre canais de 2ª e 3ª ordem; foram considerados baixos

Hipsometria e Declividade

Em relação à distribuição hipsométrica da BHTP, conforme apresentado no mapa da figura 27, observa-se que esta unidade é marcada, predominantemente, por médias altitudes, com intervalo característico de 760 a 780m. As maiores altimetrias referem-se às superfícies localizadas ao sul da bacia, nos arredores das cabeceiras das principais nascentes, com cotas acima de 825m.

Fonte: Cartas topográficas 1:10.000 da Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano (EMPLASA). Folhas: Jardim São Miguel (SF-23-Y-D-IV-I-NO-B), 1996; Poá (SF-23-Y-D-IV-I-NE-A), 1996; São Miguel Paulista (SF-32-Y-D-I-3-SO-F), 1993; Itaquaquecetuba (SF-23-Y-D-I-3-SE-E), 1997.

FIGURA 27 – Altimetria da bacia hidrográfica do córrego Três Pontes.

As classes de 780-795m e de 795-815m são as mais representativas dos topos dos interflúvios, principalmente para as vertentes da margem esquerda. Os colos nos interflúvios principais e secundários possuem pontos de cota que variam entre 785 e 790m, um pouco acima disto nos setores a oeste, e mais rebaixados nas vertentes de leste. A ação denudacional nas cabeceiras é, ainda, sugerida pelo entalhe dos fluxos pluviais e pela formação de anfiteatros. Por último, os setores mais baixos caracterizam-se por serem superfícies aplanadas com cotas que variam de 726 e 740m; compreendendo, grosso modo, planície, terraços e bases de vertente.

Em relação à variação da declividade (FIGURA 28), a bacia hidrográfica apresenta desníveis suaves, caracterizando-se por inclinações baixas a médias, de 4° a 8°, localizadas predominantemente nos setores intermediários dos interflúvios secundários desta unidade, com destaque àqueles localizados na margem esquerda do canal principal. As vertentes da porção norte da bacia são as mais suaves e definem rampas alongadas, assim como o interflúvio principal da margem direita da BHTP, com topos aplanados e declividades frequentemente inferiores a 2,5°. Por sua vez, as declividades acima de 10° estão, preferencialmente, situadas nos terços superiores das vertentes, onde podem ocorrer rupturas e mudanças convexas de topo, localizadas em ambos os lados da bacia hidrográfica, principalmente na porção central e sul da margem esquerda, definindo algumas das cabeceiras dos canais principais.

Por fim, os fundos de vale planos que se estendem ao longo do canal principal e reentrâncias de seus tributários, são marcados por baixas declividades, normalmente, inferiores a 4°. Neste contexto, a planície fluvial do canal principal pode ser identificada pelas declividades abaixo de 2,5°.

No que se refere especificamente aos divisores de água principais da BHTP, nota-se diversidade morfológica significativa. O divisor da margem direita, que separa a bacia hidrográfica do córrego Três Pontes da bacia do Itaim, no município de Poá, orienta-se na direção SSW-NNE, assumindo a direção SSE-NNW no setor intermediário e de máxima largura da bacia hidrográfica, próximo ao limite com o município de Itaquaquecetuba. Com altimetria variando entre 787m, nas cabeceiras a montante, e 775m, nos topos planos das colinas de jusante, onde predominam declividades entre 5° a 9°; este interflúvio apresenta, ainda, topografia relativamente contínua com patamares convexizados e declividades baixas a médias, caracterizadas como rampas alongadas com mudanças de declividade ocasionais e apresentando rupturas morfológicas somente nas proximidades dos nichos de nascentes ou do contato com a planície de inundação.

O interflúvio da margem esquerda, por sua vez, separa a bacia hidrográfica do córrego Três Pontes da bacia do córrego Itaim (do Itaim Paulista, de nome igual a bacia hidrográfica localizada no outro extremo e citada no parágrafo acima). A direção preferencial constatada é S-N, com ligeira inclinação à SSE-NNW, acompanhando a mudança de direção do canal principal. Apresenta altitudes mais elevadas nas cabeceiras principais da bacia, acima de 815m, a partir de onde descende irregularmente para altitudes na ordem de 775m, nos setores de jusante. Diferentemente de seu oposto, este interflúvio caracteriza-se por ser topograficamente descontínuo, apresentando elevações e diminuições altimétricas sucessivas que configuram sequências de topos e pontos de cota com diferentes amplitudes e declividades. As numerosas cabeceiras de drenagens produzem, ainda, uma dissecação intensa, levando-o a uma sinuosidade.

O mapa hipsométrico (FIGURA 27) e os perfis topográficos A-A' e B-B' apresentados no interior desta figura, permitem verificar que existe uma assimetria entre os interflúvios principais da BHTP, com diferenças altimétricas na ordem de 15 metros, podendo atingir até 30 metros (A-A'). Da mesma forma, pode ser observada uma desigualdade similar da distribuição das declividades mais elevadas (acima de 8°) no interior da bacia, mais presentes nos interflúvios da margem esquerda.

Com base na descrição dos parâmetros morfológicos e morfométricos da BHTP, e apoiado na figura 16, apresentada na caracterização geológica da área de estudo, é possível inferir sobre a existência de controle estrutural, exercido por elementos tectônicos, como falhas supostas e contatos litológicos localizados na porção central e terço superior da BHTP. Destaca-se, também, que o predomínio de xistos e migmatitos a montante confere maior resistência ao intemperismo, resultando na permanência de superfícies mais elevadas e contínuas (entre 815 e 826m).

As diferenças altimétricas e clinográficas verificadas nas vertentes das margens opostas da BHTP sugerem um provável basculamento da bacia hidrográfica, como pode ser observado em demais unidades do sistema hidrográfico do Alto Tietê, implicando diferenças quanto à incisão fluvial, às taxas de mudança de declividade, e aos fluxos dos processos hidrogeomorfológicos de modo geral.

Fonte: Cartas topográficas 1:10.000 da Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano (EMPLASA). Folhas: Jardim São Miguel (SF-23-Y-D-IV-I-NO-B), 1996; Poá (SF-23-Y-D-IV-I-NE-A), 1996; São Miguel Paulista (SF-32-Y-D-I-3-SO-F), 1993; Itaquaquecetuba (SF-23-Y-D-I-3-SE-E), 1997.

FIGURA 28 – Declividade da bacia hidrográfica do córrego Três Pontes.

(b) Morfologias Originais das vertentes

A descrição e posterior análise das morfologias originais de vertentes se apoiaram basicamente no parâmetro de curvatura em planta e em perfil, e no resultado da sobreposição entre ambos, do qual foram derivadas unidades elementares do relevo (feições mínimas)¹².

As curvaturas em planta e em perfil, apresentadas nos mapas da figura 29, foram definidas a partir de técnicas de estereoscopia, com suporte de ferramentas de análise espacial (*Curvature*), classificando-as quanto à variação de sua orientação, em côncavas, convexas ou retilíneas, em planta e em perfil; e posteriormente, combinando-as com base no conceito de feições mínimas (COLÂNGELO, 1996).

FIGURA 29 – Mapas de curvatura em planta e em perfil da bacia do Córrego Três Pontes.

Em relação à variação da curvatura em planta, predominam vertentes convexas nos interflúvios principais e secundários. Por outro lado, concentram-se morfologias côncavas nos fundos de vale e anfiteatros de nascentes que circundam as cabeceiras principais e dos afluentes do córrego Três Pontes, denotando incisão e trabalho erosivo pluvial e fluvial

¹² As feições mínimas são constituídas por nove unidades elementares do relevo, conforme Colângelo (1996): hiperdispersora (cv/cv), mesodispersora longitudinal (cv/ret), hipodispersora (cv/cc), mesodispersora radial (ret/cv), de transição/neutra (ret/ret), mesoconcentradora radial (ret/cc), hipoconcentradora (cv/cc), mesoconcentradora longitudinal (cc/ret) e hiperconcentradora (cc/cc).

intensos. As vertentes retilíneas são esporádicas e dispersas na área da BHTP, ocorrendo em alguns topos interfluviais da margem direita, nos terços médios de alguns afluentes do canal principal e, sobretudo, nas vertentes da margem esquerda a jusante da bacia hidrográfica.

O mapa da direita da figura 29, por sua vez, apresenta a distribuição das curvaturas em perfil, possibilitando observar que as convexidades permanecem como as mais abundantes do modelado da bacia hidrográfica em estudo, localizadas nos interflúvios e caracterizando o predomínio de áreas dispersoras de fluxos longitudinais. Complementarmente, as superfícies côncavas em perfil, distribuem-se preferencialmente ao longo dos cursos fluviais e nas cabeceiras de drenagem. Por último, as formas retilíneas, assim como ocorre para as curvaturas em planta, são as menos frequentes em perfil e são observadas nos fundos de vale plano, nos topos de morros da margem direita e nas rampas dos contatos entre as baixas e médias vertentes com a planície de inundação.

A distribuição dos tipos de curvaturas das vertentes está apresentada nas figuras 30 e 31 e nas tabelas 8 e 9. Ressalta-se que os conjuntos de interflúvios e vertentes somam 7,51km², correspondendo a 83,4% da bacia hidrográfica estudada.

TABELA 8 – Áreas das curvaturas em planta mapeadas na BHTP.

Morfologias de vertente	Área (km ²)	Percentual (%)
Convexas	3,5527	47,26
Retilíneas	1,5056	20,03
Côncava	2,4586	32,71
Total	7,52	100,00

TABELA 9 – Áreas das curvaturas em perfil mapeadas na BHTP.

Morfologias de vertente	Área (km ²)	Percentual (%)
Convexas	2,80	37,31
Retilíneas	1,84	24,47
Côncava	2,87	38,22
Total	7,52	100,00

Conforme mencionado na descrição dos mapas, os percentuais apresentados na tabela 9, acima, permitem constatar a preponderância de vertentes convexas em planta, perfazendo aproximadamente 50% da área total de interflúvios, indicando a dominância de morfologias com tendência a dispersão radial dos fluxos.

Em perfil, há um ligeiro predomínio das morfologias côncavas, concentradas nas bordas dos fundos de vale plano e dos anfiteatros de nascentes, implicando tendência à convergência de fluxo e concentração do escoamento superficial, sobretudo, no sentido longitudinal. Quanto ao percentual elevado de superfícies retilíneas em perfil, de aproximadamente 25%, é possível afirmar que, contribuem para tal fato, três características do relevo: (i) a tendência aplainada dos topos, com destaque aos interflúvios da margem leste; (ii) os contatos em rampas, por vezes estendendo-se desde o topo do interflúvio até o contato com os fundos de vale; e (iii) as transições entre unidades côncavas e convexas.

Por fim, cabe destacar que o maior percentual de vertentes retilíneas em perfil do que em planta se deve à forma como os algoritmos de cálculo da curvatura no SIG abordam o MDT e ao modo como este é construído a partir das curvas de nível.

O mapa da figura 32 apresenta a combinação entre as curvaturas da figura anterior, definindo nove tipos de tendências geométricas de vertente em planta/perfil: convexa/convexa (cv/cv), retilínea/convexa (ret/cv), côncava/convexa (cc/cv), convexa/retilínea (cv/ret), retilínea/retilínea (ret/ret), côncava/retilínea (cc/ret), convexa/côncava (cv/cc), retilínea/côncava (ret/cc), e côncava/côncava (cc/cc).

Tal classificação possui como objetivo distinguir, a partir da geometria predominante, as tendências de fluxos superficiais correspondentes, que variam desde áreas hiperdispersoras (convexa/convexa) à hiperconcentradoras (côncava/côncava), delimitando os caminhos preferenciais para formação de escoamento superficial concentrado. Assim, na figura 32, as unidades em tons azuis representam modelados de vertente inseridos no domínio concentrador de fluxo, ao passo que os modelados de tons marrons inserem-se no domínio hidromorfológico de tendências dispersoras.

FIGURA 32 - Combinação entre modelados de curvaturas em planta e em perfil.

Os modelados de domínio convergente de fluxo estão localizados nas cabeceiras de drenagem e nos fundos de vale dos afluentes do canal principal, auxiliando na delimitação das morfologias de anfiteatro de nichos de nascente, das áreas de captação de fluxos descontínuos e dos setores inferiores de base de vertente dos tributários, no contato com a planície ou com a margem do canal. Os modelados de domínio divergente de fluxo, por sua vez, permanecem majoritários na área da BHTP, ocorrendo nos interflúvios secundários e ao longo das linhas de cumeada que avançam em direção ao centro da bacia, estrangulando, em alguns setores, a planície de inundação do canal principal, e permitindo identificar os limites de esporões secundários de seus interflúvios.

Por fim, o modelado retilíneo/retilíneo restringe-se a setores médios de vertentes localizados no terço de jusante da bacia hidrográfica, em alguns sistemas interfluviais isolados em sua porção sul, bem como ao longo do interflúvio principal da margem direita da unidade. Sua esparsa ocorrência está associada ao fato de tal modelado, em geral, corresponder a um setor de transição entre feições de tendência côncavas e convexas.

A tabela 10 e a figura 33, produzidas a partir da combinação das curvaturas em planta e em perfil, demonstram que a predominância de áreas com tendência dispersora de fluxo se mantém sobre as áreas concentradoras, como se nota nos percentuais relativos às morfologias cv/cv e cc/cc, que apresentam, respectivamente, 23,17% e 19,47% das vertentes.

TABELA 10 – Áreas das morfologias de vertente mapeadas na BHTP.

Morfologias de vertente		Curvatura em perfil					
		Convexa		Retilínea		Côncava	
		km ²	%	km ²	%	km ²	%
Curvatura em planta	Convexa	1,74	23,17	0,91	12,08	0,90	12,02
	Retilínea	0,32	4,32	0,67	8,97	0,51	6,74
	Côncava	0,74	9,82	0,26	3,42	1,46	19,47
	Total	2,80	37,31	1,84	24,47	2,87	38,23

FIGURA 33 – Percentuais de área das morfologias de vertente.

Dois outros conjuntos de morfologias de vertente merecem ser destacados na BHTP: os setores cv/cc (12,02%) e cv/ret (12,08%), ambos preferencialmente localizados nas confluências entre o rio principal e seus tributários, que constituem, respectivamente, tendências dispersoras radiais e longitudinais de fluxos, minimizadoras das condições críticas ao alagamento.

Assim, cabe lembrar que a distribuição da curvatura consiste em parâmetro essencial à classificação das áreas potencialmente produtoras de escoamento superficial concentrado, ao considerar que as tendências convergentes ou divergentes de fluxos podem ser aferidas a partir

da morfologia predominante. Desta forma, o arranjo entre vertentes hiperconcentradoras e fundos de vales planos foi, no processo de classificação da vulnerabilidade à inundação, um dos critérios adicionais adotados para determinação de condições alta ou muito alta suscetibilidade.

Cabe ainda destacar que, no âmbito da descrição dos sistemas de vertente, as feições que marcam mudanças ou rupturas de declividade são fundamentais ao entendimento das tendências de fluxos superficiais, uma vez que se relacionam com a continuidade de uma determinada superfície e podem ser indicadoras da formação de curvaturas côncavas e convexas. Tais discontinuidades foram diferenciadas na BHTP conforme seu local de ocorrência, sendo subclassificação de acordo com sua posição nas vertentes, em altas ou médias, onde as primeiras correspondem às rupturas e mudanças coincidentes com o limite entre topos e vertentes, e as segundas ocorrem nos setores médios ou baixos dos sistemas interfluviais. A BHTP apresenta predominância de mudanças convexas entre topo e médias vertentes em comparação ao número de rupturas, mais concentradas nos setores de montante das cabeceiras ao sul e sudeste da bacia.

O mapa das morfologias originais da BHTP, restituídas a partir de fotointerpretação morfológica, executada sobre fotografias aéreas de 1962, é apresentado na figura 36.

(c) Morfologias Originais da planície fluvial

A BHTP apresenta a maior parte de suas morfologias originais nos sistemas interfluviais, envolvendo vertentes, topos de morros e colos. Por outro lado, um percentual significativo das superfícies morfológicas originais, compõe-se de planície fluvial, subunidade morfológica de interesse central para a análise de vulnerabilidade à inundação. Nesta pesquisa, tal subunidade abrangeu quatro morfologias de menor dimensão, subordinada à sua dinâmica: planície de inundação, terraços fluviais, *backswamp* e meandro colmatado. Adicionalmente, foram identificadas as formas de vale encaixados e anfiteatros de nichos de nascente que derivam da ação erosiva flúvio-pluvial, porém, por não se configurarem como unidades de área foram menos descritas no presente subcapítulo.

O mapa da figura 36 apresenta a distribuição destas morfologias no interior da BHTP. Pode-se notar que a planície de inundação restituída ocupa a maior área dentre essas morfologias, com aproximadamente 1,22 km², longitudinalmente distribuída ao longo do canal principal e estendendo-se com direção preferencial S-N, de seu ponto mais a montante até

cerca da metade de sua extensão, a partir de onde assume direção preferencial SSE-NNW até a foz no rio Tietê.

A largura máxima da planície é de, aproximadamente, 370m localizada no terço de jusante próximo ao bairro Vila Popular, sendo em diversos trechos estrangulada, ora pela aproximação das vertentes, ora pelos terraços fluviais, particularmente localizados no terço médio do canal. O ponto de menor largura ocorre no trecho de montante entre os bairros de Cidade Kemel e Whitaker Machado.

Em termos altimétricos, pode-se verificar que o nível da planície de inundação, encontra-se entre cotas de 755 a 750m no terço de montante, entre 750 e 740m no terço intermediário, e atingindo 726m no ponto mais a jusante da BHTP. Este desnível de, aproximadamente 25m, ocorre de maneira suave entre o terço médio e a foz, excetuando-se algumas declividades notadas no canal principal, que serão identificadas mais adiante na descrição do perfil longitudinal do córrego Três Pontes.

A declividade na planície varia entre valores que, raramente, superam 2,5°. Em virtude dos sistemas interfluviais apresentarem modelados de baixas a médias declividades, os contatos entre a planície de inundação com os terraços fluviais e com as vertentes são, em sua maioria, transições graduais que definem mudanças suaves de declividade, configurando rampas com inclinação entre 2.5 a 5°, sendo raramente superior. Em alguns setores da BHTP os contatos entre a planície de inundação e as vertentes podem apresentar-se mais abruptos, acima de 5° e atingindo, em pontos específicos, valores superiores a 13°, configurando rupturas morfológicas com elevada taxa de alteração de declividade.

Em relação aos terraços fluviais na BHTP, sua distribuição ocupa uma área de, aproximadamente, 0,21km², localizados, preferencialmente, nos bordos da planície junto às confluências do canal principal com seus tributários. O maior terraço fluvial mapeado possui 0,08km² e está posicionado na margem esquerda e apresenta largura máxima de 320m. A altitude característica dos terraços na BHTP é de 755 a 760m, dependendo de sua posição na bacia e, raramente, estão acima de 1 metro de desnível em relação ao nível principal da planície de inundação.

As superfícies de terraços apresentam declividades similares às planícies, constantemente abaixo de 2,5° de inclinação e chegando a 3° nos limites com a base da vertente, conformando rampas suaves. No contato com a planície de inundação o terraço é limitado por um degrau formado por uma sequência de duas mudanças ou rupturas de declividade: a primeira, altimetricamente mais baixa, tende à concavidade na base do talude

terraceados; ao passo que a segunda caracteriza-se por ser mais elevada e com tendência à convexidade definindo a crista desta morfologia. Os limites entre os terraços e as vertentes são, frequentemente, marcados por mudanças nas taxas de declividade, no entanto, em algumas ocasiões depósitos coluvionares podem soterrar o contato côncavo habitual da base da vertente, produzindo morfologias de rampas alongadas que dificultam a identificação do limite entre estes sistemas.

Por fim, a morfologia fluvial de menor expressão em área caracteriza-se como uma bacia de inundação, *backswamp*, localizada no terço de jusante da BHTP, com área de 0,06km² e rebaixada em média 0,5m em relação ao nível da planície. Sua posição espacial na planície de inundação e sua geometria sugerem que esta morfologia não tenha sido formada nas adjacências de diques fluviais, terraços ou nos limites com a vertente. Por sua condição altimétrica, o tempo de permanência da água em superfície é maior do que na planície, caracterizando um setor naturalmente mais vulnerável à inundação.

As morfologias fluviais identificadas na BHTP representam 16,5% de sua área total, e estão distribuídas conforme apresentado na tabela 11 e no gráfico da figura 34.

TABELA 11 – Áreas das morfologias fluviais mapeadas na BHTP.

Morfologias fluviais	Área (km ²)	Percentual (%)
Planície	1,22	81,88
Terraço	0,21	14,09
Backswamp	0,06	4,03
Total	1,49	100,00

FIGURA 34 - Percentuais dos tipos de formas no conjunto de morfologias fluviais.

A restituição morfológica da bacia hidrográfica em estudo possibilitou verificar que a área total dominada por morfologias de planície fluvial é de 1,49km², consistindo, basicamente, na planície de inundação, nos terraços e na *backswamp*, sendo que, apenas a primeira totaliza, aproximadamente, 80% do total.

No que se refere às morfologias de vale, os canais perenes instalados nas colinas e morros apresentam incisão em “V”, com talvegue encaixado e vale de média a ampla abertura. Os desníveis topográficos entre os topos interfluviais e os fundos de tais vales atingem, frequentemente, 40m e podem chegar a 50m, com dimensões interfluviais na ordem de 300m. Nas cabeceiras e setores mais dissecados, a morfologia de vale em “V” é acentuada e o talvegue se aprofunda em relação ao topo do interflúvio, configurando incisões de até 80m de desnível, com dimensões interfluviais mais estreitas, raramente superiores a 250m.

Os canais intermitentes se caracterizam pelo escoamento concentrado temporário e por não apresentarem olho d’água, tendo sido identificados por inferência na fotointerpretação a partir de incisão menos pronunciada nas vertentes côncavas. Por fim, identificaram-se, ainda, os anfiteatros de cabeceiras, considerando as mudanças ou rupturas convexas de topo como limites para sua demarcação. Estas mudanças ou rupturas, frequentemente, apresentaram alterações de taxas de declividade, entre os valores de 10° no setor superior da vertente a 5° nos topos de morros. Consideradas morfologicamente e dinamicamente sensíveis, uma vez que atuam, sobretudo, na concentração de fluxos hídricos nos topos e apresentam potencial para ações erosivas intensas, tais feições também estão relacionadas à dissecação por erosão remontante, muitas vezes, associadas a interflúvios em colos.

(d) Morfologia Original do canal fluvial principal

Os cursos fluviais existentes em 1962 foram mapeados a partir de técnicas de fotointerpretação, baseada em estereoscopia, em que as posições da nascente e do talvegue foram deduzidas a partir do arranjo das formas, da vegetação e sua estrutura, e da variação de tons de cinza.

A hidrografia restituída resultou em uma rede de drenagem de, aproximadamente, 50km de extensão, sendo 28km de canais perenes e 22,5km de cursos intermitentes, com um total de 5,5km localizados na planície fluvial.

O canal principal da bacia hidrográfica possui cerca de 7km de extensão, desde a cabeceira principal até sua foz no rio Tietê. Seu perfil longitudinal apresenta maiores declividades próximas à cabeceira e menores no terço final, resultando em uma declividade média original de 0,012m/m, obtida a partir da construção deste perfil, disposto na figura 35, abaixo.

Este gradiente pode ser dividido em três terços: terço superior, entre as cotas 815 e 770m; terço médio, entre as cotas de 770 a 755m, e terço inferior, entre as cotas 775 a 726m. O

primeiro terço abrange o canal principal de primeira ordem e constitui trecho fortemente inclinado; o terço médio coincide com o trecho de segunda ordem do córrego Três Pontes e apresenta um gradiente de declividade muito inferior ao trecho de montante, evidenciando uma descontinuidade com elevada taxa de variação negativa de declividade entre eles; por último, o terço de jusante inicia-se no canal de 3ª ordem e estende-se até a foz, com declividade média inferior ao trecho de montante, evidenciando, ainda, a declividade média predominante na planície de inundação.

FIGURA 35 – Perfil longitudinal do córrego Três Pontes e unidades litológicas.

O perfil longitudinal do córrego Três Pontes comporta-se, de modo geral, como um perfil ajustado, não apresentando, entretanto, morfologia totalmente côncava esperada para um rio em equilíbrio dinâmico, devido à ocorrência de, pelo menos, quatro rupturas de declividade, identificadas na figura. A primeira ruptura, localizada no setor de montante, aproximadamente entre as cotas 750 e 755m, é caracterizada por expressiva ruptura negativa nas taxas de declividade em direção à jusante, denotando morfologia côncava. A montante deste ponto notam-se declividades mais elevadas, com média de 0,05 m/m nos trezentos primeiros metros do canal, ao passo que a jusante, as declividades são inferiores, por volta de 0,0125 m/m ao longo dos 1.200m seguintes deste curso. Cabe destacar que ambas as declividades são elevadas, uma vez que se trata de região de cabeceiras, contudo a taxa de mudança de declividade expressa nestes valores é significativa. Considerando a uniformidade de litologia neste trecho, composta por micaxistos, é possível explicar a conformação desta ruptura, com base em fatores não diretamente relacionados aos aspectos litológicos, podendo estar associada à variação da dinâmica do canal ou outros agentes subaéreos.

A segunda ruptura ocorre na cota de 754m e, ao seu turno, relaciona-se, possivelmente, à mudança na litologia. Menos expressiva que a primeira, a mudança da taxa de declividade ocorre de forma positiva, ou seja, com aumento da inclinação do talvegue, de modo que a montante deste ponto, a declividade tende a ser mais suave, ao passo que em direção à jusante, tende a ser mais aguda, definindo uma convexidade possivelmente relacionada à mudança de resistência litológica, e caracterizando, assim, um *knickpoint*. Ao sair de um domínio de rochas cristalinas compostas por micaxistos e meta-arenitos, e adentrar os aluviões quaternários, a diferença de resistência entre as unidades, provavelmente, leva à escavação mais intensa nos setores de jusante.

A terceira ruptura, localizada a aproximadamente dois mil metros de distância da ruptura anterior, ocorre próxima a cota de 743m, sendo também caracterizada por uma alteração positiva da taxa de declividade, porém mais gradual, definindo morfologia convexa menos pronunciada. A cerca de cem metros a jusante desta, ocorre uma nova ruptura, com desnível de aproximadamente três metros em relação à anterior, e mudança negativa da taxa de declividade, resultando em morfologia côncava. A associação entre ambas define no talvegue uma morfologia de degrau, situada sobre substrato litológico aparentemente uniforme, composto por sedimentos quaternários do próprio canal, de modo que sua formação pode estar relacionada, na realidade, à variação da carga hidráulica do curso principal, ou secundariamente, a elementos estruturais de menor dimensão. A presença de tal degrau pode indicar variação na energia do fluxo, partindo de condições com maior energia disponível para locais característicos de menor energia, exigindo destes últimos setores, subsistemas mais eficientes de dissipação, podendo envolver processos de inundação mais frequentes e formação de planícies mais amplas.

No terço de jusante, o córrego Três Pontes assume traçado linear à meandrante, com indícios de migração lateral sugerida pela presença de estreitas alças senoidais. Os afluentes com cabeceiras nas colinas acima da cota de 800m apresentam, ao seu turno, traçados lineares sem alterações abruptas de direção. No conjunto das drenagens perenes de primeira e segunda ordem, há tendência marcante de paralelismo indicada por ângulos de confluência próximos a 90° com o canal principal.

As descrições morfológicas e morfométricas das morfologias originais, bem como as análises realizadas no presente subcapítulo, foram ancoradas nos mapas das figuras 36 e 37 apresentadas a seguir, e são fundamentais às análises que seguem nos itens posteriores desta dissertação.

Fonte: Cartas topográficas 1:10.000 da Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano (EMPLASA). Folhas: Jardim São Miguel (SF-23-Y-D-IV-I-NO-B), 1996; Poá (SF-23-Y-D-IV-I-NE-A), 1996; São Miguel Paulista (SF-32-Y-D-I-3-SO-F), 1993; Itaquaquetuba (SF-23-Y-D-I-3-SE-E), 1997. Fotografias aéreas 1:25.000 de 1962, produzidas pelo IAC (Instituto Agrônomo de Campinas) e disponibilizado pelo AFA do Laboratório de Aerofotogeografia e Sensoriamento Remoto, DG/FFLCH/USP.

Fonte: Cartas topográficas 1:10.000 da Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano (EMPLASA). Folhas: Jardim São Miguel (SF-23-Y-D-IV-I-NO-B), 1996; Poá (SF-23-Y-D-IV-I-NE-A), 1996; São Miguel Paulista (SF-32-Y-D-I-3-SO-F), 1993; Itaquaquetuba (SF-23-Y-D-I-3-SE-E), 1997. Fotografias aéreas 1:25.000, produzidas pelo IAC (Instituto Agrônomo de Campinas) e disponibilizado pelo AFA do Laboratório de Aerofotogeografia e Sensoriamento Remoto, DG/FFLCH/USP.

4.2. Morfologias Antropogênicas – Cenário 2 (2011)

As morfologias antropogênicas correspondem às formas derivadas da ocupação e alteração humanas sobre a superfície, e constituem as modificações diretas nos elementos dos sistemas geomorfológicos e suas implicações sobre os processos, formas e materiais.

Essas morfologias foram deduzidas pelo uso da terra mapeado para o ano de 2011, correspondendo à influência da dinâmica e estrutura urbanas atuais. Considerou-se as alterações de natureza em área e linear, abrangendo, respectivamente, intervenções ocorridas sobre unidades de área (lotes, terrenos e vertentes, por exemplo) e em termos linear, sobre o córrego Três Pontes e seus afluentes.

Este subcapítulo tem como objetivo descrever e analisar geomorfologicamente a urbanização realizada na BHTP, e considerada como a principal ação antrópica responsável pela derivação de formas e processos, sem desprezar, contudo, outros usos que ocorrem menos frequentemente na bacia hidrográfica. Assim, as unidades morfológicas antropogênicas foram agrupadas em quatro amplas categorias, conforme as modalidades de intervenção urbana e não urbana e suas características de interferência sobre os canais fluviais: formas semi-preservedas remanescentes, modalidades de intervenção não-urbanas, modalidades de intervenção urbana e as intervenções sobre os canais fluviais. Tais categorias são descritas e analisadas ao longo deste subcapítulo, considerando esta mesma ordem de apresentação.

A figura 38, a seguir, apresenta o mapa de morfologia antropogênica, acompanhado de sua legenda. Abaixo, encontra-se disposta tabela (TABELA 12) sintetizando os resultados em área (km²) de cada morfologia antropogênica verificada na BHTP.

TABELA 12 – Áreas das morfologias antropogênicas mapeadas na BHTP.

Morfologia antropogênica		Usos da terra em 2011	Área (km ²)	% na BHTP
Semi preservado		Fragmento de vegetação arbórea; vegetação arbórea e arbustiva marginal; terreno urbano livre; campo de futebol e campo antrópico	1.78	19.63
Urbano	Estágio intermediário	Uso residencial com padrão construtivo precário - Favela	0.05	0.55
	Estágio Final	Usos residenciais com alta taxa de impermeabilização; equipamento urbano; unidade industrial e pátio	6.93	76.41
Não urbano	Via Férrea	-	0.03	0.33
	Solo exposto	-	0.25	2.76
	Mineração	-	0.03	0.33
Total			9.07	100.00

Fonte: Cartas topográficas 1:10.000 da Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano (EMPLASA). Folhas: Jardim São Miguel (SF-23-Y-D-IV-I-NO-B), 1996; Poá (SF-23-Y-D-IV-I-NE-A), 1996; São Miguel Paulista (SF-32-Y-D-I-3-SO-F), 1993; Itaquaquecetuba (SF-23-Y-D-I-3-SE-E), 1997. Imagem de Satélite de Alta Resolução WorldView-2, 2011, acervo de imagens do Laboratório de Geomorfologia, DG/FFLCH/USP.

Morfologia		Unidades	Descrição morfológica e tendência de processos hidromorfológicos	Legenda
Morfologia semi-preserveda		Corpos d'água com características semi-preserveda	Corpos d'água menores que 900 m ² , formam pequenos açudes de regime perene, em geral, com margens desprovidas de vegetação ciliar e circundados por gramíneas. Estão preferencialmente localizados nas vertentes setores médios e inferiores, ocasionalmente nos setores superiores das vertentes, normalmente com geometria côncava. A turbidez é um aspecto marcante, sugerindo predomínio de processos hidromorfológicos intensos de sedimentação, e erosão nas cabeceiras.
		Áreas predominantemente dotadas de cobertura vegetal (matas, capoeiras, campos, vegetação de várzea ou, ainda, reflorestamento), que mantêm as condições de originalidade dos sítios.	Constituídas por remanescentes arbóreos e formações arbustivas ou rasteiras, não apresentam intervenções antrópicas significativas sobre as formas do modelado conservando, parcialmente, as características morfológicas originais. Podem denotar alterações intensas nos processos hidromorfológicos superficiais decorrentes das modificações nos materiais predominantes, com algum incremento nas velocidades dos fluxos e nas taxas de erosão.
Morfologia antropogênica	De natureza urbana	Estágio não consolidado (intermediário) de urbanização	Constituem-se de ocupação urbana residencial com padrões construtivos inadequados que denotam estágios não consolidados de ocupação, normalmente envolvendo remodelação de material superficial, exposição de grandes volumes de solo, sistemas de drenagem pluvial improvisado e não dimensionados. Sobre os sistemas de vertente, podem deflagrar processos erosivos intensos aumentando o aporte de sedimentos. Por outro lado, em setores de planície, alteram taxas de infiltração redundando na aceleração do enchimento, transbordamento e aumento da permanência da água na superfície.
		Áreas urbanas com taxas de impermeabilização muito altas, desprovidas de infraestrutura		
		Estágio consolidado (final) de urbanização	Constituem-se de ocupação urbana diversificada com padrões construtivos adequados e melhor estruturados, denotando alterações hidromorfológicas significativas decorrentes de obras de reconfiguração topográfica, com destaque a: produção de descontinuidades entre materiais tecnogênicos dos aterros e as superfícies originais do modelado, aumentos da taxa de permeabilidade e de infiltração, aumento do volume, da velocidade e concentração do fluxo. Nas planícies, salienta-se as tendências de diminuição do tempo de reservação da água em função da drenagem urbana, aumento da saída de água em virtude das drenagens associadas a aterramentos de industriais e casas, diminuição do potencial de infiltração e atenuação dos cheias fluviais, e aumento da vulnerabilidade (frequência e magnitude de inundações), principalmente nos setores remanescentes desta unidade morfológica.
		Áreas urbanas com taxas de impermeabilização muito altas, dotadas de infraestrutura.		
	Outras	Solos expostos. Superfície totalmente exposta, podendo ou não apresentar movimentação de terra	Constituem-se de solos expostos ou terrenos com movimentação para preparação do terreno ou em função de uso intensivo, possuem como característica básica a remoção completa da vegetação. Mesmo não implicando, necessariamente, reconfiguração topográfica, apresentam níveis de perturbação intermediários a elevados, associados à tendências hidromorfológicas de diminuição significativa da capacidade de infiltração, aumento do escoamento superficial e da produção de sedimentos.
		Mineração	Constituem-se de áreas sujeitas à atividade mineradora, particularmente para extração de areia na BHTP. Apresentam ampla movimentação de terra devido à abertura e aprofundamento da cava, e nas pilhas de estéril, decorrendo nos mais elevados níveis de perturbação morfológica. A céu aberto, caracterizam-se pela remoção da cobertura vegetal e completa reconfiguração topográfica, com cortes e aterros, deflagração processos erosivos severos nos taludes das cavas e acessos, intensa produção de sedimentos a corpos d'água a jusante. Em casos específicos podem apresentar funcionalidades relacionadas à reservação de excedentes.
		Via férrea	Constitui-se de uma morfologia particular no contexto das formas não urbanas da BHTP, com ocorrência exclusiva na planície fluvial, e determinam o aterramento de importantes setores da planície de inundação e terraços, com aterramento significativo. Importantes à manobra ferroviária. constituem terrenos antropogênicos bem drenados e menos vulneráveis à inundação. Devido ao aterramento podem resultar no agravamento do acúmulo de água em remanescentes morfológicos e áreas não aterradas.

Cabe ressaltar que no capítulo seguinte, referente às unidades complexas, será apresentada a combinação derivada da sobreposição entre as morfologias originais e antropogênicas.

(a) Morfologias semi-preservedas remanescentes

Durante o processo de urbanização da BHTP, algumas áreas permaneceram sem ocupação no interior da cidade, caracterizadas por terrenos baldios, áreas devolutas, de servidão, equipamentos urbanos, com restrições de declividade ou condições hidrológicas desfavoráveis, entre outros. Mesmo quando a vegetação foi totalmente suprimida, estas unidades resultam em mudanças menos expressivas, configurando áreas de remanescentes morfológicos.

Tais áreas são compostas pelos seguintes usos da terra: campo antrópico, campo de futebol, fragmento de vegetação arbórea, terreno urbano livre e vegetação arbórea e arbustiva marginal.

No total, as morfologias semi-preservedas somam 1,78km², equivalente a 19,7% da área da BHTP. Tais remanescentes estão localizados, prioritariamente, em estreitas faixas marginais ao longo dos principais cursos d'água, como vegetação arbórea-arbustiva ciliar, e estão, em maior quantidade, nas vertentes da margem direita do canal, onde configuram terrenos com gramíneas e arbustos esparsos pertencentes a campos antrópicos e áreas de servidão da linha de transmissão de energia que cruza a bacia hidrográfica.

Pela localização das morfologias semi-preservedas, pode-se afirmar que as vertentes de tendência convexa são, em geral, aquelas que possuem o maior número de unidades não alteradas pela urbanização; em contraposição aos setores de planície fluvial dos setores superior e médio do canal principal, amplamente ocupados pela urbanização.

(b) Modalidades de intervenção não urbana

As modalidades de intervenção não urbana constituem os solos expostos, a linha férrea e as áreas de mineração, incluindo suas cavas inundadas, totalizando 0,31km² e correspondendo aproximadamente a 2,5% da área da BHTP. Ainda que suas áreas sejam pouco representativas no conjunto da bacia, as intervenções diretas e indiretas, relacionadas às atividades de mineração e à linha férrea, implicam notórias alterações da superfície e dos fluxos.

As cavas de mineração (0,03km²) estão localizadas, preferencialmente, na foz do canal principal, sobre os sedimentos quaternários da planície do rio Tietê, compondo morfologias

erosivas em suas fases de abertura e exploração, constatadas nos taludes do *pit* e nas vias de acessos mal conservadas, remodelando diretamente grandes volumes de material e interferindo significativamente no modelado da BHTP. Uma vez encerradas as atividades de mineração, como observado nos portos de areia presentes na BHTP, consolidam-se lagos abandonados, os quais ao longo do tempo, se não forem objetos de ações de manutenção, passam a funcionar como bolsões preferenciais para colmatação e sedimentação, atuando, em última análise, como bacias de retenção de grande aporte de material. Neste mesmo sentido, mesmo constantemente inundadas, as cavas de mineração podem, ainda, ter a função de reservação de chuvas excedentes, mesmo quando inexistem sistemas de bombeamento da água e desassoreamento do fundo, contribuindo ao amortecimento de cheias.

Os solos expostos (0,25km²) refletem a dinâmica construtiva ainda presente na bacia hidrográfica. Ao todo são mais de 50 terrenos com movimentação de terra e exposição do solo, em função de circulação intensiva, como praças e campos de futebol, ou devido ao preparo para receber novas edificações. As unidades que compõem esta categoria estão prioritariamente distribuídas ao longo dos canais fluviais e próximas às cabeceiras de drenagem, sobretudo, em setores de mudança e ruptura convexa de relevo.

Por fim, a morfologia produzida pela linha férrea da CPTM e o pátio de manobras de vagões existentes no setor norte da BHTP, constitui alteamento de significativa amplitude topográfica em relação ao nível do terreno anteriormente existente. Esta estrutura secciona um trecho importante da planície do córrego Três Pontes, em seu terço de jusante, e está elevada em cerca de 3 metros, soterrando área relevante da planície fluvial e decorrendo em perda da funcionalidade original desta morfologia podendo, assim, agravar as condições de escoamento e transferência de excedentes hídricos.

(c) Modalidades de intervenção urbana

Dentre as modalidades de intervenção urbana foram mapeadas duas condições gerais de estabelecimento da ocupação: uma consolidada, denominada de estágio final, e outra não consolidada, caracterizada por ocupação precária e denominada de estágio intermediário de urbanização.

As morfologias antropogênicas derivadas de modalidades de intervenção urbanas são predominantes na BHTP, e totalizam, aproximadamente, 6,98km², ou 78% da área da bacia.

O estágio consolidado de ocupação representa 98,9% do total das modalidades de intervenção urbana, e 76,8% do total da BHTP, sendo caracterizado pela consolidação do

arruamento, do sistema de drenagem pluvial e pela presença de estruturas de saneamento básico, de coleta de esgoto e resíduos sólidos. Por sua abrangência na bacia hidrográfica, este estágio de urbanização está distribuído por todos os tipos de morfologias fluviais e de vertente, não apresentando uma tendência espacial característica. No entanto, o mapeamento dos usos da terra e das morfologias antropogênicas permitiu observar uma intensificação do processo de urbanização nas vertentes da margem esquerda do canal, particularmente nos municípios de São Paulo e Ferraz de Vasconcelos.

A classe de estágio intermediário de urbanização inclui as morfologias antropogênicas derivadas de modos de apropriação do terreno típicos de fase de instalação da urbanização, que se caracteriza pela abertura de vias, limpeza e terraplenagem do terreno, instalação de pátio de equipamentos e canteiros de obras, dentre outros. Na BHTP, esta modalidade é caracterizada, sobretudo, por favelas ou ocupações residenciais com padrões construtivos precários, com arruamento improvisado e em solo exposto. Estas áreas se concentram nos trechos de jusante, onde estão os bairros do Jd. Romano e Chácara Três Meninas. Ressalta-se que no contexto da periferia urbana, as favelas podem ser consideradas como fases consolidadas de ocupação, porém, na nomenclatura adotada pela metodologia da abordagem geomorfológica antropogênica, o termo urbanização intermediária é o mais adequado para corresponder ao conjunto de intervenções promovidas pela ocupação de favela.

Características complementares destas áreas incluem o fato da ocupação ser extremamente adensada, constituída por construções precárias e desprovidas de fundações adequadas, infraestrutura de saneamento e drenagem, aspectos que podem agravar condições de inundação na planície fluvial, como é o caso da área estudada.

Na última década, todavia, o Jd Romano e bairros próximos, como o Jd Fiorelo e cidade Kemel I e II, têm recebido ações municipais visando a consolidação da ocupação, com asfaltamento e provimento de estrutura sanitária adequada, e, por isso, estas áreas tem se aproximado de uma condição de ocupação urbana consolidada. Apesar deste processo de urbanização estar em curso, existem setores ribeirinhos ao córrego Três Pontes e afluentes que abrigam condições precárias de moradia, incluindo barracos apoiados em vigas de madeira nas margens dos canais, ratificando o uso da categoria de estágio intermediário de urbanização no mapeamento das morfologias antropogênicas.

Por fim, cabe destacar que o padrão de arruamento consiste em importante aspecto de intervenção da urbanização sobre as tendências de fluxo superficial, podendo auxiliar na definição de subcategorias de padrões de urbanização, em seus diversos estágios. Nesta

pesquisa, esta classificação não foi explorada no sentido de definir áreas, mas utilizada enquanto informações lineares nas análises de fluxos concentrados e de setores mais vulneráveis à inundação, sendo concebida enquanto rede de caminhos preferenciais da água.

Desta forma, destacam-se os arruamentos existentes nas vertentes localizadas no bairro de Whitaker Machado, na margem esquerda do terço médio do canal principal, e nas vertentes do bairro Cidade Kemel a leste do córrego Três Pontes, como sendo os de maior potencial para geração de escoamento superficial concentrado, uma vez que o arruamento convergente, a curvatura com tendência côncava em planta e as declividades de vias superiores a 10°, são fatores de potencialização de fluxo e estão presentes em conjunto nestes locais. As áreas a jusante de condições críticas ao escoamento, como as mencionadas acima, foram consideradas individualmente no mapa de vulnerabilidade à inundação, apresentado em item posterior, em função de sua posição no contexto da dinâmica de fluxos superficiais da bacia hidrográfica.

(d) Canais fluviais

As intervenções e obras realizadas sobre os canais fluviais e cursos pluviais em áreas urbanas reconfiguram a dinâmica hídrica, constituindo estruturas de drenagem que remodelam as formas das vertentes e planícies, e que modificam as morfologias de condutos, objetivando, no geral, acelerar a saída dos fluxos da bacia hidrográfica. Desta forma, a retificação de trechos de canal visando a modificação do traçado para diminuição de percurso; a reconfiguração da seção transversal com alteração do revestimento favorecendo o ganho de área, o aumento da declividade dos trechos e das velocidades dos fluxos; e a tubulação e canalização realizadas para confinar os escoamentos, são modos de intervenções sobre canais presentes na BHTP, que modificam significativamente a distribuição das velocidades nos condutos e as condições de vulnerabilidade à inundação.

Nos contextos das morfologias antropogênicas deste estudo, os cursos d'água foram mapeados a partir de técnicas de interpretação de imagens de satélite, com o apoio em cartas topográficas, MDTs, mapas de curvaturas e hidrografia restituída na morfologia original. Eles foram classificados em cursos d'água com traçado natural, conforme o mapa de morfologias originais; retificados (calhas concretadas), tubulados (sob pontilhões e travessias) ou canalizados (sob área urbana). A hidrografia antropogênica mapeada no período pós-urbanização, apresentada na figura 38, disposta no início deste subcapítulo, totaliza,

aproximadamente, 21km, dos quais, 15,4km são cursos perenes, e 5,6km intermitentes, classificados conforme a tabela 13.

TABELA 13 – Extensão e porcentagem da hidrografia antropogênica na BHTP.

Aspecto (ou apresentação)		Extensão (km)	Porcentagem (%)
Perene	Original (semi-preservedo)	4,63	22,93
	Retificado	7,09	35,12
	Retificado em concreto	0,68	3,37
	Tubulado	0,55	2,73
	Canalizado	2,43	12,04
Intermitente	Original (semi-preservedo)	4,09	20,25
	Tubulado (pluvial subterrânea)	0,08	0,40
	Canaleta de drenagem	0,64	3,16
Total		20,18	100,00

Os dados apontam para a conservação de grande parte da rede de drenagem mapeada em 2011, com cursos semi-preservedos que totalizam 43,18%, incluindo perenes e intermitentes. Entretanto, um percentual de 56,82% da rede de drenagem da BHTP apresenta modificação antropogênica, dos quais 35,12% foram retificados em solo, 3,37% estão retificados em concreto e 12,04% estão canalizados, evidenciando um elevado nível de alteração hidromorfológica dos cursos fluviais.

O córrego Três Pontes foi mapeado em 6,7km no cenário de 2011, 300 metros a menos que a restituição da morfologia original em 1962, demonstrando uma diminuição produzida pela soma de retificações de trechos do conduto, que derivou novo traçado do canal e, conseqüentemente, outro perfil longitudinal com declividade média de 0,013m/m, ligeiramente superior ao elaborado na morfologia original.

Apenas o terço de cabeceiras do canal principal apresenta condição próxima à original, mantido semi-preservedo. A partir do final deste terço em direção à foz, com exceção de alguns trechos no terço médio, próximos aos bairros Cidade Kemel I e Whitaker Machado, as intervenções hidráulicas foram mais frequentes, decorrendo em um conjunto de modificações sobre o traçado e largura que implicaram variabilidade das condições de escoamento. No terço de jusante, inserido nos modelados de planície fluvial, o canal apresentou maior largura, chegando a 12 metros, aproximadamente 4 metros a mais do que a medida original, de aproximadamente 8 metros, alteração que pode ser mais facilmente constatada nos trechos próximos travessias de vias importantes.

Por sua vez, os afluentes de primeira e segunda ordem semi-preservedos localizam-se, prioritariamente, nas vertentes da margem direita do córrego Três Pontes, nas proximidades do

Jd. Santa Luiza, Jardim Violeta, Vila Ursulina, Vila Machado, Jardim Valparaíso e Vila Popular, apesar da consolidada urbanização predominante nestes bairros.

Por outro lado, os perenes canalizados, que totalizam 12,04%, estão espacialmente concentrados na margem esquerda do canal principal, nas redondezas dos bairros Jd. Miliunas e o setor elevado de Cidade Kemel I, onde afluentes do córrego Três Pontes foram tamponados desde suas cabeceiras até a foz com este curso. Na margem direita do canal principal, também ocorreram canalizações, porém, neste caso, apenas terços de jusante de alguns tributários sofreram tais intervenções.

As retificações, por fim, são as mais abundantes considerando a rede de canais da BHTP, perfazendo grande parte dos trechos dos afluentes de primeira e segunda ordem do canal principal, e estando presente em partes de montante do córrego Três Pontes e ao longo de todo o terço médio e de jusante deste canal, mesmo em áreas onde as planícies adjacentes permanecem como morfologias semi-preservedas.

A retificação e a canalização alteram a geometria da seção transversal do canal e do traçado, modificando os parâmetros que controlam o escoamento e produzindo novas condições para os fluxos em condutos, podendo implicar, de modo geral, aceleração do escoamento, redução do tempo de concentração, diminuições dos picos de vazão, abatimento das cheias e diminuição da ocorrência de inundações. Por outro lado, trechos de canais semi-preservedos ou retificados em solo tendem a apresentar maior obstrução ao fluxo, devido à morfologia de seções naturais com geometria irregular para os canais semi-preservedos, e em função da rugosidade elevada atribuída à superfície do solo e à presença de vegetações de margem para ambas as condições.

Desta forma, trechos de canais semi-preservedos ou retificados em solo localizados a jusante de trechos canalizados ou retificados em concreto constituem setores de descontinuidade morfológica e de processos de escoamento fluvial, com tendência à diminuição da largura e área da seção transversal, redução da declividade entre os trechos, aumento abrupto da rugosidade do conduto e, conseqüentemente, diminuição da velocidade do fluxo e aumento sedimentação. A reunião destes fatores resulta em uma redução da energia disponível pelo sistema e no requerimento por subsistemas de dissipação de energia, intensificando processos de inundação. Esta situação ocorre, particularmente, nas proximidades dos bairros Cidade Kemel e Whitaker Machado, nas partes de jusante do Jardim do Carmo, da Vila Popular e do Jardim Romano, onde as baixas declividades favorecem, ainda mais, a diminuição da velocidade do fluxo, agravando a condição de drenagem.

As descrições morfológicas e as análises de processos realizadas ao longo deste subcapítulo estiveram vinculadas ao mapa apresentado na figura 38, e constituem informações essenciais às análises presentes na combinação das unidades morfológicas complexas e da classificação da vulnerabilidade à inundação.

4.3. Unidades morfológicas complexas

As unidades morfológicas podem ser definidas como a combinação das morfologias originais às morfologias antropogênicas derivada da sobreposição entre ambas, caracterizando um cruzamento que evidencia espacialmente os setores preservados ou semi-preservados do modelado e os locais onde as interferências antrópicas de diferentes modalidades produziram morfologias com diferentes níveis de perturbação ao longo do histórico de ocupação. Segundo Rodrigues (2005) as unidades morfológicas complexas *“agregam características de sua situação pré-intervenção e sequência de intervenção urbanas semelhantes e irão constituir as unidades de planejamento urbano”* (p. 107).

Desta maneira, as unidades morfológicas complexas correspondem aos elementos morfológicos que reúnem os atributos originais do modelado às intervenções diretas e derivações decorrentes da ação antrópica, de modo que sintetizam as características de forma e processo remodeladas pelo Homem. Essas unidades foram obtidas pela sobreposição entre as morfologias originais e as morfologias antropogênicas mapeadas na BHTP, realizada em SIG a partir de dados vetoriais, onde os cálculos de abrangência e a produção do mapa de unidades morfológicas complexas foram facilitados.

Neste subcapítulo, foram objetivadas a sistematização e descrição das unidades complexas da BHTP, buscando, posteriormente, realizar interpretações relacionadas ao nível de perturbação das formas e funções hidrológicas originais dos subsistemas morfológicos. Procurou-se analisar os aspectos de perturbação hidromorfológica representados pelas diferentes UCs em suas pertinências ao entendimento da vulnerabilidade à inundação, nos setores de planície fluvial, e da produção de escoamento superficial concentrado, nos sistemas interfluviais, abordando-se, respectivamente, as Unidades Complexas de Planície (PI) e as Unidades Complexas do Sistema Interfluvial (Si). A seguir são apresentados mapa de sobreposição das morfologias originais e morfologias antropogênicas (FIGURA 39) e mapa de unidades morfológicas complexas (FIGURA 40) acompanhado de sua legenda expandida.

Fonte: Cartas topográficas 1:10.000 da Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano (EMPLASA). Folhas: Jardim São Miguel (SF-23-Y-D-IV-I-NO-B), 1996; Poá (SF-23-Y-D-IV-I-NE-A), 1996; São Miguel Paulista (SF-32-Y-D-I-3-SO-F), 1993; Itaquaquecetuba (SF-23-Y-D-I-3-SE-E), 1997. Fotografias aéreas 1:25.000 de 1962 produzidas pelo IAC (Instituto Agrônomo de Campinas) e disponibilizado pelo AFA do Laboratório de Aerofotogeografia e Sensoriamento Remoto, DG/FFLCH/USP. Imagem de Satélite de Alta Resolução WorldView-2, acervo de imagens do Laboratório de Geomorfologia, DG/FFLCH/USP.

FIGURA 40: Unidades complexas

Unidades complexas de Planície (PI)				
	Backswamp	Meândro colmatado	Planície	Terraço
Morfologia original ou semi-preserveda	<div>PI0 - 0,0027</div> <div>A conservação da cobertura vegetal orienta-se no sentido da preservação de remanescentes morfológicos, favorecendo a manutenção do estado de equilíbrio dinâmico dos fluxos hidrológicos superficiais relacionados a processos de estocagem e escoamento superficial. Quando predominam formações rasteiras, alterações de taxas de processos hidromorfológicos podem ocorrer, mas constituem condições de perturbação da morfologia original significativamente inferiores aos promovidos por solos expostos, estágios não consolidados e consolidados de urbanização, onde podem ocorrer reconfigurações topográficas de grande porte. Em geral, os níveis de perturbação baixos resultantes destas combinações denotam a manutenção das tendências hidromorfológicas superficiais relacionadas à vulnerabilidade à inundação.</div>	<div>PI0 - 0,0017</div>	<div>PI0 - 0,3661</div>	<div>PI0 - 0,0054</div>
	<div>PI3 - 0,0078</div> <div>Rebaixada em relação ao nível da planície, a backswamp apresenta tendência original à drenagem deficiente dos materiais superficiais, fator que, associado ao solo exposto, pode decorrer na aceleração do acúmulo de sedimentos, selamento das camadas superficiais e compactação do solo, prejudicando processos hidromorfológicos de infiltração. Apresentam alta vulnerabilidade natural à inundação.</div>		<div>PI2 - 0,0358</div> <div>As planícies apresentam tendências originais à drenagem deficiente e condição frequentemente saturada dos materiais superficiais, fatores que, associados ao solo exposto, podem decorrer na aceleração do acúmulo de sedimentos, selamento das camadas superficiais e compactação do solo, prejudicando, ainda mais processos hidromorfológicos de infiltração. Morfologias originais vulneráveis à inundação.</div>	<div>PI1 - 0,0032</div> <div>Elevados em relação à planície, os terraços constituem superfícies parcialmente ativas em relação aos processos de inundação, sendo alagados apenas em condições de tempestades extremas. Tendem a apresentar drenagem mais eficiente em comparação à planície e menor vulnerabilidade às inundações, com potencial para formação de lâminas d'água e sujeitos à inundação por efeito do aterramento de planícies adjacentes. Sob solos expostos a exportação de sedimentos à planície é aumentada</div>
Via férrea			<div>PI5 - 0,0277</div> <div>Sobre as planícies de inundação, a construção dos aterros da via férrea associados à construção de sistemas de drenagem eficientes resultam em um setor de elevado nível de perturbação antrópica, com alterações morfológicas de grande porte e uma completa modificação das tendências hidromorfológicas de planície, passando a ter elevadas taxas de migração lateral de água e, em arranjos específicos, funcionalidades de barramento.</div>	<div>PI4 - 0,0014</div> <div>A via férrea sobre os terraços representam alleamentos com aterros baixos e servidos de estrutura de microdrenagem pluvial. Em relação aos aspectos da dinâmica hidromorfológica, estes são setores favoráveis ao assentamento e construção de vias, uma vez que requerem menos intervenções e alterações morfológicas e hidrodinâmicas de menor nível de perturbação. Apesar de sujeitos a inundações de baixa frequência, podem ocorrer formação de lâminas d'água na superfície em eventos ordinários e alagamentos ocasionais, em arranjos específicos com planícies adjacentes aterradas.</div>
Estágio intermediário de urbanização	<div>PI7 - 0,0292</div> <div>Rebaixada em relação ao nível da planície, a backswamp é naturalmente pior drenada e naturalmente mais vulnerável à inundação. O estágio não consolidado de urbanização, que corresponde a padrões construtivos precários, em geral, sem fundações e com aterros baixos, contribui significativamente para o agravamento das condições de drenagem. Merecem atenção por constituírem os setores de maior vulnerabilidade à inundação na BHTP.</div>		<div>PI6 - 0,0187</div> <div>Com tendência original à drenagem deficiente, esta unidade complexa está sujeita a frequentes eventos de inundação. O estágio não consolidado de urbanização apresenta padrões construtivos inadequados, sem sistemas de microdrenagem e com baixos aterros, os quais combinados à MO de planície de inundação, definem setores com níveis de perturbação elevados, ampliando significativamente a vulnerabilidade à inundação, particularmente em arranjos espaciais específicos.</div>	
Estágio final de urbanização	<div>PI10 - 0,0176</div> <div>Rebaixados em relação ao nível da planície, a backswamp e o meandro colmatado apresentam materiais superficiais naturais com baixa permeabilidade e porosidade, definindo condições de drenagens e infiltração menos eficientes, decorrendo em uma vulneráveis à inundação naturalmente mais elevada. A combinação de tais morfologias fluviais ao estágio final de urbanização caracterizam unidades complexas de alto nível de perturbação, nos quais a modalidade de ocupação urbana pode introduzir elementos, como aterros espessos (>1,5m) e sistemas de drenagem que aceleram a saída dos excedentes hídricos e contribuem para condições menos vulneráveis à inundação. Por outro lado, as altas taxas de impermeabilização associadas a aterros altos, podem crescer a migração lateral dos excedentes e pressionar setores topograficamente rebaixados, abrangendo, por exemplo, os remanescentes e setores não aliados de backswamps, planícies e meandros colmatados, além de, eventualmente, níveis terraceados baixos, aumentando a frequência e o tempo de permanência das inundações neste setores da planície fluvial.</div>	<div>PI10 - 0,0002</div>	<div>PI9 - 0,754</div> <div>Com processos hidromorfológica original de acumulação predominantes, a drenagem destas morfologias originais é deficiente, definindo setores naturalmente vulneráveis à inundações. Ao se sobrepor urbanizações em estágios consolidados, são introduzidas perturbações morfológicas relevantes, por meio de elementos que, entre outros, favorecem a drenagem, reduzindo sua vulnerabilidade. Por outro lado, tal eficiência é acompanhada de taxas elevadas de impermeabilização e aterros, implicando aumento do runoff e o comprometimento de setores adjacentes.</div>	<div>PI8 - 0,2013</div> <div>Sobre condições de chuva intensa, os terraços fluviais podem apresentar lâminas d'água e, ocasionalmente, inundação devido ao aterramento de setores adjacentes da planície de inundação. O estágio final de urbanização promove, em geral, eficiência na drenagem dos materiais superficiais e aumento significativo da taxa de impermeabilização, o que decorre no aumento do escoamento superficial, potencializando, por exemplo, a acumulação de água em setores topograficamente rebaixados ou não aterrados.</div>
Mineração		<div>PI11 - 0,0043</div> <div>A atividade mineradora representa o maior nível de perturbação dentre todas as modalidades de ocupação verificadas na BHTP, embora sua importância à vulnerabilidade à inundação e ao potencial de produção de escoamento superficial seja menos significativa, tanto em função da área abrangida por esta combinação na área de estudo, quanto pelo papel desempenhado em ambos os processos hidromorfológicos estudados na escala da bacia hidrográfica. As cavas dos portos de areia produzem, em geral, interceptação do nível freático, podendo levar ao rebaixamento do NA subsuperficial e alteração na dinâmica de recarga. Intervenções relacionadas à atividade mineradora, tais como: abertura de vias, formação e elevação de depósitos de estéril, construção de barramentos, bombeamento de excedente hídricos da cava, obras de terraplenagem, entre outras, expõem a superfície a intensos processos erosivos e ao aumento na produção de sedimentos. As rupturas de declive antropogênicas criadas por aterros, taludes e cortes, levam, por fim, ao aumento da instabilidade hidromorfofodinâmica em suas bordas.</div>	<div>PI11 - 0,0233</div>	<div>PI11 - 0,0025</div>

Unidades complexas de Sistemas interfluviais (SI) (perfil/planta)									
	Convexa/convexa	Retilínea/convexa	Côncava/convexa	Convexa/retilínea	Retilínea/retilínea	Côncava/retilínea	Convexa/côncava	Retilínea/côncava	Côncava/côncava
Corpo d'água							<div></div> SI0 - 0,0001	<div></div> SI0 - 0,0001	<div></div> SI0 - 0,0012
	Os corpos d'água compreendem açudes construídos em sistemas concentradores de fluxo, favoráveis ao barramento, e à elevação e à permanência do nível freático, que configuram combinações com diferentes geometrias de vertente que definem níveis baixos e semelhantes de perturbação entre si. Em geral, pequenos barramentos alteram, localmente, o nível de base de córregos e deflagram processos de sedimentação restritos nestes corpos d'água.								
Morfologia original ou semi-preserveda	<div></div> SI0 - 0,2565	<div></div> SI0 - 0,0592	<div></div> SI0 - 0,126	<div></div> SI0 - 0,1341	<div></div> SI0 - 0,0928	<div></div> SI0 - 0,0392	<div></div> SI0 - 0,1713	<div></div> SI0 - 0,0959	<div></div> SI0 - 0,4296
A manutenção da cobertura vegetal favorece a conservação de remanescentes morfológicos originais, definindo níveis de perturbação morfológicos baixos. Com isto, as morfologias semi-preservedas caracterizam-se pelos impactos antrópicos pouco significativos em termos da mobilização de materiais, reconfiguração topográfica e alteração morfológica direta, ainda que, em termos das taxas e tendências hidrodinâmicas superficiais, suas características originais possam ser completamente modificadas pela supressão da vegetação nativa. Mesmo assim, pode-se assumir, em relação à dinâmica hidromorfológica predominante, estas unidades complexas contribuem para a regularização das funções hidromorfológicas e hidrológicas naturais da superfície. Em condições onde há o predomínio de gramíneas, alterações sobre taxas e morfologias relacionadas à concentração do escoamento superficial ocorrem, porém são menos significativas frente à urbanização.									
Solo exposto	<div></div> SI3 - 0,0323	<div></div> SI3 - 0,0007	<div></div> SI4 - 0,0093	<div></div> SI2 - 0,0142	<div></div> SI1 - Área	<div></div> SI5 - 0,0007	<div></div> SI6 - 0,0249	<div></div> SI6 - 0,0093	<div></div> SI7 - 0,0571
	Tendência predominante ao escoamento superficial difuso e dispersor (hiperdispersão), com intensa saída de água e mobilização de sedimentos por erosão laminar, intensificada pela retirada da cobertura vegetal ou por obras de corte, terraplenagem e aterramento, relacionados ao solo exposto.	Tendência original predominante ao escoamento superficial difuso e dispersor (em planta) com intensa saída de água e mobilização de sedimentos por erosão laminar. Estas morfologias podem representar morfologias de rupturas ou mudanças convexas a montante de nichos de nascente. Solos expostos implicam perturbações morfológicas intermediárias, relacionados à intensificação da tendência de concentração do escoamento e a ação erosiva regressiva das cabeceiras. Obras de terraplenagem e o aterramento podem implicar problemas de instabilidade geotécnica devido às descontinuidades produzidas.	Tendência original de escoamento superficial difuso e dispersor (mesodispersão longitudinal) com intensa saída de água e mobilização de sedimentos por erosão laminar. Longitudinalmente, tende a constituir rampa de comprimento extenso, favorecendo a ação erosiva (ganho de velocidade). Associadas à solos expostos, tais morfologias podem sofrer níveis intermediários de perturbação, particularmente relacionadas à intensificação escoamentos rasos.	Modelado original com expressiva extensão longitudinal, esta morfologia original de sistema interfluvial possui tendência hidromorfológica predominantemente relacionada ao escoamento superficial difuso sem direção preferencial, que resultam na aceleração do fluxo à medida em que se aproxima da baixa vertente, intensificando a erosão laminar.	Tendência hidromorfológica original à concentração do escoamento superficial (em planta) com mobilização de sedimentos por erosão laminar e linear. Solos expostos impõem níveis intermediários de perturbação às formas podem intensificar o comportamento de concentração do escoamento, aumentando a ação erosiva linear e a produção de sedimento. Terraplenagens e o aterramentos podem denotar instabilidades geotécnicas devido às descontinuidades produzidas entre as camadas do aterro e da cobertura de solo.	Tendência hidromorfológica original à concentração do escoamento superficial (em perfil) com mobilização de sedimentos por erosão laminar e linear. Solos expostos podem implicar níveis intermediários de perturbação, intensificando a concentração do escoamento e aumentando a produção de sedimentos. Estas morfologias originais demarcam, na maior parte dos casos, o contato dos terços superiores de vertentes convexas com superfícies aplanadas de topo, configurando setores de descontinuidade morfológica a montante de áreas onde a tendência hidrológica é de concentração dos fluxos, e definindo áreas com alto potencial de produção de escoamento superficial concentrado e de instabilidade geotécnica.	Tendência hidromorfológica original à hiperconcentração do escoamento superficial (em planta e em perfil) com intensa erosão laminar e linear. Solos expostos podem implicar níveis elevados de perturbação nos processos superficiais, intensificando a tendência de concentração do escoamento e aumentando a produção de sedimentos. Estas unidades morfológicas são particularizadas por demarcarem o fundo dos nichos de nascentes e vales, sendo portanto, a região de maior saturação hídrica além das planícies, e de maior potencialidade para geração de escoamento superficial concentrado na BHTP. A realização de intervenções de cortes e aterros podem decorrer em instabilidade geotécnica devido às descontinuidades produzidas entre as camadas dos materiais tecnogênicos e a superfície original.		
Estágio final de urbanização	<div></div> SI10 - 1,4476	<div></div> SI10 - 0,2648	<div></div> SI11 - 0,6028	<div></div> SI9 - 0,7592	<div></div> SI8 - 0,5806	<div></div> SI12 - 0,2167	<div></div> SI13 - 0,705	<div></div> SI13 - 0,402	<div></div> SI14 - 0,9729
	Tendência hidromorfológica original de escoamento superficial difuso e dispersor (hiperdispersão) com intensa saída de água, a qual é intensificada pela urbanização consolidada devido à introdução de elementos de drenagem como canaletas e sargetas nos arruamentos. A impermeabilização da superfície associada às morfologias convexas e plano-convexas aceleram a velocidade do fluxo e aumentam o volume do escoamento superficial produzido, favorecendo a drenagem destes setores. Intervenções urbanas subterrâneas como vias e sistemas de infra-estrutura (abastecimento, saneamento e comunicação) podem modificar o escoamento subsuperficial e profundo e rebaixa o NA, produzindo instabilidades (MOROZ, 2010).	Tendência hidromorfológica original de escoamento superficial difuso e hipocentrador com intensa saída de água a montante e acúmulo na baixa vertente ou embacamentos. Por representarem rupturas e mudanças convexas que podem delinear nichos de nascente, a ocupação urbana pode implicar o aumento do volume e da energia do escoamento superficial, ampliando o aporte de material para a jusante. Podem constituir, também, limites laterais de colos e setores ativos de erosão regressiva, exigindo cautela nas intervenções superficiais e subterrâneas, sobretudo para aquelas que visem a realização de aterros.	Tendência hidromorfológica original de escoamento superficial difuso e dispersor (mesodispersor longitudinal) com intensa saída de água. Estes setores tendem a ser longitudinalmente extensos, configurando escoamentos superficiais concentrados unidirecionais no sentido da baixa vertente. A ocupação urbana implica níveis elevados de perturbação, particularmente devido às altas taxas de impermeabilização que favorecem a formação de escoamento superficial.	Longitudinalmente extensos, estes setores possuem tendências predominantes ao escoamento superficial difuso sem direção preferencial, podendo apresentar acúmulo de água na base da vertente. A ocupação urbana implica níveis elevados de perturbação, particularmente devido às altas taxas de impermeabilização que favorecem a formação de escoamento superficial.	Tendência hidromorfológica original de produção de escoamento superficial concentrado (mesoconcentrador longitudinal). Estes setores tendem a ser longitudinalmente extensos, configurando escoamentos superficiais concentrados nas médias vertentes e convergentes na baixa vertente, com alto potencial de realizar ação erosiva intensa devido ao aumento da velocidade. A ocupação urbana implica níveis elevados de perturbação, particularmente devido às altas taxas de impermeabilização que favorecem a formação de escoamento superficial	Tendência hidromorfológica original de concentração do escoamento superficial (em perfil e em planta). Estas unidades morfológicas podem demarcar o contato da vertente com superfícies aplanadas, configurando, portanto, setores de descontinuidade morfológica a montante de áreas onde a tendência hidrológica é de concentração dos fluxos	Tendência hidromorfológica original de hiperconcentração do escoamento superficial (em planta e em perfil), estas unidades morfológicas podem demarcar os fundos de vale e de nichos de nascentes, constituindo, portanto, a região de maior potencial de saturação hídrica e de geração de enxurradas no sistema interfluvial. A ocupação urbana em estágio consolidado de ocupação pode determinar níveis elevados de perturbação, promovendo elevada impermeabilização da superfície, fazendo com que estes modelados apresentem os maiores potenciais de geração de escoamento superficial concentrado, decorrendo em processos erosivos intensos e agravando condições de drenagens de áreas a jusante, uma vez que contribuem, significativamente, para diminuição do tempo de concentração. O arruamento convergente associado a estas unidades morfológicas complexas configura o cenário de concentração de fluxos mais extremos.		
Mineração	<div></div> SI15 - 0,0038	-	<div></div> SI15 - 0,0005	-	-	-	<div></div> SI15 - 0,0017	-	<div></div> SI15 - 0,0028
A atividade mineradora representa o maior nível de perturbação dentre todas as modalidades de ocupação verificadas na BHTP, embora sua importância à vulnerabilidade à inundação e ao potencial de produção de escoamento superficial seja menos significativa, tanto em função da área abrangida por esta combinação na área de estudo, quanto pelo papel desempenhado em ambos os processos hidromorfológicos estudados na escala da bacia hidrográfica. As cavas dos portos de areia produzem, em geral, interceptação do nível freático, podendo levar ao rebaixamento do NA subsuperficial e alteração na dinâmica de recarga. Intervenções relacionadas à atividade mineradora, tais como: abertura de vias, formação e elevação de depósitos de estéril, construção de barramentos, bombeamento de excedente hídricos da cava, obras de terraplenagem, entre outras, expõem a superfície a intensos processos erosivos e ao aumento na produção de sedimentos. As rupturas de declive antropogênicas criadas por aterros, taludes e cortes, levam, por fim, ao aumento da instabilidade hidromorfofodinâmica em suas bordas.									

(a) Unidades morfológicas complexas de planície (PI)

As unidades morfológicas complexas de planície abrangem os setores de sobreposição das morfologias antropogênicas às formas de planície fluvial: planícies de inundação, terraços fluviais, *backswamp* e meandro colmatado, que estão geneticamente relacionados a processos de sedimentação fluvial, dentre os quais, a dinâmica de inundações do canal principal.

Uma vez que, todas as morfologias de planície fluvial são abrangidas pelas dinâmicas de inundação dos canais que compõem a BHTP, elas apresentam tendência de processos originais relacionados à sedimentação e estocagem dos excedentes hídricos. Neste sentido, os tipos de perturbação das unidades morfológicas complexas de planície por morfologias antropogênicas caracterizam-se pela mudança da permeabilidade hídrica dos materiais superficiais, por alterações das taxas de impermeabilização, pela produção de aterros para construção civil (visando a nivelção e o alteamento do terreno) e a escavação do solo e subsolo, realizada pelas atividades de mineração.

Estes tipos de perturbação puderam ser escalonados em níveis inferidos de mobilização de material, reconfiguração morfológica e alteração de tendências hidromorfológicas superficiais, de acordo com as características originais de cada unidade morfológica de planície identificada e as características de intervenção promovida por cada morfologia antropogênica.

Com base nisto, a unidade PI0 corresponde ao agrupamento de todas as morfologias originais de planície fluvial que permaneceram preservadas ou semi-preservadas no período pós-urbanização, de modo que, puderam ser reunidas em uma mesma unidade morfológica complexa que representa o menor nível de alterações morfológica e processual. A partir desta UC até a unidade PI10, a gradação dos níveis de perturbação eleva-se conforme (i) a tendência de vulnerabilidade original crescente de cada morfologia da planície, relacionada a processos de inundação e sedimentação mais intensos e frequentes, seguindo a ordem, do menos vulnerável ao mais vulnerável: terraço fluvial, planície de inundação e *backswamp*/meandro colmatado, estes últimos considerados conjuntamente. E (ii) tendência crescente da perturbação morfológica decorrente de alteração antropogênicas, que respeitou a seguinte ordem, do menos intenso ao mais intenso: morfologias semi-preservadas, solos expostos, via férrea, estágio intermediário de urbanização e estágio final de urbanização. As minerações compuseram uma classe a parte (PI11) devido ao nível de perturbação morfológica a que são relacionadas.

Assim, de modo geral, as morfologias de planície totalizam uma área de 1,49km², que representa 16,52% da área da bacia. A sobreposição das morfologias antropogênicas a elas

resultou na configuração de 18 combinações, agrupadas em 12 unidades complexas de planície que variam de PI0 a PI11, distribuídas conforme as tabelas 15 e 16.

TABELA 145 – Áreas das Unidades Complexas de Planície na BHTP.

Obs.: classificação de unidade complexa (PI), a área absoluta (km²) e o percentual referente ao tipo de morfologia original.

Original:												
Morfologias antropogênicas	Morfologias originais de planície											
	Backswamp			Meandro colmatado			Planície			Terraço		
	UC	km²	%	UC	km²	%	UC	km²	%	UC	km²	%
Morfologia original ou semi-preserveda	PI0	0,003	4,7	PI0	0,002	27,4	PI0	0,366	29,9	PI0	0,005	2,5
Solo exposto	PI3	0,008	13,6	-	-	-	PI2	0,036	2,9	PI1	0,003	1,5
Via férrea	-	-	-	-	-	-	PI5	0,028	2,3	PI4	0,001	0,7
Estágio intermediário de urbanização	PI7	0,029	51,0	-	-	-	PI6	0,019	1,5	-	-	-
Estágio final de urbanização	PI10	0,018	30,7	PI10	0,000	3,2	PI9	0,754	61,5	PI8	0,201	94,2
Mineração	-	-	-	PI11	0,004	69,4	PI11	0,023	1,9	PI11	0,003	1,2
Total		0,057	100,0		0,006	100,0		1,226	100,0		0,214	100,0

TABELA 156 – Área e percentual das unidades complexas de planície na BHTP.

Unidade Complexa de Planície	Km²	%
PI0	0,376	25,01
PI1	0,003	0,21
PI2	0,036	2,38
PI3	0,008	0,52
PI4	0,001	0,09
PI5	0,028	1,84
PI6	0,019	1,24
PI7	0,029	1,94
PI8	0,201	13,39
PI9	0,754	50,17
PI10	0,018	1,18
PI11	0,030	2,00
Total	1,491	100

Na tabela 16 foram sublinhadas as unidades complexas com maior abrangência na bacia hidrográfica: PI0, PI8 e PI9, sendo que a primeira ocupa 25,01% e contempla a soma de todas as morfologias semi-preservedas; a segunda e a terceira ocupam, respectivamente, 13,39% e 50,17%, e referem-se à sobreposição de terraços e planícies ao estágio consolidado de urbanização, indicando o predomínio de uso da terra e o percentual de ocupação destas morfologias.

A *backswamp* apresenta um grau de perturbação elevado, com ocupação na ordem de 95% de sua área, sendo que, deste percentual, mais da metade refere-se ao estágio não consolidado de urbanização, conforme apresenta a figura 41, abaixo.

FIGURA 41 – Percentuais das morfologias antropogênicas que ocupam a backswamp da BHTP.

Esta unidade refere-se à condição teórica mais suscetível à inundação dentre as unidades morfológicas complexas de planície. A combinação entre *backswamp* e a ocupação urbana não consolidada (PI7), como favelas, configura um cenário em que as práticas e padrões construtivos são inadequados para manter a salubridade e afastar o risco de inundação destes setores. Isto ocorre, particularmente, por não serem realizadas reconfigurações topográficas (baixos aterros) e instalações de sistemas de drenagem adaptados à área, fazendo com que os eventos de inundações sejam agravados e o tempo de residência da água em superfície seja prolongado.

Análise similar pode ser realizada para os setores de *backswamp* ocupados por estágios consolidados de urbanização (PI10). Nestes casos, no entanto, normalmente ocorrem alteamentos da superfície e construção de estruturas de diques e drenagens, que podem aumentar a eficiência da drenagem urbana, minimizando os efeitos dos alagamentos.

Assim, embora em termos absolutos tais combinações de MO e MA não sejam tão representativas (0,029km² e 0,018km², respectivamente), os níveis de perturbação dos processos hidrológicos relacionado à infiltração e escoamento superficial agravam-se significativamente. Em parte, pode-se atribuir a essa combinação as causas das enchentes duradouras ocorridas no início do ano de 2010.

Quanto às planícies de inundação nota-se, ainda, um significativo percentual de conservação (PI0), por volta de 30%, localizados, preferencialmente, nos trechos de jusante da bacia e em estreitas faixas ao longo dos canais fluviais. Por outro lado, 70% desta unidade está submetido a alguma modalidade de ocupação, quase toda ela de natureza urbana (63%), o que

reflete em um comprometimento extremo das funções hidráulicas originais dessas superfícies, quais sejam o de amortecer as cheias e possibilitar a vazão de volumes excedentes (FIGURA 42).

FIGURA 42 – Percentuais de morfologias antropogênicas que ocupam as planícies da BHTP.

Dentre as unidades formadas pela sobreposição entre a planície de inundação e as morfologias antropogênicas, cabe destacar, especificamente, três combinações: sua associação com o uso urbano consolidado (PI9), com uso urbano não consolidado (PI6) e com a linha férrea (PI5). A primeira (PI9) ocupa uma área de 0,754 km², correspondendo a um percentual de 61,5% da área total desta morfologia, configurando associação predominante na planície fluvial e entre todas as UCs de planície consideradas, e destacando sua importância no contexto de perturbação dos sistemas de fundo de vale. A segunda (PI6), ao seu turno, apresenta 0,019 km² de área, com percentual equivalente a 1,5% do total da morfologia de planície. Por último, a PI5 corresponde a 0,028 km² ou 2,3% da área total desta unidade.

A ocupação urbana das planícies de inundação decorre em cinco processos antropogênicos em cascata relacionados à inundação: (i) diminuição da infiltração, (ii) aumento do volume e velocidade do fluxo, (iii) diminuição do tempo de concentração e do processo de extravasamento do canal, (iv) redução da capacidade armazenamento do leito maior e (v) aumento da vazão de pico no canal e na planície. Este desequilíbrio de fluxos exige intervenções hidráulicas, estruturais e não estruturais, visando o abatimento do pico de cheia e mitigação dos problemas derivados das enchentes. Em um exemplo hipotético, ao relacionar-se a área da planície comprometida por uma tormenta de altura total de 20mm, o volume excedente potencialmente gerado pela área urbanizada desta unidade, consolidada e não consolidada, é na ordem de 15mil m³. Em outras palavras, além da função de amortecimento prejudicada, as planícies tornam-se produtoras de escoamento efetivo, agravando a inundação, comprometendo significativamente a atuação dos sistemas de micro e macrodrenagem, e pressionando os setores remanescentes do sistema.

Os terraços fluviais são os setores mais ocupados dentre as morfologias de planície fluvial, com apenas 2% de área remanescente (PI0), conforme apresentado na figura 43, a seguir. O restante das áreas de morfologia de terraço ocupadas por modalidades urbanas se encontra, predominantemente sob estágio urbano consolidado (PI8), com área de 0,201 km² ou 94,2% da área total desta morfologia. As combinações produzidas entre terraços e solo exposto (PI1), via férrea (PI4) e mineração (PI11) também ocorrem na BHTP, porém com percentuais pouco expressivos, de 1,5%, 0,7% e 1,2%, respectivamente.

FIGURA 43 – Distribuição dos percentuais de área das morfologias antropogênicas que ocupam os terraços da BHTP.

Por sua uniformidade topográfica e posição altimétrica, suas superfícies são mais estáveis e, conseqüentemente, propícias ao assentamento urbano de modo geral. Contudo, eventos extremos de cheia, naturalmente, implicam o alagamento destes patamares. Em situações urbanas como a observada na BHTP, o alteamento de planícies adjacentes e a impermeabilização, levam ao aumento do pico de vazão e podem incorrer no aumento da frequência de inundação dos terraços, principalmente se estiverem à jusante de setores de vertentes convergentes e com arruamento que favoreça essa concentração de fluxos.

(b) Unidades complexas dos sistemas interfluviais (Si)

As unidades morfológicas complexas de sistema interfluvial abrangem os setores de sobreposição das morfologias antropogênicas às formas de vertente, em planta e perfil, quais sejam: convexa/convexa, retilínea/convexa, côncava/convexa, convexa/retilínea, retilínea/retilínea, côncava/retilínea, convexa/côncava, retilínea/côncava e côncava/côncava, sendo que as quatro primeiras compõem o domínio dispersor de fluxo e as quatro últimas, o domínio concentrador.

Estas combinações foram classificadas, diferentemente dos critérios adotados para as morfologias de planície fluvial, com base em: (i) nível de perturbação morfológico da superfície,

e (ii) tendência de direção dos fluxos, em divergentes e convergentes, sendo que este segundo aspecto, valorizou as tendências de concentração do escoamento, pressupondo, assim, uma suscetibilidade maior das áreas com morfologias de domínio convergente à formação de fluxos concentrados.

Assim, foi classificado como Si0, o conjunto de todas as morfologias originais de vertente que permaneceram preservadas ou semi-preservadas no período pós-urbanização, de modo que, puderam ser reunidas em uma mesma unidade morfológica complexa que representa o menor nível de alterações morfológica e processual. A partir desta UC até a unidade Si14, a gradação dos níveis de perturbação eleva-se conforme a tendência à dispersão e concentração dos fluxos, sendo Si1 (ret/ret) considerada como superfície neutra, ou seja, sem influência nas direções dos fluxos. Para esta última, os valores de UC mais baixos se devem, não apenas à sua neutralidade em termos de orientação dos fluxos, mas também à sua presença menos significativa no cômputo total das morfologias originais de vertente. A partir de então, as escalas de gradação das unidades complexas se elevam no sentido das tendências divergentes de fluxos, relativas às morfologias convexas, para em seguida, considerarem as tendências convergentes, compostas pelas morfologias côncavas e atingindo grau máximo no modelado côncavo/côncavo.

A partir desta consideração inicial das morfologias originais de vertente, foram combinadas as morfologias antropogênicas, que permitem identificar níveis de perturbação da superfície e inferir condições agravadas de escoamento superficial. Neste sentido, o objetivo central deste capítulo consiste na identificação e análise das principais unidades de vertente responsáveis pela produção de escoamento superficial concentrado, fundamentais para o mapeamento e interpretação da vulnerabilidade à inundação.

Para combinação entre as morfologias originais e antropogênicas, no que se refere a esta análise específica de produção de escoamento concentrado, foram consideradas, principalmente, as áreas urbanas consolidadas, com alta taxa de impermeabilização nos diferentes setores de vertente, sobretudo nos domínios concentradores de fluxo; e os arruamentos com arranjos que favoreçam sua concentração e aceleração. Assim, os resultados de áreas absolutas e percentuais de unidades morfológicas complexas de sistema interfluvial, são apresentados nas tabelas 16 e 17, a seguir.

TABELA 16 – Áreas das Unidades Complexas dos sistemas interfluviais na BHTP

Obs.: Apresenta a classificação de unidade complexa (Si), a área absoluta (km²) e o percentual referente ao tipo de morfologia original. Estão sublinhados os valores que merecem destaque pela sua relevância no todo.

MO Si	MA	Água	MO	Solo Nu	Estágio consolidado de urbanização	Mineração	Total
	UC		Si0	Si3	Si10	Si15	
Convexa/convexa	km²	-	0,257	0,032	<u>1,448</u>	0,004	<u>1,7402</u>
	%		14,7	1,9	83,2	0,2	100
	UC		Si0	Si3	Si10		
Retilínea/convexa	km²	-	0,0592	0,0007	<u>0,2648</u>	-	0,3247
	%		18,2	0,2	81,6		100,0
	UC		Si0	Si4	Si11	Si15	
Côncava/convexa	km²	-	0,126	0,0093	<u>0,6028</u>	0,0005	0,7386
	%		17,1	1,3	81,6	0,1	100,0
	UC		Si0	Si2	Si9		
Convexa/retilínea	km²	-	0,1341	0,0142	0,7592	-	0,9075
	%		14,8	1,6	83,7		100,0
	UC		Si0	Si1	Si8		
Retilínea/retilínea	km²	-	0,0928	0,0004	0,5806	-	0,6738
	%		13,8	0,1	86,2		
	UC		Si0	Si5	Si12		
Côncava/retilínea	km²	-	0,0392	0,0007	0,2167	-	0,2566
	%		15,3	0,3	84,5		100,0
	UC	Si0	Si0	Si6	Si13	Si15	
Convexa/côncava	km²	0,0001	0,1713	0,0249	<u>0,705</u>	0,0017	0,9029
	%	0,0	19,0	2,8	78,1	0,2	100,0
	UC	Si0	Si0	Si7	Si13		
Retilínea/côncava	km²	0,0001	0,0959	0,0093	<u>0,402</u>	-	0,5072
	%	0,0	18,9	1,8	79,3		100,0
	UC	Si0	Si0	Si8	Si14	Si15	
Côncava/côncava	km²	0,0012	0,4296	0,0571	<u>0,9729</u>	0,0028	<u>1,4624</u>
	%	0,1	29,4	3,9	66,5	0,2	100,0

TABELA 17 – Área e percentual das Unidades Complexas de sistema interfluvial na BHTP.

Unidade Complexa de interflúvios e vertentes	Km²	%
Si0	1,406	<u>20,27</u>
Si1	0,000	0,01
Si2	0,014	0,20
Si3	0,033	0,48
Si4	0,009	0,13
Si5	0,001	0,01
Si6	0,025	0,36
Si7	0,009	0,13
Si8	0,057	0,82
Si9	0,759	<u>10,95</u>
Si10	1,712	<u>24,69</u>
Si11	0,603	<u>8,69</u>
Si12	0,217	3,12
Si13	1,107	<u>15,96</u>
Si14	0,973	<u>14,03</u>
Si15	0,009	0,13
Total	6,935	100

Conforme apontado pelos resultados da tabela acima, são mais frequentes na área da BHTP, as seguintes unidades morfológicas complexas de sistema interfluvial: Si0 (20,27%), que representa todos os remanescentes morfológicos; Si10 (24,69%), referente à ocupação urbana consolidada sobre morfologias hiperdispersoras ou mesodispersor longitudinal; e as unidades Si13 e Si14 (15,93 e 14,03, respectivamente), que denotam as morfologias de domínio concentrador de fluxo, sob urbanização consolidada.

Morfologias de domínio dispersor (Si2, Si3, Si4, para solo exposto e Si9, Si10 e Si11, para uso urbano consolidado) tendem originalmente a aumentar a velocidade de saída da água, principalmente quando suprimida a vegetação das superfícies e, sobretudo, quando impermeabilizadas, promovendo migração dos excedentes em volume muito superior ao da condição original, tanto longitudinalmente, quanto radialmente. Por outro lado, a urbanização consolidada sobre vertentes de morfologia côncava (Si12, Si13 e Si14) impulsiona a concentração do fluxo, aumentando a velocidade de escoamento, e podendo: (i) implicar atividades erosivas mesmo sobre superfícies impermeabilizadas, como o asfalto; e, (ii) incrementar o volume escoado, sobretudo se houver arranjo de vias que favoreçam este tipo de convergência. Combinações entre modelados convergentes em perfil, com destaque à ocorrência na baixa vertente, configuram áreas muito susceptíveis a fluxos concentrados e alagamentos pontuais, pelo efeito de acúmulo de água no entroncamento de vias, por exemplo.

Efeito semelhante pode ser verificado nas unidades complexas de solo exposto e modelado de geometrias convergentes (Si5, Si6, Si7 e Si8). A existência de taxas de infiltração inicial mais elevadas nesta unidade, em relação ao uso urbano consolidado, confere às suas superfícies um potencial de retenção ligeiramente maior e, conseqüentemente, menor produção de escoamento superficial. Ao mesmo tempo, a rugosidade de tais superfícies promove, também, uma diminuição de velocidade dos fluxos, frente ao asfalto, ao passo que, este mesmo fator pode, associado a sua friabilidade, aumentar a taxa de exportação de carga sólida.

O domínio de morfologias dispersoras de fluxo tende a ser mais ocupado do que as vertentes de modelado concentrador na BHTP, de forma que as vertentes convexas (Si9, Si10 e Si11) apresentam taxas mais elevadas de ocupação urbana consolidada, em comparação com as vertentes côncavas, que apresentam maiores percentuais de morfologias semi-preservedas ou, em outras palavras, de remanescentes morfológicos, conforme se constata pelos gráficos das figuras 44 e 45, que reúnem, respectivamente, as distribuições de morfologias antropogênicas sobre modelados de domínio dispersor e de modelados de domínio concentrador.

FIGURA 44 – Percentuais de área das morfologias antropogênicas que ocupam as vertentes de domínio dispensor.

Obs.: Estágio final ou consolidado – preto; morfologia semi-preservada – branco; solo exposto – cinza.

FIGURA 45 – Percentuais de área das morfologias antropogênicas que ocupam as vertentes de domínio concentrador.

Obs.: Estágio final ou consolidado – preto; morfologia semi-preservada – branco; solo exposto – cinza.

O estágio final de urbanização prevalece nos oito gráficos apresentados nas figuras 44 e 45 acima, evidenciando a predominância de usos urbanos consolidados sobre todos os conjuntos morfológicos de vertente, ratificando o predomínio urbano na BHTP.

No domínio dispensor o percentual de estágio urbano consolidado é sempre superior a 81,6%, restando aos remanescentes morfológicos frações de área na ordem de 16%. Os domínios concentradores, por sua vez, apresentam predominantemente valores percentuais menores para urbanização consolidada, variando de 84,5% para côncavo/retilíneo a 66,5%

para côncavo/côncavo. Este último valor é de interesse particular à análise de formação potencial de fluxos concentrados, uma vez que está relacionada à morfologia de vertente hiperconcentradora, e representa o maior valor percentual de área remanescente, denotando, entre outros fatores, uma tendência da urbanização de não ocupar estas áreas, que incluem cabeceiras de drenagem e fundos de vale.

A unidade complexa Si10 (cv/cv) com urbanização consolidada, ocorre em ambas as margens bacia hidrográfica, concentrando-se nos interflúvios das cabeceiras dos formadores do córrego Três Pontes. As unidades complexas Si13 e Si14 distribuem-se uniformemente na bacia hidrográfica, com algum predomínio no contato da baixa vertente com a planície fluvial e nas médias vertentes da margem direita do canal principal, entre os bairros de Jardim Luciana, Vila Arizona e Vila Ursulina. Ainda em relação a estas, outras localidades de ocorrência preferencial são as adjacências da baixa vertente com setores de montante da planície de inundação, em virtude da ocorrência destas combinações associadas a declividades acima de 10° e arruamento no sentido da jusante da vertente, configurando um arranjo particular à aceleração do fluxo e acumulação na base. Em termos teóricos, este arranjo é propício à formação de escoamento concentrado, decorrendo em maior vulnerabilidade da planície às inundações, em termos de sua frequência e magnitude.

Os percentuais das morfologias antropogênicas que incluem solo exposto e mineração, raramente ultrapassaram os 2% de sobreposição a qualquer dos modelados de vertente, sendo, portanto, pouco representativos das condições gerais de morfologias complexas e para a produção de escoamento superficial concentrado.

As descrições morfológicas e análises de processos derivados das combinações entre MA e MO, tiveram como base o mapa de Unidades Complexas apresentado na figura 40, e constituem informações fundamentais à análise e classificação da vulnerabilidade à inundação e ao escoamento superficial concentrado, que serão abordadas no subcapítulo seguinte.

4.4. Vulnerabilidade à inundação e produção de escoamento superficial concentrado

O mapa de vulnerabilidade à inundação e de produção de escoamento superficial concentrado, produto objetivado nesta parte da pesquisa, consistiu na interpretação e ponderação das unidades morfológicas complexas de domínio de planície e de sistema interfluvial, quanto ao grau de perturbação de suas funções hidrológicas primordiais, pelas morfologias antropogênicas; sendo que as morfologias de planície (PI) foram classificadas em

função de suas vulnerabilidades à inundação e as morfologias de vertente (Si) em relação à capacidade de geração de escoamento superficial concentrado.

Os critérios de definição não se resumiram à sobreposição de mapas e a classificação deste atributo. Além do resultado da sobreposição, questões relacionadas ao arranjo das unidades entre si, ao arruamento existente nas zonas de urbanização consolidada e ao alteamento inferido de setores da planície de inundação, auxiliaram na categorização das áreas produtoras de escoamento concentrado e sujeitas à inundação em uma escala qualitativa, conforme descrito no capítulo 3, referente aos procedimentos desta pesquisa.

A figura 46, disposta a seguir, apresenta o mapa de distribuição das áreas de vulnerabilidade à inundação e à produção de escoamento superficial concentrado, identificadas para o interior da BHTP. A classificação dos sistemas interfluviais orientou-se pela seguinte escala de produção de escoamento superficial concentrado: níveis muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto, conforme apresentado no mapa da figura 46 e na tabela 18, abaixo, relacionando as áreas (km²) e os percentuais abrangidos por cada um destes potenciais.

TABELA 18 – Área e percentual dos níveis potenciais de produção de escoamento superficial concentrado no conjunto de sistemas interfluviais.

Potencial de produção de escoamento superficial concentrado	km²	%
Muito baixa	0,497	6,6
Baixa	2,607	34,7
Média	0,892	11,9
Alta	1,862	24,8
Muito alta	1,649	22,0
Total	7,5064	100

Os potenciais de escoamento obtidos foram agrupados conforme os critérios expostos no quadro 8, no capítulo de metodologia da pesquisa, e expressam resposta processual de uma tendência hidromorfológica em específico: o escoamento superficial concentrado. Desta forma, morfologias hiperconcentradoras de fluxo, por exemplo, combinadas com urbanização consolidada e padrões de arruamento direcionados no sentido de jusante, configuram arranjo que sugere um nível muito alto de potenciais de escoamento superficial concentrado. Por outro lado, as unidades hiperdispersoras, com remanescentes originais, compõem a classe de muito baixo potencial a formação de tais fluxos.

Fonte: Cartas topográficas 1:10.000 da Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano (EMPLASA). Folhas: Jardim São Miguel (SF-23-Y-D-IV-I-NO-B), 1996; Poá (SF-23-Y-D-IV-I-NE-A), 1996; São Miguel Paulista (SF-32-Y-D-I-3-SO-F), 1993; Itaquaquecetuba (SF-23-Y-D-I-3-SE-E), 1997. Fotografias aéreas 1:25.000 de 1962 produzidas pelo IAC (Instituto Agrônomo de Campinas) e disponibilizado pelo AFA do Laboratório de Aerofotogrametria e Sensoriamento Remoto, DG/FFLCH/USP. Imagem de Satélite de Alta Resolução WorldView-2, 2011, acervo de imagens do Laboratório de Geomorfologia, DG/FFLCH/USP.

As unidades complexas com potenciais alto e muito alto de produção de escoamento superficial concentrado abrangem 24,9% e 22%, respectivamente da área dos sistemas interfluviais da BHTP, somando, aproximadamente, 45% destes sistemas. Tais classes estão espacialmente distribuídas, preferencialmente, ao longo dos afluentes do canal principal e nos contatos das baixas vertentes com a planície ou terraços fluviais, e incluíram, particularmente, as unidades Si 13 e Si14. Isso decorre da tendência à mesoconcentração radial das cabeceiras e embaciamento dos vales de afluentes, e devido à mesoconcentração longitudinal relacionada às rupturas ou mudanças côncavas de base de vertente, morfologias que estão agregadas nas unidades morfológicas complexas mencionadas. A distribuição das áreas de potencial de produção do escoamento concentrado da figura 47 evidencia uma equivalência entre as áreas de concentração (alta e muito alta) e de dispersão do fluxo (baixa e muito baixa).

FIGURA 47 – Percentuais de áreas potenciais produtoras de escoamento superficial concentrado.

As áreas classificadas com muito baixo potencial de produção de escoamento superficial concentrado totalizam menos de 7% do total das morfologias complexas de sistema interfluvial, e referem-se às combinações com as maiores tendência à infiltração e dispersão de fluxo, uma vez que incluem as unidades complexas Si0, Si2 e Si3 que correspondem, respectivamente, aos remanescentes morfológicos, solo exposto e um trecho de linha férrea em morfologias cv/ret, ret/cv e cv/cv caracterizadas pela dispersão de fluxo. Tais combinações são menos abundantes que as demais na área de estudo e se caracterizam por grande fragmentação e distribuição dispersa na BHTP, localizadas, preferencialmente, no sul da bacia hidrográfica e nas margens da direita do canal principal, sendo que mesmo as maiores unidades apresentam áreas inferiores a 0,1km².

As unidades complexas classificadas como de baixo potencial de produção de escoamento concentrado são as mais abrangentes na BHTP e equivalem a, aproximadamente, 35% dos conjuntos interfluviais (2,6km²). Esta classe inclui as unidades complexas Si0, relativas a remanescentes de morfologias hipoconcentradoras, Si4, Si9 e Si10, correspondentes às morfologias com tendências hidrológicas superficiais hipoconcentradoras, mesodispersoras

longitudinal e hiperdispersoras, sobrepostas por ações antropogênicas sobre a camada superior da superfície, configurando solos expostos, e de modalidades urbanas em estágio consolidado. Desta forma, por serem as combinações mais abundantes na classificação de potencial de produção de escoamento superficial concentrado, a classe de baixo potencial está presente ao longo de todos os sistemas interfluviais definindo setores contínuos e abrangentes sobre os topos de esporões secundários e nos divisores principais, incluindo terços de baixas vertentes, principalmente, nos sistemas da margem esquerda do canal principal.

As áreas potenciais de produção de escoamento superficial concentrado, tomadas em função de sua espacialidade, localização e dimensão da área de contribuição, constituem uma informação fundamental à análise da convergência e velocidade de fluxos excedentes na baixa vertente e nos diferentes setores da planície fluvial, sendo essenciais à classificação das vulnerabilidades à inundação pelo arranjo espacial com as unidades morfológicas complexas de planície e pelas características dos arruamentos presentes nos setores de alto e muito alto potencial de geração de escoamento superficial concentrado.

As morfologias fluviais presentes na BHTP apresentam tendências hidromorfológicas distintas relacionadas, entre outras, à dinâmica de inundação do canal, evidenciando tendências de processos geomorfológicos predominantes, alguns dos quais, produzidos por paleofluxos, como os terraços fluviais, caracterizando, assim, morfologias menos sujeitas a ações fluviais. Outras morfologias, no entanto, são mais suscetíveis à dinâmica atual do canal e podem possuir regime de saturação mais constante ao longo do ano, estando mais frequentemente submetidas à inundação, como no caso das backswamps, nas quais esta dinâmica é agravada pela posição topográfica rebaixada em relação ao nível da planície.

Neste sentido, tendo em vista as tendências hidromorfológicas originais, as perturbações derivadas das morfologias antropogênicas podem produzir condições distintas de drenagem, mesmo que pertencentes a uma mesma unidade morfológica original, em função de diferentes perturbações associadas às intervenções realizadas por cada tipologia de uso da terra.

Com base neste conjunto de fatores, as vulnerabilidades à inundação foram agrupadas conforme os critérios expostos no quadro 8, no capítulo de metodologia da pesquisa, e expressam as áreas com as diversas condições de vulnerabilidade ao transbordamento do canal e a retenção dos excedentes hídricos provenientes do escoamento superficial concentrado, obtidas a partir da análise dos diversos níveis de perturbação morfológica dos sistemas de planície fluvial observados na BHTP, e as tendências originais identificadas nestes mesmos sistemas.

Assim, a classificação dos sistemas de planície fluvial orientou-se por uma escala qualitativa semelhante à utilizada na classificação anterior, definida por uma escala de vulnerabilidade que abrange os níveis: muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto, conforme, também, apresentado no mapa da figura 46, na tabela 19 e na figura 48, abaixo, relacionando as áreas (km²) e os percentuais abrangidos por cada uma destas vulnerabilidades.

TABELA 19 – Área e percentual da vulnerabilidade à inundação nas planícies fluviais.

Vulnerabilidade à inundação	km ²	%
Muito baixa	0.131	8.9
Baixa	0.113	7.7
Média	0.443	30.1
Alta	0.497	33.7
Muito alta	0.290	19.7
Total	1.4739	100

FIGURA 48 – Percentuais de áreas de vulnerabilidade à inundação presentes na bacia do córrego Três Pontes

As áreas vulneráveis à inundação correspondem às morfologias de planície de inundação, terraços e *backswamps* que totalizam, aproximadamente, 1,47km² ou 6% da área da BHPT. A distribuição das áreas pelas classes de vulnerabilidade à inundação aponta uma abrangência maior das classes alta e média, com 33,7% e 30,1%, seguidas pelas classes muito alta, muito baixa e baixa, conforme apresenta a figura 48.

A classe muito baixa de vulnerabilidade à inundação (8,9%) é composta por terraços combinados a estruturas urbanas consolidadas (PI8) e pelos aterros antropogênicos produzidos para alteamento da via férrea (PI4 e PI5), pois se considera que estas combinações resultam em ótimas condições de drenagem superficial, tanto por estar em níveis altimétricos elevados em relação à planície, quanto por apresentarem estruturas de drenagem que aceleram a exportação lateral de excedentes hídricos.

Por sua vez, a classe baixa de vulnerabilidade à inundação é composta por remanescentes morfológicos fluviais de terraços (PI0) e condições de solo exposto localizadas

sobre estas subunidades fluviais (PI1), assumindo-se que os terraços, originalmente, estejam pouco sujeitos à inundação e acúmulo hídrico superficial, porém apresentam condições de drenagem ligeiramente menos favoráveis em relação à classe anterior.

A classe de média vulnerabilidade à inundação constitui-se de setores de planície de inundação ocupadas por urbanização em estágio consolidado (PI9), onde se inferem a existência de aterros de médio porte, de 0,5 a 1m do nível da planície, e estruturas de drenagem que retiram os fluxos excedentes e evitam a acumulação em superfície. A vulnerabilidade média também denota que dentre as intervenções realizadas na bacia hidrográfica, que incluem a impermeabilização e o aumento da vazão de pico, a condição urbana consolidada, paulatinamente, promoveu a minimização e mitigação dos débitos fluviais ampliados, por meio de estruturas de micro e macrodrenagem, estabelecendo, teoricamente, um estado de compensação hidrológica envolvendo a assimilação dos excedentes hídricos.

Assim, a vulnerabilidade destas unidades não pode ser considerada muito alta ou alta, como originalmente seria, dado o número de obras e ações de controle da inundação. Tampouco se pode concluir que tais estruturas foram suficientes para impedir as inundações decorrentes do transbordamento do canal, haja visto a recorrência de alagamentos ao longo da planície nos últimos 10 anos. Por tais razões, a classificação destes setores como de média vulnerabilidade representa uma ponderação dos critérios adotados na classificação em função do estado de compensações promovido pela ocupação. Em alguns casos, dependendo dos arranjos espaciais estabelecidos com outras unidades morfológicas complexas, e com os arruamentos e suas declividades, estes setores de média vulnerabilidade foram classificados em alta ou muito alta vulnerabilidade.

Assim, por último, as classes de alta e muito alta vulnerabilidade à inundação representam, respectivamente, 33,7% e 19,7%. A primeira é composta pelos remanescentes de planície fluvial (PI0), e *backswamp* e meandro colmatado sobrepostos por morfologias antropogênicas de estágio consolidado de urbanização (PI10); ao passo que, a segunda, configura-se como morfologias semi-preservedas de *backswamp* e meandro colmatados (PI0) e enquanto resultados da combinação entre solo exposto localizado em planície de inundação (PI2), os setores de *backswamp* coincidentes com solo exposto (PI3) e, por fim, as unidades morfológicas complexas formadas a partir da associação com ocupação urbana em estágio não consolidado (PI6 e PI7).

Assim, a frequência e magnitude das cheias são características das inundações relacionadas aos atributos físicos da bacia hidrográfica que podem ser alterados conforme a

inserção de aspectos de superfície relativos à infiltração e rugosidade, dentre os quais, os usos da terra e as interferências sobre o canal, levando a diferentes tendências espaciais de inundação.

4.5. Capacidade de estocagem da planície de inundação

Tendo em vista a sobreposição das áreas das morfologias fluviais originais por morfologias antropogênicas, e a função da planície de receber o excedente hídrico e atenuar as cheias, é importante considerar a supressão das planícies fluviais na análise de vulnerabilidade à inundação, a partir da perda de capacidade de estocagem e, conseqüentemente, de amortecimento.

Para realizar esta análise, conforme descrito no capítulo de procedimentos, foi necessário estimar um valor médio de desnível topográfico para as morfologias da planície de inundação, de *backswamp* e meandro colmatado. A partir dos valores médios apresentados no quadro 10, e retomando as áreas obtidas para morfologias originais na BHTP, estimaram-se os volumes relativos à capacidade de estocagem original destas unidades, conforme a tabela 20.

TABELA 20 – Estimativa da capacidade de estocagem das morfologias fluviais no período pré-intervenção.

Morfologia fluvial	Área (m²)	Volume (m³)
Planície de inundação original	1.221.755,9	1.588.282,7
Backswamp e meandro colmatado	63.842,5	114.916,5
Morfologias fluviais originais	1.285.598,4	1.703.199,2

Conforme os cálculos realizados, a planície de inundação como um todo, considerando o nível principal e os níveis de *backswamp* e meandro colmatado, apresentou um volume total de 1.703.199,2m³. Este valor é uma referência para quantificar a supressão da funcionalidade de estocagem dos excedentes fluviais pela planície decorrente da ocupação urbana. Para tanto, considerou-se as morfologias remanescentes de planície no mapeamento das morfologias antropogênicas. Os resultados obtidos estão apresentados na tabela 21.

TABELA 21 – Estimativa da capacidade de estocagem das morfologias fluviais remanescentes no período pós-urbanização.

Morfologia fluviais	Área (m²)	Volume (m³)
Planície em condição original ou semi-preserveda	351.639,9	457.131,9
Backswamp e meandro colmatado	4.695,1	8.451,2
Morfologias fluviais semi-preserveda	356.335,0	465.583,1

Subtraindo-se as áreas urbanizadas da planície de inundação, *backswamp* e meandro colmatado da área originalmente abrangida, tem-se que a capacidade total atual dos remanescentes da planície fluvial é de 465.583,1m³, um valor significativamente menor que o anterior, demonstrando o grau de supressão desta unidade e a perda de uma das funcionalidades primordiais deste sistema morfológico, em menos de 50 anos, do ponto de vista da atenuação de cheias. A tabela 22, abaixo, apresenta algumas estimativas destas alterações:

TABELA 22 – Estimativa da perda de capacidade de estocagem das morfologias fluviais entre 1962 e 2011.

Morfologia fluviais	Volume (m³)	
	m³	%
Planície de inundação	1.131.150,9	71,22
Backswamp e meandro colmatado	106.465,2	92,65
Morfologias fluviais	1.237.616,1	72,66

Com base na tabela 22, é possível observar que, aproximadamente 25% da área da planície permanece como remanescente, o que representa um volume de 28,88% da capacidade original calculada. Ou seja, no que se refere à estocagem hídrica destas morfologias, houve uma redução na ordem de 72%, ao passo que, ao se analisar as morfologias fluviais mais vulneráveis à inundação (*backswamp* e meandro colmatado) a supressão é ainda maior, na ordem de 92% do volume total.

Com a diminuição da capacidade de infiltração em setores naturalmente mal drenados, como as planícies de inundação, os excedentes hídricos produzidos pelas áreas impermeabilizadas decorrem em um tempo ainda maior de permanência da água em superfície e a transmissão para jusante de volumes mais significativos, que pressionam setores de morfologia fluvial remanescentes.

A tabela 23 apresenta uma síntese dos volumes estimados de perda de estocagem da planície original e da capacidade de atendimento do Piscinão Jardim Romano, localizado próximo à confluência com rio Tietê.

TABELA 23 – Estimativa dos volumes das morfologias fluviais, percentuais suprimidos e volume atendido pelo piscinão Jardim Romano.

Domínio	Área (m²)	Volume (m³)
Planície de inundação original	1.285.598,4	1.703.199,2
Planície de inundação semi-preserveda	356.335,0	465.583,1
Planície de inundação suprimida	929.263,4	1.237.616,1
Piscinão Jd. Romano	-	15000
Excedente hídrico	-	1.222.616,1
Percentual atendido (%)	-	1,2

Do volume total de 1.703.199,2m³ estimado da planície fluvial original, 465.583,1m³ permanecem como remanescentes, resultando em uma perda total de 1.237.616,1m³ de sua capacidade de estocagem. Considerando (i) a capacidade máxima de atendimento do piscinão Jd. Romano como sendo de 15.000m³, e (ii) supondo que este piscinão tenha sido elaborado com o intuito de receber o volume excedente não atendido pelas planícies remanescentes, tem-se que este reservatório artificial é capaz de atender a 1,2% da capacidade de reservação das planícies originais que foram suprimidas, resultando em um saldo negativo do volume excedente de 1.222.616,1m³.

Deduz-se, portanto, que estes reservatórios artificiais não têm o objetivo de substituir total ou parcialmente as funções de reservação da água antes realizadas pelas planícies originais, mas, sim, de abater o pico de vazão, temporariamente, e minimizar os problemas pontuais relativos às inundações de menor período de retorno.

5. APLICAÇÃO DE MODELAGENS HIDROLÓGICAS E HIDRÁULICA

5.1. Caracterização das precipitações

Este subcapítulo foi dedicado à análise do regime temporal de precipitações com base em dados de rede telemétrica (SAISP) e postos pluviométricos (DAEE, ANA e CGE), com objetivo central de caracterizar eventos extremos reais, detalhando, para tal, a temporalidade das chuvas em termos de sua variação mensal, evolução anual e ocorrência de eventos extremos nas séries históricas analisadas.

5.1.1. Regimes anuais e mensais das precipitações

Para a análise dos regimes de precipitação foram utilizadas as séries de dados da ANA e do SIGRH (DAEE), apresentadas na parte 2 do capítulo de procedimentos e sistematizadas na quadro 11.

Com base nos dados do posto E3-091, do DAEE, para 60 anos de série, a média pluviométrica anual foi de 1.311mm, enquanto para o posto 2346194, para o qual foram considerados 44 anos de coletas, a média de chuva foi de 1.316mm. Apesar da proximidade entre as médias anuais, os registros dos postos apresentaram variações significativas em relação às respectivas médias, apresentando anos muito secos intercalados a anos extremamente chuvosos, conforme se nota nas figuras 49 (E3-091) e 50 (2346194). Os desvios padrões encontrados das médias anuais foram de 314,6 e 317,1, para os postos E3-091 e 2346194, respectivamente, demonstrando variação similar de ambos em torno da média. A consideração de intervalo de um desvio padrão acima da média constitui uma referência estatística importante para identificação de anos de precipitação extrema.

FIGURA 49 – Totais de precipitação entre 1943 e 2003 para o posto E3-091.

Obs.: Apresenta média (linha contínua) e a variação de um desvio padrão acima da média (linha tracejada).

Conforme se constata a partir do gráfico da figura 49, para o posto E3-091, totais anuais inferiores a 1.000mm/ano (equivalente a, aproximadamente, um desvio padrão abaixo da média) caracterizam, de modo geral, anos mais secos, enquanto, por outro lado, anos com totais superiores a 1.600mm podem ser considerados chuvosos, uma vez que superam o limite de um desvio padrão acima da média do posto. Quanto aos anos mais secos observados neste posto, podem-se destacar os totais obtidos para 1944, 1955, 1964, 1968, 1979, 1980, 1981, 1984 e 2000, que correspondem a aproximadamente 1015mm, 906mm, 1077mm, 1022mm, 696mm, 873mm, 805mm, 1026mm e 1005mm. Por outro lado, para os anos chuvosos, destacam-se os totais apresentados na tabela 24.

TABELA 24 – Precipitação anual e mensal de anos com totais superiores a um desvio padrão acima da média do posto E3-091.

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
1947	413	247,5	168,2	46,7	66,6	45,8	70,6	39,6	121,1	82,3	224,4	289,6	1699,1
1948	349,3	381,3	216,8	39,7	68,9	0,5	65,9	128,7	46,3	112,6	199,9	272,4	1812,2
1950	378,3	171,2	249,5	170,5	7,2	19,2	18	0	34,1	193,3	142,5	142,4	1641,4
1960	133,6	291,1	102,2	79,6	100,7	60,1	11,1	26,6	42,1	74	258,5	336,2	1716,1
1976	294,4	130,2	109,3	152,5	177,2	19	153,7	132,3	204,9	78	165,4	202,9	1990,1
1983	210	48,8	173	195,1	189,4	214,1	34,4	27,3	252,2	107,1	136,5	121	1985,8
1991	218	183	306	117,6	33,2	65,3	20,9	46,7	73,2	139,6	105,5	137,3	1629,8
1995	353,5	230,8	225	46,7	41,6	36,3	73,3	15,2	48,6	216,5	143,7	238,2	1725,5

A média obtida para os anos mais chuvosos do posto E3-091, conforme dados da tabela 24, foi de 1.673mm, sendo que os maiores acumulados ocorreram em 1976 e 1983, com totais de 1.990mm e 1.986mm, respectivamente.

A variação dos totais anuais para o posto 2346194 foi ainda mais irregular em comparação à série do posto anterior, com significativa oscilação entre anos com totais inferiores a 1.000mm e superiores 1.600mm, conforme nota-se na figura 50.

FIGURA 50 - Totais de precipitação entre 1928 e 1986 para o posto 2346194.

Obs.: Apresenta-se a média (linha contínua) e a variação de um desvio padrão acima da média (linha tracejada).

Devido à perda de meses consecutivos da série histórica do posto 2346194, evidenciados pelas lacunas do gráfico da figura 50, os anos desprezados prejudicaram a continuidade e confiabilidade das médias e de demais resultados obtidos. Apesar disso, podem-se apontar os anos de 1939, 1949, 1952, 1953, 1955 e 1963 como os mais secos da série, com médias pluviométricas de 1017mm, 1009mm, 759mm, 998mm, 996mm e 944mm, respectivamente, produzindo uma média de 954mm.

Os dados permitiram, por outro lado, identificar anos com totais anuais elevados, conforme se apresenta na tabela 25, caracterizados por superarem o equivalente a um desvio padrão acima da média.

TABELA 25 - Precipitação anual e mensal de anos com totais superiores a um desvio padrão acima da média do posto 2346194.

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
1929	430	265	191	31	148	3	26	35	95	90	138	416	1868
1931	262	344	196	50	53	47	10	0	152	112	213	515	1954
1932	314	161	324	30	238	81	26	36	60	154	272	280	1976
1960	210,5	400,4	86,8	129,2	103	101,4	2	31	57	104,2	231,6	386,1	1843,2
1973	389,6	372	99,2	92,4	65,6	33,6	97,1	30,4	90,5	195,1	183,6	315,5	1964,6
1983	255,3	243,1	177,5	198	220,8	214,9	39,7	27,3	263,1	121,2	133,8	182,8	2077,5

A média destes anos apresentados na tabela 25 foi de 1.947mm, aproximadamente, 175mm acima da média dos anos chuvosos obtidos para série do posto E3-091. Neste conjunto de dados destaca-se, ainda, o ano de 1983 como um dos períodos de maior acumulado pluviométrico das séries históricas de ambos, com 2.077mm (2346194) e 1.985mm (E3-091), aproximadamente 1,5 vezes acima das médias, superando em mais de 300mm, os respectivos limites de um desvio padrão acima da média.

Ressalta-se que nenhum dos postos considerados apresentou, ao longo de suas séries históricas, tendências positivas ou negativas significativas que pudessem indicar evoluções para o aumento ou diminuição dos totais anuais, tendo sido calculadas inclinações insignificantes para curvas de tendência abrangendo ambas as sequências de dados das figuras 49 e 50.

No que se refere à distribuição mensal da chuva, ambos os postos apresentaram regimes de sazonalidades bem marcadas, com meses chuvosos, que abrangeram de outubro a março; e outros menos chuvosos, que se estenderam de abril a setembro. Os gráficos das figuras 51 e 52, relativos aos postos E3-091 e 2346194, respectivamente, são compostos por duas séries de médias mensais: uma, em preto, referente ao período completo de dados disponíveis para cada posto; e outra, em cinza, elaborada a partir dos dados mensais dos anos mais chuvosos, apresentados nas tabelas 24 e 25.

FIGURA 51 – Precipitação mensal para o posto E3-091
Obs.: Entre 1944 a 2004 (preto) e para anos de chuva intensa (cinza).

FIGURA 52 – Precipitação mensal para o posto 2346194
Obs.: Entre 1928 a 1985 (preto) e para anos de chuva intensa (cinza).

Considerando os meses que compõem o período chuvoso, as médias mensais superaram 225mm, enquanto para os meses do período mais seco, frequentemente, os totais mensais ficaram abaixo de 75mm. A contribuição dos meses chuvosos para os totais anuais é amplamente mais significativa que a dos meses secos. Por exemplo, considerando apenas os anos mais chuvosos, no caso do posto E3-091, a média de precipitação dos meses mais secos (abril a setembro) foi de 76mm, ao passo que para o período chuvoso (outubro a março), a média mensal foi calculada em 202mm, correspondendo a 2,6 vezes maior que a anterior, corroborando a sazonalidade anual bem marcada e evidenciando a grandeza da concentração da entrada de água nos sistemas hidrográficos.

As médias dos meses do período seco em anos chuvosos, deste posto, tendem a ser significativamente maiores que as médias de precipitação em anos típicos para o mesmo período, apesar da tendência habitual de acumulações de precipitação nas estações chuvosas e das baixas médias pluviométricas no período seco.

Para o posto 2346194, a média mensal dos meses mais secos obtida foi de 81,0mm, enquanto para a estação chuvosa obteve-se 243mm, que equivale a 3 vezes a média do período seco. Assim, o período chuvoso em um ano de intensas precipitações corresponde, para este posto, a, aproximadamente, 75% do total precipitado.

Os dados dos postos da ANA e do SIGRH, abrangidos até o momento, apresentam séries antigas, não contemplando anos mais recentes. Para caracterizar este período atual, posterior a 2003, recorreu-se aos dados CGE (Centro de Gerenciamento de Emergências) da Defesa Civil Urbana da Prefeitura de São Paulo, cujo monitoramento na região ocorre desde 2003 e a coleta de dados é diária.

A precipitação média anual obtida para a série histórica de dados do CGE foi de, aproximadamente, 1.550mm, variando de 1.206mm, em 2003, a 1.947mm, em 2009, conforme apresentado na figura 53 e tabela 26. Considerando os anos hidrológicos (de setembro a agosto), o período de set/2009 a ago/2010 totalizou 2.228mm, o maior acumulado de chuva da série, cuja média foi de 1.553mm. Em outras palavras, isto corresponde a afirmar que o acumulado do ano hidrológico 2009-2010 foi cerca de 50% superior à média.

FIGURA 53 – Precipitação anual e totais de dias com chuva para o posto do CGE entre 2003 e 2012.

Tabela 26 - Totais mensais de chuva para o posto do CGE, destacando acumulados extremos.

Mês	03/04	04/05	05/06	06/07	07/08	08/09	09/10	10/11	11/12	Mensal
Set	23.1	13.2	96.6	84.4	8.2	37.5	181.3	65.0	1.0	56.7
Out	109.4	111.5	224.5	46.1	93.4	104.2	222.2	43.0	154.1	123.2
Nov	162.9	216.4	64.7	134.7	239.7	124.6	268.1	117.6	127.7	161.8
Dez	152.6	149.6	234.9	191.5	172.8	114.6	<u>349.8</u>	<u>252.4</u>	184.8	200.3
Jan	207.3	258.3	237.5	173.6	<u>340.5</u>	<u>268.9</u>	<u>486.9</u>	<u>385.5</u>	<u>281.0</u>	293.3
Fev	306.1	149.6	192.3	214.2	196.5	153.7	250.9	213.8	358.4	226.2
Mar	124.7	177.5	395.5	212.9	149.0	133.2	234.1	94.1	192.9	190.4
Abr	103.7	70.2	61.9	77.8	188.8	47.9	113.6	128.6	137.3	103.3
Mai	85.0	126.9	14.6	65.8	54.7	58.0	35.8	14.6	23.7	53.2
Jun	48.5	28.2	24.2	25.5	68.8	39.7	10.2	47.4	190.5	53.7
Jul	86.0	18.5	78.3	137.1	0.0	153.7	75.2	0.3	76.6	69.5
Ago	0.2	5.8	1.2	0.0	84.0	70.5	0.0	38.0	0.0	22.2
Anual	1409.5	1325.7	1626.2	1363.6	1596.4	1306.5	2228.1	1400.3	1728.0	1553.8

O ano hidrológico 2009/2010 destacou-se dentre os demais períodos que compõe a série histórica deste posto, com total de 2.228,1mm, muito superior à média do período de 1.553,8mm, cerca de 43% acima deste valor, ainda que tenham sido observados, para este ano, valores mensais considerados muito abaixo da média nos meses de maio, junho e agosto. Por outro lado, nos meses de dezembro/09 e janeiro/10 os acumulados foram extremamente elevados em relação à média mensal do período chuvoso para o posto. Estes dados destacam-se por compreenderem um verão com chuvas muito acima da média e coincidirem com sucessivas situações de pico de vazão na BHTP, levantadas na caracterização da área de estudo desta pesquisa. Durante todos os meses compreendidos no verão de 2009/2010, as chuvas totalizaram 1.355mm, um valor significativamente maior que a soma das médias mensais desta estação, que giram em torno de 1013,5mm.

Assim como caracterizado para os postos do DAEE e da ANA, E3-091 e 2346194 respectivamente, os dados do CGE evidenciaram a distribuição pluviométrica dividida em dois

períodos: um, chuvoso que se estende de novembro a março; e outro, seco, que se estende abril a setembro, conforme evidenciado na figura 54.

FIGURA 54 – Precipitação mensal para o posto do CGE
Obs: Entre 2003 e 2012 (preto) e totais de chuva em 2009/2010 (cinza).

Em ambas as séries apresentadas na figura 54, o mês mais chuvoso foi janeiro, para o qual foi obtida uma média de 291mm e total, em 2010, de 487mm, um acumulado superior à média na ordem de 1,7 vezes. Por sua vez, agosto foi o mês com os menores acumulados precipitados, com média de 22mm e totais mensais que, frequentemente, estiveram abaixo dos 10mm.

O período chuvoso do ano hidrológico 2009-2010 totalizou 1.818mm, 81% do total anual registrado, o que equivale a uma acumulação, aproximadamente, 5% maior em comparação à distribuição média entre os períodos chuvosos e secos habituais, que giram em torno de 76% e 24%, respectivamente. A notoriedade dos totais de chuva obtidos para o ano de 2009-2010 em relação à média da série do CGE é ainda mais significativa para o período de setembro a janeiro, para os quais se notam, na figura 54, a diferença de altura das colunas de totais de chuva.

Assim, conclui-se caracterização descritiva geral das tendências de precipitação anual e das variações dos totais mensais na BHTP, demonstrando os montantes habituais de entrada de água na bacia para estes regimes e constituindo pano de fundo global para a realização de análises mais detalhadas relativas à chuva diárias intensa, nos subcapítulos que se seguem.

5.1.2. Precipitações diárias intensas

A partir dos dados do CGE, procedeu-se à identificação de valores diários extremos, fundamentada na análise de parâmetros estatísticos básicos, incluindo média, desvio padrão e

quartis; e em registros de eventos específicos de chuvas que decorreram em inundações na BHTP, conforme divulgações por mídias de notícias confiáveis.

Quanto aos aspectos estatísticos básicos que auxiliaram na definição de eventos diários extremos, a tabela 27, abaixo, apresenta uma síntese das características das séries diárias em meses chuvosos dos dados do CGE e alguns parâmetros estatísticos fundamentais, dos quais se destacam: a precipitação média diária, o desvio padrão desta precipitação média e o quarto quartil das distribuições de cada mês, bem como a média de cada um destes valores.

TABELA 27 - Características e estatísticas básicas das precipitações dos dias com chuva para os meses mais úmidos.

Variáveis	Jan	Fev	Mar	Out	Nov	Dez	Média
pp/dia	15,39	16,67	14,73	10,79	13,90	13,67	14,19
Std Dev	15,28	17,58	18,24	11,87	13,78	16,04	15,47
dias com chuva	18,80	13,40	13,00	10,90	10,90	12,90	13,32
% de dias no mês	62,67	44,67	43,33	36,33	36,33	43,00	44,39
1º Quartil	4,17	4,06	2,76	2,29	3,65	4,85	3,63
2º Quartil	10,76	11,45	7,51	6,74	9,56	11,27	9,55
3º Quartil	21,01	25,16	18,99	14,99	20,42	20,56	20,19
4º Quartil	53,23	56,03	61,12	37,54	43,12	49,81	<u>50,14</u>

Para a presente caracterização de chuvas diárias intensas, consideraram-se quatro parâmetros para identificar eventos extremos nas séries: (i) ocorrência entre os meses de outubro e março (período chuvoso), pressupondo-se que seja este o período mais propício às maiores precipitações; (ii) extrapolação da média do quarto quartil igual a 50,14mm pelo total diário precipitado; (iii) superação do valor equivalente ao dobro do desvio padrão médio mensal somado a média de precipitação diária; e (iv) ter decorrido em evento de enchente noticiado em jornais locais consultados ou em sites confiáveis de notícias. Estes parâmetros foram avaliados separadamente em relação às séries abrangidas, sendo que as precipitações diárias foram consideradas extremas se tiverem satisfeito ao menos um destes.

Descritivamente, os meses com o maior número de dias com chuva são dezembro, janeiro, fevereiro e março, com percentuais de dias que variam de 43%, em dezembro, a 62%, em janeiro. Os meses chuvosos abrangidos têm entre 10 e 18 dias com chuva, o que corresponde a afirmar que em metade destes meses, os dias são chuvosos.

Observando-se as médias de precipitação, os meses de janeiro, fevereiro e março concentram os maiores totais diários, a saber: 15; 16 e 14mm, respectivamente. Associadas a essas médias, ocorrem os maiores desvios padrões entre os meses chuvosos, apontando para maior variabilidade dos totais pluviométricos diários.

De modo geral, totais diários de precipitação acima da média do terceiro quartil (20,19mm) podem fazer referência a eventos intensos, uma vez que, superam 75% do universo amostral de chuvas diárias, constituindo tormentas menos frequentes.

Esta informação, contudo, é menos relevante à identificação de eventos extremos em comparação com a média do quarto quartil (50,14mm), destacada na tabela 27, que constituiu um dos parâmetros na identificação de eventos extremos. Equivalente a este parâmetro, foi proposta a utilização da soma de duas vezes o desvio padrão à média. Valores de chuvas diárias superiores a este limite foram consideradas ocorrências extremas no período de dados abrangidos pela série histórica do CGE.

As figuras 55 a 60 contêm gráficos que mostram a distribuição crescente das precipitações acumuladas nos dias com chuva para janeiro, fevereiro, março, outubro, novembro e dezembro, respectivamente, e os limites estatísticos importantes para cada série.

FIGURA 55 - Totais pluviométricos de dias com chuva em janeiro (2003 a 2012).

FIGURA 56 - Totais pluviométricos de dias com chuva em fevereiro (2003 a 2012).

FIGURA 57 - Totais pluviométricos de dias com chuva em março (2003 a 2012).

FIGURA 58 - Totais pluviométricos de dias com chuva em outubro (2003 a 2012).

FIGURA 59 - Totais pluviométricos de dias com chuva em novembro (2003 a 2012).

FIGURA 60 - Totais pluviométricos de dias com chuva em dezembro (2003 a 2012).

A partir dos parâmetros adotados e da análise das séries históricas das figuras 55 a 60 dispostas acima, obtiveram-se 38 eventos extremos para o período de 2003 a 2012, distribuídos da seguinte maneira: 7 em janeiro, 7 em fevereiro, 10 em março, 2 em outubro, 5 em novembro e 4 em dezembro. Além destes, destacaram-se, ainda, as chuvas de 03/04/2008 e de 14/07/2010¹³, com 70,8mm e 26,9mm, respectivamente, as quais, apesar de estarem fora do período chuvoso, foram coincidentes a eventos de inundação relevantes na BHTP, tendo sido noticiados por mídias confiáveis, justificando, assim, suas inclusões no conjunto de eventos extremos (TABELA 28).

Tabela 28 - Eventos considerados extremos na série histórica do CGE de 2003 a 2012.

Data	Chuva	Data	Chuva	Data	Chuva	Data	Chuva
08/12/2009	109,3	<u>03/04/2008¹</u>	<u>70,8</u>	06/03/2004	58,4	14/01/2008	54
03/01/2006	93,8	<u>15/03/2012</u>	<u>69,8</u>	11/10/2003	58,4	16/03/2007	53,6
<u>17/12/2005</u>	<u>91,5</u>	06/02/2004	67,3	08/11/2007	58,4	<u>25/02/2007</u>	<u>52</u>
07/02/2007	91	25/03/2006	66,6	15/12/2010	58,2	09/03/2009	51,8
26/10/2009	88,5	<u>11/02/2012</u>	<u>63,2</u>	11/02/2006	58	16/12/2010	51,7
19/03/2010	87,1	<u>12/03/2007</u>	<u>63,2</u>	03/11/2007	58	15/11/2011	51,5
13/03/2008	84,4	05/01/2008	61,8	30/01/2009	57,8	<u>21/02/2008²</u>	<u>50,6</u>
<u>12/02/2003</u>	<u>82,8</u>	<u>21/01/2010</u>	<u>60,2</u>	<u>10/01/2011</u>	<u>56,7</u>	<u>14/07/2010³</u>	<u>26,9</u>
<u>29/03/2006</u>	<u>75,2</u>	15/03/2005	59,7	25/11/2009	56,3		
28/11/2004	73,6	02/02/2004	59,2	29/01/2008	56,2		

¹Corresponde à precipitação extrema fora do período chuvoso típico. ²Foi precedido de um total de 57mm de chuva para um período de 5 dias de antecedência, correspondendo a uma entrada de frente que levou à enchente do córrego na data. ³Um evento de média magnitude que decorreu em inundação fora do período considerado chuvoso.

As datas e chuvas sublinhadas na tabela 28 correspondem a eventos cujos dados de telemetria, com detalhamento de 10 minutos, foram solicitados ao SAISP, sendo que os campos em cinza foram os fornecidos pela instituição, e aqueles não disponibilizados estiveram associados a falhas no equipamento e, ocasionalmente, por não ter sido registrada precipitação

¹³Disponível em: <http://g1.globo.com/sao-paulo/noticia/2010/07/moradores-do-jardim-romano-voltam-sofrer-com-enchente.html>. Obtido em: 14/01/2014.

no posto do SAISP. A sistematização de dados do SAISP teve o objetivo de caracterizar ietogramas de alguns tipos de precipitação característicos da região estudada, de modo que a seleção das datas específicas da tabela 28, solicitadas à instituição, consistiu na tentativa de diversificar a amostragem com a abrangência de diferentes períodos, totais pluviométricos e, conseqüentemente, de diferentes tipos de eventos intensos.

Devido a diferenças de diversas naturezas entre as séries do CGE e do SAISP, que decorrem de aspectos espaciais e técnicos, ocorreram incompatibilidades entre os acumulados diários de eventos específicos, de forma que, as informações solicitadas ao SAISP não coincidem com os valores de totais precipitados que constam na tabela 28, baseada no CGE. Apesar de tal incompatibilidade, os dados fornecidos pelo SAISP foram suficientes para ilustrar e caracterizar alguns tipos de ietograma de eventos intensos específicos, que levaram a processos de inundação na bacia hidrográfica. Esta caracterização buscou exemplificar tipos de distribuição temporal de chuvas intensas.

Foram detalhados cinco exemplos de distribuições a partir dos dados do SAISP: (1) chuva de curta duração com pico de intensidade e volume no início do evento; (2) chuva de média a longa duração com menor intensidade e múltiplos picos; (3) chuvas de dois momentos, de média a forte intensidade, e (4) evento extremo, acima de 100mm/dia, com duplo pico.

Distribuição 1: Curta duração com pico no início - eventos de 21 e 22/01/2010 e 12/03/2007.

Esta distribuição caracteriza as formas dos ietogramas típicas das chuvas de verão, cuja origem está relacionada à convecção de células com grande quantidade de umidade e energia decorrentes do aquecimento da superfície associada à disponibilidade hídrica regional. Estão normalmente associadas à turbulência atmosférica vertical e à sensação térmica de abafamento crescente ao longo do dia. Estes eventos tendem a ocorrer de modo espacialmente concentrado, abrangendo uma zona da cidade ou da região sem avançar para outros locais. A distribuição assemelhada à log-normal evidencia a concentração das maiores intensidades e do total precipitado na primeira parte do evento, conforme se verifica nas figuras 61 e 62.

A precipitação dos dias 21 e 22/01/2010 (FIGURA 61) constituiu um evento de 230 minutos (3 horas e 50 minutos) de duração ocorrido durante a noite. A lâmina total acumulada foi de 21,7mm concentrada nos primeiros 30 minutos de chuva, quando totalizaram 15,2mm, equivalentes a 70% do evento. O evento como um todo apresentou intensidade de 0,09mm/min, enquanto, a intensidade calculada aos 30 minutos iniciais foi de 0,51mm/min.

FIGURA 61 - Distribuição temporal da precipitação para o evento de 21 e 22/01/2010.

O evento da figura 62 corresponde à chuva do dia 12/03/2007 e caracterizou-se por ser mais curta e mais intensa que o evento da figura 61, definindo as características das tormentas típicas de verão, com início no final da tarde, forte intensidade nos primeiros minutos e diminuição rápida ao longo do tempo.

Este evento teve duração de, aproximadamente, 120 minutos (2 horas), com total pluviométrico de 30mm. A intensidade média obtida para a tormenta foi de 0,25mm/min com a distribuição desigual e concentração das maiores intensidades no início do evento. Tomando-se apenas os 30 minutos iniciais, o acumulado foi de 28,7mm, representando por volta 95% do total e correspondendo à intensidade uma intensidade de 0,96mm/min. Esta última intensidade corresponde a uma magnitude de eventos com tempos de retorno de 2 anos, aproximadamente, assumindo-se a IDF adotada para este estudo, de modo que, o evento como, caracteriza precipitações com $1 < Tr < 2$ anos.

Por fim, observam-se em ambas as figuras, 54 e 55, a marcante característica de alcance do pico de intensidade antes de ter decorrido 20% do tempo da tormenta.

FIGURA 62 - Distribuição temporal da precipitação para o evento de 12/03/2007.

Distribuição 2: Média duração com múltiplos picos– eventos de 29 e 30/12/2006 e 12 e 13/02/2003

Diferentemente dos casos da distribuição 1, a maior parte dos eventos responsáveis por condições críticas no escoamento urbano é composta por duplo ou múltiplos picos, conforme ilustra o ietograma da chuva dos dias 29 e 30/12/2006, na figura 63. Localmente, tais precipitações podem ser originadas de processos convectivos prolongados ao longo do dia, que produzem instabilidades e tendem a precipitar durante a noite. Regionalmente, estes eventos podem estar relacionados à atuação de sistemas frontais ou de instabilidades produzidas por ZCAS.

FIGURA 63 - Distribuição temporal da precipitação para o evento de 29 e 30/12/2006.

A chuva do gráfico da figura 63 totalizou 16mm de precipitação ao longo de 340min (5 horas e 40 minutos), correspondendo a uma intensidade média de 0,05mm/min. O evento foi irregular ao longo do tempo e apresentou uma oscilação entre picos de intensidade que

variaram de 0,09 a 0,18mm/min, com pico máximo localizado nos 30 primeiros minutos, e recessões que chegaram próximo a zero.

De forma semelhante, o evento da figura 64, de 12 e 13/02/2003, apresentou dois momentos de precipitação, de diferentes intensidades, durações e volumes, e separados por um espaço de tempo de 1 hora e 50 minutos. O primeiro momento do ietograma da figura 64 totalizou 37,1mm em um intervalo de 50 minutos, resultando em uma intensidade média de 0,74mm/min, com pico no final em que a intensidade atingiu 1,66mm/min para os últimos 10 minutos. Por tais características, pode-se considerar a intensidade deste primeiro momento do evento como de intensidade equivalente a eventos com tempo de retorno de 2 anos.

Mais curto e menos intenso que este primeiro momento, o segundo momento do evento totalizou um volume de 8,2mm em cerca de 30 minutos, derivando uma intensidade média de 0,27mm/min. Como está associado ao acumulado do primeiro momento, ainda que seja menos intenso, o segundo pico pode produzir um volume maior de escoamento superficial, devido à condição de umidade antecedente.

FIGURA 64 - Distribuição temporal da precipitação para o evento de 12 e 13/02/2003.

A simulação de condições de distribuição temporal de múltiplos picos, tais como os eventos das figuras 63 e 64, compreende uma tarefa extremamente complexa e em fase de desenvolvimento científico, uma vez que exige um amplo detalhamento de tipos de precipitação e mecanismos de gênese para locais específicos.

Distribuição 3: Chuvas consecutivas de média intensidade - evento de 17 e 18/12/2005

O evento de 17 e 18/12/2005, apresentado na figura 65, possui características típicas de chuvas relacionadas a instabilidades produzidas pelo avanço de frentes frias no verão, normalmente, caracterizando-se por serem mais duradouras e de intensidade uniforme.

Quando ocorrem entradas de frentes frias no verão, tormentas com sucessão de momentos de média intensidade podem ser produzidas, como exemplificado na figura 65. No caso especificado, estes momentos estão separados por um intervalo de tempo de 2 horas e 30 minutos, aproximadamente, e o pico de intensidade ocorre na primeira metade.

De modo geral, o evento acumulou um total de chuva igual a 62,9mm ao longo de 410 minutos (6 horas e 50 minutos), decorrendo em uma intensidade média de 0,15mm/min. Dividindo-se o gráfico em dois momentos, nota-se que o primeiro é, significativamente, mais longo e mais intenso que o segundo. O primeiro momento estendeu-se por 240 minutos e totalizou 51,2mm, derivando uma à intensidade de 0,21mm/min, características de precipitações de Tr 2 anos, aproximadamente. O segundo momento, por sua vez, prolongou-se por 170 minutos e acumulou 11,7mm, resultando em 0,07mm/min de intensidade média, equivalente a eventos de Tr inferiores a 2 anos.

FIGURA 65 - Distribuição temporal da precipitação para o evento de 17 e 18/12/2005.

Distribuição 4: Evento extremo acima de 100mm/dia com duplo pico - evento de 10 e 11/01/2011.

Eventos pluviométricos de duplo pico ou múltiplos picos podem estar associados a médias ou grandes intensidades, dependendo da gênese da instabilidade e do mecanismo de precipitação. O ietograma do evento da figura 66, abaixo, exemplifica a ocorrência de um evento de alta intensidade e duplo pico.

FIGURA 66 - Distribuição temporal da precipitação para o evento de 10 e 11/01/2011.

Esta tormenta ocorreu entre 10 e 11/01/2011 e esteve compreendida em um contexto de fortes precipitações do início do ano de 2011, e associada a condições de transbordamento do córrego Três Pontes. Esta precipitação totalizou 116,5mm ao longo de 290 minutos (4 horas e 50 minutos), derivando uma intensidade média de 0,4mm/min, valor equivalente a eventos extremos de $Tr > 50$ anos. Observando-se detidamente os 50 minutos iniciais, calcula-se uma precipitação de 58,7mm ($\approx 50\%$ do total) e uma intensidade média de 1,17mm/min. O intervalo de 10 minutos mais intenso calculados para este evento ocorre entre as 21h e 30 minutos e 21h e 40 minutos, para o qual foi calculada uma magnitude de 1,69mm/min, também superior à Tr 50 anos.

Para a RMSP, estudos meteorológicos e climatológicos de eventos pluviométricos extremos não produziram modelos que permitam a construção de ietogramas sintéticos similares aos observados nas distribuições 1 a 4. Por outro lado, a utilização de modelos hidrológicos chuva-vazão, tais como: método de blocos alternados, Santa Bárbara, Chicago e SCS, são ferramentas fundamentais para construção tormentas de projetos hidráulicos e devem ser utilizadas em substituição a eventos empíricos extremos, inclusive por tenderem a superestimar a intensidade dos picos de precipitação, derivando cenários mais críticos.

Por fim, o avanço tecnológico e o adensamento da rede de monitoramento de precipitação com detalhe de minuto e em tempo real, realizado por meio da telemetria e de radar meteorológico, constituem progressos na acurácia e precisão dos dados de chuva, que favorecem o controle, o combate e a mitigação de enchentes, e correspondem, ainda, a um potencial para aprofundamento do conhecimento das tendências espaciais e temporais das chuvas intensas na RMSP.

Este preâmbulo de discussões relacionadas a eventos reais de precipitação buscou oferecer um plano de fundo à aplicação de modelagens hidrológicas chuva-vazão realizada na pesquisa, que serão detalhadas nos subcapítulos que se seguem.

5.1.3. Curva Intensidade-Duração-Frequência para a cidade de São Paulo

As equações IDF estão nos fundamentos da construção de chuvas sintéticas e de hidrogramas de projeto quando dados coletados de chuva e vazão não estão disponíveis. As famílias de curvas de magnitude das chuvas compõem a base de todos os modelos computacionais como uma das ferramentas temporais de análise da precipitação e consideração estatísticas de eventos críticos ao escoamento.

No entanto, mesmo com toda importância atribuída às relações IDF dentro da análise de eventos reais e na simulação hidrológica, a última publicação oficial que disponibilizou atualização de equações e parâmetros de IDF foi a do Departamento de Águas e Energia Elétrica, em convênio com o CTH/USP, publicada em 1999¹⁴, e que abrangeu várias regiões do Estado de São Paulo, dentre as quais a capital. Nesta obra, as instituições envolvidas e os autores responsáveis propuseram uma estruturação para as expressões de IDF, assumindo como pressupostos de correlação alguns parâmetros estatísticos da distribuição de Gumbel, derivando equações do tipo $\ln\ln$ que tem como estrutura geral a sentença abaixo:

$$i_{td,Tr} = A(td + B)^C + D(td + E)^F \cdot \left[G + H \cdot \ln \left(\ln \left(\frac{Tr}{Tr - 1} \right) \right) \right] \dots\dots\dots \text{EQUAÇÃO 12}$$

Em que, td é o tempo de duração (minuto), Tr é o tempo de retorno (anos), e A, B, C, D, E e F são parâmetros a determinar de acordo com a localidade do estudo. Para o município de São Paulo, o estudo do DAEE (1999) considerou os dados da estação do IAG-USP para calibração, determinando os coeficientes A a H, determinando a expressão a seguir :

$$i_{td,Tr} = 39,3015(td + 20)^{-0,9228} + 10,1767(td + 20)^{-0,8764} \cdot \left[-0,4653 - 0,8407 \cdot \ln \left(\ln \left(\frac{Tr}{Tr - 1} \right) \right) \right] \dots\dots\dots \text{EQUAÇÃO 13}$$

¹⁴ Nelson Luiz Goi Magni, um dos autores da referida publicação, expressou a necessidade de se atualizar as formulações com base em séries mais recentes e longas, atualmente disponíveis.

Onde, $i_{td,Tr}$ é a intensidade de chuva (mm/min) com duração td (minuto) e retorno Tr (ano). Para td foram determinados os valores 10, 30, 60, 120, 150, 180, 210, 240, 270, 300, 360, 720 e 1440 em minutos; e para Tr os períodos de 2, 5, 10, 15, 20, 25, 50, 100 e 200 anos. A chuva total acumulada (R) é estimada pelo produto entre a intensidade resultante e td .

Ao substituir os valores de td e Tr na equação 12, obtiveram-se as intensidade médias estimadas em mm/min, transformadas em mm/hora, conforme apresentado na tabela 29.

TABELA 29 - Intensidades médias estimadas (mm/hora) para os Tr e td definidos.

Duração (td)		Período de Retorno T (anos)								
Hora	Minuto	2	5	10	15	20	25	50	100	200
0,2	10	97,3	126,9	146,4	157,4	165,2	171,1	189,4	207,6	225,8
0,3	20	74,6	97,5	112,7	121,3	127,3	131,9	146,2	160,3	174,4
0,5	30	60,7	79,5	92,0	99,1	104,0	107,8	119,5	131,2	142,8
1,0	60	39,3	51,8	60,1	64,7	68,0	70,5	78,3	86,0	93,6
2,0	120	23,4	31,1	36,1	39,0	41,0	42,5	47,3	52,0	56,7
2,5	150	19,6	26,0	30,3	32,7	34,4	35,7	39,7	43,7	47,6
3,0	180	16,8	22,4	26,1	28,2	29,7	30,8	34,3	37,7	41,2
3,5	210	14,8	19,7	23,0	24,9	26,2	27,2	30,2	33,3	36,3
4,0	240	13,2	17,6	20,6	22,3	23,4	24,3	27,1	29,8	32,5
4,5	270	11,9	16,0	18,7	20,2	21,2	22,0	24,5	27,0	29,5
5,0	300	10,9	14,6	17,1	18,4	19,4	20,2	22,5	24,7	27,0
6,0	360	9,3	12,5	14,6	15,8	16,6	17,3	19,2	21,2	23,2
12,0	720	5,0	6,8	8,0	8,6	9,1	9,5	10,6	11,7	12,8
18,0	1080	3,5	4,7	5,6	6,0	6,4	6,6	7,4	8,2	8,9
24,0	1440	2,7	3,7	4,3	4,7	4,9	5,1	5,7	6,3	6,9

O produto da intensidade média pelo tempo de duração da tormenta é uma estimativa de previsão da máxima altura de chuva para o local em um dado evento. Na tabela 30, abaixo, constam os totais pluviométricos (R) derivados para cada td e TR considerados, e que serão utilizados na modelagem chuva-vazão Ven Te Chow-SCS.

TABELA 30 - Previsão das alturas máximas de chuva R (mm).

Duração (Td)		Período de Retorno T (anos)								
Hora	Minuto	2	5	10	15	20	25	50	100	200
0,2	10	16,2	21,1	24,4	26,2	27,5	28,5	31,6	34,6	37,6
0,3	20	24,9	32,5	37,6	40,4	42,4	44,0	48,7	53,4	58,1
0,5	30	30,3	39,8	46,0	49,5	52,0	53,9	59,8	65,6	71,4
1,0	60	39,3	51,8	60,1	64,7	68,0	70,5	78,3	86,0	93,6
2,0	120	46,8	62,1	72,3	78,0	82,0	85,1	94,6	104,0	113,4
2,5	150	48,9	65,0	75,7	81,7	86,0	89,2	99,2	109,2	119,1
3,0	180	50,5	67,3	78,4	84,7	89,1	92,5	102,9	113,2	123,5
3,5	210	51,7	69,1	80,6	87,0	91,6	95,1	105,8	116,5	127,2
4,0	240	52,8	70,6	82,4	89,0	93,7	97,3	108,3	119,3	130,2
4,5	270	53,7	71,9	83,9	90,7	95,5	99,1	110,4	121,6	132,8

5,0	300	54,5	73,0	85,3	92,2	97,1	100,8	112,3	123,7	135,1
6,0	360	55,7	74,9	87,6	94,7	99,7	103,6	115,5	127,2	139,0
12,0	720	60,2	81,5	95,6	103,6	109,2	113,5	126,8	139,9	153,0
18,0	1080	62,5	85,2	100,1	108,6	114,5	119,1	133,1	147,0	160,9
24,0	1440	64,1	87,7	103,3	112,1	118,2	123,0	137,6	152,1	166,5

A altura de chuva tende a aumentar conforme aumentam os tempos de duração e retorno, sendo que o valor máximo contido na tabela 30 corresponde à em Tr 200 anos e td 24 horas com 166mm/dia, equivalente à 6,9mm/hora. Este crescimento obedece à lei logarítmica e tende à estabilidade quanto maior o tempo de duração da tormenta. Esta mesma tendência de evolução é verificada pela variação da intensidade em função do tempo de retorno de um evento, conforme as curvas apresentadas demonstrada na figura 67

FIGURA 67 – Curvas IDF para São Paulo em função do Tempo de Retorno.

FIGURA 68 – Curvas IDF para São Paulo como função do tempo de duração (td).

As curvas da figura 67 demonstram que as maiores intensidades ocorrem para tempos de duração curtos, decaindo rapidamente conforme se encaminham para *tds* médios e tendendo à estabilidade e paralelismo ao eixo X ao atingir tempos de duração mais elevados, acima de 500 minutos. Para estas precipitações mais duradouras, a diferença de intensidade média entre as curvas diminui consideravelmente, estreitando-se em torno de intensidade inferiores à 13mm/hora.

As diferenças mencionadas em virtude do tempo de duração das tormentas são apresentadas no gráfico da Figura 68. Nota-se que a variação da intensidade em função de *Tr* tende a ser mais elevada para chuvas de até 60 minutos. Em situações extremas, como em *td*=10min e *Tr*>15 anos, a intensidade pode ultrapassar os 150mm/hora.

Apesar da torrencialidade deste tipo de evento, em geral, a altura de chuva correspondente a elas não são tão preocupantes, pois totalizam precipitações menores que 40mm, menos preocupantes que às precipitações de média duração (entre 120 e 360 minutos), as quais, raramente ultrapassam 50mm/hora e podem acumular até 139mm.

5.1.4. Precipitações de projeto

A metodologia de construção de chuvas de projeto por blocos alternados foi empregada por meio do software ABC6, com a configuração dos parâmetros de tempo de retorno, tempo de discretização dos cálculos e tempo de duração da tormenta.

Os tempos de retorno utilizados foram os mesmos calculados para o subitem de curvas IDFs anteriores, o período de discretização foi definido em 10 minutos e o tempo de duração da tormenta foi definido em 5 horas (300 minutos), tendo sido considerados o tempo de pico da bacia foi estimado em, aproximadamente, 2 horas e o tempo de recessão inferior a 5 horas.

Na tabela 31, a seguir, foram sistematizados os resultados dos ietogramas de projetos para os diferentes tempos de retorno considerados.

TABELA 31 - Síntese das precipitações de projetos por blocos alternados.

Síntese das precipitações de projetos por blocos alternados										
Duração (Td)		Tempo de retorno (anos)								
H	Min	2	5	10	15	20	25	50	100	200
0.2	10	0.25	0.37	0.45	0.49	0.52	0.54	0.62	0.69	0.76
0.3	20	0.28	0.41	0.49	0.54	0.57	0.59	0.67	0.75	0.83
0.5	30	0.31	0.45	0.54	0.59	0.63	0.65	0.74	0.82	0.91
0.7	40	0.35	0.50	0.60	0.65	0.69	0.72	0.82	0.91	1.01
0.8	50	0.39	0.56	0.67	0.73	0.78	0.81	0.92	1.02	1.12
1.0	60	0.45	0.64	0.76	0.84	0.88	0.92	1.04	1.16	1.27
1.2	70	0.52	0.74	0.88	0.96	1.02	1.06	1.20	1.33	1.47

Síntese das precipitações de projetos por blocos alternados										
Duração (Td)		Tempo de retorno (anos)								
H	Min	2	5	10	15	20	25	50	100	200
1.3	80	0.62	0.87	1.04	1.14	1.20	1.25	1.41	1.56	1.72
1.5	90	0.76	1.06	1.26	1.37	1.45	1.51	1.70	1.88	2.07
1.7	100	0.96	1.33	1.57	1.71	1.81	1.88	2.11	2.34	2.57
1.8	110	1.27	1.75	2.06	2.24	2.36	2.46	2.75	3.04	3.33
2.0	120	1.80	2.45	2.88	3.12	3.29	3.42	3.83	4.22	4.62
2.2	130	2.85	3.83	4.47	4.84	5.10	5.29	5.90	6.51	7.11
2.3	140	5.44	7.21	8.39	9.05	9.51	9.87	10.97	12.06	13.15
2.5	150	16.11	21.00	24.23	26.06	27.34	28.32	31.35	34.36	37.36
2.7	160	8.58	11.29	13.08	14.09	14.80	15.35	17.03	18.70	20.36
2.8	170	3.81	5.09	5.93	6.41	6.74	7.00	7.79	8.58	9.37
3.0	180	2.23	3.01	3.53	3.82	4.03	4.19	4.67	5.16	5.64
3.2	190	1.50	2.05	2.41	2.62	2.76	2.87	3.21	3.55	3.89
3.3	200	1.10	1.51	1.79	1.94	2.05	2.14	2.39	2.65	2.91
3.5	210	0.85	1.18	1.40	1.52	1.61	1.68	1.88	2.09	2.29
3.7	220	0.68	0.96	1.14	1.24	1.32	1.37	1.54	1.71	1.88
3.8	230	0.57	0.80	0.96	1.04	1.10	1.15	1.30	1.44	1.58
4.0	240	0.48	0.69	0.82	0.90	0.95	0.99	1.11	1.24	1.36
4.2	250	0.42	0.60	0.72	0.78	0.83	0.86	0.98	1.09	1.19
4.3	260	0.37	0.53	0.63	0.69	0.73	0.77	0.87	0.96	1.06
4.5	270	0.33	0.47	0.57	0.62	0.66	0.69	0.78	0.87	0.95
4.7	280	0.29	0.43	0.51	0.56	0.60	0.62	0.70	0.79	0.87
4.8	290	0.27	0.39	0.47	0.51	0.54	0.57	0.64	0.72	0.79
5.0	300	0.24	0.36	0.43	0.47	0.50	0.52	0.59	0.66	0.73
Total		54,08	72,53	84,68	91,54	96,37	100,06	111,51	122,86	134,17

Considerando os totais obtidos para cada bloco das chuvas de projeto, e a metodologia de consideração de chuvas sintéticas pela metodologia de blocos alternados a partir de IDF, os gráficos da figura 69 apresentam a temporalidade das chuvas sintéticas produzidas.

A precipitação atinge o pico de intensidade no meio do evento (2,5h) e configura-se mais intenso na primeira metade em comparação com a segunda. Quanto maior o tempo de retorno, mais elevado é o pico de intensidade e o total acumulado, assim, nota-se que os maiores valores de cada ietogramas variam de 16,11mm, para Tr=2, a 37,36mm, para Tr=200; e os acumulados de cada um destes eventos totalizam 54mm e 134mm, respectivamente.

FIGURA 69 – Ietogramas construídos por blocos alternados para diferentes Tempos de Retorno.

5.2. Resultado da modelagem hidrológica Ven Te Chow-SCS

Conforme descrito por Wilken (1971) e sintetizadas por Nunes (2007), a modelagem hidrológica segue a equação básica:

$$Q_{m\acute{a}x} = \frac{A.X.Y.Z}{3,6} \dots\dots\dots \text{EQUAÇÃO 14}$$

Em que $Q_{m\acute{a}x}$ é a vazão máxima (dada em m³/s); A é a área da bacia (dada em km²); Y é o fator climático (adotou-se 1 devido à existência de curva IDF para a localidade); Z é o fator de redução do tempo de pico de vazão e X é o fator de deflúvio.

Na sentença, os termos A e Y são fixos para quaisquer circunstância, pois constituem variáveis independente da relação. Para o estudo A≈9,02 e Y=1, restando X e Z a serem determinados.

5.2.1. Deflúvio – Curve Number (CN)

O fator de deflúvio X é resultante da relação entre Re e td, e exige que sejam determinados os parâmetros CN da bacia hidrográfica para cada cenário analisado. O valor deste parâmetro depende das características de permeabilidade e capacidade de infiltração dos materiais superficiais, sendo que, para sua aplicação em modelagens chuva-vazão, a metodologia do SCS prevê a definição dos tipos hidrológicos de solos e dos usos da terra identificados para cada porção de superfície da bacia hidrográfica estudada.

O método requer, ainda, a adoção de um valor único de CN para toda a área, representativo das diversidades de combinações entre usos da terra, de tipo de solo e condição

de umidade antecedente. Para este estudo, a derivação desta informação foi feita pelo cálculo de um CN médio ponderado pela área de cada uma das combinações entre uso do terra e tipo de solo verificadas. Os mapeamentos de uso da terra para os cenários de 1962 e 2011 constam nos apêndices D e E, respectivamente.

Diversos autores sistematizaram tabelas e gráficos onde realizaram aproximações aos valores de CN para diferentes contextos, dentre os quais são citados Patel (1986), Ponce e Hawkins (1996), Tucci (1998), FCTH (2003), e o original *Technical Release 55* do SCS (1986).

Para o presente estudo, definiram-se solos predominante do tipo D (argilosos, com camadas pouco permeáveis a 50cm de profundidade) e C (barrentos, com teores de argila entre 20% e 30%, sem lentes impermeáveis, bem desenvolvidos até 1,2 m e pouco seixo). Os solos do tipo D se caracterizaram pela baixa porosidade e drenagem natural deficiente, caracterizando-se como solos hidromórficos, típicos de fundos de vale e áreas encharcadas, de modo que sua abrangência foi atribuída à área da planície de inundação fotointerpretada na morfologia original. Para o restante da bacia, que incluir todos os topos de morros e vertentes definiu-se o tipo de solo C como mais representativo das tendências hidrológicas das coberturas superficiais originais da BHTP.

Para a condição de saturação do solo foi fixado nível intermediário AMC II (condição antecedente de umidade média na época mais úmida, onde os totais acumulados dos últimos 5 dias resultam entre 15 e 40 mm). Ressalta-se que, segundo Wilken (1971), para a aplicação do método Ven Te Chow–SCS não está prevista utilização de tipos diferentes de umidade de solo, de modo que se utiliza como condição geral a classe intermediária AMCII.

As tabelas 32 e 33 apresentam para os cenários de 1962 e 2011, respectivamente: as áreas (ha), o percentual das combinações entre os tipos hidrológicos dos solos (SCS), os valores de CN atribuídos a cada uma dessas combinações e os resultados de CN ponderado.

TABELA 32 – Área, valor CN atribuído e CN ponderado para a BHTP em 1962.

Classes de uso da terra (1962) - SCS		Área				CN - SCS		
		C		D		C	D	CN POND
		ha	%	ha	%			
Campos em médias condições		0,3	0,0	37,0	4,1	71	78	3,2
Distrito industrial		-	-	0,3	0,0	91	93	0,0
Espaços abertos, parques, jardins								
Boas condições, cobertura de grama > 75%		46,2	5,1	0,6	0,1	74	80	3,8
Médias condições, cobertura de grama > 50%		222,9	24,7	8,3	0,9	79	84	20,3
Florestas	Cond. ruins	27,5	3,1	2,1	0,2	77	83	2,5
	Cond. médias	70,9	7,9	11,1	1,2	73	79	6,7
	Cond. boas	43,4	4,8	6,4	0,7	70	77	3,9
Cultura de grãos em linha reta	Cond. ruins	34,3	3,8	0,0	0,0	84	88	3,2
	Cond. boas	16,6	1,8	19,4	2,2	83	87	3,4

Classes de uso da terra (1962) - SCS		Área				CN - SCS		
		C		D		C	D	CN POND
		ha	%	ha	%			
Pasto s/ curva de nível	Cond. ruins	37,8	4,2	8,6	1,0	86	89	4,5
	Cond. médias	200,9	22,3	13,1	1,5	79	84	18,8
	Cond. boas	6,6	0,7	-	-	74	80	0,5
Residencial lote médio > 1500m ²		27,9	3,1	1,8	0,2	81	86	2,7
Terreno descoberto (solo exposto)		37,0	4,1	16,2	1,8	91	94	5,4
Via com cascalho		0,0	0,0	2,4	0,3	89	91	0,2
Mineração		2,0	0,2	-	-	Não se aplica		-
Açude		0,4	0,0	-	-	Não se aplica		-
Totais		902,03	100			-		79,3

TABELA 33 - Área, valor CN atribuído e CN ponderado para a BHTP em 2011.

Classes de uso da terra (2011)		Área				CN - SCS		
		C		D		C	D	CN POND
		ha	%	ha	%			
Campos em boas condições		0,56	0,06	-	-	71	78	0,04
Distrito industrial		18,07	2,00	6,91	0,77	91	93	2,54
Espaços abertos, parques, jardins								
Uso comercial		1,44	0,16	0,04	0,00	94	95	0,15
Estacionam.. pavimentado, telhas, impermeabilização		516,89	57,30	4,41	0,49	98	98	56,64
Boas condições, cobertura de grama > 75%		1,83	0,20	4,78	0,53	74	80	0,57
Médias condições, cobertura de grama > 50%		65,75	7,29	5,91	0,66	79	84	6,31
Florestas	Cond. ruins	5,27	0,58	2,66	0,29	77	83	0,69
	Cond. médias	4,51	0,50	1,35	0,15	73	79	0,48
Pasto s/ curva de nível	Cond. ruins	43,08	4,78	12,31	1,36	86	89	5,32
	Cond. médias	4,89	0,54	6,74	0,75	79	84	1,06
	Cond. boas	-	-	0,11	0,01	74	80	0,01
Uso residencial (tamanho médio do lote)	500m ²	49,39	5,48	67,54	7,49	90	92	11,82
	1000m ²	8,78	0,97	2,61	0,29	83	87	1,06
	1500m ²	20,87	2,31	0,73	0,08	81	86	1,94
Terreno descoberto (solo exposto)		33,18	3,68	5,63	0,62	91	94	3,93
Via com cascalho		0,14	0,01	2,77	0,31	89	91	0,29
Mineração		2,76	0,31	-	-	Não se aplica		
Açude		0,13	0,01	-	-	Não se aplica		
Totais		902,03	100			-		92,86

O uso da terra em 1962 pode ser caracterizado como rural, com predomínio de coberturas vegetais rasteiras, como campos antrópicos e pastos, em condições de conservação boas e médias, denotados pela textura homogênea e pouca variação de tons na fotografia aérea. Estes usos que totalizam cerca de 30% da BHTP, ao passo que os setores de pastos degradadas são, igualmente, notáveis em termos de área, abrangendo 22,3% da bacia hidrográfica.

Para 2011, por outro lado, a preponderância de categorias de usos urbanos como áreas residenciais, comerciais, industriais e pavimentos de estacionamento, confere elevado valor de

CN e potencial superficial de produção de escoamento. Em suma, para 1962 o CN médio ponderado foi de 79,3; enquanto para 2011, este resultado foi de 92,86.

5.2.2. Coeficiente de armazenamento (S)

O coeficiente de armazenamento ou capacidade de retenção no solo consiste no principal parâmetro referente ao potencial de infiltração e armazenamento de água dos materiais superficiais do modelo SCS.

A partir dos valores de CN obtidos, foram calculados para 1962 o coeficiente de armazenamento S igual a 66,50mm, enquanto para 2011 o valor de S foi de 20.13mm, ou seja, denotando uma redução, na ordem 65%, da capacidade de assimilação das águas e atenuação dos excedentes pluviométricos em relação às condições originais.

A variação espacial da capacidade de armazenamento corresponde às combinações entre os fatores de uso da terra e tipo hidrológico do solo, que sintetizam e definem as tendências de infiltração e, conseqüentemente, do coeficiente de armazenamento. As figuras 70 e 71 exibem a variação espacial de S (mm) na BHTP em 1962 e 2011, respectivamente.

FIGURA 70 – Distribuição espacial do Coeficiente de Armazenamento S (mm) na bacia do córrego Três Pontes em 1962.

Os valores de coeficientes S mais elevados revelam as áreas com maior capacidade de assimilação da precipitação, ao passo que, quanto mais baixos forem os valores de S, menores são as tais capacidades. Na figura 70, os valores de S abaixo de 50mm concentram-se ao longo do canal principal, onde, em alguns setores específicos, o uso urbano residencial associa-se a solos do tipo D e decorrem em uma potencialização de drenagem deficiente destes setores do relevo, produzindo condições com baixas capacidade de assimilação, muitas vezes chegando a valores de S inferiores a 20mm.

Os valores mais elevados de S, por outro lado, ocorrem nas combinações entre remanescentes florestais ou vegetação arbustivas, que conferem à superfície potenciais mais elevados de assimilação dos excedentes, com solos melhor drenados (tipo C), em geral mais porosos, com estrutura grumosa e textura entre arenosa a areno-argilosa, capazes de infiltrar volumes mais significativos em comparação com solos de fundos de vale.

Diferentemente da figura 70, na qual existe significativa variabilidade dos valores de S, na figura 71 os usos urbanos, que ocorrem de modo generalizado, fazem com que, praticamente a totalidade da BHTP se caracterize por um alto potencial de geração de escoamento superficial, apresentando valores de S abaixo de 30 ao longo dos sistemas interfluviais e vales, restando menos de 6% do total da bacia com usos não urbanos.

FIGURA 71 - Distribuição espacial do Coeficiente de Armazenamento S (mm) na bacia do córrego Três Pontes em 2011.

Para o cenário de ocupação da bacia hidrográfica em 2011, situações com S abaixo de 10mm ocorrem isoladamente pela BHTP, nos locais onde existem pavimentos completamente impermeabilizados, como os pátios de estacionamento de veículos e algumas unidades industriais, e usos urbanos não consolidados.

5.2.3. Precipitação Excedente (Re) e Fator de deflúvio (X)

A partir das estimativas dos totais precipitados (R) para todos os Trs e tds, pela multiplicação da intensidade pela duração do evento, derivaram-se valores de precipitação excedente para 1962 e 2011 na BHTP, conforme as tabelas 34 e 35, respectivamente.

TABELA 34 - Chuva excedente (mm) estimada para 1962.

Duração (Td)		Período de Retorno Tr (anos)								
H	Min	2	5	10	15	20	25	50	100	200
0,2	10	0,12	0,83	1,59	2,11	2,51	2,83	3,94	5,17	6,52
0,3	20	1,71	4,31	6,49	7,86	8,88	9,68	12,31	15,11	18,05
0,5	30	3,48	7,54	10,79	12,79	14,25	15,40	19,12	23,01	27,07
1,0	60	7,30	14,10	19,30	22,43	24,68	26,46	32,11	37,95	43,96
2,0	120	11,23	20,67	27,70	31,89	34,89	37,25	44,69	52,33	60,13
2,5	150	12,41	22,63	30,22	34,72	37,95	40,47	48,45	56,62	64,96
3,0	180	13,33	24,18	32,20	36,95	40,35	43,01	51,41	60,00	68,76
3,5	210	14,08	25,45	33,82	38,77	42,32	45,10	53,84	62,77	71,87
4,0	240	14,72	26,51	35,19	40,32	43,99	46,85	55,89	65,11	74,51
4,5	270	15,26	27,44	36,38	41,65	45,43	48,38	57,66	67,14	76,79
5,0	300	15,73	28,24	37,41	42,82	46,69	49,71	59,22	68,92	78,80
6,0	360	16,53	29,61	39,17	44,81	48,83	51,98	61,87	71,95	82,20
12,0	720	19,37	34,54	45,55	52,02	56,63	60,23	71,53	83,01	94,65
18,0	1080	20,94	37,31	49,17	56,12	61,07	64,93	77,04	89,32	101,78
24,0	1440	22,03	39,28	51,73	59,02	64,22	68,26	80,95	93,81	106,84

TABELA 35 - Chuva excedente (mm) estimada para 2011.

Duração (Td)		Período de Retorno Tr (anos)								
H	Min	2	5	10	15	20	25	50	100	200
0,2	10	4,60	7,87	10,25	11,65	12,66	13,44	15,92	18,44	21,01
0,3	20	10,60	16,69	20,97	23,45	25,20	26,56	30,82	35,11	39,43
0,5	30	14,91	22,87	28,39	31,56	33,81	35,55	40,96	46,39	51,85
1,0	60	22,44	33,59	41,22	45,58	48,66	51,04	58,41	65,79	73,18
2,0	120	29,09	43,14	52,68	58,12	61,95	64,91	74,07	83,21	92,36
2,5	150	30,97	45,87	55,98	61,73	65,78	68,91	78,60	88,26	97,93
3,0	180	32,41	47,98	58,53	64,54	68,76	72,03	82,13	92,20	102,28
3,5	210	33,56	49,68	60,60	66,81	71,18	74,56	85,00	95,41	105,83
4,0	240	34,52	51,11	62,33	68,72	73,21	76,68	87,41	98,11	108,81
4,5	270	35,33	52,33	63,82	70,36	74,96	78,51	89,49	100,43	111,38
5,0	300	36,04	53,39	65,12	71,79	76,48	80,11	91,30	102,47	113,64
6,0	360	37,22	55,18	67,31	74,21	79,06	82,80	94,38	105,92	117,45
12,0	720	41,32	61,50	75,11	82,85	88,28	92,47	105,43	118,35	131,25
18,0	1080	43,52	65,00	79,46	87,68	93,45	97,90	111,66	125,36	139,06
24,0	1440	45,04	67,43	82,51	91,07	97,08	101,72	116,05	130,32	144,58

A variação de R_e , em ambos os cenários, ocorre de modo semelhante, com aumento da chuva excedente conforme maiores forem os T_r e t_{ds} , em função do aumento progressivo do tempo de duração, mesmo que ocorra uma tendência à diminuição das intensidades das tormentas para eventos mais longos. Assim, os volumes máximos simulados de chuva efetiva ocorreram para $T_r=200$ e $t_d=24$ hs, sendo que para 1962 este resultado equivaleu a 106mm, valor, aproximadamente, 35% menor do que em 2011, com 144mm.

De modo a sistematizar a análise comparativa da variação de R_e entre 1962 e 2011, produziu-se a tabela 36 que sintetiza as razões de aumento do *runoff* potencial entre os valores obtidos nas tabelas anteriores.

TABELA 36 – Razão de aumento do volume de chuva excedente simulado entre 1962 e 2011

Duração (t_d)		Período de Retorno T_r (anos)								
Hora	Minuto	2	5	10	15	20	25	50	100	200
0.2	10	37.40	9.51	6.45	5.53	5.05	4.74	4.04	3.57	3.23
0.3	20	6.19	3.88	3.23	2.98	2.84	2.74	2.50	2.32	2.18
0.5	30	4.29	3.03	2.63	2.47	2.37	2.31	2.14	2.02	1.92
1.0	60	3.07	2.38	2.14	2.03	1.97	1.93	1.82	1.73	1.66
2.0	120	2.59	2.09	1.90	1.82	1.78	1.74	1.66	1.59	1.54
2.5	150	2.50	2.03	1.85	1.78	1.73	1.70	1.62	1.56	1.51
3.0	180	2.43	1.98	1.82	1.75	1.70	1.67	1.60	1.54	1.49
3.5	210	2.38	1.95	1.79	1.72	1.68	1.65	1.58	1.52	1.47
4.0	240	2.35	1.93	1.77	1.70	1.66	1.64	1.56	1.51	1.46
4.5	270	2.32	1.91	1.75	1.69	1.65	1.62	1.55	1.50	1.45
5.0	300	2.29	1.89	1.74	1.68	1.64	1.61	1.54	1.49	1.44
6.0	360	2.25	1.86	1.72	1.66	1.62	1.59	1.53	1.47	1.43
12.0	720	2.13	1.78	1.65	1.59	1.56	1.54	1.47	1.43	1.39
18.0	1080	2.08	1.74	1.62	1.56	1.53	1.51	1.45	1.40	1.37
24.0	1440	2.04	1.72	1.59	1.54	1.51	1.49	1.43	1.39	1.35

De acordo com as informações contidas na tabela 36, o incremento da chuva efetiva entre 1962 e 2011 tende a ser maior para T_r s menores e t_{ds} mais curtos. Por exemplo, em $t_d=20$ min e $T_r=200$ anos a razão de aumento foi de 2,18 e para $t_d=10$ min e $T_r=2$ anos foi de 37,4; ao passo que, os valores de R_e estimados para $t_d=24$ h e $T_r=200$ anos, e $t_d=30$ min e $T_r=2$ anos, as razões de aumento entre chuvas excedentes foram de 1,35 e 4,29, respectivamente

Assim, pode-se pressupor que, a partir das simulações baseadas nas relações IDFs, as chuvas efetivas mais frequentes e de menor duração tendem a se tornar, progressivamente, mais críticas com a impermeabilização, em taxas muito superior às observadas para as chuvas com tempos de recorrência maiores.

O gráfico da figura 72 ilustra a correspondência entre os totais pluviométricos (R) e as chuvas efetivas (R_e) de ambos cenários. O índice R^2 exprime a correlação entre os dados dos

eixos, de forma que quanto mais próximo de 1 mais elevado é CN, que equivale à hipótese de uma superfície totalmente impermeabilizada.

FIGURA 72 – Dispersão entre chuvas totais e chuvas excedentes para 1962 e 2011.

De acordo com os dados do gráfico da figura 72, notam-se, primeiramente, correlações positivas e proporcionais entre a chuva total e a chuva excedente para ambos os cenários. Em segundo lugar, destaca-se o afastamento progressivo das curvas Re x R de 1962 e 2011 conforme o aumento do acumulado máximo estimado, denotando diferentes tendências de processos de geração de escoamento superficial em cada bacia, o que pode ser expresso pelo coeficiente de angulação de ambas as retas. Ressalta-se, por fim, as tendências abauladas do início das curvas, a qual é mais pronunciada para 1962, demonstrando as diferentes capacidades de infiltração inicial da superfície entre os cenários.

Com base nos valores de Re de cada uma das situações críticas para 1962 e 2011, calcularam-se os valores de coeficiente de deflúvio (X) que determina, ao final, o volume total a ser escoado superficialmente no exutório do sistema (TABELAS 37 e 38).

Como o fator de deflúvio é o quociente da divisão entre Re pelo tempo de duração, X não apresenta dispersão linear, como a chuva efetiva da qual deriva, variando em função também da duração do evento. De modo geral, X é maior quanto maior for o tempo de retorno, porém, o mesmo não ocorre para o tempo de duração, pois, ainda que mais volumosas, chuvas com durações maiores tendem a ser menos intensas. Em função disso, os diversos setores da bacia hidrográfica respondem desigualmente a tais diferenças de entrada de água, sendo que, no caso da BHTP, os fatores de deflúvio máximos ocorrem para $t_d=30\text{min}$.

TABELA 37 - Coeficiente de deflúvio X (mm/h) para cada altura Re estimadas para 1962.

Duração (td)		Período de Retorno Tr (anos)								
Hora	Minuto	2	5	10	15	20	25	50	100	200
0,2	10	0,74	4,97	9,53	12,65	15,05	17,01	23,63	31,02	39,09
0,3	20	5,71	14,36	21,64	26,21	29,59	32,28	41,04	50,35	60,17
0,5	30	6,95	15,08	21,58	25,57	28,49	30,80	38,23	46,03	54,15
1,0	60	7,30	14,10	19,30	22,43	24,68	26,46	32,11	37,95	43,96
2,0	120	5,61	10,33	13,85	15,94	17,45	18,62	22,35	26,16	30,07
2,5	150	4,96	9,05	12,09	13,89	15,18	16,19	19,38	22,65	25,98
3,0	180	4,44	8,06	10,73	12,32	13,45	14,34	17,14	20,00	22,92
3,5	210	4,02	7,27	9,66	11,08	12,09	12,88	15,38	17,93	20,54
4,0	240	3,68	6,63	8,80	10,08	11,00	11,71	13,97	16,28	18,63
4,5	270	3,39	6,10	8,08	9,26	10,09	10,75	12,81	14,92	17,06
5,0	300	3,15	5,65	7,48	8,56	9,34	9,94	11,84	13,78	15,76
6,0	360	2,76	4,93	6,53	7,47	8,14	8,66	10,31	11,99	13,70
12,0	720	1,61	2,88	3,80	4,33	4,72	5,02	5,96	6,92	7,89
18,0	1080	1,16	2,07	2,73	3,12	3,39	3,61	4,28	4,96	5,65
24,0	1440	0,92	1,64	2,16	2,46	2,68	2,84	3,37	3,91	4,45

TABELA 38 - Coeficiente de deflúvio X (mm/h) para cada altura Re estimadas para 2011.

Duração (td)		Período de Retorno Tr (anos)								
Hora	Minuto	2	5	10	15	20	25	50	100	200
0,2	10	27,61	47,20	61,50	69,92	75,95	80,66	95,50	110,64	126,07
0,3	20	35,33	55,64	69,90	78,15	84,00	88,55	102,73	117,02	131,44
0,5	30	29,82	45,74	56,78	63,13	67,61	71,09	81,91	92,78	103,70
1,0	60	22,44	33,59	41,22	45,58	48,66	51,04	58,41	65,79	73,18
2,0	120	14,55	21,57	26,34	29,06	30,98	32,46	37,03	41,61	46,18
2,5	150	12,39	18,35	22,39	24,69	26,31	27,57	31,44	35,31	39,17
3,0	180	10,80	15,99	19,51	21,51	22,92	24,01	27,38	30,73	34,09
3,5	210	9,59	14,20	17,31	19,09	20,34	21,30	24,29	27,26	30,24
4,0	240	8,63	12,78	15,58	17,18	18,30	19,17	21,85	24,53	27,20
4,5	270	7,85	11,63	14,18	15,64	16,66	17,45	19,89	22,32	24,75
5,0	300	7,21	10,68	13,02	14,36	15,30	16,02	18,26	20,49	22,73
6,0	360	6,20	9,20	11,22	12,37	13,18	13,80	15,73	17,65	19,58
12,0	720	3,44	5,13	6,26	6,90	7,36	7,71	8,79	9,86	10,94
18,0	1080	2,42	3,61	4,41	4,87	5,19	5,44	6,20	6,96	7,73
24,0	1440	1,88	2,81	3,44	3,79	4,04	4,24	4,84	5,43	6,02

5.2.4. Fator de redução de pico – termo Z

O fator de redução de pico, de acordo com o Wilken (1971), é um valor relacionado ao pico de vazão de um evento de cheia e o deflúvio produzido por um evento de mesma intensidade. Ven Te Chow buscou uma calibração simplificada para se determinar o valor do fator de redução, abrangendo alguns parâmetros de geometria hidráulica e características temporais dos eventos estudados, determinando, a partir de uma relação entre o tempo de duração e o tempo de pico, correspondências ajustadas ao fator Z.

O tempo de pico foi obtido a partir da equação descrita originalmente por Ven Te Chow e adaptada por Wilken (1971), constituída na relação entre o comprimento do conduto principal

modelado e a declividade média, sendo que, quanto mais longo for o conduto e menor sua inclinação, maior tenderá a ser o tempo de pico. Esta variável está intimamente conectada ao tempo de resposta da bacia e ao tempo de traslado da onda de cheia.

A declividade média e o comprimento total do canal principal da BHTP foram obtidos a partir da elaboração automática do perfil longitudinal, conforme consta na figura 73, na qual são apresentados adicionalmente o mapa com disposição do canal principal sobre a base topográfica na qual se baseou o perfil. O MDT com resolução espacial horizontal de um metro foi construído com base na carta topográfica da Emplasa (equidistância das curvas de nível igual a cinco metros), por meio da ferramenta *Topo to Raster* do *ArcToolBox*.

FIGURA 73 - Altimetria da bacia do córrego Três Pontes e perfil longitudinal automático do canal principal.

Obtidos o tempo de pico da bacia, os valores de fator Z para cada tempo de duração foram simulados. No caso de valores de $td/tp \geq 1,96$, adotou-se $Z=1$. A tabela 39 sintetiza os resultados encontrados para cada td.

TABELA 39 - Coeficientes de redução de pico relativos aos tempos de duração.

td	H	0,2	0,3	0,5	1,0	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	6,0	12,0	18,0	24,0
Min		10	20	30	60	120	150	180	210	240	270	300	360	720	1080	1440
td/tp		0,12	0,21	0,35	0,70	1,40	1,75	2,09	2,44	2,79	3,14	3,49	4,19	8,38	12,57	16,76
Z		0,11	0,18	0,28	0,50	0,82	0,93	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Conforme a tabela 39, os valores de redução de pico aumentam diretamente com o tempo de duração e inversamente com o tempo de pico, ou seja, quanto maior o tempo de duração e menor o tempo de pico, maior será Z. Neste sentido, pode-se compreender o fator Z como um coeficiente relacionado ao abatimento da onda de cheia, de modo que, maior será a vazão de pico quanto menor forem os tempos de pico e de duração. Para as situações de $Z=1$, tem-se que $td/tp=2$, a partir do que, pode-se constatar que td equivale ao dobro do tp , a partir do qual, para qualquer razão maior, a redução do tempo de pico é nula. Contrariamente, para razões menores, haverá algum grau de amortecimento do pico de cheia.

5.2.5. Vazões de pico pelo método Ven Te Chow – Soil Conservation Service (SCS)

Uma vez obtidos os valores do fator de deflúvio e redução de pico para cada tormenta esperada, o tratamento destas informações foi realizado em planilhas de cálculo conforme exemplificado na tabela 40, para o caso do cenário de 1962 e $Tr=10$ anos.

TABELA 40 – Exemplo de derivação de $Q_{m\acute{a}x}$ (m^3/s) para $Tr=10$ anos e diversos tds para 1962.

Tr = 10 anos							
td (min)	td (horas)	Im (mm/h)	R (mm)	Re (mm)	X (mm/h)	Z	$Q_{m\acute{a}x}$
0,2	10	146,4	24,40	1,59	9,53	0,11	2,53
0,3	20	112,7	37,58	6,49	21,64	0,18	9,68
0,5	30	92,0	46,02	10,79	21,58	0,28	15,17
1,0	60	60,1	60,06	19,30	19,30	0,50	24,28
2,0	120	36,1	72,25	27,70	13,85	0,82	28,55
2,5	150	30,3	75,72	30,22	12,09	0,93	28,31
3,0	180	26,1	78,40	32,20	10,73	1,00	26,90
3,5	210	23,0	80,56	33,82	9,66	1,00	24,21
4,0	240	20,6	82,38	35,19	8,80	1,00	22,05
4,5	270	18,7	83,93	36,38	8,08	1,00	20,25
5,0	300	17,1	85,28	37,41	7,48	1,00	18,75
6,0	360	14,6	87,56	39,17	6,53	1,00	16,36
12,0	720	8,0	95,64	45,55	3,80	1,00	9,51
18,0	1080	5,6	100,13	49,17	2,73	1,00	6,84
24,0	1440	4,3	103,27	51,73	2,16	1,00	5,40

As tabelas 41 e 42 apresentam as vazões de pico simuladas pelo método Ven Te Chow-SCS adaptado por Wilken (1971) para a BHTP respectivamente nos cenários de 1962 e 2011, a partir de tormentas hipotéticas de diferentes tds e Trs.

TABELA 41 – Vazões máximas (m³/s) simuladas para 1962.

Duração (td)		Vazões máximas estimadas para cada tempo de retorno em 1962								
hora	Minuto	Tr 2	Tr 5	Tr 10	Tr 15	Tr 20	Tr 25	Tr 50	Tr 100	Tr 200
0.2	10	0.19	1.30	2.49	3.31	3.94	4.45	6.18	8.11	10.23
0.3	20	2.52	6.33	9.54	11.55	13.04	14.22	18.08	22.19	26.52
0.5	30	4.81	10.44	14.95	17.71	19.73	21.33	26.48	31.88	37.50
1.0	60	9.06	17.50	23.95	27.83	30.63	32.83	39.84	47.09	54.55
2.0	120	11.45	21.08	28.26	32.52	35.59	37.99	45.58	53.37	61.34
2.5	150	11.52	21.01	28.06	32.23	35.23	37.57	44.98	52.56	60.30
3.0	180	11.13	20.20	26.90	30.86	33.70	35.92	42.94	50.11	57.43
3.5	210	10.08	18.22	24.21	27.76	30.30	32.28	38.54	44.94	51.45
4.0	240	9.22	16.61	22.05	25.26	27.55	29.35	35.01	40.79	46.67
4.5	270	8.50	15.28	20.25	23.19	25.29	26.94	32.11	37.38	42.76
5.0	300	7.88	14.15	18.75	21.46	23.40	24.91	29.68	34.54	39.49
6.0	360	6.90	12.36	16.36	18.71	20.39	21.71	25.84	30.05	34.33
12.0	720	4.04	7.21	9.51	10.86	11.83	12.58	14.94	17.33	19.76
18.0	1080	2.91	5.19	6.84	7.81	8.50	9.04	10.72	12.43	14.17
24.0	1440	2.30	4.10	5.40	6.16	6.70	7.13	8.45	9.79	11.15

TABELA 42 – Vazões máximas (m³/s) simuladas para 2011.

Duração (td)		Vazões máximas estimadas para cada tempo de retorno em 2011								
hora	Minuto	Tr 2	Tr 5	Tr 10	Tr 15	Tr 20	Tr 25	Tr 50	Tr 100	Tr 200
0.2	10	7.22	12.35	16.09	18.29	19.87	21.10	24.98	28.94	32.98
0.3	20	15.57	24.52	30.80	34.44	37.02	39.02	45.27	51.57	57.92
0.5	30	20.65	31.68	39.32	43.72	46.83	49.24	56.73	64.26	71.82
1.0	60	27.85	41.69	51.15	56.57	60.38	63.33	72.48	81.64	90.81
2.0	120	29.67	44.00	53.74	59.28	63.19	66.21	75.55	84.87	94.21
2.5	150	28.75	42.58	51.96	57.31	61.07	63.98	72.97	81.94	90.92
3.0	180	27.07	40.07	48.88	53.90	57.43	60.16	68.59	77.01	85.43
3.5	210	24.03	35.57	43.38	47.83	50.96	53.38	60.85	68.31	75.76
4.0	240	21.62	32.02	39.05	43.05	45.86	48.03	54.75	61.46	68.16
4.5	270	19.67	29.14	35.54	39.18	41.74	43.71	49.83	55.92	62.02
5.0	300	18.06	26.76	32.63	35.98	38.33	40.14	45.76	51.35	56.95
6.0	360	15.54	23.04	28.11	30.99	33.01	34.58	39.41	44.23	49.05
12.0	720	8.63	12.84	15.68	17.30	18.43	19.31	22.01	24.71	27.41
18.0	1080	6.06	9.05	11.06	12.20	13.01	13.63	15.54	17.45	19.36
24.0	1440	4.70	7.04	8.61	9.51	10.14	10.62	12.12	13.61	15.09

Com o intuito de sistematizar as informações de vazões de pico simuladas pela aplicação do método Ven Te Chow-SCS, elaboraram-se os hidrogramas de cheia intensa para cada tempo de retorno nos dois cenários, 1962 e 2011, considerando os pico atingidos para cada td, conforme apresentam as figura 74 e 75, respectivamente.

FIGURA 74 – Hidrogramas de vazões máximas simuladas para diferentes Trs em 1962.

FIGURA 75 – Hidrogramas de vazões máximas simuladas para diferentes Trs em 2011.

Assim como ocorre com os volumes totais de precipitação, as vazões de picos tendem a ser mais elevadas quanto maiores forem os tempos de retorno. Logo, as menores intensidades e volumes ocorrem em um intervalo de alta probabilidade, enquanto os eventos mais críticos são menos frequentes.

Salienta-se que independentemente do Tr utilizado, as vazões mais elevadas ocorrem em $t_d=2$ horas, sendo este, grosso modo, o tempo de pico estimado para a BHTP. Para precisar os dados e aprofundar a análise comparativa dos picos simulados, elaborou-se a tabela 43, a seguir, que apresenta a razão de aumento das vazões de pico entre os cenários considerados neste estudo, enumerando-os em função do tempo de duração decorrido e as tormentas com diferentes tempos de retorno.

TABELA 43 – Percentuais de aumento das vazões de pico entre 1962 e 2011.

Duração (td)		Razão de elevação de Q _{máx} entre 1962 e 2011 (em %)								
hora	Minuto	Tr 2	Tr 5	Tr 10	Tr 15	Tr 20	Tr 25	Tr 50	Tr 100	Tr 200
0.2	10	3640.4	850.6	545.3	452.9	404.8	374.3	304.1	256.7	222.5
0.3	20	518.8	287.6	223.0	198.2	183.9	174.3	150.3	132.4	118.4
0.5	30	329.0	203.4	163.1	146.8	137.3	130.8	114.2	101.6	91.5
1.0	60	207.5	138.2	113.5	103.3	97.1	92.9	81.9	73.4	66.5
2.0	120	159.1	108.8	90.2	82.3	77.6	74.3	65.7	59.0	53.6
2.5	150	149.6	102.7	85.2	77.8	73.4	70.3	62.2	55.9	50.8
3.0	180	143.1	98.4	81.8	74.7	70.4	67.5	59.7	53.7	48.8
3.5	210	138.3	95.2	79.2	72.3	68.2	65.3	57.9	52.0	47.2
4.0	240	134.6	92.8	77.1	70.5	66.4	63.7	56.4	50.7	46.0
4.5	270	131.6	90.7	75.4	68.9	65.0	62.3	55.2	49.6	45.0
5.0	300	129.1	89.1	74.1	67.7	63.8	61.1	54.2	48.7	44.2
6.0	360	125.1	86.4	71.8	65.6	61.9	59.3	52.5	47.2	42.9
12.0	720	113.3	78.1	64.9	59.3	55.9	53.5	47.4	42.6	38.7
18.0	1080	107.9	74.2	61.6	56.2	53.0	50.8	44.9	40.4	36.6
24.0	1440	104.4	71.7	59.5	54.3	51.2	49.0	43.4	38.9	35.3

5.2.6. Análise dos resultados da modelagem hidrológica Ven Te Chow – SCS

Os mapeamentos de uso da terra de 1962 e 2011 evidenciaram a modificação dos atributos físicos dos materiais superficiais da BHTP. Ao longo da segunda metade do século XX, esta bacia hidrográfica foi submetida a um intenso processo de ocupação urbana, o qual decorreu, em 2011, em área ocupada por modalidades de usos urbanos na ordem de 75% da bacia, correspondendo a uma taxa de urbanização de 12,5 ha/ano. Assim, constata-se, a partir dos resultados das simulações, que houve uma rápida e intensa redução da capacidade de infiltração e, conseqüentemente, no aumento do *runoff*, atingindo vazões de pico muito superiores às calculadas para o cenário de 1962, em muitos casos superando 100% de incremento.

Para o primeiro cenário simulado, referente ao ano de 1962, os usos rurais predominavam em, aproximadamente, 65% da BHTP, e eram compostos por pastos de média qualidade, campos em boas condições e florestas degradadas, cujos CNs são inferiores a 80. A única ocupação de modalidade urbana mapeada para este período incluiu os lotes residenciais de baixa densidade, associado a glebas de solos expostos e aberturas de vias, relacionados ao período inicial de urbanização.

As condições superficiais de infiltração do cenário de 1962, na BHTP, constituem-se como uma referência das condições de processos hidromorfológicos de períodos anteriores à introdução de níveis de perturbação elevados decorridos do avanço dos usos urbanos, dentre os quais, destaca-se a urbanização consolidada, cujos padrões construtivos alteram direta e significativamente o modelado, seus materiais superficiais e processos geomorfológicos. Por

essa razão, no cenário de 1962, as taxas referentes às vazões de pico e à suscetibilidade a inundações eram abatidas e menores, de modo que, este período pode ser considerado como uma referência para análise da perturbação dos sistemas geomorfológicos abrangidos pela urbanização na BHTP.

O contexto atual de uso da terra da BHTP é urbano, com aproximadamente, 82% de sua área impermeabilizada ou composta por telhados, pavimentos e quintais de residência, ao passo que os 18% restantes são formados por remanescentes de vegetação arbórea e arbustiva, áreas livres, terrenos baldios e campos de vegetação rasteira. Para este contexto, o valor de CN médio ponderado obtido foi de 93,4, condizente com urbanização ocorrida na bacia hidrográfica, marcada por lotes pequenos e adensamento de residências, que resultaram em um aumento do potencial de geração de deflúvio na ordem de 20%, variando, significativamente, de acordo com o Tr considerado. Tal aumento no valor do CN (79,3 para 93,4) é decisivo para compreender os valores de Re , fatores de deflúvio e vazões de pico simulados. No caso deste último resultado, comparando-se os anos de 1962 e 2011, observaram-se aumentos de diferentes níveis de acordo com os Tr s e td s de eventos simulados.

Este incremento de vazão decorre, quase que exclusivamente, no aumento do escoamento superficial e de sua velocidade. Como exemplos, aplicando-se a metodologia SCS, as vazões de pico simuladas para Tr de 5 anos elevaram-se de 19,9 m³/s para 46,5 m³/s, representando um aumento de 133%; para Tr de 50 anos elevou-se de 44,1 m³/s para 78,9 m³/s, o que corresponde a 79% de aumento. Assim, nota-se que uma tendência da taxa de aumento ser menor quanto maior for Tr .

Conforme evidencia a tabela 43, de modo geral, maior é a razão de elevação de $Q_{\text{máx}}$ quanto menor for td e Tr , constatação importante na análise da alteração da magnitude de eventos extremos, pois implica uma avaliação da criticidade, tanto de eventos ordinários, como de tormentas raras. Entre os cenários de 1962 e 2011, nota-se que chuvas mais curtas e frequentes tendem a se tornar mais críticas, devido às razões de aumento de vazão observadas na tabela 43, ao passo que, chuvas mais longas e menos frequentes, tendem a ter uma razão de aumento menor, ou seja, podem produzir uma vazão de pico mais elevada, porém menos distantes das condições originais em relação às anteriores. Por exemplo, um evento com $td=60$ minutos e $Tr=10$ anos apresentou uma elevação de 113% entre os picos de vazão de 1962 e 2011, enquanto para um evento de $td=120$ minutos e $Tr=50$ anos, este incremento não passou

de 65%. Assim, em linhas gerais, chuvas mais frequentes e menos duradouras podem adquirir, para um cenário urbanizado, um caráter mais crítico do que as chuvas raras e mais duradouras.

Outro raciocínio possível de ser realizado a partir da aplicação destas simulações, e que permite avaliar os cenários comparativamente, decorre da confrontação da magnitude e T_r s das vazões de pico, considerando eventos de mesmo t_d , a partir do qual se pode analisar, por meio de parâmetros hidrológicos e respostas modeladas, os graus de comprometimento dos mecanismos da infiltração e a sobrecarga dos sistemas fluviais.

Como ilustração deste tipo de análise, observa-se o valor do pico de vazão em 1962 para $T_r=10$ anos e $t_d=2$ horas igual a $28,26\text{m}^3/\text{s}$. Tomando como fixo o tempo de duração ($t_d=2$ horas), observa-se que o valor de pico de vazão mais próximo do anteriormente, ocorre com $T_r=2$ anos e equivale a $29,67\text{m}^3/\text{s}$. Em outras palavras, em termos de vazões extremas, há uma alteração significativa na intensidade dos eventos, de tal forma que, no exemplo acima, um evento simulado cujo tempo de retorno era de 10 anos no cenário menos urbanizado, passou a ter frequência bianual.

O mesmo pode ocorrer para eventos menos frequentes. Observando-se eventos derivados de chuvas de mesma magnitude e frequência, identificam-se condições semelhantes. Por exemplo, para eventos de $t_d=2,5$ horas e $T_r=10$ anos, em 1962 a vazão máxima estimada foi de 21,01, enquanto para 2011 foi de $51,96\text{m}^3/\text{s}$, um pico de vazão equivalente a um evento de $50 < T_r < 100$ anos.

Tais vazões de pico, para 2011, muito superiores aos totais obtidos para a condição de funcionamento do sistema original, baseada em 1962, exprime os níveis de perturbação sofridos pela BHTP ao longo deste período por meio de um indicador hidromorfológico de processo. Esta nova condição de vazões da bacia hidrográfica, que foi demonstrada nas simulações de pico, é sintetizada na quantificação resultante da simulação chuva-vazão, e aponta para a imposição, sobre os mecanismos do sistema, de uma reorganização dos elementos da bacia hidrográfica para atingir um novo estado de equilíbrio hidrodinâmico, por meio da intensificação de alguns processos e restrição da ação de outros. Como respostas às vazões extremas, observa-se, por exemplo, a erosão do canal, da área inundada e do volume acumulado na planície, entre outros. A impermeabilização das planícies fluviais resulta em um cenário ainda mais crítico, com ampliação do *runoff* e agravamento das condições de atenuação de vazões de pico.

Desta forma, salienta-se que a avaliação do aumento das vazões de pico consiste em uma base de avaliação potencial da demanda por estruturas e obras de drenagem capazes de

assimilar estes aumentos e torná-los menos impactantes à cidade, ao mesmo tempo em que constitui um indicador de processo de mudança ambiental, que pode ser melhor explorado no entendimento e caracterização dos fluxos urbanos por outras metodologias de estudo.

5.3. Resultados da modelagem hidrológica HU-SCS

Por meio do programa computacional ABC6, calcularam-se os valores de precipitação total, precipitação excedente e hidrograma de cheia conforme a metodologia do Hidrograma Unitário, considerando as mesmas referências de Trs utilizadas na modelagem Ven Te Chow-SCS. As precipitações de projeto construídas a partir de curvas IDF constituem chuvas sintéticas, construídas com base na metodologia de blocos alternados considerando os procedimentos do SCS para determinação do volume excedente e do hidrograma de cheia de um canal fluvial, de modo que, para o presente estudo, foi adotado como tempo de duração do cálculo das tormentas como sendo 300 minutos (5 horas). Os resultados das simulações são apresentados nos itens a seguir.

5.3.1. Precipitação total e excedente

A tabela 44 contém os gráficos relativos aos ietogramas de precipitação total e excedente, para 1962 e 2011, obtidos por blocos alternados e SCS, nos quais as barras cinzas se referem ao percentual do volume potencial de infiltração na BHTP, enquanto as barras pretas denotam os volumes escoados superfície diretamente.

TABELA 44 – Precipitações de projeto de 1962 e 2011, por blocos alternados.

Obs.: Em cinza os totais infiltrados e em preto a coluna de escoamento superficial.

O uso de blocos alternados para construção dos ietogramas de projeto implica a determinação de pico de intensidade no centro do evento, constituindo simplificação teórica de chuvas extremas, uma vez que, conforme desenvolvido em itens de caracterização baseada em dados coletados, as precipitações reais apresentam irregularidades temporais em diversas escalas, com destaque à variabilidade para a escala de horária.

Ainda que os picos de precipitação simulados ocorram em um mesmo tempo em relação ao início do evento, os gráficos da tabela 44 ilustram o aumento da chuva máxima, a diferença do potencial de infiltração e da geração de escoamento superficial entre os cenários de 1962 e 2011. Em suma, as frações de precipitação efetiva dentro de um total de chuva caracterizam a criticidade das vazões, pois implicam os volumes que serão requeridos a jusante. Neste sentido, salienta-se que os tempos de retorno de precipitações extremas não representam, exatamente, os mesmos tempos de retorno de picos de vazão ou condições de inundação da bacia hidrográfica alteradas, uma vez que as modificações de uso da terra e de drenagem

urbana reconfiguram as taxas de escoamento superficial e de capacidade de vazão, transformando completamente a interação entre as chuvas intensas e a superfície.

A partir da tabela 45, a seguir, observa-se a taxa de aumento percentual da chuva efetiva, para cada Tr considerado.

TABELA 45 – Totais de chuvas de projetos (mm) para 1962 e 2011, nos tempos de retorno considerados.

Tempo de retorno	PP total (mm)	Excedente 1962 (mm)	Excedente 2011 (mm)	% Excedente 1962	% Excedente 2011
Tr2	54.08	15.25	49.76	28.20	92.01
Tr5	72.53	27.48	67.97	37.89	93.71
Tr10	84.68	36.53	80.07	43.14	94.56
Tr15	91.54	41.85	86.9	45.72	94.93
Tr20	96.37	45.66	91.71	47.38	95.16
Tr25	100.06	48.63	95.39	48.60	95.33
Tr50	111.51	58.01	106.75	52.02	95.73
Tr100	122.86	67.61	118.03	55.03	96.07
Tr200	134.17	77.37	129.31	57.67	96.38

Conforme se eleva o tempo de retorno, maior tendem a ser a precipitação total e os volumes excedentes para 1962 e 2011. No que se refere ao primeiro cenário, os percentuais de Re relativos às chuvas totais variam de 28,2%, para Tr=2 anos, até 57%, para Tr=200 anos, com média de 46%, configurando valores muito inferiores aos observados para a condição de impermeabilização de 2011, cuja média é de 95%, e as porcentagens variam de 92,0%, para Tr=2 anos, a 96,4%, para Tr=200 anos.

Comparativamente, ainda, os percentuais de chuvas excedentes demonstraram que as diferenças mais marcantes entre 1962 e 2011 ocorreram com Trs menores, para os quais as consequências de vazão simuladas atingem nível de alteração mais significativa. Observa-se, por exemplo, diferenças acima de 50% entre valores de Re, para Trs 2 anos a 10 anos, enquanto, para Trs acima deste, as diferenças caem gradativamente até atingirem o valor de 38% para Tr=200 anos.

A despeito das diferentes diretas entre 1962 e 2011, nota-se que a taxa de aumento dos percentuais de Re de 1962 e 2011, em relação à precipitação total, são decrescentes e não lineares. Em outras palavras, isto corresponde a afirmar que, valores de chuva excedente tendem a elevarem-se continuamente entre Tr 2 anos a 200 anos, porém o incremento é progressivamente menor com o aumento do tempo de retorno. A tabela 46 evidencia tais taxas de variação da chuva excedente conforme o tempo de retorno considerado, expressando as tendências de aumento simuladas.

TABELA 46 – Taxas de variação dos valores de precipitação total (mm) e das chuvas efetivas entre 1962 e 2011.

Intervalo de Tempos de retorno	Aumento da pp total	Taxa anual de aumento da pp total	Aumento de Re1962	Taxa anual de aumento de Re1962	Aumento de Re2011	Taxa anual de aumento de Re 2011
Tr 2 a Tr 5	18.45	6.15	12.23	4.08	18.21	6.07
Tr 5 a Tr 10	12.15	2.43	9.05	1.81	12.1	2.42
Tr 10 a Tr 15	6.86	1.37	5.32	1.06	6.83	1.37
Tr 15 a Tr 20	4.83	0.97	3.81	0.76	4.81	0.96
Tr 20 a Tr 25	3.69	0.74	2.97	0.59	3.68	0.74
Tr 25 a Tr 50	11.45	0.46	9.38	0.38	11.36	0.45
Tr 50 a Tr 100	11.35	0.23	9.6	0.19	11.28	0.23
Tr 100 a Tr 200	11.31	0.11	9.76	0.10	11.28	0.11

5.3.2. Hidrogramas de cheias e picos de vazão

A partir das precipitações de projetos apresentadas no item anterior, foram simulados hidrogramas de cheia, conforme disposto nas figuras 76 e 77. Dois aspectos a serem ressaltados para ambas as figuras (1962 e 2011) são: (i) as variações dos picos de vazão simulados a cada cenário considerado, conforme aumento dos Trs; e (ii) o valor de tempo de pico fixo em aproximadamente 3,9h, que corresponde a uma variável de estado da BHTP. Adicionalmente, observa-se para ambos os hidrogramas, que para os primeiros instantes da precipitação ($\approx 2h$) não há resposta de ascensão das vazões. Estes atrasos em relação ao início do evento de chuva estão relacionados às taxas de infiltração inicial e ao tempo necessário para a saturação hídrica das superfícies, e consequentemente, ao potencial de geração de escoamento superficial pela bacia.

Para 1962, este atraso da resposta da onda de cheia em relação à precipitação excedente leva de 110 a 130 minutos, respectivamente para Trs de 2 e 200 anos. Para 2011, por outro lado, esta reposta ocorre mais rapidamente, apresentando valores de excedentes de $1m^3/s$ a partir de quarenta minutos após o início do evento, resposta esta decorrente das poucas áreas livres que podem favorecer a infiltração.

Internamente aos cenários mapeados, os picos dos hidrograma de cheia ocorrem sempre num mesmo intervalo temporal, denominado de tempo de pico. No caso de 1962 este tempo equivale a cerca de 230 minutos desde o início da precipitação ou a 100 minutos desde o início do hidrograma. Para o ano de 2011, este tempo sofre um decaimento, consequência do próprio aumento da velocidade dos fluxos rasos e concentrado. O tempo de pico, em 2011, ocorre por volta dos 210 minutos após o início da precipitação.

FIGURA 76 – Hidrogramas de vazões máximas (m^3/s) simuladas para diferentes Trs em 1962 por HU-SCS.

FIGURA 77 – Hidrogramas de vazões máximas (m^3/s) simuladas para diferentes Trs em 2011 por HU-SCS.

De forma a facilitar a comparação dos picos de vazão produzidos pelos cenários de ocupação de 1962 e 2011 sob as mesmas tormentas de projeto, foram construídos os gráficos contidos na tabela 47.

TABELA 47 – Hidrogramas de projeto para os cenários de 1962 e 2011, com base na metodologia do hidrograma unitário sintético triangular.

Os hidrogramas da tabela 47 apresentam tempo de base de 8 horas aproximadamente, com tempo de pico entre 3 e 4 horas, sendo que os atrasos entre o início do evento e a ascensão dos picos dos hidrogramas, identificados para 1962 e 2011 são, respectivamente, 230 e 210 minutos.

Nota-se, para todos os casos, que as curvas de descargas sofrem uma inflexão ascendente depois de transcorridas duas horas desde o início do evento, indicando a existência de um limiar temporal a partir do qual a dinâmica de cheias tende a atingir níveis críticos no canal, possivelmente relacionada ao tempo de concentração da bacia hidrográfica.

O máximo nível crítico da vazão é coincidente ao valor de pico do hidrograma, cuja modificação entre os cenários é significativa, com média de alteração de 2,25 vezes no débito máximo entre 2011 e 1962, sendo que este aumento ocorre em taxas mais elevadas nos Tr menores, e é menos intensa para os Trs maiores. Para os Trs de 2, 5, 10, 15, 20, 25, 50, 100 e 200 anos, a razão de modificação da vazão de pico foram, respectivamente, 3,55; 2,63; 2,31; 2,18; 2,10; 2,05; 1,91; 181 e 1,73.

5.4. Análise dos resultados das modelagens hidrológicas

A natureza dos mecanismos de transformação chuva em vazão de cada um dos modelos responderam diferentemente para os diversos cenários simulados de chuvas intensas e de ocupação da BHTP, sendo que, esta divergência dos resultados foi ainda mais notória nos tempos de duração mais elevados. Observa-se nas tabelas 48 e 49 a síntese de resultados de pico de vazão para Trs de 2, 5 e 25 anos, e tempos de duração de 30 a 1440 minutos.

TABELA 48 – Picos de vazão (m^3/s) simulados pelos métodos Ven Te Chow-SCS e HU-SCS para 1962.

Duração (Td)		Vazões máximas estimadas para cada tempo de retorno em 1962					
hora	Minuto	Tr 2		Tr 5		Tr 25	
		VTC-SCS	HU-SCS	VTC-SCS	HU-SCS	VTC-SCS	HU-SCS
0.5	30	4.81	4.14	10.44	9.30	21.33	19.49
1.0	60	9.06	9.23	17.50	18.04	32.83	34.13
2.0	120	11.45	13.44	21.08	25.06	37.99	45.58
2.5	150	11.52	14.61	21.01	26.97	37.57	48.66
3.0	180	11.13	15.11	20.20	27.72	35.92	49.86
3.5	210	10.08	15.72	18.22	28.83	32.28	51.62
4.0	240	9.22	15.99	16.61	29.30	29.35	52.39
4.5	270	8.50	16.42	15.28	30.05	26.94	53.58
5.0	300	7.88	16.66	14.15	30.45	24.91	54.19
6.0	360	6.90	17.19	12.36	31.33	21.71	55.62
12.0	720	4.04	18.95	7.21	34.35	12.58	60.41
18.0	1080	2.91	19.94	5.19	35.99	9.04	62.89
24.0	1440	2.30	20.60	4.10	37.06	7.13	64.49

TABELA 49 – Picos de vazão (m³/s) calculados pelos métodos Ven Te Chow-SCS e HU-SCS para 2011.

Duração (Td)		Vazões máximas estimadas para cada tempo de retorno em 2011					
hora	Minuto	Tr 2		Tr 5		Tr 25	
		VTC-SCS	HU-SCS	VTC-SCS	HU-SCS	VTC-SCS	HU-SCS
0.5	30	20.65	39.25	31.68	52.79	49.24	73.30
1.0	60	27.85	50.54	41.69	68.07	63.33	94.59
2.0	120	29.67	56.46	44.00	76.19	66.21	105.93
2.5	150	28.75	57.68	42.58	77.85	63.98	108.24
3.0	180	27.07	58.09	40.07	78.41	60.16	108.99
3.5	210	24.03	58.64	35.57	79.18	53.38	110.02
4.0	240	21.62	58.85	32.02	79.47	48.03	110.43
4.5	270	19.67	59.12	29.14	79.84	43.71	110.90
5.0	300	18.06	59.32	26.76	80.09	40.14	111.21
6.0	360	15.54	59.62	23.04	80.49	34.58	111.75
12.0	720	8.63	60.40	12.84	81.48	19.31	112.98
18.0	1080	6.06	60.77	9.05	81.90	13.63	113.46
24.0	1440	4.70	60.94	7.04	82.10	10.62	113.67

Sucintamente, os picos de vazão simulados pelo método Ven Te Chow-SCS são, em geral, menores que os obtidos pelo HU-SCS, particularmente nos tempos de duração maiores que 1 (uma) hora e no cenário de 2011. Nota-se que a evolução dos picos de vazão se comportaram diferentemente ao longo do aumento dos tempos de duração, sendo que, os resultados obtidos por VTC-SCS ampliaram-se de td 30 a 120 minutos, onde atingem o valor mais elevado para todos os Trs simulados, diminuindo-se continuamente até td=1440 minutos. Este comportamento reflete o abatimento da intensidade da precipitação excedente conforme se amplia td e a tendência do pico de vazão máximo ocorrer em um tempo de duração específico para a BHTP, determinado pela utilização do fator de deflúvio dados em função de td e do fator de redução de pico Z. Assim, para a metodologia VTC-SCS, dado um Tr assumido para uma obra, é necessário obter o td da bacia hidrográfica vinculado à pior condição de drenagem do canal.

Além de frequentemente mais críticos, os resultados de vazões máximas simuladas por HU-SCS evoluem progressivamente conforme o aumento de td, não resultando na diminuição do pico, diferentemente do observado nas simulações constituídas por meio de VTC-SCS. Isto ocorre, possivelmente, em função dos hidrogramas unitários estarem baseados nos blocos de precipitação obtidos para derivação dos ietogramas das chuvas de projetos, os quais, por sua vez, são obtidos de subtotais de precipitação pela relação IDF estabelecida. Assim, para qualquer tempo de duração de evento, os blocos alternados terão como valores de vazão do hidrograma, incluindo o débito máximo, resultados derivados da relação IDF com td=10 minutos e Tr definido.

Devido à variabilidade temporal das chuvas reais que ocorrem na região, a partir dos dados telemétricos analisados, a princípio, não é possível afirmar em que condições ou eventos os valores de vazões extremas obtidas por VT-SCS ou HU-SCS são mais ou menos propícios à análise hidrológica e hidráulica. Ademais, estas incertezas exigem uma análise particular tendo como referência valores obtidos em campo, com levantamento contínuo do nível d'água ou vazão, principalmente em condições de chuva.

Apesar disso, e da consideração de tais incertezas, em projetos de drenagem urbana em que não haja disponibilidade de dados de chuva e fluviometria coletados é necessária a utilização de valores simulados de picos de vazão, assumindo-se as incertezas presentes em suas aproximações. Assim, tendo em vista os dois modelos chuva-vazão utilizados nesta pesquisa, a metodologia aplicada pelo ABC6 determinando vazões de pico e hidrogramas de cheia pelo HU-SCS prioriza condições de maior segurança (menor risco assumido) em relação à capacidade de suporte dos sistemas. Por essa razão, definiu-se a aplicação dos dados de pico de vazão obtidos pelo HU-SCS como base para a simulação dos fluxos permanentes e tendências espaciais de inundação na modelagem hidráulica. Para tanto, foram definidas as precipitações de projeto com diferentes Trs e tempo de duração igual a 300 minutos.

5.5. Resultados da modelagem hidráulica

Este item introduz as discussões relacionadas à modelagem hidráulica realizada na BHTP. Ele está subdividido, basicamente, em quatro etapas fundamentais: a análise das seções transversais típicas de jusante e suas capacidades de vazão; a obtenção das vazões de pico por HU-SCS relativas aos contornos da modelagem de fluxo permanente; os resultados dos níveis d'água obtidos para cada cenário simulado; e os resultados das manchas de inundação para estes mesmos cenários.

Cabe destacar que todas as simulações hidráulicas realizadas no âmbito desta pesquisa, abrangeram exclusivamente a bacia hidrográfica do córrego Três Pontes e a dinâmica hidrológico-hidráulica do canal principal, não considerando controles hidráulicos exercidos pelo nível de base da BHTP, constituído pelo rio Tietê, tendo em vista a escala do estudo e seus respectivos objetivos.

5.5.1. Seções transversais e capacidade de vazão

As seções transversais correspondem a informações de nível primordial à compreensão das características do canal principal e de sua capacidade de vazão. Ao se tratar das

características do canal, os principais aspectos envolvidos na análise são a distribuição das larguras e profundidades dos transectos levantados, a sua irregularidade e as suas tendências relativas à obstrução e rugosidade, sintetizadas no valor de número de Manning.

Outras duas características que podem ser abrangidas no conjunto das seções transversais de um trecho são as sequências de declividades médias das conexões entre seções; e as tendências gerais de evolução das margens e assoalho do leito os quais envolvem as taxas de sedimentação e erosão. Esta última característica está, particularmente, relacionada à capacidade do fluxo fluvial e à variação da taxa de escavação e deposição de sedimentos, aspectos baseados em estudos de carga sólida do canal.

As variações da declividade e da cota de fundo ao longo de um perfil longitudinal são, por outro lado, duas informações morfométricas do canal que influenciam, majoritariamente, na traslação da onda de cheia e na suscetibilidade à inundação de determinados setores do modelado, e deverão ser abrangidas, mais detalhadamente, nos resultados das seções transversais.

Entretanto, antes de iniciar a análise das seções, ressalta-se que, para os córregos, ribeirões ou rios urbanos menores e menos relevantes no contexto do sistema de macrodrenagem da GSP, as informações fluviométricas e hidrogeométricas são escassas ou inexistentes, ainda que exista um grande número de estudos científicos e técnicos sobre os sistemas de drenagem e esgotamento das cidades da RMSP.

Apesar desta escassez de informação, para o presente estudo foi adquirida uma sequência de levantamentos de seções naturais de um trecho de 1000 metros no terço inferior do córrego Três Pontes, relativa ao projeto de retificação denominado: “Dique de Proteção – Jd. Fiorelo Município de Itaquaquecetuba. Rio Três Pontes Canalização”. No projeto executivo, elaborado pela Hidrostudio Engenharia e pelo DAEE, constam a planta, o perfil longitudinal e as seções transversais levantadas, projetadas e naturais típicas do trecho. Menciona-se que a seção transversal típica natural é relativa às condições do canal antes da realização das obras de drenagem realizadas em 2012 pelo DAEE no trecho alvo. A partir destas obras, a seção típica do trecho passou a ser a aquela prevista no projeto executivo do dique de proteção do Jd. Fiorelo.

Na Figura 78, a seguir, são apresentadas as seções típicas do canal. As catorze seções naturais e projetadas, das quais foram derivadas as informações obtidas as seções transversais típicas, constam no apêndice F (CD-ROM). Juntamente com os esquemas simplificados, são

apresentadas a localização das estacas e informações relativas às cotas de fundo e declividade de ambos os perfis.

A seção típica natural, apesar de mais larga que a projetada, é menos profunda e mais irregular. Hidraulicamente, a capacidade de vazão de um conduto é dada primordialmente pela profundidade de suas lamelas, pela regularidade da seção (e consequentemente do fluxo) e pelo revestimento predominante.

FIGURA 78 – Seções típicas do córrego Três Pontes.

Obs.: Seção típica natural (contínua) derivada dos levantamentos de 14 seções do trecho de jusante, e seção típica projetada (tracejada) extraída dos projetos de retificação das 14 seções levantadas.

Fonte: DAEE/Hidrostudio, 2010

Ao se aprofundar uma seção, o ganho de área do escoamento é muito maior e, em muitos casos, mais viável frente ao ganho de área e viabilidade do alargamento. A seção projetada, como se nota na figura 78, rebaixou o fundo do canal em torno de 0.2m ao em toda a seção. Apesar desta consideração, deve-se notar que a comparação entre as seções originais levantadas e os projetos de retificação que constam no apêndice F (CD-ROM), evidenciam o aumento da calha nas seções e o ganho estimado para suporte da vazão.

Além da configuração das seções típicas, é necessário, para estimar a velocidade média do fluxo e capacidade de descarga da seção, a caracterização da rugosidade das paredes. Tais valores foram aproximados conforme tabelas fornecidas pela literatura específica consultada e mencionada no capítulo de metodologia desta pesquisa.

Para o canal projetado, conforme descrição do projeto executivo, foram utilizadas placas pré-moldada de concretos e massa de concreto para setores do fundo e do muro de contenção

revestidos *in loco*. Para esta situação, utilizou-se 0,019 como valor de referência de Manning, sugerido por Canholi (2005) para canais concretados e seções regulares.

Por outro lado, para a condição natural da seção típica, a rugosidade Manning foi estimada a partir de campanhas de campo realizadas para as proximidades do trecho canalizado, mas que não haviam sofrido interferências do projeto, resguardando, assim, as condições pretéritas às obras de retificação.

A predominância da ocupação das margens é de vegetação rasteira e arbustiva de diferentes portes, variando de baixo a médio, a qual impõe restrições significativas ao fluxo nestes setores. Na calha definida, onde o fluxo é constante a 90% do tempo, nota-se, pela turbidez aferida a olho, a abundância de material sedimentar com destaque aos finos, definindo trechos de colmatção acelerada e importante obstrução ao fluxo. Ademais, materiais oriundos do descarte de lixo e construção civil compõem um conjunto de elementos extremamente significativos à piora nas condições de drenagem do canal. Considerou-se, assim, como uma rugosidade de Manning média para a seção típica natural igual a 0,045.

Utilizando-se da estrutura de cálculos hidrogeométricos e vazão pré-programada em macro no Excel pelo professor Dr. Rodolfo Scarati Martins (EP/USP), obtiveram-se os valores de variáveis importantes à estimativa da capacidade de suporte das seções típicas naturais (TABELAS 50 e 51).

TABELA 50 – Parâmetros hidrogeométricos da seção típica natural do córrego Três Pontes (até 2011).¹⁵

Lâmina (m)	Cota NAs (m)	Área (m²)	Perim (m)	L (m)	Rh (m)	Rh Eng	Alfa*	V (m/s)	Q (m³/s)
0.1	729.36	0.65	6.88	6.87	0.09	0.11	1.10	0.12	0.08
0.2	729.46	1.41	8.23	8.19	0.17	0.19	1.08	0.17	0.24
0.3	729.56	2.28	9.10	9.03	0.25	0.28	1.07	0.22	0.51
0.4	729.66	3.20	9.57	9.45	0.33	0.37	1.06	0.27	0.86
0.5	729.76	4.17	10.05	9.87	0.41	0.47	1.06	0.31	1.29
0.6	729.86	5.17	10.42	10.18	0.50	0.56	1.06	0.35	1.81
0.7	729.96	6.20	10.76	10.46	0.58	0.65	1.06	0.39	2.40
0.8	730.06	7.26	11.07	10.67	0.66	0.74	1.06	0.42	3.07
0.9	730.16	8.33	11.31	10.80	0.74	0.84	1.05	0.46	3.81
1.0	730.26	9.42	11.54	10.91	0.82	0.93	1.05	0.49	4.63
1.1	730.36	10.52	11.77	11.02	0.89	1.03	1.05	0.52	5.52
1.2	730.46	11.62	12.00	11.14	0.97	1.12	1.05	0.56	6.47

¹⁵ Observação para as tabelas 50 e 51: Lâmina (m) corresponde à altura (e à profundidade) entre um NA qualquer e o ponto mais fundo do canal. Para cada lâmina é definida uma seção molhada com diferentes números e tipos de lamelas. Cota NA é a altitude (m) da lâmina d'água qualquer; Área (m²) é a área da seção molhada formada pelas arestas da seção e a lâmina d'água num dado NA; Perímetro é o perímetro da seção molhada e corresponde à mesma forma geométrica da área calculada; L é a largura da seção molhada e é obtida tendo em vista a reta perpendicular coincidente com a linha do NA; Rh é o raio hidráulico obtido pela divisão A/P; RhEng é o raio hidráulico de Engelund; Alfa é o parâmetro de correção da irregularidade do canal; V é o velocidade média estimada do fluxo na seção molhada; e Q é a vazão correspondente ao NA.

Lâmina (m)	Cota NAs (m)	Área (m²)	Perim (m)	L (m)	Rh (m)	Rh Eng	Alfa*	V (m/s)	Q (m³/s)
1.3	730.56	12.74	12.22	11.22	1.04	1.22	1.05	0.59	7.49
1.4	730.66	13.87	12.44	11.31	1.12	1.31	1.05	0.62	8.58
1.5	730.76	15.00	12.66	11.39	1.19	1.41	1.05	0.65	9.73
1.6	730.86	16.15	12.87	11.48	1.25	1.51	1.06	0.68	10.95
1.7	730.96	17.30	13.09	11.55	1.32	1.60	1.06	0.71	12.22
1.8	731.06	18.46	13.30	11.62	1.39	1.70	1.06	0.73	13.56
1.9	731.16	19.62	13.51	11.69	1.45	1.80	1.06	0.76	14.97
2.0	731.26	20.79	13.72	11.75	1.52	1.90	1.06	0.79	16.43
2.1	731.36	21.97	13.93	11.81	1.58	2.00	1.06	0.82	17.96
2.2	731.46	23.16	14.13	11.86	1.64	2.09	1.06	0.84	19.54
2.3	731.56	24.35	14.34	11.92	1.70	2.19	1.07	0.87	21.19
2.4	731.66	25.55	15.03	12.47	1.70	2.31	1.07	0.90	23.05

TABELA 51 – Parâmetros hidrogeométricos da seção típica projetada do córrego Três Pontes (após 2011)

Lâmina (m)	Cota NAs (m)	Área (m²)	Perim (m)	L (m)	Rh (m)	Rh Eng	Alfa*	V (m/s)	Q (m³/s)
0.1	729.20	0.77	9.21	9.20	0.08	0.09	1.07	0.23	0.18
0.2	729.30	1.70	9.49	9.40	0.18	0.19	1.03	0.37	0.63
0.3	729.40	2.65	9.77	9.60	0.27	0.28	1.02	0.49	1.30
0.4	729.50	3.62	10.06	9.80	0.36	0.38	1.03	0.60	2.16
0.5	729.60	4.61	10.34	10.00	0.45	0.48	1.03	0.69	3.19
0.6	729.70	5.61	10.54	10.00	0.53	0.57	1.03	0.78	4.38
0.7	729.80	6.61	10.74	10.00	0.62	0.67	1.03	0.87	5.72
0.8	729.90	7.61	10.94	10.00	0.70	0.77	1.02	0.95	7.20
0.9	730.00	8.61	11.14	10.00	0.77	0.86	1.02	1.02	8.82
1.0	730.10	9.61	11.34	10.00	0.85	0.96	1.02	1.10	10.57
1.1	730.20	10.61	11.54	10.00	0.92	1.06	1.02	1.17	12.45
1.2	730.30	11.61	11.74	10.00	0.99	1.15	1.02	1.24	14.44
1.3	730.40	12.61	11.94	10.00	1.06	1.25	1.02	1.31	16.56
1.4	730.50	13.61	12.14	10.00	1.12	1.35	1.02	1.38	18.78
1.5	730.60	14.61	12.34	10.00	1.18	1.45	1.02	1.45	21.12
1.6	730.70	15.61	12.54	10.00	1.25	1.54	1.02	1.51	23.57
1.7	730.80	16.61	12.74	10.00	1.30	1.64	1.02	1.57	26.13
1.8	730.90	17.61	12.94	10.00	1.36	1.74	1.02	1.63	28.79
1.9	731.00	18.61	13.14	10.00	1.42	1.84	1.02	1.70	31.55
2.0	731.10	19.61	13.34	10.00	1.47	1.93	1.02	1.75	34.41
2.1	731.20	20.61	13.54	10.00	1.52	2.03	1.01	1.81	37.38
2.2	731.30	21.61	13.74	10.00	1.57	2.13	1.01	1.87	40.43
2.3	731.40	22.61	13.94	10.00	1.62	2.23	1.01	1.93	43.59
2.4	731.50	23.61	14.14	10.00	1.67	2.32	1.01	1.98	46.84
2.5	731.60	24.61	14.34	10.00	1.72	2.42	1.01	2.04	50.18
2.6	731.70	25.61	14.54	10.00	1.76	2.52	1.01	2.09	53.61
2.7	731.80	26.61	14.74	10.00	1.81	2.62	1.01	2.15	57.14
2.8	731.90	27.61	14.94	10.00	1.85	2.71	1.01	2.20	60.75
2.9	732.00	28.61	15.14	10.00	1.89	2.81	1.01	2.25	64.45
3.0	732.10	29.61	15.34	10.00	1.93	2.91	1.01	2.30	68.24
3.1	732.20	30.61	15.54	10.00	1.97	3.01	1.01	2.36	72.11
3.2	732.30	31.61	15.74	10.00	2.01	3.10	1.01	2.41	76.07
3.3	732.40	32.61	15.94	10.00	2.05	3.20	1.01	2.46	80.11
3.4	732.50	33.61	16.14	10.00	2.08	3.30	1.01	2.51	84.24
3.5	732.60	34.61	16.34	10.00	2.12	3.40	1.01	2.56	88.45
3.6	732.70	35.61	16.54	10.00	2.15	3.50	1.01	2.60	92.74
3.7	732.80	36.61	16.74	10.00	2.19	3.59	1.01	2.65	97.11
3.8	732.90	37.61	16.94	10.00	2.22	3.69	1.01	2.70	101.57
3.9	733.00	38.61	17.14	10.00	2.25	3.79	1.01	2.75	106.10

A seção natural típica possui uma capacidade máxima de vazão de 23,05m³/s à declividade de 0,0005m/m e com Manning de 0,045. A seção transversal projetada, por sua vez, com declividade um pouco menor de 0,0004m/m e rugosidade n de 0,019, apresenta uma capacidade de 106,10m³/s, cerca de 4 vezes mais que a seção natural.

A energia disponível no fluxo também se amplia significativamente entre as duas condições. A velocidade máxima estimada para a seção natural atingiu 0,95m/s, equivalente a 3,42km/h, valor razoável considerando-se o nível de obstruções e a rugosidade elevada no assoalho e margens. Para a seção construída, essa velocidade máxima estimada é de 2,75m/s ou 9,9km/h, fluxo extremamente veloz para córregos de pequena dimensão em condição de baixa declividade.

Apenas a título comparativo, confrontando-se as vazões de pico obtidas por VTC-SCS e HU-SCS nas simulações chuva-vazão às capacidades máximas das seções, observa-se que diferenças entre os ajustes dos sistemas às requisições hidráulicas de cada cenário, e capacidades diferentes dependendo do modelo hidrológico adotado para comparação (TABELA 52).

TABELA 52 – Vazões (m³/s) referentes a percentuais de capacidade das seções e intervalos de suporte às vazões extremas obtidas pelos modelos chuva-vazão.

Capacidade do canal (%)	Q (m³/s) Seção natural	Suporte a vazões extremas (1962)		Q (m³/s) Seção projetada	Suporte a vazões extremas (2011)	
		VTC-SCS	HU-SCS		VTC-SCS	HU-SCS
5	1.15	Tr<2 anos	Tr<2 anos	5.30	Tr<2 anos	Tr<2 anos
10	2.30	Tr<2 anos	Tr<2 anos	10.61	Tr<2 anos	Tr<2 anos
20	4.61	Tr<2 anos	Tr<2 anos	21.22	Tr<2 anos	Tr<2 anos
30	6.91	Tr<2 anos	Tr<2 anos	31.83	2<Tr<5 anos	Tr<2 anos
40	9.22	Tr<2 anos	Tr<2 anos	42.44	2<Tr<5 anos	Tr<2 anos
50	11.52	2<Tr<5 anos	Tr<2 anos	53.05	5<Tr<10 anos	Tr<2 anos
60	13.83	2<Tr<5 anos	Tr<2 anos	63.66	10<Tr<20 anos	Tr<2 anos
70	16.13	2<Tr<5 anos	2<Tr<5 anos	74.27	20<Tr<25 anos	2<Tr<5 anos
80	18.44	2<Tr<5 anos	2<Tr<5 anos	84.88	25<Tr<100 anos	2<Tr<5 anos
90	20.74	2<Tr<5 anos	2<Tr<5 anos	95.49	100<Tr<200 anos	5<Tr<10 anos
100	23.05	5<Tr<10 anos	2<Tr<5 anos	106.10	100<Tr<200 anos	10<Tr<20 anos

A seção típica natural, cuja capacidade máxima é de 23,05m³/s, atende às condições de débito na ordem de até 10 anos de retorno para as vazões calculadas por VTC-SCS. Por outro lado, comparando-se às vazões derivadas de HU-SCS, a correspondência é mais compatível ao que se reconhece teoricamente para a capacidade do conduto. Os resultados da simulação evidenciaram que o córrego Três Pontes, para a seção típica natural, pode assimilar cheias na

ordem de 2 a 5 anos de Tr, para as condições de uso da terra em 1962. Conforme se nota na tabela 52, a seção natural típica à 60% de sua capacidade máxima, é capaz de escoar qualquer pico de vazão até Tr 2 anos, de modo que, teoricamente, qualquer chuva com probabilidade menor de Tr 2 anos, teoricamente, não produziria condições críticas de escoamento em condições naturais.

Confrontando-se a capacidade da seção natural típica de 23,05m³/s aos picos de vazão produzidos por HU-SCS para o ano de 2011, nota-se que a capacidade máxima da seção natural corresponde a, aproximadamente, 35% da vazão de Tr 2 anos com td 300 minutos. Isto equivale a afirmar que, a capacidade de suporte da seção natural é muito inferior à vazão requerida para eventos produzidos por tormentas com Tr 2 anos no cenário de 2011 e, provavelmente, inferior à vazão extrema anual, fazendo com que, mesmo para eventos intensos de recorrência anual, o canal não seja capaz de assimilar e ocorra transbordamento. Esta situação tende a se agravar quanto maior for o tempo de retorno de uma tormenta. Para uma chuva de Tr 10 anos e td 300 minutos, a vazão de pico estimada por HU-SCS é de 93,8m³/s, volume 4 vezes superior às máximas estimadas para a capacidade da seção natural.

Devido às prolongadas situações de inundação ocorridas nos setores de planície da BHTP, particularmente em 2010, e em função das constatações realizadas a partir das estimativas da capacidade de vazão foi elaborado projeto de construção do dique Jd. Romano e, em seguida, da retificação do trecho do Jd. Fiorelo.

Para a seção projetada no contexto da canalização do trecho mencionado, observa-se que a máxima capacidade de débito é significativamente mais elevada, em comparação à seção natural, e abrange um intervalo de recorrência maior das vazões de pico.

Ao comparar sua capacidade aos picos de cheia produzidos por VTC-SCS, conclui-se que a calha seria capaz de assimilar eventos com tempos de retorno de até 200 anos. Porém, confrontando-se às vazões de HU-SCS, nota-se que a capacidade de débito não é suficiente a picos superiores a 20 anos de Tr. Pode-se pressupor, portanto, que para condições de cheias com recorrências superiores a 20 anos, o canal projetado sofreria transbordamento.

Estas análises sucintas das seções transversais fizeram parte da modelação hidráulica à medida que permitiram uma análise introdutória sobre a capacidade de suporte do sistema frente às condições críticas de drenagem urbana.

Para as etapas da modelação hidráulica que seguem, foi utilizada, apenas, a seção natural típica, considerando-se que, para os cenários de 1962 e 2011 aos quais se modelaram os picos de vazão, a seção transversal típica presente na BHTP era a referente à natural

fornecida pelo DAEE/Hidrostudio (2010). Por essa razão, os cenários de pico e de inundação foram amplamente mais críticos do que aquele atualmente presente na bacia, considerando a nova capacidade de escoamento a jusante relativo à seção projetada.

5.5.2. Vazões máximas de entrada no fluxo permanente

Após a introdução dos dados geométricos relativos às seções transversais e ao perfil longitudinal do canal principal, os dados necessários em seguida foram os relativos às vazões que serão simulados nos fluxos permanentes.

Por essa razão, calcularam-se, no ABC6, vazões de pico para chuvas intensas de duração 5 horas nos tempos de retorno de 2, 5, 10, 20, 25, 50, 100 e 200 anos, para cada sub-bacia delimitada, conforme descrito no capítulo 2 de procedimentos desta pesquisa. Os resultados destas modelagens hidrológicas constam na tabela 53 e 54, para 1962 e 2011

TABELA 53 – Valores de vazão de pico em 1962 para simulação de fluxo permanente.

Sub	N XS	XS abrangidas	Vazões de pico para diferentes tempos de retorno								
			2	5	10	15	20	25	50	100	200
1	7	5537 a 5308	2.91	5.34	7.21	8.35	9.16	9.80	11.80	13.85	15.92
2	25	5280 a 4666	3.19	6.07	8.19	9.45	10.34	11.04	13.24	15.46	17.72
3	25	4637 a 4182	6.72	11.75	15.40	17.54	19.07	20.25	23.98	27.75	31.57
4	19	4155 a 3759	9.00	15.56	20.32	23.11	25.54	26.65	31.51	36.44	41.43
5	7	3703 a 3419	9.19	15.88	20.74	23.58	25.61	27.19	32.15	37.17	42.25
6	13	3366 a 2768	10.92	18.86	24.67	28.08	30.53	32.43	38.40	44.47	50.61
7	8	2710 a 2248	11.31	19.67	25.75	29.31	31.85	33.83	40.04	46.34	52.81
8	12	2202 a 1610	11.64	20.30	26.63	30.35	33.00	35.08	41.58	48.18	54.88
9	8	1557 a 1066	11.89	20.79	27.25	31.08	33.82	35.96	42.68	49.51	56.44
10	0	-	12.01	21.03	27.60	31.45	34.20	36.37	43.18	50.11	57.14
11	0	-	12.11	21.25	27.91	31.82	34.61	36.79	43.65	50.67	57.80

Obs.: Número de seções transversais abrangidas (N XS), sequência das seções transversais (XS abrangidas) e vazões de pico simuladas a cada sub-bacia para diferentes tempos de retorno (m³/s), considerando o cenário de ocupação da terra em 1962.

TABELA 54 – Valores de vazão de pico em 2011 para simulação de fluxo permanente.

Sub	N XS	XS abrangidas	Vazões de pico para diferentes tempos de retorno								
			2	5	10	15	20	25	50	100	200
1	7	5537 a 5308	12.81	17.41	20.45	22.16	23.36	24.28	27.12	29.93	32.73
2	25	5280 a 4666	11.70	17.67	20.76	22.50	23.72	24.66	27.54	30.40	33.24
3	25	4637 a 4182	19.61	27.27	32.34	35.19	37.19	38.72	43.45	48.12	52.77
4	19	4155 a 3759	22.86	31.63	37.51	40.84	43.19	45.00	50.57	56.10	61.61
5	7	3703 a 3419	30.44	42.40	50.39	54.91	58.08	60.52	68.04	75.51	82.94
6	13	3366 a 2768	33.55	46.81	55.70	60.74	64.28	67.00	75.41	83.78	92.11
7	8	2710 a 2248	36.69	50.90	60.41	64.74	69.58	69.87	81.50	90.45	99.38
8	12	2202 a 1610	36.94	51.39	61.07	66.55	70.40	73.36	82.52	91.63	100.71
9	8	1557 a 1066	38.33	53.20	63.16	68.81	72.77	75.82	85.24	94.62	103.97
10	0	-	38.96	54.02	64.10	69.82	73.82	76.91	86.45	95.94	105.41
11	0	-	39.90	55.26	65.56	71.39	75.47	78.63	88.36	98.04	107.70

Obs.: Número de seções transversais abrangidas (N XS), sequência das seções transversais (XS abrangidas) e vazões de pico simuladas a cada sub-bacia para diferentes tempos de retorno (m³/s), considerando o cenário de ocupação da terra em 2011.

Os resultados de pico de vazão total da BHTP representados pela soma das vazões das 11 sub-bacias, conforme constam nas tabelas 53 e 54 são abatidos em relação aos valores obtidos anteriormente para as simulações hidrológicas por meio de HU-SCS. Essa diminuição do pico de vazão ocorreu devido ao detalhamento do cálculo de transformação chuva-vazão ao se subdividir a BHTP em 11 sub-bacias. Com esta subdivisão, realizou-se um fracionamento das capacidades de infiltração e geração de escoamento superficial para cada sub-bacia, e uma segmentação do canal principal em trechos de comprimentos variáveis, entre 328 a 1241 metros. A área e o comprimento do trecho do conduto aliados à declividade média do perfil longitudinal do trecho são responsáveis, em geral, pelo tempo de concentração de cada sub-bacia, os quais produzem amortecimentos distintos da onda de cheia. A soma destes amortecimentos produzidos ao longo do canal principal, desde o trecho mais a montante até o trecho mais a jusante, respondem pelos abatimentos dos picos de vazão.

A despeito desta redução nas vazões extremas, nota-se nestes resultados um aumento médio na ordem de 2,27 vezes dos picos entre o 1962 e 2011, sendo que a razão de ampliação destes extremos é mais significativa para os eventos de Tr 2 e 5 anos, decaindo progressivamente para os tempos de retorno mais elevados, conforme é evidenciado na TABELA 55.

TABELA 55 – Razão de aumento dos valores de vazão de pico modeladas entre 1962 e 2011.

Sub	N XS	XS abrangidas	Razão de aumento das vazões extremas para diferentes Trs								
			2	5	10	15	20	25	50	100	200
1	7	5537 a 5308	4.40	3.26	2.84	2.65	2.55	2.48	2.30	2.16	2.06
2	25	5280 a 4666	3.67	2.91	2.53	2.38	2.29	2.23	2.08	1.97	1.88
3	25	4637 a 4182	2.92	2.32	2.10	2.01	1.95	1.91	1.81	1.73	1.67
4	19	4155 a 3759	2.54	2.03	1.85	1.77	1.69	1.69	1.60	1.54	1.49
5	7	3703 a 3419	3.31	2.67	2.43	2.33	2.27	2.23	2.12	2.03	1.96
6	13	3366 a 2768	3.07	2.48	2.26	2.16	2.11	2.07	1.96	1.88	1.82
7	8	2710 a 2248	3.24	2.59	2.35	2.21	2.18	2.07	2.04	1.95	1.88
8	12	2202 a 1610	3.17	2.53	2.29	2.19	2.13	2.09	1.98	1.90	1.84
9	8	1557 a 1066	3.22	2.56	2.32	2.21	2.15	2.11	2.00	1.91	1.84
10	0	-	3.24	2.57	2.32	2.22	2.16	2.11	2.00	1.91	1.84
11	0	-	3.29	2.60	2.35	2.24	2.18	2.14	2.02	1.93	1.86

Obs.: Número de seções transversais abrangidas (N XS), sequência das seções transversais (XS abrangidas) e vazões de pico simuladas a cada sub-bacia para diferentes tempos de retorno (m³/s), considerando os cenários de ocupação da terra de 1962 e 2011

Embora esta variação seja, particularmente, interessante à avaliação do grau de perturbação dos sistemas hidráulicos frente a eventos de alta frequência (Trs<5anos), deve-se dedicar atenção especial ao aumento das vazões de pico por sub-bacia entre 1962 e 2011. De

acordo com os resultados dispostos nas tabelas 53 e 54, o agravamento das condições de vazão com aumento dos extremos ocorre, progressivamente, de montante para jusante, ou seja, para bacias localizadas no terço superior do córrego, a variação das vazões de pico entre 1962 e 2011 foi maior do que nas bacias localizadas no terço de jusante.

Pressupõe-se que esta variação por sub-bacia hidrográfica ocorra, em virtude das diferenças de amortecimento dos hidrogramas entre os setores de montante e de jusante, e devido à soma dos abatimentos realizados pelo canal ao longo de sua extensão, favorecendo à diminuição do pico de vazão no terço final.

5.5.3. NA máximo ao longo do perfil longitudinal

A partir da introdução de informações hidrogeométricas e de vazões fixas, a modelagem hidráulica de fluxo permanente permite obter informações relativas à variação do NA no curso principal, velocidade máxima atingida, área da seção transversal molhada, entre outros parâmetros morfométricos e informações de característica do fluxo no conduto que auxiliam no entendimento da traslação da onda de cheia ao longo do perfil longitudinal. Todos os resultados brutos obtidos a partir das simulações são apresentados no apêndice G (CD-ROM).

As variações dos NAs no perfil longitudinal do canal principal baseadas nas vazões de diferentes Trs, para os dois momentos abordados, estão sistematizadas nas figuras 79 e 80. Por meio da análise dos perfis longitudinais e da variação dos NAs em 1962 e 2011, é possível observar a variação do talvegue do canal principal da bacia, assemelhando-se a um curso fluvial com uma sequência de pequenos barramentos. Estas morfologias configuram-se como rupturas no perfil longitudinal, marcadas, basicamente, por alterações abruptas nas altimetrias e nas taxas de mudança de declividade do canal, definindo desníveis significativos e formando, de modo geral, dois tipos de setores de inclinação: um primeiro, mais plano, com declividades baixas, e um segundo, com declividades muito elevadas.

Porém, para o exemplo estudado, estas rupturas foram produzidas pelo modelo digital de terreno utilizado como base para as extrapolações realizadas ao longo de toda pesquisa. A geometria do perfil longitudinal, produzida pela ferramenta HEC-GeoRAS, é estimada a partir de modelo numérico de elevação, baseado em TIN (*Triangulated Irregular Network*), elaborado da topografia das cartas da Emplasa. Há uma tendência própria deste modelo numérico de elevação, em produzir planos conectados por setores de alteração brusca de altitude, normalmente caracterizados como desníveis topográficos, muitas vezes incompatíveis com as morfologias existentes na paisagem, consistindo em simplificações grosseiras.

Ao longo do perfil do Córrego Três Pontes, conforme se observa nas figuras 79 e 80, estas rupturas ocorrem em pelo menos cinco locais: o primeiro, próximo às cabeceiras, entre os 758 e 754m de altitude; o segundo, a aproximadamente 8km de distância da foz, entre os 754 e os 748m de altitude; o terceiro e quarto, por volta dos 5km de distância ocorrem em sequencia, com uma ruptura entre os 748m e os 743m e deste até os 738m de altitude; e por fim, o quinto, próximo à foz, por volta de 1,8km de distância no canal principal, entre os 738 e 733m de altitude. A média de 5m de variação altimétrica nas rupturas sugere que esta característica seja em razão da informação da topografia de base. Todavia, as variações podem ser mais ou menos marcantes, conforme as profundidades das seções envolvidas na ruptura, de modo que, quanto mais amplas forem as seções a jusante desta, mais acentuada será a quebra do perfil.

FIGURA 79 – Variação do NA para cada Tr ao longo do perfil longitudinal em 1962.

FIGURA 80 – Variação do NA para cada Tr ao longo do perfil longitudinal em 2011.

Associada a isto, outra característica hidrogeométrica que torna esta situação ainda mais crítica à acumulação de água e transbordamento do canal, é a ocorrência de declividades negativas de fundo de calha, de montante para jusante, as quais atuam gerando ou potencializando fluxos remontantes.

De acordo com os resultados do modelo, nos trechos de relevo de tendência aplanada ou de declividade negativa, e nos locais onde há um aprofundamento abrupto da seção ou de uma sequência de seções, a coluna d'água atingida pela cota do nível d'água em relação ao assoalho fluvial é relativamente maior e mais crítica do que as áreas em que não ocorrem essas características. Estes são os trechos tidos, a princípio, como mais susceptíveis a inundação.

Para a modelagem hidráulica realizada, nos trechos em que as declividades se acentuam, as áreas adjacentes ao canal são menos propensas ao alagamento, tendo em vista o NA que atingem ao longo dos perfis demonstrados nas figuras 79 e 80.

Considerando isoladamente a simulação dos perfis dos NAs atingidos para diferentes tempos de retorno e cenários de ocupação da BHTP, nota-se uma ligeira variabilidade do aumento do nível d'água entre os trechos de montante e jusante do canal.

Em média, para as simulações de NA em 1962, nota-se um aumento na ordem de 2 a 3 metros, em eventos de Tr 2 anos em relação a Tr 200 anos, na metade de jusante. Para setores de montante, este aumento raramente supera os 2 metros.

A variação de NA para os Trs de 2 a 200 anos em 1962 é mais dispersa do que o observado em 2011. Neste último, para o qual a variação do NA, considerando os diferentes Trs, não é maior do que 1,5 metros ao longo do perfil, há uma proximidade maior entre as linhas de perfis de vazão. A comparação dos perfis de cheia entre os dois cenários, evidencia que para o ano de 2011, os valores de NA simulados foram mais elevados do que para 1962, ainda que esta diferença seja sutil nas figuras 79 e 80. Ao se observar, por exemplo, a cota de NA para Tr 2 anos no exutório de ambas as figuras, nota-se uma diferença na ordem de 3 metros, a qual diminui de jusante para montante, atingindo, uma diferença de no máximo 1 metro para o mesmo tempo de retorno próximo a nascente.

Quanto ao aumento do NA entre os dois períodos, há uma variação ainda menor nos trechos de declividade mais elevadas, onde o teórico aumento da velocidade do fluxo promove um abatimento dos níveis d'água, dificultando a análise de variações dos picos obtidos entre os dois cenários. Este efeito, no entanto, pode ser atribuído a uma artificialidade da modelagem hidráulica, e sua associação às limitações da topografia de base.

Os resultados por hora analisados sobre o perfil longitudinal apontam para limitações relevantes de introdução de dados morfológicos fundamentais à modelagem hidráulica. Por essa razão, os parâmetros de entrada deste aspecto dos modelos computacionais serão discutidos mais profundamente no capítulo 6, no contexto de aproximações entre a geomorfologia antropogênica e as modelagens hidrológicas e hidráulica.

Demais variáveis hidráulicas

Este subitem tem como objetivo realizar sucintas descrições e análises dos resultados das simulações hidráulicas, abrangendo alguns parâmetros básicos que auxiliam na compreensão da variação espacial do escoamento ao longo canal principal, tais como: vazão (m^3/s), velocidade máxima do fluxo (m/s) e largura da seção molhada (m).

Salienta-se que todas as variáveis descritas nos subitens a seguir, derivaram das simulações das vazões máximas realizadas, de modo que, as análises consistem, sobretudo, em esforço de compreensão da aplicação de modelagem hidráulica e suas potencialidades, o qual antecede as análises de comparação e aproximação entre a geomorfologia com a hidrologia e a hidráulica.

(a) Variação das vazões de pico ao longo do canal

Como uma entrada na modelagem, mas também como uma variável hidráulica fundamental de ser apresentada, a vazão de pico para diferentes Trs e sua variação ao longo do canal são exibidas nas figuras 81 e 82, representando gráficos que possuem curvas de vazões extremas marcadas por uma ascensão contínua em forma de pulsos progressivos.

Cada ascensão dos perfis de vazão equivalentes a pulsos de entrada de vazão corresponde a incrementos de volume ocasionados pela introdução de contribuições das sub-bacias consideradas na BHTP. Tais ascensões ocorrem seis vezes ao longo do canal principal: o primeiro por volta de 800 metros a partir da nascente; o segundo aos 1.400 metros; o terceiro aos 3.600 metros; o quarto aos 4.400; o quinto aos 7.200 metros, mais discreto que os demais; e, por último, o sexto aos 7.800 metros.

FIGURA 81 – Variação da vazão de pico em 1962 ao longo do canal principal.

FIGURA 82 – Variação da vazão de pico em 2011 ao longo do canal principal.

Estas curvas podem, em termos teóricos, representar pulsos naturais de aumento de vazão, normalmente coincidentes às confluências fluviais. Assim, observa-se nestas figuras, uma simplificação da variação das vazões ao longo do conduto principal, que, com base nos critérios adotados para delineamento das sub-bacias hidrográficas, buscou fidelidade às características físicas da área de estudo.

O cenário de 2011, como destacado no capítulo da modelagem hidrológica, foi marcado pela simulação de vazões de pico superiores a de 1962, em todos os tempos de retorno, sendo

o aumento registrado entre estes dois períodos na ordem de 100%. Esta simulação, contudo, tendeu a ser mais intensa para os eventos de maior recorrência. Ao se observar os valores de vazões de pico com Tr 2 anos, por exemplo, nota-se que, para toda a extensão do canal, os valores do cenário de 1962 estão em sua maioria abaixo dos 10m³/s, ultrapassando este limiar apenas após os 4000 metros de extensão. Para 2011, por outro lado, os valores mantiveram-se constantemente acima dos 10m³/s para todo o comprimento do canal, atingindo, no trecho final do canal, valores de pico na ordem de 40m³/s, representando, portanto, um crescimento de 300%.

Para eventos de probabilidade 1/100 este crescimento entre os dois períodos foi menor. Tomando-se como base os picos de vazão próximos ao exutório (11.000m), em 1962 observaram-se vazões de 50m³/s, ao passo que, em 2011, os extremos giraram em torno de 95m³/s, sugerindo um aumento menor que o dobro. As médias simples dos valores de vazões de pico introduzidas na modelagem hidráulica constam na tabela 56.

TABELA 56 – Médias das vazões de pico para cada Tr nos dois cenários abordados.

Tempo de retorno	Qmáx 1962 (m³/s)	Qmáx 2011 (m³/s)
Tr 2 anos	7.91	24.06
Tr 5 anos	13.87	33.68
Tr 10 anos	18.21	39.93
Tr 15 anos	20.77	43.39
Tr 20 anos	22.69	45.95
Tr 25 anos	24.02	47.68
Tr 50 anos	28.48	53.75
Tr 100 anos	33.01	59.61
Tr 200 anos	37.60	65.43

As principais implicações desta análise comparativa é a constatação de que o aumento da criticidade dos caldais de acordo com o intervalo de recorrência assumem taxas diferentes, com distribuição decrescente quanto maior for a probabilidade de ocorrência.

(b) Variação da velocidade máxima de fluxo ao longo do canal

As velocidades foram obtidas com base na simulação de traslado das ondas de cheia derivadas das informações hidrogeométricas de cada seção, da declividade média obtida para cada uma delas, das rugosidades de Manning estimadas e atribuídas; e nos valores de picos de vazão. Assim, a variação da vazão de pico ao longo do canal é a resposta da variabilidade do arranjo destes parâmetros para cada seção simulada, de modo que as alterações nos padrões de velocidade refletem modificações nas condições de fluxo de montante para jusante.

Nos cenários estudados, considerando todos os tempos de retorno investigados, uma mesma variação da velocidade do fluxo pode ser notada ao longo do perfil longitudinal, a qual

pode ser caracterizada, basicamente, por distribuições de velocidades de dois tipos: velocidades de fluxos uniformes e velocidades de fluxos não-uniforme. O primeiro é marcado por estabilidade da velocidade da água sem apresentar flutuações significativas envolvendo aceleração ou desaceleração; o segundo, por sua vez, é representado por mudanças abruptas no padrões de velocidade do fluxo ou por sequências de picos de velocidade. Estas características podem ser notadas nas figuras 83 e 84, que apresenta a variação simulada da velocidade do fluxo ao longo da extensão do canal principal, em que, no eixo das abcissas, as distâncias correspondem os valores em metros a partir da nascente.

FIGURA 83 – Variação da velocidade do fluxo em 1962 ao longo do canal principal.

FIGURA 84 – Variação da velocidade do fluxo em 2011 ao longo do canal principal.

Considerando que as geometrias das seções transversais, as declividades e as rugosidades de Manning definidas para o canal foram as mesmas nos dois cenários, os fluxos dentro do canal reagiram igualmente em 1962 e 2011, derivando, portanto, velocidades similares, variando mais significativamente entre os cenários nos picos de velocidade.

Para fluxos que extrapolaram o canal fluvial obtido dos levantamentos das seções transversais, ocorreram variações das velocidades entre os dois anos, devido ao fato de que para escoamentos fora do canal, nos setores topograficamente mais baixos obtidos a partir do TIN, há alteração de elementos como declividade e rugosidade das superfícies, decorrendo em ascensões ou diminuições intensas da velocidade do fluxo.

O aumento da velocidade do fluxo pode ser notado com maior clareza na comparação das situações de picos, como o que ocorre a 8.400 metros da nascente, no qual há um aumento na ordem de 0,5m/s (1,8km/h).

De modo geral, as variações mais acentuadas da velocidade do fluxo são coincidentes com os incrementos das vazões máximas e com alterações bruscas nas seções transversais.

A vazão está diretamente relacionada à velocidade do fluxo e à área das seções, assim, pode-se assumir ambas como variáveis independentes para compreender as variações da velocidade no canal. Para um dado requerimento hidráulico, seções menores vão implicar um sobressalto no nível d'água e uma aceleração do fluxo. Se uma seção estiver alocada a jusante de outra com menor capacidade, isto tenderá a rebaixar o NA e abater o pico velocidade da água.

Assim, a velocidade é aumentada drasticamente nas mudanças de declividade do perfil longitudinal, nas variações de área das seções transversais e onde as vazões são incrementadas. Em relação às duas primeiras variáveis, a alteração da morfologia do assoalho fluvial reflete-se no aumento geométrico da inclinação da linha de energia e da capacidade da seção. Com isso, a velocidade atinge picos de aceleração, reduzindo os níveis d'água a delgadas lâminas junto ao fundo do canal. Em relação a terceira variável, as vazões são compensadas, primeiramente, pelo aumento do nível d'água, que pode implicar, consequentemente, aumento da velocidade do fluxo.

Conforme mencionado anteriormente, os aumentos das vazões de pico e dos NAs alcançados não são funções lineares dos aumentos das velocidades do fluxo. Nos casos dos condutos abertos naturais, principalmente para fluxos que superam a calha principal, esta correlação sofre alterações significativas, em virtude da mudança nos parâmetros hidrogeométricos.

Atentando-se a tabela 57, nota-se que entre os tempos de retorno 2 e 20 anos, os valores de velocidade média dos fluxos sob condições de vazão extrema em 2011 são, normalmente, superiores aos calculados para 1962, convergindo com o que se esperava devido ao aumento da coluna d'água e da pressão de coluna a montante. A partir do tempo de retorno 25 anos, contudo, os valores de 2011 passam a ser menores que os de 1962, invertendo as condições médias do fluxo em relação ao período anterior. Estas diminuições nas velocidades simuladas para os cenários superiores a Tr igual a 25 anos podem estar relacionadas aos escoamentos que ocorrem nos setores acima das margens do canal consideradas na modelagem hidráulica, a partir das quais as rugosidades de Manning assumiram valores mais elevados.

Por fim, nota-se que o aumento das vazões de pico exige maiores capacidades hidráulicas, muitas vezes superando os limites da calha fluvial e se utilizando dos setores aplanados adjacentes ao canal para escoar os excedentes fluviais. Com isso, em geral, o escoamento passa a estar sob as condições de maior rugosidade que no interior do canal, podendo implicar uma redução da velocidade e um aumento do tempo de permanência da água na bacia hidrográfica.

TABELA 57 – Velocidades médias dos picos de vazão para cada Tr nos cenários abordados.

Tempo de retorno	Vel. 1962	Vel. 2011
Tr 2 anos	0.860	1.002
Tr 5 anos	0.962	1.044
Tr 10 anos	1.045	1.066
Tr 15 anos	1.066	1.086
Tr 20 anos	1.084	1.098
Tr 25 anos	1.097	1.104
Tr 50 anos	1.131	1.124
Tr 100 anos	1.161	1.145
Tr 200 anos	1.193	1.169

(c) Variação da área da seção molhada ao longo do canal

Complementarmente à análise da velocidade de fluxo ao longo do canal, as figuras 85 e 86 apresentam a variação da área molhada da seção pela extensão longitudinal do canal principal em 1962 e 2011, respectivamente.

A variação das áreas molhadas das seções transversais ao longo do canal é uma resposta hidrodinâmica dos requerimentos fluviais decorrentes do próprio incremento das vazões de pico, de modo que, pode estar relacionada a incrementos de vazões máximas devido às confluências de canais fluviais e à capacidade de vazão de uma dada seção transversal. Os gráficos das figuras 85 e 86 demonstram a inexistência de aumento das áreas molhadas ao longo da extensão do canal. Ao contrário disto, estes gráficos evidenciam uma variação

significativa relacionada, possivelmente, a condições hidráulicas das seções, abrangendo, sobretudo, o requerimento de vazão, a declividade e a rugosidade de Manning.

Para atestar as correlações existentes entre a variação da área da seção molhada e as variações dos demais parâmetros hidrogeométricos que interferem no escoamento, elaborou-se os gráficos das figuras 87 e 88, nos quais são correlacionadas as variáveis de área molhada e velocidade simuladas dos fluxos em picos de vazão para 1962 e 2011, respectivamente.

FIGURA 85 – Variação da área molhada da seção em 1962 ao longo do canal principal para simulação de fluxo permanente.

FIGURA 86 – Variação da área molhada da seção em 2011 ao longo do canal principal para simulação de fluxo permanente.

FIGURA 87 – Dispersão de pontos correlacionando a velocidade dos fluxos nas vazões de pico às áreas relativas às seções molhadas nos eventos simulados para 1962.

FIGURA 88 – Dispersão de pontos correlacionando a velocidade dos fluxos nas vazões de pico às áreas relativas às seções molhadas nos eventos simulados para 2011.

As correlações das figuras 87 e 88 demonstram que, tanto no cenário de 1962 quanto no de 2011, há uma tendência simulada de aumento da área molhada da seção conforme se diminui a velocidade do fluxo, e vice-versa. Tal correlação pode ser identificada, também nos gráficos das figuras 85 e 86, nos quais, para os trechos com redução ou estabilização de velocidades mais baixas, como entre 5 e 7km a montante da foz, nota-se um aumento progressivo da área da seção; ao passo que, nas situações em que ocorrem aumentos da velocidade, a área da seção molhada descende rapidamente.

O aumento da seção molhada reflete, em virtude da diminuição da velocidade, reflete os mecanismos de dissipação de energia dos canais fluviais. Por essa razão, para minimizar os requerimentos fluviais por área, as medidas de controle de inundações envolvendo retificação de condutos abrangem ações que correspondem ao revestimento do perímetro e ao aumento da calha, proporcionando aumento da velocidade e diminuição da área exigida.

Conforme salientado no início deste subitem, a análise de variáveis hidrogeométricas resultantes da modelagem hidráulica objetivou um detalhamento do entendimento das respostas hidráulicas modeladas em termos, basicamente, de velocidade e largura da seção molhada em situações de vazões de pico, nos canais e nas adjacências, buscando constituir uma base inicial de compreensão das relações de variáveis hidráulicas em termos de sua espacialidade ao longo do canal principal, proporcionando, por fim, um entendimento mais adequado às análises comparativas e de aproximação da geomorfologia com a hidrologia e a hidráulica.

5.5.4. Área e limite das inundações simuladas

Os fluxos das vazões extremas configuradas no HEC-RAS simularam escoamentos permanentes nas seções transversais de canal e vale, conforme a descrição de procedimentos da parte 2 referentes à modelagem hidráulica. As tendências espaciais de inundação, tomadas a partir das manchas produzidas, foram, então, obtidas a partir dos resultados de NA extremos para cada seção do conduto modelado. Um exemplo de resultado tridimensional oferecido pelo HEC-RAS para visualização da variação de cota dos NAs e limites da inundação é apresentado na figura 89.

FIGURA 89 – Exemplo de representação tridimensional dos resultados da modelação hidráulica no HEC-RAS.

Para realizar operações em SIG e elaborar mapas posteriores, utilizou-se a extensão *GIS tools\RAS Mapper\Floodplain mapping* no HEC-RAS para exportar os resultados das simulações em formatos matriciais e vetoriais que facilitaram a manipulação das informações.

As figuras 90 e 91 contêm, respectivamente, os limites das manchas de inundação simuladas para 1962 e 2011, considerando os diferentes tempos de retorno dos eventos de cheia. As manchas de inundação são geradas automaticamente pelo HEC-RAS a partir da extrapolação do valor de NA obtido para uma cheia em uma dada seção a todo setor adjacente a esta que esteja em um nível topográfico altimetricamente abaixo do NA atingido, tomando-se como superfície de referência o MDT introduzido.

Para as regiões entre seções transversais, o dado de cota de inundação é interpolado, gerando, assim, uma gradação do nível da inundação entre uma seção de montante e a seção imediatamente a jusante. Por esta razão, para jusante da última seção, onde a informação topográfica do TIN é inexata, o software não extrapola a mancha de inundação. Para este setor da BHTP foi realizado procedimento de extrapolação linear da cota de NA mais a jusante simulada até o exutório, baseando-se nas informações topográficas do mesmo MDT utilizado na modelagem hidráulica, com resolução espacial horizontal de um metro produzido a partir da interpolação das informações topográficas da Emplasa.

Nota-se uma mesma variação da largura das manchas de inundação simuladas, cujos limites variam ligeiramente entre si na maior parte da extensão longitudinal, com trechos em que as manchas se alargam, afastando-se do canal principal e espraiando-se lateralmente, e setores nos quais elas recuam na direção do córrego Três Ponte, aproximando-se do conduto.

Estimasse que o fator determinante deste comportamento é o MDT utilizado na extrapolação dos NA, sendo que, grosso modo, nos locais onde as manchas de inundação simuladas se alargam ocorrem confluências fluviais e associação dos vales de fundos planos secundários, limites de unidades morfológicas para as quais o MDT não fornece, precisamente, dados suficientes para definir as espacialidades destas morfologias.

Nas adjacências dos bairros Whitaker Machado, Jd. do Carmo e a montante da VI. Popular, por exemplo, notam-se o estrangulamento das manchas de inundação, sendo que, em sua maioria, devido à aproximação das vertentes opostas, facilmente notável pelas curvas de nível dispostas nas figuras 90 e 91.

Fonte: Cartas topográficas 1:10,000 da Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano (EMPLASA). Folhas: Jardim São Miguel (SF-23-Y-D-IV-I-NO-B), 1996; Poá (SF-23-Y-D-IV-I-NE-A), 1996; São Miguel Paulista (SF-32-Y-D-I-3-SO-F), 1993; Itaquaquecetuba (SF-23-Y-D-I-3-SE-E), 1997. Imagem de Satélite de Alta Resolução WorldView-2, acervo de imagens do Laboratório de Geomorfologia, DG/FFLCH/USP.

FIGURA 90 – Limites das manchas de inundação produzidas a partir das simulações de pico de vazão para o cenário de 1962.

FIGURA 91 – Limites das manchas de inundação produzidas a partir das simulações de pico de vazão para o cenário de 2011.

No entanto, existem variações na largura das manchas que não correspondem, exclusivamente, ao dado topográfico fornecido pelo MDT de base, como nos seguintes casos: nas proximidades das confluências entre o canal principal e o afluente da margem direita que drena a VI. Cândida; no trecho entre C. Kemel e Whitaker Machado, próximo à junção entre o afluente do Jd. Miliunas e o córrego Três Pontes e nas proximidades da Vila Popular. Nestes casos, os estreitamentos das manchas simuladas estão associados às variações topográficas abruptas no perfil longitudinal que derivaram das informações fornecidas pelo modelo digital de terreno (TIN). Isso implicou reduções abruptas dos níveis d'água simulados em função do aumento da capacidade de vazão, abatendo, assim, as manchas de inundação geradas nas planícies adjacentes.

Para ambos os cenários, conforme o esperado, quanto maior o Tr da simulação, maior é a área abrangida pela mancha de inundação, tendência que pode ser verificada ao se comparar as manchas respectivas derivadas de tormentas de Tr 2 e 5 anos para ambos os cenários. O que se observa, no entanto, é a sobreposição, na maior parte dos limites das manchas, particularmente nos terços superior e médio do canal principal e nos setores de estreitamento. Apenas no terço inferior, a jusante do bairro Vila Popular e da passagem da Av. Marechal Tito, as distâncias entre os limites de manchas de inundação são mais facilmente discerníveis entre si, sendo que os limites de eventos de maior magnitude tendem a se afastar progressivamente do canal principal.

A predominância de um intervalo estreito entre os limites das manchas de inundação decorre em uma sobreposição aparente, na escala da bacia, e a uma mesma tendência espacial das inundações para todos os Trs, praticamente coincidentes ao limite derivado da cheia produzida para Tr 2 anos.

Neste sentido, para tal inundação, o limite horizontal de área alcançado tende a coincidir com as primeiras cotas altimétricas mais elevadas em relação a estes setores, obtidas pelo MDT. A partir da mancha de inundação deste tempo de retorno, o incremento lateral da inundação não é sobressalente nos mapas de área apresentados nas figuras 90 e 91, pois os aumentos de vazão decorrem particularmente no incremento vertical, demonstrado pela cota atingida. Assim, apesar da relevância das tendências espaciais das manchas simuladas (aspecto horizontal), a eficiência de escoamento por uma dada seção transversal reside, principalmente, na variação do NA (aspecto vertical).

Com o objetivo de sistematizar os incrementos em área e cota altimétrica do NA das manchas simuladas ponto mais a jusante, foram elaboradas as tabelas 58 e 59, a seguir.

TABELA 58 – Estimativa das áreas das manchas de inundações simuladas em 1962 e cotas do NA no exutório.

Tr (anos)	Área		Incremento km ²	% da inundação anterior	Cota no exutório m	Incremento de profundidade	
	km ²	% da bacia				cm	Acumulativo
2	1.133	12.56	-	-	735.41	-	
5	1.229	13.62	0.095	8.43	736.45	104	104
10	1.263	14.00	0.034	2.78	736.68	23	127
15	1.285	14.25	0.022	1.76	736.76	8	135
20	1.299	14.40	0.014	1.06	736.9	14	149
25	1.308	14.50	0.009	0.72	736.96	6	155
50	1.343	14.88	0.035	2.65	737.1	14	169
100	1.367	15.15	0.024	1.79	737.25	15	184
200	1.384	15.34	0.017	1.27	737.36	11	195
Média	1.2899	14.30	0.031	2.56			

TABELA 59 – Estimativa das áreas das manchas de inundações simuladas em 2011 e cotas do NA no exutório.

Tr (anos)	Área		Incremento km ²	% da inundação anterior	Cota no exutório m	Incremento de profundidade	
	km ²	% da bacia				cm	Acumulativo
2	1.304	14.46	-	-	736.95	-	
5	1.349	14.95	0.045	1.03	737.24	29	29
10	1.369	15.18	0.021	1.02	737.38	14	43
15	1.378	15.28	0.009	1.01	737.46	8	51
20	1.385	15.35	0.006	1.00	737.51	5	56
25	1.391	15.42	0.006	1.00	737.56	5	61
50	1.404	15.57	0.014	1.01	737.67	11	72
100	1.415	15.69	0.010	1.01	737.70	3	75
200	1.419	15.73	0.004	1.00	737.73	3	78
Média	1.379	15.29	0.014	1.01			

Conforme a tabela 59, nos cenários simulados em 1962, os valores de área inundada variaram de 1,133 a 1,384km² para Tr 2 e 200 anos, respectivamente, sendo que, em média, estas áreas corresponderam a 1,28km², equivalente a 14,30% de toda a bacia.

Para 2011, estes valores se ampliaram ligeiramente. Para Tr 2 anos, a área inundada foi de 1,304km², ao passo que para Tr 200 anos a abrangência atingiu 1,419km². Na média, as inundações com diferentes tempos de retorno recobriram 1,379km², o que equivale a 15,29% da BHTP.

O efeito de retardo do pico de vazão nas condições de uso da terra de 1962 pode ser percebido a partir da comparação dos incrementos percentuais das áreas de inundação com base nos diferentes tempos de retorno (APÊNDICE H). Enquanto, em 1962, este aumento percentual médio foi de 2,56%, em 2011, ele foi brevemente superior a 1%. Este resultado é ainda mais relevante para o incremento da área entre Tr 2 e 5 anos, os quais resultaram em 8,43% e 1,3% para 1962 e 2011, respectivamente.

Com base nestes dados, pode-se concluir que a bacia e o conduto principal, para chuva de tempo de retorno de 2 a 5 anos, desempenhou um papel na redução da área de inundação em um nível muito superior ao que realiza atualmente.

Comparativamente, os resultados demonstraram um aumento médio de 1% na área inundada entre 1962 e 2011, ou cerca de 900m². Ao deter a análise na variação das áreas inundadas entre 1962 e 2011, confrontando a magnitude dos eventos em termos de sua abrangência, destaca-se a ampliação das áreas alagadas para vazões de tempos de retorno mais frequentes.

Como ilustração, nota-se a correspondência entre as áreas alagadas pelos seguintes eventos: um, do cenário de 2011 com Tr igual a 2 anos, e outro, do cenário de 1962 com Tr 25 anos. Da mesma forma, são comparáveis os valores de áreas inundadas produzidas por eventos de Tr 5 anos no cenário de 1962 e de Tr 50 anos no cenário de 2011. Por fim, uma vazão de tempo de retorno de 10 anos, nos dias de hoje, produz uma cheia cuja abrangência em área supera uma inundação com Tr 100 anos em 1962.

Por fim, os resultados das cotas de inundação para condições críticas são igualmente relevantes aos obtidos para as áreas alagadas. Para 1962, as inundações tiveram um intervalo de NAs que variou entre 735,41 a 737,36m, para Trs de 2 e 200 anos, respectivamente, implicando uma variação de até 195cm.

Em 2011, o NA atingido por um evento de tempo de retorno de 2 anos, pode atingir até 736.95m, o que equivale a uma chuva de Tr 25 anos em 1962. A partir das simulações realizadas, nota-se que uma tormenta de 200 anos nos dias atuais pode produzir um alagamento de cota máxima igual a 737.73m, o que corresponde a um aumento na ordem de 37cm em relação a um evento de mesma magnitude-frequência em 1962, e uma lâmina d'água que pode chegar a atingir uma espessura decamétrica na confluência com o rio Tietê.

Os aumentos das áreas alagadas e das cotas atingidas pelos NAs máximos resultantes da ocupação urbana podem ser analisados diretamente no apêndice H. Uma síntese dos dados obtidos das simulações de manchas de inundação consta na tabela 60.

TABELA 60 – Comparação das áreas inundadas de acordo com os diferentes Trs para os cenários de 1962 e 2011.

Tr (anos)	Área em 1962			Área em 2011			Δ área inundada		Aumento da cota (m)
	km²	% bacia	Cota no exutório (m)	km²	% bacia	Cota no exutório (m)	km²	%	
2	1.13	12.56	735.41	1.30	14.46	736.95	0.17	15.09	1.54
5	1.23	13.62	736.45	1.35	14.95	737.24	0.12	9.77	0.79
10	1.26	14.00	736.68	1.37	15.18	737.38	0.11	8.42	0.70
15	1.28	14.25	736.76	1.38	15.28	737.46	0.09	7.26	0.70
20	1.30	14.40	736.9	1.38	15.35	737.51	0.09	6.63	0.61
25	1.31	14.50	736.96	1.39	15.42	737.56	0.08	6.32	0.60
50	1.34	14.88	737.1	1.40	15.57	737.67	0.06	4.60	0.57
100	1.37	15.15	737.25	1.41	15.69	737.70	0.05	3.53	0.45
200	1.38	15.34	737.36	1.42	15.73	737.73	0.04	2.54	0.37
Média	1.29	14.30	-	1.38	15.29		0.09	7.128	

Analisando-se os limites contidos nos mapas do apêndice H, constata-se que, em todas as condições de inundação, as comparações entre os cenários de 1962 e 2011 evidenciaram incrementos de áreas em setores específicos, sendo que estes acréscimos foram mais significativos para os Tr de maior frequência (15,09% e 9,77% para Trs 2 e 5 anos).

De modo geral, nota-se, também, que os principais setores sujeitos à inundação depois da urbanização da bacia foram nos estrangulamentos do vale e no terço final do canal, a jusante do bairro Vila Popular, onde os terrenos aplanados e rebaixados da BHTP se espriam e abrangem setores dos afloramentos de sedimentos do rio Tietê.

Este incremento da área de inundação é particularmente mais relevante nas vertentes da margem esquerda do canal principal, onde o contato, em forma de rampa, é caracterizado por declividades inferiores 2,5°, o que dificultou, inclusive, o delineamento da planície de inundação durante a restituição morfológica.

O mesmo avanço da mancha de inundação não ocorre nas vertentes a leste do conduto principal. Nesta região, o contato entre a planície de inundação do córrego Três Pontes e a vertente é muito mais evidente na visão estereoscópica, e as declividades predominantes nos terços médio e inferior são superiores a 5°. Como resposta a esta morfologia, ocorre uma interrupção do avanço da mancha de inundação nestes setores e a compensação é realizada com o alagamento de outros setores da planície de inundação ou com a elevação do nível d'água.

5.5.5. Volume das inundações simuladas

Uma vez efetuadas as simulações de cheias e de manchas de inundação, com base em MDT da bacia hidrográfica, o HEC-RAS possibilita a derivação de informações relevantes à análise hidrológica: tais como profundidade da lâmina d'água, energia de fluxo, velocidade de fluxo e tensão de cisalhamento do escoamento. Estas informações são produzidas em formato matricial e são exportadas com referências espaciais adequadas.

Foram elaborados mapas de profundidades de lâmina d'água para todos os cenários de tempo de retorno abordados, sendo que nas figuras 92 e 93 constam os mapas apenas para as inundações geradas a partir de eventos com Tr 2 e 100 anos para os anos de 1962 e 2011, respectivamente.

As lâminas d'água foram classificadas de 0 a 12 m de profundidade considerando-se que este é o intervalo máximo de ocorrência para o cenário mais crítico apresentado (2011 com Tr 100 anos). Contudo, para os demais cenários esta altura de água não ocorre. Os tons de cinza proporcionam o efeito da variação da altura de submersão entre a superfície do terreno e da lâmina atingida.

Há uma tendência de distribuição das colunas d'água que sugerem, para todos os casos, uma vulnerabilidade maior de setores de jusante, particularmente após o espraiamento da planície de inundação. Internamente a este setor há ainda nuances tons que demonstram sub-regiões que podem ser submetidas a colunas ainda maiores de inundação.

FIGURA 92 – Profundidades estimadas para a lâmina d'água máxima alcançada nos cenários de inundação TR 2 e 100 anos, para 1962.

Para os eventos simulados no cenário de 1962, há variação significativa da largura atingida pela inundação de 100 anos em comparação a de 2 anos, sendo que este aumento da área é marcado no terço de jusante do canal principal, onde há expansão da inundação e um aparente aumento da coluna d'água nas áreas já inundadas no cenário de 2 anos.

Ao se comparar as inundações promovidas pelos eventos de Tr 100 anos em 1962 e de Tr 2 anos em 2011 nota-se semelhanças em termos de limite abrangido e profundidades atingidas pela coluna d'água, sugerindo o aumento da vulnerabilidade entre 1962 e 2011, corroborando as informações analisadas de vazão e área alagada.

Entre todos os cenários apresentados, o mais crítico em termos de área inundada e altura da lâmina d'água é o de Tr 100 anos em 2011. Além do aumento perceptível da largura da mancha de inundação ao longo de todo o canal, nota-se um espraiamento do alagamento no terço final do canal, acompanhado de um aumento da profundidade da coluna d'água. Para este cenário, em particular, nos setores mais críticos foram observadas condições de

alagamento que podem chegar a 11 metros a partir do talvegue do canal no setor mais a jusante da bacia.

FIGURA 93 – Profundidades estimadas para a lâmina d'água máxima alcançada nos cenários de inundação TR 2 e 100 anos, para 2011.

Os resultados em termos de volume estocado para cada simulação de inundação podem ser estimados levando-se em consideração os resultados de profundidade da lâmina d'água, cuja saída é dada em um MDE das alturas alcançadas pela superfície d'água numa dada condição de inundação. Assumindo-se esta correspondência entre a profundidade das lâminas d'água e o modelo digital de elevação, utilizou-se da ferramenta *3D analyst/functional surface/surface volume* no ArcGIS. Os resultados de volume estocado estimado e cotas máxima e média (ponderada) para cada um dos eventos de inundação simulados estão apresentados na tabela 61.

TABELA 61 – Volumes estocados (m³), cota máxima e média ponderada das cotas (m) para os diferentes cenários de inundação.

Tr (anos)	1962			2011		
	Volume (m³)	Cota máx. (m)	Cota média (m)	Volume (m³)	Cota máx. (m)	Cota média (m)
2	3334160.28	9.41	2.93	4630866.56	10.95	3.47
5	4156371.19	10.45	3.32	4835006.73	11.24	3.56
10	4376830.37	10.68	3.41	4980285.17	11.38	3.61
15	4484603.56	10.76	3.44	5062100.81	11.46	3.64
20	4572944.56	10.90	3.48	5101542.36	11.51	3.67
25	4619268.33	10.96	3.50	5151015.87	11.56	3.69
50	4763714.26	11.10	3.52	5281224.31	11.67	3.73
100	4930917.67	11.25	3.58	5338881.92	11.70	3.76
200	5041582.10	11.36	3.63	5373961.64	11.73	3.76
Média	4475599.14			5083876.15		

Nota-se que os volumes calculados, mesmo para as situações de inundação de menor magnitude (2 anos em 1962) acumulam um total de água em superfície que corresponde muito superiores aos estimados para a planície fluvial ao longo da discussão das morfologias antropogênicas no capítulo 4. Esta diferença ocorre, basicamente, por duas razões: a primeira, em função dos resultados das simulações totalizarem o volume acumulado no conduto; e segundo em função das modelagens de manchas de inundação levar em consideração diferentes alturas (NAs) que a lâmina d'água pode atingir com base no MDT, desconsiderando os limites das morfologias originais.

Para facilitar a comparação entre os cenários de 1962 e 2011 simulados, compôs-se a tabela 62, a seguir.

TABELA 62 – Aumento do volume e da cota máxima entre os cenários de 1962 e 2011 para diferentes Trs.

Tr (anos)	Aumento do volume		Aumento da cota máxima	
	Volume (m³)	%	Cota máxima (m)	%
2	1.296.706.28	38.89	1.54	16.37
5	678.635.55	16.33	0.79	7.56
10	603.454.80	13.79	0.70	6.55
15	577.497.25	12.88	0.70	6.51
20	528.597.80	11.56	0.61	5.60
25	531.747.54	11.51	0.60	5.47
50	517.510.05	10.86	0.57	5.14
100	407.964.25	8.27	0.45	4.00
200	332.379.55	6.59	0.37	3.26
Média	608.277.01	14.52	0.70	6.72

O aumento do volume requerido diz respeito ao aumento do volume observado entre 2011 e 1962, ou seja, a diferença dos resultados obtidos para os dois cenários. O conceito de requerimento refere-se à necessidade de assimilação pelo sistema planície de inundação e canal fluvial de certa quantidade de água que pode ser estimada neste volume.

Neste sentido, observa-se, por exemplo, que para o tempo de retorno 2 anos, o volume de água presente em superfície devido à inundação aumentou em aproximadamente 39% com base no volume de 1962, o que corresponde a $1.296.706\text{m}^3$. Conforme se aumenta o tempo de retorno da tormenta, há uma correspondente diminuição da ampliação do volume excedente, atingindo 6.59% para Tr 200 anos.

6. ANÁLISE COMPARATIVA E AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE CONTRIBUIÇÃO ENTRE AS ABORDAGENS

Este item compõe a parte 3 desta pesquisa e consiste na análise comparativa e realização de aproximações entre os resultados das metodologias aplicadas: geomorfologia antropogênica, para determinação da vulnerabilidade espacial à inundação, e modelagem hidrológica e hidráulica visando obtenção das manchas de inundação.

Optou-se por subdividir este capítulo em três conjuntos principais de análise: um primeiro, relativo à aplicação das modelagens hidrológicas chuva-vazão, sob a ótica da geomorfologia antropogênica; um segundo, envolvendo comparação dos mapeamentos da abordagem geomorfológica antropogênica e as manchas de inundação obtidas para cada cenário; e, por fim, um terceiro, dedicado à análise de dados da modelagem hidráulica à luz da geomorfologia antropogênica, discutindo sobre as possibilidades de contribuição entre ambas.

6.1. Análise geomorfológica da modelagem hidrológica e seus parâmetros

As modelagens hidrológicas chuva-vazão aplicadas foram Ven Te Chow-SCS e HU-SCS. Os principais objetivos de suas aplicações consistem na derivação de informações hidrológicas relacionadas à precipitação excedente, vazão de pico e hidrogramas de projeto para chuvas reais ou hipotéticas em uma determinada bacia hidrográfica. Dessa forma, mesmo que seus resultados não sejam passíveis de espacialização, os parâmetros de entrada de ambas constituem informações de natureza espacial, e, por essa razão, seus parâmetros de entrada podem ser analisados à luz dos conhecimentos e arcabouços teórico-conceituais da geomorfologia em geral, da geomorfologia fluvial e da geomorfologia antropogênica.

Para a modelagem hidrológica Ven Te Chow-SCS, as variáveis A (área), X (fator de deflúvio) e Z (redução do pico de vazão) devem ser ressaltadas em termos de sua relevância na determinação do volume excedente e da velocidade da água escoada superficialmente na bacia hidrográfica, até seu exutório. O parâmetro t_c da modelagem HU-SCS, assim como o fator Z do modelo Ven Te Chow-SCS, dizem respeito, especificamente, ao tempo de concentração da bacia e, portanto, à traslação da onda de cheia.

As variáveis A e Z tem como base aspectos morfométricos das bacias, respectivamente, área e perfil longitudinal do canal modelado, os quais constituem objetos específicos de análise da geomorfologia.

A área de drenagem de uma bacia é a superfície total a partir da qual os modelos hidrológicos e hidráulicos consideram a contribuição para um determinado ponto do canal. Por

essa razão sua correta e precisa identificação são fundamentais para iniciar qualquer etapa de simulação. Esta variável, embora a princípio seja de fácil determinação, através de um SIG ou de um SSD, requer duas ressalvas fundamentais que serão exploradas no subitem a seguir: uma referente à metodologia automática de obtenção em SIG, e outra, quanto à sua variação no tempo e no espaço.

O fator Z está relacionado ao tempo de ascensão de pico do hidrograma e o tempo de duração da tormenta, ao passo que o tempo de concentração (t_c), parâmetro utilizado na modelagem HU-SCS, refere-se ao requerimento de tempo de uma determinada bacia ou canal principal necessário para responder em sua totalidade a um dado estímulo pluviométrico. Ambos dependem de informações de entrada relativas ao perfil longitudinal do canal modelado, que são, em suma, a declividade e o comprimento do conduto. Por essa razão, estão intimamente relacionados à geomorfologia fluvial e à abordagem geomorfológica antropogênica.

Por fim, o fator de deflúvio (X), oriundo da proposta do SCS para cálculo da chuva excedente, é a variável de maior interesse direto nas discussões que aproximam a modelagem hidrológica à geomorfologia antropogênica, pois se referem, simultaneamente, aos materiais superficiais de 'revestimento' e às tendências de processos hidromorfodinâmicos superficiais predominantes.

Análise por parâmetro

O aspecto de área (fator A), utilizado como parâmetro de entrada das modelagens hidrológicas, é interpretado como uma informação de fácil obtenção ou derivação em face, particularmente, das ferramentas de geoprocessamento há algum tempo disponíveis em plataformas de SIG. Contudo, existem dois aspectos fundamentais de análise que a geomorfologia e, em especial, a geomorfologia antropogênica permitem discutir e potencializar: um referente ao valor absoluto correto a ser utilizado como área de contribuição; e outro que se volta à análise da variação espacial e temporal de tal parâmetro.

Em relação ao cálculo da área, o procedimento normalmente adotado em gabinete para derivação desta informação, é o cálculo sobre dados vetoriais, que contém limites mais precisos em comparação aos matriciais. Contudo, ao se realizar isto, simplifica-se a diversidade morfológica superficial a um polígono bidimensional.

Para regiões pequenas (até 10km²) e com tendências morfológicas aplanadas ou suavemente onduladas, como as bacias sedimentares, a distorção entre as áreas da superfície real e do plano circunscrito pelos limites de um mesmo local, é menor. Para terrenos maiores

localizados em regiões com graus de dissecação elevados, a diferença entre as áreas obtidas pelo polígono e em campo assume valor significativamente maior.

Para minimizar este equívoco e tornar os resultados mais próximos aos obtidos em campo, estão disponíveis em plataformas de SIG, ferramentas para o cálculo de área, incluindo a introdução de MDTs. Assim, embora continue havendo imprecisões, a diversidade de formas e as irregularidades do terreno passam a ser contempladas, ainda que parcialmente, no cômputo da área de contribuição, e a divergência da área real passa a ser reduzida.

Para aumento da acurácia e precisão dos MDTs, submetidos a restrições impostas por sua resolução espacial e pela simplificação dos dados de origem, podem ser inseridos os limites das morfologias originais obtidos através do mapeamento morfológico realizado por fotointerpretação, atuando como elementos de correção e detalhamento topográfico, derivando dados de área que, uma vez inseridos nos modelos hidrológicos, podem significar ganho de precisão nos cálculos relacionados à produção de escoamento superficial.

Ainda em relação à área de uma bacia hidrográfica, os limites que a define são, em suma, limites topográficos tidos como fixos no espaço e no tempo. No entanto, ocorrem variações em termos espaciais e temporais, sobre os quais a geomorfologia antropogênica se debruça por meio de indicadores hidromorfológicos utilizados para avaliação de mudanças do sistema geomorfológico.

A variação da área da bacia hidrográfica, espacial e temporalmente, ocorre tanto em superfície, quanto no subterrâneo, como respostas às reorganizações topográficas produzidas pelo Homem ao realizar cortes e aterros, principalmente no processo de ocupação urbana. Embora em superfície estas respostas sejam mais evidentes, a derivação de área de contribuição de uma bacia para outra pode ocorrer também no subsolo, particularmente pela drenagem e bombeamento de excedentes para transposição a outras bacias, configurando assim processos hidromorfológicos antropogênicos, e inclusive alterando parâmetros morfométricos da escala da bacia hidrográfica.

Neste sentido, ressalta-se, ainda, a possibilidade de utilização de parâmetros morfométricos relativos à área da bacia que podem ser cotejados enquanto fatores de criticidade ou minimização no cálculo das vazões de pico e concentração nos fundos de vale. Alguns destes índices são: índice de circularidade, índice de bifurcação, forma da bacia e comprimento da bacia.

O fator Z (fator de redução de pico), por sua vez, constitui um dos principais dados de entrada nos modelos hidrológicos, ao passo que se caracteriza como uma informação derivada

do perfil longitudinal do canal a ser simulado. Os principais aspectos utilizados para sua derivação são o comprimento do canal principal e a sua declividade média. Ambos compõem o conjunto de parâmetros analisados como indicadores hidromorfológicos de mudanças antropogênicas, extremamente importantes em contextos urbanos.

O comprimento de um canal, por exemplo, pode ser intensamente modificado no processo de retificação de um conduto. Neste sentido, a redução do percurso realizado pelo fluxo ao longo do canal implica, necessariamente, a diminuição do tempo de traslado da onda de cheia e no aumento do volume e energia disponível pela onda na saída da bacia. Estes efeitos serão maiores conforme o aumento da razão entre o comprimento original e o resultado de uma modificação hidráulica.¹⁶

A redução do canal é uma ferramenta de intervenção da drenagem urbana e um dos principais recursos utilizados pelos hidrólogos urbanos para promover a redução do pico de vazão em determinados trechos de condutos abertos. Apesar disso, raramente notam-se observações a este respeito em estudos de simulação de manchas de inundação em áreas urbanas, não explorando as potencialidades deste parâmetro, por exemplo, na avaliação da redução do tc, e dos efeitos de aumento da velocidade e do volume excedente à jusante do trecho alterado.

A redução do comprimento total ainda implica, caso sejam mantidas as cotas de fundo do trecho, um aumento da declividade média da linha de energia do fluxo. Consequentemente, ao se estudar canais urbanos, destaca-se a necessidade de se construir perfis longitudinais distintos: um, para as condições naturais, derivados de mapeamento morfológico apoiados nas informações morfométricas oferecidas por cartas topográficas oficiais; e, outro, para as condições antropizadas, onde as informações de comprimento poderão ser complementadas pela consideração das formas de intervenção hidráulicas ocorridas sobre o canal, envolvendo, por exemplo, retificações, canalizações e etc.

Esta necessidade é ainda mais iminente nos casos em que o rio é alvo de obras de barramento, uma vez que, ocorrem alterações do nível de base do canal no trecho e modificações hidráulicas devido ao controle da velocidade do fluxo e dos tempos de concentração, ascensão do hidrograma e de recessão da cheia.

A obtenção da declividade representativa de um conduto pode ser realizada de diversas formas, a partir de diferentes metodologias. Para muitos autores e metodologias de cálculo

¹⁶ A redução do comprimento do talvegue para um trecho de rio com o intuito de aumentar sua capacidade de vazão é, inclusive, uma resposta natural de muitos cursos d'água de maior porte. Ela é tipicamente observada em canais meandantes ou anastomosados e é denominado de *cut-off*.

envolvendo o escoamento superficial, a declividade é o principal parâmetro determinante, especialmente no caso de escoamentos laminares, como pode ser constatado na metodologia de obtenção do tc do SCS para fluxos rasos, utilizada nesta pesquisa.

A determinação precisa e representativa de um valor médio de declividade, assim, é um pré-requisito a qualquer simulação envolvendo o tempo de concentração ou tempo de pico de uma bacia. Em geral, utiliza-se de procedimentos simplificados para obtê-lo, como a divisão da diferença das cotas da nascente e exutório, pelo comprimento total do canal, que consiste em definir o perfil como um triângulo qualquer em que o ângulo formado entre a base e a hipotenusa é a inclinação média do rio.

Para um maior detalhamento da declividade em relação à sua variabilidade espacial ao longo do perfil longitudinal, utilizou-se na presente pesquisa metodologias envolvendo derivação de declividade média a partir de modelos digitais de terreno e por meio do cálculo da representatividade média ponderada de cada inclinação por comprimento de trecho. Estes são alguns recursos que podem ser empregados no contexto da aplicação de modelagens hidrológicas para produzir informações de declividade do canal principal mais representativas da realidade.

Por fim, o fator de deflúvio (X) é uma taxa de produção de escoamento superficial que se refere a uma regressão que estima a capacidade de geração de deflúvio a partir de um total precipitado. Este fator deriva da metodologia de cálculo de volume escoado superficialmente proposta pelo SCS, atual NRCS, que tem como base a utilização do parâmetro CN, que consiste em uma regressão entre a chuva total (R) e a chuva excedente (Re), como respostas de diferentes tipos de pavimento, simplificados em características predominantes de uso da terra.

Esta metodologia foi elaborada com base em bacias hidrográficas agrícolas, tendo sido, paulatinamente, modificada e complementada por diversos autores que estiveram concentrados no estudo do escoamento superficial em bacias urbanas. Por essa razão, na literatura sobre o assunto, a metodologia do SCS para determinação de vazões de pico é, ainda, majoritariamente utilizada em áreas de estudos predominantemente rurais.

Assim, notou-se uma maior abundância e detalhamento de informações de CN para condições de uso da terra típicas de ambientes agrícolas em tabelas disponíveis na literatura, onde são discriminados, por exemplo, aspectos como presença de curvas de plantio, tipo de tratamento dado ao cultivo, o estado de conservação ou de preservação de uma dada cobertura. Este tipo de descrição das características da superfície se refere a um detalhamento

das morfologias ou micromorfologias introduzidas por tipos específicos de uso da terra e que estão associadas aos materiais de recobrimento.

Para os usos urbanos, entretanto, não são numerosos os estudos ou tabelas disponíveis que detalham e discriminam os tipos de superfícies ou pavimentos com informações relativas aos seus estados de conservação ou preservação, ou ainda, com as morfologias ou micromorfologias associadas, chegando, no máximo, ao nível de tamanho de lote e percentual de área impermeabilizada. Por essa razão, na aplicação para ambientes urbanos, as categorias de CN fornecidos pelo SCS são generalizadas para tipos de usos urbanos, exigindo, assim, em muitos casos, uma reclassificação do uso da terra para as categorias disponíveis nas tabelas.

Desta maneira, por exemplo, os valores de CN devem ser arbitrados para áreas de ocupações de favelas, de diferentes padrões de arruamento, de diversos tamanhos de lotes, de áreas industriais providas de drenagem, e para centros comerciais. Ao se considerar o excedente hídrico em uma bacia hidrográfica com base no parâmetro CN, assume-se o pressuposto de que a regressão utilizada para definir a correlação entre R e R_e , pelo SCS, pode ser extrapolada às condições não originalmente calibradas. Ou seja, isso implica afirmar que os usos são semelhantes e as respostas de assimilação da água e a propagação dos fluxos a jusante são, igualmente, similares.

Outro aspecto importante a ser salientado em relação à definição de um valor de CN para representar o potencial de geração de escoamento superficial reside na característica bidimensional desta classificação.

Um valor de CN qualquer pode ser adotado para um dado uso da terra urbano que ocorra em qualquer local da bacia hidrográfica, e ele persistirá representando um determinado potencial de geração de escoamento superficial daqueles setores. Assim, por exemplo, um conjunto industrial ou uma ampla área verde, independentemente da posição dentro do contexto urbano e da morfologia predominante, caracterizam-se por CNs 93 e 64, respectivamente. Ou seja, sob um determinado R , cada uma destas categorias de uso da terra produzirá um mesmo valor de R_e , invariavelmente se estão localizados em uma planície, ou em uma vertente muito inclinada, ou em uma rampa de colúvios.

O fator atenuante dos CNs centraliza-se no procedimento de ponderar seus valores pelas respectivas áreas de abrangência, o que é, em termos práticos, agrupar a todos e considerar um valor intermediário ponderado como representativo. Como uma ferramenta matemática, embora seja simples, este procedimento é útil ao problema de diversidade de usos da terra em

uma bacia hidrográfica. No entanto, em última instância, isso corresponde a assumir o sistema bacia hidrográfica como uma caixa-preta em relação à sua capacidade de produção de *runoff*.

Do ponto de vista da geomorfologia antropogênica, a definição de uma Unidade Complexa auxilia na ponderação da concentração e energia disponível para estes fluxos concentrados e no entendimento da geração de escoamento na bacia hidrográfica como um todo e em seus vários setores. Uma UC tem por base a existência de uma transformação das morfologias do relevo, incluindo, necessariamente, um cenário morfológico original ou o mais próximo disto, e outro(s) antropogênico(s). O primeiro busca dar conta de identificar os limites morfológicos, os materiais formadores ou de recobrimento (composições), apontar tendências de processos superficiais originais, e articular, nesta tríade geomorfológica, o dado de arranjo dos elementos que permite analisar um determinado aspecto do meio.

O segundo consiste na morfologia antropogênica, o qual insere a informação das formas presentes atualmente na bacia hidrográfica, as quais, em muitos casos, são inferidas pelos usos da terra mapeados. Elas permitem aferir condições de alteração do sistema morfológico em uma ou mais direções, oferecendo parâmetros geomorfológicos para estimar quantitativamente e qualitativamente a degradação dos sistemas e mecanismos geomorfológicos envolvidos na temática estudada, e as respostas deste acúmulo de modificações antrópicas.

As UC, portanto, são complexas, particularmente, por serem sintéticas, uma vez que condensam dois resultados morfológicos e se amparam na análise evolutiva a partir de preceitos geomorfológicos, com o intuito de oferecer análises de modificação do terreno, reconfiguração topográfica, reorganização do estado de energia, disfunção de processos, rearranjo das condições de equilíbrio, constituição de cenários de criticidade a respostas hidromorfológicas ou hidráulicas, entre outros.

No sentido do cálculo de Re, como potencialização do uso do parâmetro CN, as UCs podem contribuir particular no detalhamento das diferentes categorias de 'uso da terra', particularmente aqueles envolvidos nas modalidades de ocupação urbana, em relação aos aspectos geomorfológicos voltados à posição e arranjo e que podem implicar maior ou menor criticidade da produção de chuva excedente.

Ao ponderar um uso da terra, por exemplo, em relação à declividade ou curvatura de vertente sobre a qual ele está instalado, pode-se inserir um aspecto morfométrico como coeficientes de correção da capacidade de produção de escoamento superficial, e assim, em

última análise, viabilizar o reconhecimento do potencial de geração de fluxos concentrados nos diferentes compartimentos do modelado.

6.2. Comparação das inundações simuladas pelo HEC-RAS com os mapeamentos da morfologia original e de vulnerabilidade à inundação obtidos pela Geomorfologia Antropogênica

Neste subcapítulo foram realizadas sobreposições entre os produtos da aplicação da geomorfologia antropogênica e da modelagem hidráulica na BHTP. Primeiramente, debruçou-se na comparação entre as manchas de inundação simuladas para 1962 e as morfologias originais mapeadas na bacia hidrográfica; analisando, em seguida, a sobreposição das manchas simulada para 2011 e o mapa de vulnerabilidade à inundação, derivado das unidades morfológicas complexas. Estas comparações se deram tanto em termos de abrangência, quanto em relação à compatibilidade de limites, e são apresentadas em mapas que constam nos apêndices I e J.

(a) Morfologias fluviais originais e simulações de inundação de 1962 (APÊNDICE I)

A tabela 63 sintetiza os dados de área resultantes da sobreposição entre as manchas de inundação produzidas para o cenário de 1962 e as morfologias originais restituídas.

A bacia de inundação (*backswamp*) e o setor de meandro colmatado, os quais estão localizados no terço de jusante da BHTP, foram totalmente abrangidos pelos limites das manchas de inundação simuladas no HEC-RAS, inclusive para os eventos de menor magnitude, não sendo assim apresentados os valores de área relativos a estas unidades na tabela 63.

A completa inundação das planícies e terraços fluviais não ocorre, por outro lado, em nenhuma das circunstâncias de tempo de retorno, embora seja crescente a taxa de sobreposição destas morfologias pelas manchas simuladas conforme o aumento do tempo de retorno das chuvas. No caso das planícies, a área inundada varia entre 74,6 a 87,0% para os Trs 2 e 200 anos, respectivamente. Existem locais que são constantemente submersos por cheias, desde as mais frequentes às mais raras (APÊNDICE I), como é o caso do largo do Jd. Whitaker Machado, os trechos da C. Kemel próximos ao canal; nos arredores da VI. Londrina e na jusante do Jd. do Carmo, além do entorno do Jd. Romano e Jd. Fiorelo. Nestes casos mencionados, ocorreu correspondência satisfatória entre o limite da inundação simulada de Tr 2

anos e o da planície restituída, com desvios pouco significativo, nunca superiores a algumas dezenas de metros.

TABELA 63 – Áreas resultantes da sobreposição entre as inundações simuladas para 1962 e as morfologias originais restituídas.

Unidade			Bacia	Planície	Terraço	Vertente
Tr	2 anos	km ²	1.13	0.91	0.07	0.09
		%	12.6	74.6	33.3	1.2
	5 anos	km ²	1.24	0.97	0.09	0.11
		%	13.7	79.5	42.9	1.5
	10 anos	km ²	1.26	0.99	0.09	0.12
		%	14.0	80.8	44.1	1.6
	15 anos	km ²	1.28	1.00	0.95	0.13
		%	14.2	82.0	454.3	1.7
	20 anos	km ²	1.30	1.01	0.10	0.13
		%	14.4	82.6	47.2	1.7
	25 anos	km ²	1.31	1.01	0.10	0.13
		%	14.5	83.1	48.1	1.7
	50 anos	km ²	1.34	1.04	0.11	0.13
		%	14.9	85.1	50.6	1.8
	100 anos	km ²	1.37	1.05	0.11	0.14
		%	15.2	86.3	53.0	1.9
	200 anos	km ²	1.38	1.06	0.11	0.14
		%	15.3	87.0	54.7	1.9
	Não abrangido ¹	km ²	-	0.16	0.10	-
		%	-	13.1	49.4	-

¹Obs.: a categoria “não abrangido” refere-se às porções das morfologias de planície de inundação e terraços fluviais não recobertas pelas manchas de inundação simuladas para nenhum dos tempos de retorno.

Algumas áreas da planície de inundação, contudo, não são abrangidas pelas simulações, ao passo que, em setores específicos, as manchas da modelagem hidráulica superam a restituição morfológica. Os setores de reentrância da planície principal nos vales de afluentes, como ocorre, principalmente, nos tributários da margem direita do canal, constituem partes nas quais as manchas simuladas corresponderam apenas parcialmente ao limite proposto pelo mapeamento. Destaca-se, ainda, um amplo trecho da planície de inundação que não é abrangido pelas simulações de tormentas de Tr 2 a 20 anos, passando a ser submergido apenas em cheias com tempos de retorno superiores a este.

Por outro lado, foram observadas locais específicos em que as manchas de inundação simuladas, mesmo para as baixas magnitudes, extrapolam os limites da planície de inundação e atingem, inclusive, setores de baixa vertente. No geral, tais áreas se caracterizam por apresentarem, de acordo com as informações obtidas do MDT de base, baixos desníveis em relação à superfície da planície e taxas de mudanças de declividade abaixo de 4°, consistindo

na fotointerpretação como contatos em rampas alongadas entre as baixas vertentes e a planície fluvial.

Situações mais irregulares, ainda, ocorreram nos contatos da planície de inundação com os terraços fluviais mapeados. Apesar das dimensões significativamente menores e localizações restritas a setores isolados nas retaguardas das planícies com a vertente, os níveis terraceados foram parcialmente submergidos mesmo sob condições de cheia de Tr 2 anos. De modo geral, as inundações de níveis terraceados ocorrem sob condições de chuva extrema, com Trs elevados ou, para alguns sistemas hidrográficos específicos, sobre menores magnitudes. No entanto, o recobrimento dos terraços pelas manchas de inundação na bacia estudada ocorre de forma irregular, com grandes parcelas inundadas para eventos de baixa magnitude-frequência, e com apenas alguns trechos inundados para eventos de alta magnitude-frequência.

Na BHTP o alagamento dos terraços varia de 33,3% a 54,7%, respectivamente, para Trs de 2 a 200 anos. Os terraços localizados à margem direita do canal principal estão, em sua maioria, total ou parcialmente encobertos pela mancha simulada para Tr 2 anos. Os setores de terraços onde estão localizados os bairros de C. Kemel e a montante do Jd. Romano são os menos atingidos por inundações de baixa magnitude-frequência.

Deduz-se que os desvios existentes entre os limites das manchas e das morfologias de planície e terraços fluviais sejam consequências, em primeiro lugar, das diferenças entre os limites mapeados na restituição e os dados topográficos do MDT; e, em segundo lugar, devido aos problemas relativos à derivação do perfil longitudinal do canal pelo HEC-GeoRAS, responsável por gerar, por um lado, trechos extremamente aplanados, definindo setores mais vulneráveis à inundação, e por outro, trechos de alta declividade com setores menos suscetíveis.

Em virtude destes mesmos aspectos, há uma ampla área entre os bairros de Whitaker Machado e Jd. Miliunas, localizada fora dos limites da planície de inundação fotointerpretada, caracterizada por estar incluída nas simulações de inundação com tempo de retorno de 2 anos, sugerindo que este seja um setor de alta vulnerabilidade. Pelo mapeamento morfológico original, no entanto, ele não se encontra em condição particularmente susceptível, por localizar-se em um setor mais elevado, já no sistema interfluvial.

Mesmo ressaltando as limitações significativas presentes na restituição morfológica baseada em fotografias aéreas, cuja origem pode residir na interpretação do restituidor, até imprecisões cartográficas devido às distorções inerentes de fotos ortogonais, este procedimento

possui acurácia e precisão espacial, que o torna vantajoso aos mapeamentos de superfícies em comparação ao uso exclusivo de cartas topográficas.

Para concluir, as morfologias originais representam marcas históricas na paisagem, indicando a evolução pretérita dos sistemas geomorfológicos, de forma que seu mapeamento, além das vantagens técnicas de acurácia e precisão, permite identificar limites relativos aos materiais superficiais e às tendências de processos, relacionados à gênese e evolução das formas onde estão inseridos. Deste modo, podem indicar diferentes níveis de atividades de processos hidrodinâmicos e auxiliar na identificação de limites espaciais das unidades sujeitas à dinâmica de extravasamento do canal, auxiliando no mapeamento da vulnerabilidade à inundação. Estes mapeamentos, ainda, se incluídos ou incrementados nos modelos digitais de terrenos, sobre os quais as modelagens hidráulicas se baseiam para extrapolar suas manchas de inundação, podem conferir a elas uma vinculação maior à realidade hidromorfológica de uma determinada bacia, produzindo resultados ainda mais refinados, espacial e temporalmente.

(b) Vulnerabilidade à inundação e simulações de inundação de 2011 (APÊNDICE J)

A tabela 64 apresenta as áreas de sobreposição entre os setores de vulnerabilidade à inundação classificados entre muito baixa, baixa, média, alta e muito alta, às manchas de inundação produzidas pelas simulações hidráulicas relativas aos picos de vazão de 2011.

Primeiramente, esperava-se que as parcelas dos diferentes graus de vulnerabilidade abrangidas pelas manchas de inundação de 2011 fossem acrescidas conforme o aumento do tempo de retorno. Esta expectativa foi comprovada pelos resultados das sobreposições entre as manchas simuladas e as unidades de vulnerabilidade.

Supunha-se, complementarmente, que houvesse uma gradação das áreas recobertas pelas simulações entre os níveis 'muito alta' a 'muito baixa' de vulnerabilidade, no sentido de que, quanto mais vulnerável, maior a parcela recoberta pelas manchas de inundação. Isto, contudo, não ocorreu em todos os casos.

Observando-se as médias de percentuais de áreas dos níveis de vulnerabilidade abrangidos pelas manchas de inundação simuladas, tem-se: 69% para muito baixa; 45,5% para baixa; 76% para média; 96% para alta; e 85% para muito alta. Assim, as áreas contempladas pelas manchas de inundação para vulnerabilidade alta ou muito alta foram superiores às áreas abrangidas para as classes média, baixa e muito baixa, constituindo um resultado coerente com o esperado inicialmente.

TABELA 64 – Áreas resultantes da sobreposição entre as inundações simuladas para 2011 e as morfologias originais restituídas.

		Vulnerabilidade	Muito baixa	Baixa	Média	Alta	Muito alta	Vertente	Mineração
Tr (anos)	2	km²	0.08	0.05	0.31	0.47	0.24	0.13	0.03
		%	59.4	42.9	70.3	95.2	82.9	1.66	91.7
	5	km²	0.08	0.05	0.33	0.48	0.25	0.13	0.03
		%	64.9	44.5	74.5	96.0	84.7	1.76	91.7
	10	km²	0.09	0.05	0.34	0.48	0.25	0.14	0.03
		%	67.7	45.1	76.2	96.3	85.4	1.81	91.7
	15	km²	0.09	0.05	0.34	0.48	0.25	0.14	0.03
		%	69.3	45.4	76.9	96.4	85.6	1.83	91.7
	20	km²	0.09	0.05	0.34	0.48	0.25	0.14	0.03
		%	70.3	45.6	77.4	96.5	85.7	1.84	91.7
	25	km²	0.09	0.05	0.35	0.48	0.25	0.14	0.03
		%	71.1	45.7	78	96.6	85.9	1.85	91.7
	50	km²	0.10	0.05	0.35	0.48	0.25	0.14	0.03
		%	73.3	46.2	79	96.8	86.2	1.90	91.7
	100	km²	0.10	0.05	0.35	0.48	0.25	0.15	0.03
		%	73.8	46.9	79.8	96.9	86.4	1.94	91.7
	200	km²	0.10	0.05	0.35	0.48	0.25	0.15	0.03
		%	74.3	46.9	80	97.0	86.6	1.95	91.7
Não compreendido		km²	7.41	0.0597	0.09	0.0143	0.04	0.0328	0.0025
		%	5673	52.832	19.7	2.8749	13.1	0.4364	8.31

Porém, ao se comparar entre si as classes baixa e muito baixa, e as classes alta e muito alta, nota-se uma inversão dos percentuais. No caso da primeira, as áreas abrangidas para o nível baixo foram constantemente menores que aqueles referentes à classe baixa, denotando uma susceptibilidade à inundação mais elevada da unidade classificada como de menor vulnerabilidade.

Para a segunda comparação, raciocínio análogo pode ser realizado. Obteve-se para a classe de muito alta vulnerabilidade a inundação um percentual médio de área inferior ao obtido à classe de alta vulnerabilidade, ao passo que, pressupunha-se que as áreas tidas como de muito alta vulnerabilidade à inundação fossem constantemente inundadas pelas simulações e estivesse com as maiores parcelas de sobreposição.

Conforme se constata nos mapas do apêndice J, as unidades de muito alta vulnerabilidade à inundação são em menor quantidade e representam uma área total muito menor que a classe de alta vulnerabilidade. De modo geral, as simulações de inundação contemplam-nas em quase 100% da área a jusante do bairro Whitaker Machado. A montante deste, todavia, as áreas de muito alta vulnerabilidade ocorrem em alguns setores de montante nas reentrâncias da planície em vales secundários e na vertente oposta ao bairro C. Kemel.

Os mapas que constam no apêndice J demonstram, ainda, que os limites obtidos para as inundações dos diferentes Trs foram particularmente aderentes aos limites das unidades de média e alta vulnerabilidade, caracterizadas, basicamente, por planícies de inundação mantidas conservadas ou com morfologias antropogênicas de menor impacto ou mais bem servidas por estruturas de microdrenagem.

As áreas de baixa vulnerabilidade à inundação foram as menos abrangidas pelas manchas de 2011. Sua ocupação varia de 42,92% a 46,9%, e ocorrem, prioritariamente, nos terraços da margem direita do canal principal. O terraço maior localizado nas proximidades do bairro C. Kemel é apenas parcialmente recoberto para todos os tempos de retorno simulados.

As áreas com muito baixa vulnerabilidade, contudo, são mais abrangidas pelas manchas de inundação. Sua ocupação ocorre entre 59% a 74% da classe, o maior intervalo de variação entre todas. Isto se deve à variação da abrangência das manchas de inundação no setor de terraço localizado no terço inferior do vale à margem esquerda do conduto.

A entrada de informações topográficas e de travessias ao longo do canal nos modelos computacionais se refere a simulações avançadas de manchas de inundação, a qual exige parâmetros e informações estruturais dos elementos ingressados que, raramente, estão disponíveis.

As comparações de áreas permitiram algumas observações de significativo valor quanto aos resultados das simulações e do mapeamento morfológico antropogênico e de vulnerabilidade às inundações, uma vez que possibilitaram estimar as correspondências em termos de sobreposição e de aderência de seus limites. Entretanto, o aspecto espacial bidimensional é apenas um dos resultados que se permite estabelecer comparação.

Como foi ressaltado nos itens da variação do NA no perfil longitudinal do canal principal e dos resultados das manchas de inundação simuladas, a variação de área é menos expressiva que a alteração de cota, uma vez que esta inclui também o volume acrescido a cada tempo de retorno e entre os cenários simulados. Contudo, a estimativa do volume estocado a cada situação simulada para 1962 e 2011 constitui uma atividade que mobiliza um grande volume de dados e deverá ser incluída em etapas posteriores em pesquisas futuras.

(c) Checagem de campo (Apêndice K)

As comparações acima se dedicaram a apresentar as aproximações e disparidades espaciais e de limite entre as morfologias originais e as manchas de inundação produzidas a partir do uso da terra de 1962; e as unidades de vulnerabilidade à inundação e as manchas de inundação produzidas a partir do uso da terra de 2011. Constataram-se, para ambas as comparações, alguns setores em que os limites dos mapeamentos e das manchas aproximaram-se significativamente, e outros em que a sobreposição evidenciou distanciamentos relevantes.

Algumas possíveis explicações para estas divergências foram apontadas nas análises das comparações do subitem anterior e serão exploradas nos subcapítulos que se seguem. No entanto, antes de avançar às discussões relativas aos potenciais de contribuição e integração de dados entre as metodologias, cabe destacar que, mesmo na comparação entre as morfologias originais e a mancha de inundação de Tr100 anos para o cenário de 2011, uma das condições mais crítica de escoamento superficial e inundação, persistiram divergências e deslocamentos significativos entre os limites obtidos por ambas as metodologias. Algumas destas diferenças foram menos relevantes, apresentando apenas alguns metros de distância um limite do outro; outras, no entanto, superaram os 100 metros de distância, o que corresponde, aproximadamente, à largura de duas quadras de tamanho médio dos bairros presentes na bacia.

Estas divergências, mesmo em tal comparação, suscitou a necessidade de averiguação em campo sobre a condição, atual ou pretérita, de inundação ou não destas áreas.

Para tanto, em gabinete foram definidos 17 pontos de referência para áreas onde as divergências entre limites foram superiores a 50 metros ou ao equivalente a uma quadra, sendo que 10 destes pontos se referiram a locais em que a mancha de inundação simulada de Tr 100 anos para 2011 extrapolou o limite mapeado para a planície de inundação fotointerpretada (S1 a S10); e 7 que se referiram a locais em que o limite da planície de inundação mapeado superou a mesma mancha de inundação simulada (M1 a M7). O apêndice K apresenta os pontos de checagem de campo e uma síntese das informações levantadas.

Tal checagem expedita se baseou em observações dos pontos previamente demarcados e realização de entrevistas com moradores ou comerciantes dos arredores da área definida. Este levantamento consistiu no preenchimento de um formulário básico de questões relevantes às ocorrências de inundação, conforme consta no apêndice L (CD-ROM). Os quadros 18 e 19,

abaixo, detalham os pontos checados em campo e as características gerais que estivessem relacionadas à ocorrência de inundação ou enxurradas.

QUADRO 18 - Localização dos pontos de checagem de campo relacionados ao mapeamento morfológico e observações Cartas topográficas 1:10.000 utilizadas.

Ponto	Coordenada		Inundação	Observações
	N	E		
M1	7402089	359264	Sim	Alagamentos conectados à inundação do córrego Três Pontes. Problemas de microdrenagem e macrodrenagem geram barramentos e extravasamento do canal. Nível d'água já chegou a 1m.
M2	7401653	359603	Não	Consiste em área mais elevada (terraço ou aterro) e plana que sofre com áreas empoçadas restritas.
M3	7401319	359815	Sim	Originalmente alagada, mas com as obras nos afluentes e microdrenagem, não alaga mais há 10 anos.
M4	7401190	360300	Sim	Originalmente alagava, mas com as obras da prefeitura associada às intervenções promovidas pelos moradores mais antigos, as inundações ficaram menos frequentes.
M5	7400570	360443	Descartado	A diferença havia sido notada anteriormente, mas em seguida percebeu-se que não supera um quarteirão, e por isso dificilmente a precisão de campo permitiria obter resultados significativos.
M6	7400053	360198	Sim	Originalmente alagava, mas com as obras nos afluentes e microdrenagem, há 9 ou 10 anos, observa-se potencialização das enxurradas.
M7	7398900	360592	Sim	Originalmente alagava, mas com as obras nos afluentes e o aterramento das antigas lagoas existentes há acumulação em superfície, com curto tempo de permanência. Os problemas relacionados a enxurradas são mais intensos. No local exato onde se encontrava a lagoa atualmente está um espesso aterro impermeabilizado. Porém nas áreas de terrenos baldios, há pontos de constante charco com afloramento de água, possivelmente agravada pela pressão exercida dos aterros do entorno.

QUADRO 19 - Localização dos pontos de checagem de campo relacionados às manchas de inundação resultantes da modelagem hidráulica e observações.

Ponto	Coordenada		Inundação	Observações
	N	E		
S1	7402329	359030	Não	Formação de poças restritas devido à ineficiência da microdrenagem.
S2	7402240	359267	Não	Formação de poças restritas relacionado a falhas na microdrenagem, bocas de lobo e sarjetas.
S3	7401855	359861	Sim	Originalmente sujeita à inundação, esta área foi alteada e sofreu sucessivas alterações de microdrenagem. Ressalta-se que antigamente existiam dois açudes que foram aterrados para construção de galpões e ocupação urbana. Um dos moradores, no entanto, descreveu um alagamento de grandes proporções (mais de um metro de NA sobre as margens plenas) que bloqueou a passagem nas ruas do entorno.
S4	7401205	359974	Sim	Mesmo com as sucessivas obras de microdrenagem continua alagando.

Ponto	Coordenada		Inundação	Observações
	N	E		
S5	7400464	360645	Não	Trata-se de uma área elevada de base de vertente com inclinação média. Não sofre inundações, mas as enxurradas geram perdas relevantes do asfalto.
S6	7400400	360382	Não	Trata-se de uma área alteada que não sofre alagamento. A rua imediatamente a jusante está sujeita à inundação
S7	7399867	360738	Não	Área de acesso restrito. A topografia indica uma rara possibilidade de estas áreas alagarem. Processos erosivos superficiais intensos que expõem o solo e retiram a vegetação, demonstram a formação de escoamento superficial concentrado.
S8	7399647	360661	Não	Área de acesso restrito. Indiretamente moradores apontaram que estas áreas não estão sujeitas ao alagamento. Apenas nos setores mais próximos dos canais, há inundação.
S9	7399135	360465	Sim	Originalmente alagava, mas após a retificação do afluente, há mais de 20 anos, a área sofre com formação de poças produzidas por condições de declividade e morfologias desfavoráveis ao escoamento. Nas ruas mais a norte, notou-se um nível rebaixado, atingido por alagamento.
S10	7398461	360463	Não	Nunca sofreu com graves alagamentos. Neste setor os problemas estão relacionados à formação de poças e enxurradas intensas, denunciadas por feições erosivas no asfalto.

Em relação aos pontos do quadro 18, em que áreas cartografadas pela morfologia original superaram a mancha de inundação produzida pelo modelo, com exceção do ponto M5 descartado, apenas o ponto 2 foi apontado como não sujeito a inundações.

Apesar disso, e mesmo tendo registrado em campo que todos os demais pontos apresentem vulnerabilidade à inundação, de acordo com a maioria dos entrevistados, para cada ponto as obras de micro e macrodrenagem incidentes nas proximidades de cada setor produziram condições de melhora no escoamento, sendo que, atualmente, apenas alguns estão ativos. A condição original de alagamento é, convergente, portanto, à cartografia morfológica que apontou para as áreas naturalmente vulneráveis, contudo, esta metodologia precisa incorporar informações mais detalhadas de fluxos hídricos e morfologias antropogênicas para definir mais precisamente as condições de alagamento ou não, sua frequência e magnitude.

Em relação aos pontos do quadro 19, a partir das respostas dos moradores e da morfologia observada, 7 dos 10 locais investigados em campo foram caracterizados como não sujeitos a alagamento.

Apesar da aparente inconsistência da mancha de inundação e, portanto, da modelagem hidráulica, notou-se que a principal característica determinante na espacialidade da mancha é a topografia dos terrenos para onde a mancha extravasaria, de modo que, uma vez utilizada informações de menor detalhe e acurácia espacial, sobretudo quanto à informação de Z, menos

precisa será o limite da inundação. Todas as informações contidas nas observações a respeito de cada ponto investigado em campo derivaram de leituras diretas da morfologia e de depoimentos dos entrevistados. Ressalta-se que as entrevistas foram realizadas exclusivamente com moradores ou comerciantes dos bairros, preferencialmente com conhecimento amplo da região e tempo de residência superior a 10 anos.

Apesar dos esforços em coletar informações verídicas e precisas a respeito de ocasiões extremas de inundação, o que a princípio se caracteriza como um dado hidrológico objetivo, a técnica de entrevista está sujeita a limitações referentes à memória dos entrevistados. Por essa razão, em muitas situações as referências espaciais (rua e altura da lâmina) e temporais (mês/ano e frequência-magnitude) da abrangência de inundações extremas são, frequentemente, apontadas de forma imprecisa e, raramente, reportam às ocasiões passadas há mais de 2 anos. A mesma observação pode ser realizada para as intervenções promovidas sobre o canal principal e seus afluentes, como obras de construção e desassoreamento.

Isto, contudo, não reduz a utilidade das entrevistas, que foram extremamente significativas para apontar com maior margem de certeza, a vulnerabilidade das áreas onde houve incompatibilidades acima de 50m entre o mapeamento morfológico e as manchas de inundação.

Por fim, ressalta-se que as observações e os levantamentos promovidos em campo, tal como realizado para esta etapa das comparações, possuem escala de detalhe, na qual uma série de informações primordiais à análise das vulnerabilidades à inundação e do potencial de geração de escoamento superficial concentrado, como as referentes à microtopografia de ruas e edificações, condições de galerias e dutos subterrâneos, entre outras, são omitidas ou suprimidas para escalas de menor detalhe, como foi o caso das análises realizadas para a escala da BHTP, nas quais foram consideradas informações mais generalizadas.

Deste modo, as análises derivadas dos dados de campo tendem a enfocar condições pontuais e particularizadas de setores do território da bacia hidrográfica, não respondendo, a princípio, pelas limitações apresentadas pelas abordagens aplicadas.

6.3. Parâmetros da modelagem hidráulica analisados a partir da Geomorfologia Antropogênica

A comparação de resultados da cartografia das morfologias originais e de vulnerabilidade à inundação aos resultados das simulações hidrológico-hidráulicas para 1962 e 2011, respectivamente, permitiu concluir que, para um determinado nível de precisão, ambas apontam

para áreas mais e menos susceptíveis, constituindo potenciais de análise de vulnerabilidade à inundação.

Porém, mais do que isto, a comparação também comprovou que há desvios significativos dos resultados apontados por ambas em termos de áreas inundadas, os quais são particularmente importantes quando se trata da aderência dos limites produzidos pelas cartografias baseadas na geomorfologia antropogênica e nas simulações.

Devido a estas inconsistências, debruçou-se especificamente sobre os parâmetros e procedimentos da modelagem hidráulica no HEC-RAS que podem ter levado a gerar tais divergências, voltando-se, em especial, aos aspectos que abrigam correspondências e potenciais de contribuições mútuas entre as metodologias empregadas.

Quatro foram os aspectos centrais analisados: (i) a seções transversais de vale produzidas no SIG, (ii) construção do perfil longitudinal do canal simulado, (iii) potencial de introdução de dados morfológicos e (iv) possibilidade de contribuição da modelagem hidráulica à geomorfologia antropogênica.

6.3.1. Seções transversais de vale no HEC-GeoRAS

As seções transversais são informações fundamentais na modelagem hidráulica, seja ela para fluxo permanente ou não permanente, pois fornecem as informações básicas dos aspectos hidrogeométricos utilizados no cálculo do escoamento.

Como um recurso para potencializar a modelagem hidráulica, utilizou-se a extensão HEC-GeoRAS do HEC-RAS neste estudo, visando a derivação de um maior número de seções transversais de vale ao longo do canal.

Para obtê-las, a extensão requereu a construção de um modelo digital de terreno do tipo TIN do qual se obtiveram as variações de altimetria dos cortes relativos a cada seção e as variações de altitude, distância e declividade entre as seções transversais. O TIN, portanto, constitui um dado primordial para a construção das seções transversais e perfil longitudinal pelos quais foram simulados os picos de vazão e manchas de inundação de cada cenário simulado.

Contudo, o TIN é um MDT marcado pela geração de facetas regulares e planas para simular um terreno. Conforme descrito nas discussões dos resultados de NA no perfil longitudinal, o TIN produz amplas superfícies planas e rupturas marcadas do terreno de acordo com a configuração das curvas de nível, simulando, limitadamente, nuances das formas dentro da planície de inundação ou em relação ao contato entre a planície e a vertente.

Estas informações influenciam, em primeiro plano, as áreas de escoamento do fluxo na planície e a definição de bacias de inundação, as quais são primordiais nas simulações dos fluxos de pico. Ao caracterizar, vales de diferentes aberturas, ou ainda, desníveis internos na planície, o MDT condiciona as áreas prioritárias para o fluxo superficial ou ao transbordamento do canal.

Entretanto, o TIN é, reconhecidamente, o modelo digital de elevação menos preciso do ponto de vista morfológico, de tal forma que, sua utilização no desenho das seções implica restrições significativas às topografias, requerendo cautela ao se traçar os cortes a partir dos quais serão produzidos os vales.

Como possibilidades a serem exploradas em uma etapa posterior da pesquisa estão (1) a derivação de um MDT a partir do algoritmo *topo to raster* com resolução espacial de detalhe, a partir do qual, pode-se produzir um TIN com maior vínculo às variações morfológicas do vale; e (2) a introdução de dados morfológicos relativos às formas originais, como os limites da planície de inundação e dos terraços, na base topográfica que sustenta os MDTs utilizados.

Ainda sobre esta possibilidade, acrescentam-se análises relativas à utilização das Unidades Complexas de planície como informações a serem aderidas aos modelos digitais de elevação para enriquecimento das variações topográficas da planície produzidas pelo alteamento de setores ocupados. Para isto, no entanto, acredita-se que haja certa dificuldade em determinar os valores de cota específica para os diferentes pavimentos ou usos mapeados, o que constitui uma dificuldade ao desenvolvimento deste aprimoramento.

A possibilidade de se introduzir dados morfológicos das formas originais no MDT de base constitui um resultado também a ser explorado na construção de um perfil longitudinal do canal principal, morfológicamente mais coerente à realidade, uma vez que, o TIN, baseado simplesmente nas curvas de nível e pontos cotados da carta topográfica da Emplasa, mostrou-se é insuficiente para determinar com o detalhe devido, as variações altimétricas do perfil longitudinal do canal.

Esta introdução de dados morfológicos constitui um procedimento pouco explorado em pesquisas atuais. Esforços concentrados estão sendo realizados para produção de um MDT com dados topográficos coerentes às morfologias presentes na bacia hidrográfica, no qual constem informações representativas de rupturas e mudanças nos padrões de formas de acordo com os resultados dos mapeamentos das morfologias originais.

6.3.2. Perfil longitudinal do canal modelado produzido no HEC-RAS

Conforme adiantado no subitem anterior, o perfil longitudinal constituiu também uma limitação de destaque nas simulações de fluxo permanente para vazões de pico, pois, a partir do TIN, o perfil longitudinal do canal modelado resultante apresentou uma sucessão de abruptas alterações de declividade que não corresponderam à realidade de variações altimétricas do canal.

A produção de trechos depressivos e amplas concavidades no perfil longitudinal, bem como de setores extremamente inclinados, fez com que variações extraordinárias de velocidade, energia, do número de Froude e da largura das manchas de inundação ocorressem ao longo do vale. Estes dois últimos aspectos não foram analisados no âmbito desta dissertação, porém seus resultados foram lidos para interpretação dos dados de *routing* da onda de cheia no conduto simulado.

Pressupõe-se que uma derivação mais adequada do perfil longitudinal do canal modelado pode minimizar os problemas produzidos pelo TIN ao longo do conduto, principalmente aqueles relativos às altas declividades. Apenas para ilustrar os níveis deste problema, foram diagnosticadas variações de declividade entre as seções na ordem de até 145 vezes, saindo de inclinações de, aproximadamente, 0,0003m/m, para 0,04m/m em pouco mais de 160 metros.

No presente estudo, a análise do perfil longitudinal por meio da abordagem geomorfológica antropogênica não foi realizada. Contudo, em seu âmbito, a geomorfologia antropogênica abrange o perfil longitudinal também como uma ferramenta de análise das mudanças promovidas pelo Homem sobre as formas e processos geomorfológicos.

A construção de pontes e barramentos, a realização de obras de retificação, canalização e tubulação, e os aspectos relativos à produção de sedimentos e erosão, ao realizar a supressão de trechos do canal original ou a alteração do nível de base, constituem aspectos que interferem substancialmente no comprimento do conduto e na distribuição das declividades ao longo do perfil. Por essa razão, caracterizam-se por elementos prioritariamente estudados pela geomorfologia antropogênica, conforme salientado no subitem anterior.

Considerando, portanto, o potencial de utilização do raciocínio geomorfológico e, especificamente, da geomorfologia antropogênica para refinar as informações que dão origem ao perfil longitudinal que é inserido nos modelos hidráulicos, deve-se destacar o papel potencial daquela metodologia na identificação de rupturas do nível de base e mudanças nos padrões de fluxo e de características do conduto, no momento da restituição das formas originais e também antropogênicas. Uma vez que permite levantar e caracterizar tais rupturas e mudanças, este

potencial deve ser anotado como um procedimento de controle das informações de base, que auxilia no reconhecimento real dos dados topográficos inseridos.

Ademais, paralelamente à introdução de dados morfológicos originais à base topográfica conforme suscitado no subitem anterior, há a possibilidade de introdução de informações altimétricas mais precisas do talvegue no MDT que será utilizado na modelagem hidrológica.

Existe uma série de metodologias disponíveis para se analisar e construir um perfil longitudinal. A utilização de equações de regressão, por exemplo, constitui uma técnica estatística que pode ser inserida em uma das metodologias de análise e elaboração de perfil de rio.

A partir de informações de altimetria das curvas de nível e comprimento dos trechos do canal da carta topográfica, pressupõe-se que o ajuste de uma equação polinomial no gráfico permita derivar um maior número de pontos com cotas e comprimentos do canal, os quais, inseridos no SIG definiriam mais, precisamente, o entalhamento produzido pelo talvegue do canal.

6.3.3. Potencial de introdução de dados morfológicos na construção das seções de vale e do perfil longitudinal

A imprecisão e a inexistência de informações de mudança e rupturas das formas fluviais presentes na base topográfica que deu origem aos MDT utilizados na derivação das seções transversais de vale, do perfil longitudinal do canal modelado, e das simulações de inundação das áreas adjacentes ao canal, foram as principais responsáveis pelos desníveis constatados nas sobreposições entre os mapeamentos morfológicos e de vulnerabilidade às inundações e os resultados das simulações hidráulicas.

Não se pode abster os mapeamentos morfológicos de equívocos quanto a classificação e precisão dos limites mapeados, considerando os fluxos de trabalho realizado e as transposições de informação entre overlay analógico e a finalização do mapa no *layout*.

Contudo, estes mapeamentos morfológicos da geomorfologia antropogênica, apresentam riquezas de informações morfológicas de rupturas e mudanças de padrões que não estão presentes nas cartas topográficas e que definem geomorfologicamente a predominância de processos hidrodinâmicos e materiais superficiais. Assim, além da própria credibilidade que possuem, considerando exclusivamente este potencial de refinamento da base topográfica, a utilização destes mapeamentos é indicada como um dos principais potenciais de combinação entre as metodologias.

Além disso, as limitações apresentadas pela utilização de MDTs, principalmente de TIN, obtidos diretamente da base topográfica na construção de todas as informações de base da modelagem hidráulica são suficientes para demonstrar rigorosamente que, antes de utilizar desta natureza de informação ou de procedimento baseados em MDT, é necessário realizar tratamentos da base topográfica no sentido de oferecê-la maior precisão e acurácia, minimizando, assim, erros grosseiros.

Acredita-se que, promovendo-se estas alterações, os resultados das duas metodologias apresentariam maior aderência e confiabilidade. Sobre este aspecto, pressupõe-se que as variações dos limites das inundações e dos volumes de água produzidos para determinados picos de vazão após a introdução de dados morfológicos nos modelos hidráulicos, permitiriam comparações mais precisas e correspondências mais adequadas que os resultados atuais.

Esta consideração é fundamental, inclusive, para se considerar o potencial de incremento dos resultados da modelagem hidráulica como parâmetros ou referenciais temporais e espaciais no raciocínio geomorfológico antropogênico.

6.4. Potencial de contribuição da modelagem hidráulica à geomorfologia antropogênica

O último aspecto enfocado nesta etapa de avaliação analítica das correspondências e potenciais de colaborações entre as metodologias, optou-se por mencionar a contribuição ainda sub-explorada dos resultados das simulações hidráulicas na abordagem geomorfológica.

A partir do mencionado na introdução deste estudo e, em alguns momentos ao longo da redação, a geomorfologia antropogênica tem na indicação espacial UC seu principal potencial aplicado à investigação das modificações promovidas pelo Homem sobre a geomorfologia original e, no caso específico deste estudo, à análise de vulnerabilidade à inundação.

A cartografia de UCs de planície e de vertente, e os resultados relativos aos mapas de vulnerabilidade à inundação e geração de escoamento superficial concentrado foram alguns dos produtos que demonstraram potencial para subsidiar análises de susceptibilidades e como ferramentas de gestão e ordenamento territorial.

No caso da vulnerabilidade à inundação, porém, em muitos casos, para as decisões no âmbito da avaliação de risco e na administração territorial, os mapeamentos devem indicar, além das classes de vulnerabilidade às inundações e seus limites espaciais, intervalos temporais aderidos a estes limites espaciais que indiquem, ao menos, tempos de recorrência de eventos de inundação naqueles setores.

Este tipo de informação pode ser incluído em um mapeamento geomorfológico, por exemplo, ao tratar de uma morfodinâmica ativa em que o objetivo é identificar, na carta, a frequência de inundação de setores distintos da planície. Porém, estas indicações, normalmente, constituem aproximações teóricas ou tendências temporais gerais, que devem ser enriquecidas por monitoramento de campo.

A modelagem de sistemas ambientais em geomorfologia tem sido divulgada e discutida há, pelos menos, meia década, tendo sido aprofundadas estas reflexões nas décadas de 70, 80 e 90. Particularmente, no âmbito dos sistemas de vertente, com as simulações de escorregamento, mas também quanto às estimativas de perda de material, erosão e fragilidade do meio, os modelos se popularizaram na geomorfologia, onde se desdobrou em subcampos de estudo.

A utilização de modelos hidrológico-hidráulicos, porém, não seguiu o mesmo ritmo que os demais dentro da geomorfologia, afastando-se desta área, e mesmo da geomorfologia fluvial, passando a ser da alçada, quase exclusivamente, de engenheiros hidráulicos, os quais, em muitos aspectos, desconsideraram as contribuições potenciais que a geomorfologia fluvial poderia oferecer ao refinamento das simulações.

Por essa razão, não somente este estudo se justifica, quanto se faz fundamental analisar, do ponto de vista da geomorfologia antropogênica, os potenciais de contribuição que as modelagens hidráulicas podem conter.

No caso específico do mapeamento de vulnerabilidades a inundação, ressalta-se, por exemplo, as indicações de áreas sujeitas a tormentas de diferentes tempos de retorno e do volume acumulado na planície sob cada um destes eventos críticos.

O que se espera, por exemplo, após a introdução de dados morfológicos nos MDTs que estrutura a modelagem hidráulica, é que seja possível indicar, para uma determinada bacia estudada, os níveis d'água atingidos por cada uma das inundações produzidas pelas tormentas de diferentes tempos de retorno, os volumes d'água respectivos produzidos por estas inundações na planície, a correspondência destes níveis a morfologias fluviais específicas, e a correspondência em relação à frequência de inundação destes setores, permitindo definir relações de magnitude-frequência de chuvas a setores inundados.

A integração dos resultados das metodologias aplicadas e a utilização de informações oferecidas pela modelagem hidráulica nos mapeamentos morfológicos baseados na geomorfologia antropogênica tem como objetivo final, refinar o raciocínio geomorfológico

antropogênico e potencializar os mapeamentos propostos em termos de indicação e prognóstico temporais.

Além disto, três tópicos podem ser apontados para sintetizar possibilidades de contribuições futuras da Hidrologia, principalmente por meio dos modelos hidrológicos e hidráulicos, à Geomorfologia e seus subcampos: (i) a utilização mais difundida de parâmetros hidrológicos determinísticos para caracterização, investigação e quantificação de tendências hidromorfológicas superficiais das morfologias originais e antropogênicas, ressaltando, sobretudo, os aspectos relativos a processos hidrológicos; (ii) desdobrar e aprofundar a utilização do raciocínio estatístico e a aplicação de técnicas de probabilidade no aperfeiçoamento da precisão e acurácia temporais de fenômenos hidromorfológicos relativos às morfologias originais e antropogênicas; e (iii) buscar realizar usos de parâmetros da geometria hidráulica para reconstituição de paleofluxos, contribuindo para investigações relacionadas à histórica geomorfológica e ambiental de ambientes e favorecendo cartografias retrospectivas.

A presente pesquisa não esteve focada na análise destes três aspectos salientados, em razão da densidade que cada um deles representa em termos de discussão teórico-metodológica e conceitual, contudo, espera-se que, a partir de seus apontamentos e sistematização possam ser desenvolvidos estudos futuros voltados a essas interfaces.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao se anunciar os objetivos desta pesquisa, denominou-se como um pressuposto fundamental o potencial de complementação metodológica entre a geomorfologia antropogênica e a modelagem hidrológico-hidráulica, a primeira oriunda da geomorfologia e a segunda advinda da engenharia hidráulica.

No âmbito de um estudo interdisciplinar, afirmar que se pressupõe a existência de uma complementariedade entre campos poderia ser considerado uma redundância. Entretanto, ao se considerar o afastamento existente entre os objetos de estudo e as preocupações centrais das ciências geomorfológica e hidráulica, e, sobretudo, o distanciamento metodológico e de técnicas concernentes a cada uma, o pressuposto de complementariedade se caracteriza, propriamente, como um esforço de aproximar ambos os campos a partir da aplicação de métodos e técnicas específicas de cada um sobre um mesmo objeto e com um mesmo objetivo.

Este pressuposto permeou todas as partes do trabalho, desde o objetivo até as aplicações e análises de discussões, sobretudo, ao se assumir a possibilidade de introdução de dados morfológicos em modelos hidrológicos e hidráulicos, ou ainda, de se utilizar os mapeamentos de manchas de inundação nas análises das geomorfológicas antropogênicas para vulnerabilidade ao alagamento. Ainda assim, ocorreram dificuldades que são esperadas de trabalhos de natureza interdisciplinar.

Ao se aplicar duas metodologias oriundas uma da geomorfologia e outra da hidrologia, tal como foi realizado, é exigido do pesquisador a realização de resgate teórico-conceitual e metodológico de ambos os campos, por meio do qual se define os aspectos centrais que interferem na compreensão de cada uma das metodologias. Complementarmente, tal resgate tem o papel de instrumentalizar o leitor com cada uma das ferramentas conceituais e técnicas empregadas dos dois campos, denotando um longo tempo de estudo e a elaboração de uma extensa redação.

Apesar disto, esta pesquisa obteve êxito ao objetivar a realização e disponibilização de uma revisão bibliográfica e de um texto-síntese dos referenciais teórico-conceituais e metodológicos de cada campo, contando com um texto de introdutório para condução de estudos relativos à vulnerabilidade à inundação.

Um desdobramento deste primeiro objetivo atingido foi o estabelecimento de uma aproximação de metodologias aplicadas a uma mesma bacia, conforme mencionado anteriormente. Logo, este estudo foi exitoso em iniciar tal esforço, mesmo que, quanto aos resultados objetivamente, constatou-se que há necessidade de se aprofundar na comparação

de resultados, na utilização de técnicas estatísticas, detalhar as informações com levantamentos de campo e ousar na integração de metodologias.

Sucintamente, pode-se concluir que o estudo cumpriu com os propósitos projetados de aplicar a abordagem da Geomorfologia Antropogênica, por meio da cartografia morfológica evolutiva e seus parâmetros, e modelar hidrológicamente (por chuva-vazão) e hidraulicamente, a BHTP, considerando a ocupação dos anos de 1962 e de 2011.

Quanto à abordagem geomorfológica antropogênica utilizando a cartografia morfológica evolutiva, o capítulo dedicado a sua aplicação na BHTP demonstrou que o estudo obedeceu aos princípios básicos desta metodologia, buscando avançar no detalhamento e caracterização dos parâmetros hidromorfológicos das unidades complexas para análise da vulnerabilidade à inundação. Os resultados derivados dos indicadores morfológicos e de materiais superficiais decorridos da cartografia morfológica evolutiva urbana permitiram avaliar satisfatoriamente os impactos da ocupação urbana na deflagração de processos relacionados às inundações, em termos qualitativos e quantitativos.

Muitos estudos corroboram que a aplicação da geomorfologia antropogênica auxilia, por diferentes perspectivas, na avaliação do comprometimento das funcionalidades hidromorfológicas, particularmente quando se trata de modalidades urbanas de alteração. Dentre tais pesquisas, ressaltam-se os trabalhos publicados por Rodrigues (2004, 2005), Silva (2005), Estaiano (2007), Luz (2010), Moroz (2010) e Claro (2013).

Quanto à potencialidade de aplicação desta metodologia na análise das variações de magnitude e frequência de inundações em bacia urbana, o trabalho de Berges (2013) foi o mais recentemente publicado. Estudando o córrego da Mooca, esta pesquisadora demonstrou, por meio da abordagem geomorfológica antropogênica associada aos dados de intervenções hidráulicas obtidos de jornais locais, que os dados derivados da cartografia geomorfológica retrospectiva forneceram parâmetros fundamentais para constituir cenários de acúmulo de transgressões nos sistemas hidromorfológicos e tendências de variação da frequência e magnitude das inundações.

Em suas considerações finais, Berges (2013) apontou para a existência de um estado latente da pesquisa geomorfológica em relação à modelagem hidrológica e hidráulica. Segundo esta autora, tais modelagens seriam potencializadas ao incluir análise das unidades complexas do modelado, derivadas das morfologias originais e antropogênicas. Este apontamento pode ser considerado ainda como uma pré-acepção do problema e da lacuna objetivados no

presente estudo, o que sugere a pertinência e a emergência de tais questões na pesquisa em geomorfologia.

Quanto à aplicação da abordagem geomorfológica antropogênica nesta pesquisa, as combinações de morfologias originais com morfologias antropogênicas geraram uma numerosa quantidade de unidades complexas, que decorreu na necessidade de se analisar separadamente as UC relativas à ocupação em planícies e nas vertentes. Esta estratégia metodológica foi fundamental para tornar mais claro os objetos de investigação geomorfológica; viabilizar a leitura e análise de resultados e, em última análise, permitir o mapeamento da vulnerabilidade à inundação.

Objetivamente, o mapeamento das unidades complexas apontou para um alto grau de alteração das unidades de fundos de vale em função da urbanização, com destaque aos terraços e *backswamp*, suprimidos na ordem de 90% e, secundariamente, às planícies comprometidas na ordem de 70%. No caso da *backswamp*, a modalidade de maior impacto antropogênico na derivação de UC foi o estágio intermediário de urbanização, convergindo para uma unidade complexa de elevada vulnerabilidade à inundação, em função da inexistência deduzida de infraestruturas de saneamento e drenagem urbana. Esta informação é particularmente importante em função da coincidência deste arranjo de UC com a localização dos bairros mais atingidos por inundações nas últimas décadas, como o Jd. Romano e Jd. Pantanal.

Quanto à aplicação da cartografia morfológica evolutiva nos sistemas interfluviais, a utilização do conceito de feições mínimas (COLÂNGELO, 1990), apoiado no mapeamento das curvaturas do relevo e das unidades elementares de Savigear (1965), pode ser considerado um esforço pareado com as produções atuais em geomorfologia antropogênica. Nesta aplicação, notou-se um potencial técnico promissor para análise de processos hidromorfológicos relacionados a enxurradas urbanas, aos riscos de movimentos coletivos de solo, susceptibilidade de processos superficiais e potenciais de comprometimento de áreas fontes de água.

No que tange à classificação da vulnerabilidade à inundação, as UC de Sistemas Interfluviais pode ser considerada como um suporte fundamental à análise de posição das unidades mais ou menos suscetíveis ao alagamento. Um exemplo desta funcionalidade das classes identificadas nos sistemas interfluviais é a localização de morfologias de fundo de vale a jusante de vertentes com tendência hiperconcentradora ou hipoconcentrador.

Conforme se pressupôs, o conjunto de mapas que abrangeu desde os mapeamentos do uso da terra, morfologias originais e antropogênicas, classificação de unidades complexas e de vulnerabilidade à inundação, revelou que, ancorada na geomorfologia antropogênica, a cartografia morfológica evolutiva é um potencial de associação entre o processo de ocupação de uma dada área, as mudanças morfológicas empreendidas e os processos hidromorfológicos decorrentes, constituindo um eficiente instrumento técnico voltado ao planejamento, reordenamento e zoneamento territorial e ambiental.

Por outro lado, para as modelagens hidrológicas e hidráulica baseadas em eventos artificiais (produzidos com equação IDF), o capítulo destinado a estas aplicações evidenciou que o estudo seguiu as orientações oferecidas pelas referências bibliográficas consultadas (DAEE, 1990; CANHOLI, 2005; TUCCI, 2005; SÃO PAULO, 1998) que constituem roteiros de aplicação metodológica. Estas aplicações derivaram valores de pico de vazão e manchas de inundação que foram comparadas aos mapeamentos produzidos pela geomorfologia antropogênica.

Quanto à modelagem hidrológica, foram aplicados dois métodos chuva-vazão na bacia do córrego Três Pontes para determinação dos picos de vazão e de hidrogramas: Ven Te Chow-SCS e HU-SCS, os quais podem ser considerados derivações do Método Racional. Recorda-se que o primeiro foi aplicado e desenvolvido através da construção de planilhas eletrônicas, enquanto o segundo foi inteiramente empregado a partir do ABC6.

Com uma interface amistosa, indutiva e de fácil apropriação, este software mostrou-se extremamente útil, ágil e eficiente na análise hidrológica de bacias complexas em todas as fases da simulação, desde a entrada dos valores de parâmetros e coeficientes, a produção de hidrogramas de projeto baseado em equações IDF, até a saída gráfica de hidrograma de projetos.

O fato de ambas as modelagens hidrológicas utilizarem o parâmetro CN para o tratamento da produção de escoamento excedente favoreceu a comparação entre suas respostas, permitindo, conseqüentemente, uma investigação mais apurada das componentes hidrológicas e uma avaliação das mudanças sofridas por estas em função das modificações na cobertura superficial e sobre o canal principal.

Dentre as principais mudanças notadas nas respostas dos modelos em função das alterações de superfície (área e canal) nos dois cenários (1962 e 2011) citam-se: as taxas de infiltração, a diminuição do tempo de concentração, o aumento do volume de *runoff* e da vazão de pico, bem como o tempo de pico.

Estas mudanças foram notadas em ambos os modelos chuva-vazão, devido à modificação nos valores dos parâmetros do sistema hidrológico simulado decorrente, basicamente, da mudança no uso da terra e de aspectos morfométricos ligados ao canal principal. Em suma, estes parâmetros contemplam: (i) a variabilidade dos tipos de uso da terra e a participação de cada um deles na área total da bacia, aspecto sintetizado no cálculo do CN médio ponderado; (ii) a variabilidade dos tipos hidrológicos do solo e a condição de umidade antecedente; (iii) declividade média do rio principal; e (iv) estimativa do tempo de concentração dependente do fator de redução de pico, no caso do modelo Ven Te Chow-SCS, e das características de comprimento e desnível, no caso do modelagem pelo Hidrograma Unitário baseado no SCS.

Os fatores de superfície, concentrados no parâmetro CN do SCS, abrange ainda o abatimento da onda de cheia e, portanto, do pico de vazão; as perdas iniciais por infiltração e evapotranspiração (20% da chuva total); e as variações espaciais da capacidade de produção de escoamento superficial.

Alguns aspectos considerados de limitação do método chuva-vazão Ven Te Chow-SCS referem-se (i) à desconsideração de possíveis variações superficiais ou climáticas na perda inicial da chuva, fixadas no valor de 20% do total precipitado, o que consiste em uma abstração artificial e, em muitos casos, irreal; (ii) à praticamente desprezar o escoamento basal no pico de vazão e (iii) à ignorar a variabilidade temporal da tormenta de projeto ao levar em conta a intensidade média como determinante para a produção de um pico de vazão, o que difere do método HU-SCS (ou qualquer outro baseado em Hidrograma Unitário), o qual incorpora, artificialmente, uma variabilidade temporal vinculada à análise das intensidades resultantes de equação IDF.

Como conclusões objetivas, a utilização de duas metodologias de cálculo chuva-vazão com base nas modificações ocorridas entre os dois cenários de ocupação da bacia hidrográfica do córrego Três Pontes permitiu estimar o aumento da vazão de pico, oferecendo, assim, um parâmetro de análise do nível de alteração sofrido pelos processos hidrológicos superficiais e do comprometimento das funções hidromorfológicas originais, estimadas no cenário de 1962.

Na análise multitemporal ambos os modelos apontaram para aumentos da vazão de pico entre 1962 e 2011. As razões de aumento foram distintas entre os tempos de duração e os tempos de retorno arbitrados, todavia, notou-se que as mudanças mais críticas corresponderam às vazões produzidas por eventos com t_d e T_r menores, ou seja, estiveram relacionados às chuvas mais comuns.

Os resultados de vazão extrema gerados por ambos os modelos hidrológicos, mostraram-se úteis como informações de base de indicadores hidromorfológicos de mudanças de tempo curto. O aumento de 6 a 7 vezes da vazão máxima devido à urbanização, além de estar em consonância com os resultados obtidos por demais autores que se debruçaram sobre este parâmetro, marca o nível de transformação imposto pela urbanização sobre os processos hidrológicos na bacia do córrego Três Pontes.

A comparação dos picos de vazão resultantes das modelagens hidrológicas de cada cenário evidenciou que o método HU-SCS tende a apresentar valores máximos de vazão maiores que o método Ven Te Chow-SCS adaptado por Wilken (1971). Contudo, notou-se uma ausência de estudos comparativos envolvendo estas metodologias a dados empíricos e a outros modelos hidrológicos em publicações atuais que pudessem endossar ou não estes resultados, particularmente no Brasil. Assim, é recomendável insistir na necessidade de se comparar resultados de modelações chuva-vazão derivados de equações empíricas às informações obtidas, principalmente, em córregos e rios que estejam em locais cujos contextos morfoclimáticos sejam distintos daqueles para os quais as fórmulas foram obtidas e calibradas inicialmente.

A despeito desta sugestão, em função da maior criticidade oferecida pelos resultados da aplicação de HU-SCS para a bacia hidrográfica, e também devido à facilidade de utilização e manipulação de dados no ABC6, optou-se por utilizar as informações de vazões de pico derivadas deste modelo computacional para simulação hidráulica no HEC-RAS.

A simulação hidráulica foi realizada inteiramente neste software, tendo sido utilizada a extensão HEC-GeoRAS para derivação dos dados da seção transversal de vale. Baseado na cadeia de equações de *Saint Venant*, a modelagem hidrodinâmica requer, minimamente, dados hidrogeométricos das seções e dos trechos simulados, e informações de vazão para o traslado da onda de cheia.

Com os dados de seções transversais obtidos dos projetos de retificação do trecho do córrego Três Pontes nas proximidades do Jd. Romano e Jd. Fiorelo, extrapolou-se tais informações para todo trecho do conduto principal simulado e localizado no setor de planície da bacia, utilizando-se, para tal, do parâmetro de largura do canal identificado na imagem de satélite.

Este procedimento recorreu aos dados disponíveis remotamente e foi um recurso metodológico e técnico que buscou cobrir a carência de informações hidrogeométricas necessárias à modelagem. Por estar descolado da realidade, este artifício produziu distorções

na profundidade de cada seção, na declividade entre uma seção de montante e outra de jusante, e na capacidade de débito em si de cada seção, o que, possivelmente, implicou limitações significativas sobre os resultados da passagem da onda de cheia e, portanto, do NA atingido em cada seção transversal considerada. Porém, tendo em vista a inexistência de informações fluviométrica e de seção dos rios e córregos de menor ordem na GSP, estimar as seções transversais na largura entre as margens plenas do canal e acoplá-las às seções de vale obtidas pelo HEC-GeoRAS no ArcGIS, foi um procedimento necessário para viabilidade da análise de área e volume do indicador inundação.

Outro aspecto que se faz necessário ponderar nestas considerações finais, refere-se ao detalhamento do pico de vazão em sub-bacias hidrográficas. Este procedimento foi definido com intuito de produzir, para subconjuntos de seções transversais, perfis de NAs máximos correspondentes às vazões extremas representativas de cada sub-bacia de contribuição. Isto viabilizou a aplicação de regime de escoamento permanente ao invés de um regime de escoamento não permanente, porém acabou acarretando na desconsideração dos efeitos de amortecimento da onda de cheia. Aos objetivos desta pesquisa, não houve comprometimento algum ao optar por esta maneira de gerar os valores de NAs máximos e as inundações respectivas.

Em relação aos resultados de manchas de inundação, constatou-se que a mudança na cobertura superficial promovida pela urbanização, implicou um aumento crítico do pico de vazão e, conseqüentemente, da área inundada. Em termos absolutos, este aumento foi inferior a algumas centenas de metros quadrados, não recebendo, a princípio, destaque. Contudo, ao se analisar comparativamente as inundações em 2011 em relação às de 1962, nota-se uma reconfiguração da relação magnitude-frequência dos eventos fluviométricos extremos.

Um exemplo que exprime tal modificação é a similaridade de áreas alagadas (em km²) entre um evento extremo de Tr 100 anos em 1962 e um evento extremo de Tr 10 anos em 2011. Isto corresponde a afirmar que uma mesma precipitação cujo tempo de recorrência é de 100 anos, originalmente corresponderia a um risco anual de 1/100 de produzir uma dada inundação, a qual, em 2011, passou a ter a probabilidade de 1/10 de ocorrer. Avaliações semelhantes foram realizadas para o volume inundado sob cada evento extremo simulado.

Quanto ao esforço de aproximação e complementação metodológicas entre a geomorfologia antropogênica e a modelagem hidrológica e hidráulica, pode-se afirmar que o propósito concebido inicialmente nos objetivos foi parcialmente atingido.

Foi possível, ainda, avaliar os parâmetros hidrológicos utilizados nas modelagens chuva-vazão à luz da geomorfologia antropogênica e na comparação de áreas inundadas com os mapeamentos conduzidos pela mesma abordagem. A análise individual dos parâmetros hidrológicos dos modelos Ven Te Chow-SCS e HU-SCS possibilitaram uma discussão aprofundada onde os aspectos de superfície relacionados a parâmetros morfométricos de análise bacias hidrográficas poderiam contribuir significativamente. Esta análise centrou-se, especialmente, nas variáveis X e Z da modelagem Ven Te Chow-SCS.

Sobre comparação entre a mancha de inundação modelada para 1962 e as morfologias originais, e a mancha modelada para 2011 e a vulnerabilidade à inundação, obteve-se resultados relevantes das compatibilidades entre os limites derivados de cada metodologia, a partir dos quais se analisaram as correspondências e as divergências, estas últimas com base em informações coletadas em campo.

Especificamente em relação ao trabalho de campo, reflexões extraídas dos dados obtidos por observação e pelas entrevistas devem ser realizadas e salientadas no contexto das discussões dos resultados obtidos.

O trabalho de campo voltado às análises hidrológicas e hidromorfológicas em áreas urbanas é fundamental e insubstituível para qualquer estudo voltado à formação de enxurradas, vulnerabilidade à inundação e a demais aspectos relativos à circulação hídrica, incluindo aplicação técnica deste conhecimento na gestão territorial. Mas a despeito desta importância mais geral, a realização do campo ressaltou a possibilidade da leitura da paisagem em escala 1:1, essencial à apreensão, ainda que parcial, da complexidade dos aspectos geomorfológicos e hidráulicos que constituem o sistema hidrográfico estudado e, mais especificamente, os sistemas de fundos de vale.

O trabalho de campo permitiu observar e caracterizar quais os elementos da paisagem urbana que estão mais relacionados às limitações dos resultados das metodologias aplicadas à análise de vulnerabilidade à inundação. Neste sentido, destacaram-se dois aspectos elementares que, até o momento, não foram explorados em todo seu potencial na análise geomorfológica antropogênica envolvendo a cartografia morfológica evolutiva, e na modelagem hidráulica de condutos urbanos.

O primeiro deles refere-se aos aspectos morfológicos da superfície de áreas urbanas. Seja por meio da interpretação morfológica de fotografias aéreas ou pela utilização de levantamentos topográficos oficiais, como o da Emplasa, não se consegue apreender e incorporar informações morfológicas suficientemente detalhadas para caracterizar e mapear

com precisão as tendências hidrológicas de superfície. Na escala de 1:20.000 ambos os resultados apontaram para vulnerabilidades à inundação semelhantes, mas, antes de tudo, estes resultados devem ser entendidos como complementares. Em escalas de maior detalhe, contudo, tanto um quanto o outro, para produzirem cenários de inundação mais reais e sugerir ações mais precisas necessitam buscar informações topográficas de maior detalhe que não são satisfeitas apenas com a complementação de um pelo outro. No caso da cartografia morfológica evolutiva, é possível, por exemplo, incorporar a análise de redes arruamentos e declividades. Na modelagem hidráulica, o mesmo fator pode ser incrementado e modelado.

Ainda em relação aos aspectos de superfície, as morfologias antropogênicas urbanas, particularmente nos fundos de vale, caracterizam-se por taxas de impermeabilização e, sobretudo, pela construção de aterros de médio a grande porte. Tais modificações implicam alterações nas direções e nas intensidades dos processos hidromorfológicos superficiais, reduzindo, em geral, as funcionalidades de estocagem e atenuação de cheias das planícies originais, gerando, conseqüentemente, situações de inundação mais críticas e pressionando, em muitos casos, os remanescentes morfológicos de planície e os setores com baixos aterros nestas unidades.

Neste contexto de profundas alterações morfológicas promovidas pelo urbano, os fluxos superficiais, intermitentes e perenes, bem como aqueles relativos aos esgotos, são extremamente modificados, tanto indiretamente, devido às construções de aterros e redes de ruas, quanto diretamente, com a construção de redes subterrâneas de esgotos e águas pluviais. Disto decorre o segundo aspecto notado em campo como primordial nas análises dos problemas de drenagem e inundação de bacias urbanas que não é satisfatoriamente abrangido pelas metodologias aplicadas.

A criação de fluxos subterrâneos cria, imediatamente, uma limitação à análise de superfície por meio de aerofotos e imagens de satélite, que abrangem (interpretam) apenas os fluxos superficiais que chegam aos fundos de vale. Ou seja, há uma espécie de descompasso entre as morfologias superficiais e os fluxos totais que decorrem em inundações ou problemas de drenagem urbana. A identificação de morfologias superficiais indica algumas tendências de direção dos fluxos, mas não abrangem as dinâmicas subterrâneas e os volumes que circulam internamente.

Nas modelagens hidrodinâmicas as redes de galeria podem ser abrangidas em alguns modelos mais robustos, ainda que, em muitos casos, as simulações de traslado das cheias pelas ruas e sarjetas configurariam sistemas extremamente complexos e, muitas vezes,

simulações desnecessárias à resolução dos problemas objetivos da drenagem urbana. Ainda assim, mesmo podendo ser incluídas tais informações nos modelos hidrológicos computacionais, existe um aspecto em relação às galerias e dutos subterrâneos de drenagem pluvial que dificulta em muito a incorporação de tal nível de informação às modelagens de cheia, e diz respeito à descontinuidade das intervenções (que são promovidas tanto por órgãos públicos quanto pelos próprios residentes), ao não inventário destas modificações e, conseqüentemente, ao desconhecimento do subterrâneo urbano.

Um exemplo que marcou indubitavelmente este aspecto foi a constatação de um problema constante de inundação em ruas e quarteirões localizados nas proximidades do ponto M3, na margem direita do canal. Neste local, a montante dos limites apontados pela cartografia morfológica e da mancha de inundação, existe uma desarticulação e uma incompatibilização entre condutos subterrâneos, sendo que, no setor de montante, onde a Sabesp realizou obras de drenagem, o calibre do duto permite uma vazão superior ao calibre da galeria de jusante, construída anteriormente por proprietários de terrenos onde estão galpões industriais. A descontinuidade produzida pelas intervenções gera situações de incapacidade do sistema e vulnerabilidade à inundação as quais não existiriam em condições naturais ou semi-preservedas, e disparam novas condições de drenagem urbana, que não são facilmente apreendidas pelas metodologias aplicadas.

Esta situação exemplificou e pôs amostra a necessidade de dados e de conhecimento do subterrâneo urbano, particularmente, dos sistemas de drenagem pluvial, que possam ser incorporados às metodologias de modo a tornar seus resultados ainda mais precisos e detalhados, inclusive para fornecer dados a intervenções especiais nos sistemas de drenagem.

Tendo em vista todo este apontamento das observações de campo e as demais análises realizadas até o momento, as incertezas espaciais existentes na classificação das vulnerabilidades às inundações a partir dos mapeamentos praticados pela geomorfologia antropogênica restringem-se (i) às dificuldades em se determinar com exatidão os limites das morfologias originais, sobretudo devido às sucessivas transposições de informação entre o ambiente analógico e o digital; (ii) à necessidade de se considerar mais detalhadamente e precisamente o papel operado pelas obras e intervenções de micro e macrodrenagem, tais como as canalizações, as travessias, as retificações sobre a dinâmica hidromorfológica; (iii) à conveniência adicional de se caracterizar com precisão como os padrões construtivos urbanos e de arruamento, para cada contexto morfológico específico, seja na planície ou no sistema interfluvial, decorre em novas condições de infiltração, perdas hídricas, escoamento superficial

(celeridade e volume) e acumulação de água; e (iv) ao fato de que são considerados secundariamente os aspectos de circulação hídrica subterrânea.

Em contrapartida, as incertezas relativas aos limites das manchas de inundação produzidas a partir da modelagem hidráulica aos dados de entrada de geometria do canal e das seções transversais, os quais requerem um detalhamento maior incluindo levantamento batimétrico, e a correta escolha dos valores de coeficientes e parâmetros envolvidos na propagação do fluxo no canal, dentre os quais, a rugosidade de Manning é o principal.

Apesar de terem sido satisfeitos alguns dos objetivos centrais propostos no início deste estudo, o potencial de complementariedade metodológica suscitado como um desses mostrou-se viável apenas em longo prazo, basicamente por dois motivos:

- (i) um, pois requereu conhecimento mais profundo de modelagem hidrodinâmica e das variáveis de simulação de manchas de inundação, cujas complexidades teórica, dos fundamentos físicos e das soluções de cálculo, extrapolaram o aprendizado obtido ao longo do mestrado, que esteve ancorado no entendimento dos programas computacionais específicos (HEC-RAS e PCSWMM); e
- (ii) outro, por que seria necessário um estudo geomorfológico mais amplo acompanhado de um detalhamento morfológico e topográfico mais preciso das formas envolvidas na modelagem de manchas de inundação, seus limites e características altimétricas, inclusive abrangendo algumas não mapeadas nesta pesquisa, tais como diques marginais.

Por essas razões, recomendam-se, como continuidade desta pesquisa, que sejam desenvolvidas etapas complementares da investigação, voltadas a solucionar os entraves metodológicos deparados ao longo do estudo de modo a conduzi-lo com maior êxito à integração e concretização da contribuição recíproca entre a modelagem matemática hidrológica e hidráulica e os mapeamentos temáticos da geomorfologia antropogênica.

Dentre estas etapas estão o mapeamento morfológico de detalhe, baseado em dados levantados em campo; o levantamento de seções transversais com técnicas adequadas, podendo-se usufruir de interpoladores de seções transversais existentes nos softwares de modelagem hidráulica; a utilização de dados fluviométricos consistentes com o intuito de servir como referência à comparação com os modelos chuva-vazão, NAs máximos obtidos e os mapeamentos de manchas de inundação.

Ainda vinculado a este aspecto, outra perspectiva que se abre na continuidade das investigações é a possibilidade de se definir precisamente, para áreas geomorfologicamente

preservadas e sob um dado regime climático, correlações entre valores de magnitude e frequência de vazões às morfologias que correspondem aos limiares de atuação destas vazões, como, por exemplo, as margens plenas, percentuais do nível de planície e dos níveis de terraços.

Deste modo, prevê-se que é possível fornecer, tanto à geomorfologia pura quanto à aplicada, parâmetros que permitam avançar o conhecimento e o mapeamento das formas ao aprofundamento do entendimento dos processos fluviais atuais. Assim, à investigação da geomorfologia teórica, por exemplo, poderia permitir analisar o ajustamento de processos fluviais às formas e materiais predominantes na planície e terraços; ou ainda, estudar a evolução de formas fluviais fora de fase. À geomorfologia aplicada, os resultados de tais investigações poderiam balizar as análises de risco e vulnerabilidade relacionados a processos geomorfológicos fluviais superficiais, tais como as inundações ou enxurradas, orientando a gestão, o reordenamento e o zoneamento territorial.

Por fim, cabe criticar que, em meio a tantas hipóteses de intensificação de extremos climáticos e considerando as reconhecidas mudanças ambientais empreendidas pelo crescimento da GSP (e de outros grandes centros urbanos), constata-se certo desinteresse dos governos municipais, estaduais e federais em constituir uma rede de monitoramento pluviométrico e fluviométrico mais densa, com séries históricas consistentes e disponíveis. Deduz-se que, tal situação possa comprometer e mesmo inviabilizar inúmeros de projetos de pesquisa e estudos técnicos, os quais poderiam ser realizados e seus dados adequadamente validados, se informações dessas naturezas fossem coletados, estatisticamente tratadas e oferecidas ao público em geral.

Reforça-se, assim, a necessidade de adensar as redes de postos de monitoramento fluviométrico e pluviométrico, de ampliar a divulgação das séries históricas consistidas de chuva e vazão, de expandir a quantidade de dados relativos à seção transversal e curvas-chaves de canais monitorados e atualizar as relações IDF para as regiões metropolitanas.

De modo a finalizar a etapa de pesquisa realizada na presente dissertação de mestrado, elaborou-se síntese das possibilidades de integração entre os campos da geomorfologia e da hidrologia, detalhando os aspectos complementares entre ambos e apresentando proposições específicas de estudos e aplicações, relacionadas aos resultados parciais obtidos até o momento, conforme apresentado no quadro 20, a seguir.

QUADRO 20 - Síntese das possibilidades de integração entre os campos e proposições de aproximação.

<div>GEOMORFOLOGIA</div> <div>→</div> <div>MODELOS HIDROLOGICOS E HIDRÁULICOS</div>
<p>Apropriação de arcabouço teórico-metodológico de análise morfológica e morfométrica na dinâmica de escoamentos superficiais:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Inserção de parâmetros morfométricos da bacia hidrográfica e de sua rede de canais: <ul style="list-style-type: none"> ○ caracterizando parâmetros de correlação e determinação da produção de escoamento superficial e vazão de pico; ○ derivação de coeficientes ou índices para ponderação e aperfeiçoamento de parâmetros de área nos modelos chuva-vazão (p. ex., índice de circularidade, índice de bifurcação, comprimento da bacia, etc.); ○ utilização de indicadores hidromorfológicos utilizados no âmbito da avaliação de mudanças antropogênicas na ponderação e aperfeiçoamento de parâmetros de área das modelagens chuva-vazão; ○ aplicação na escala de bacia hidrográfica. <p>Explorar os mapeamentos das morfologias originais, antropogênicas e unidades morfológicas complexas na calibração de parâmetros e coeficientes de deflúvio que controlam os escoamentos superficiais e os picos de vazão.</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Aperfeiçoar a classificação geométrica de feições mínimas com cartografias morfológicas de detalhe para apontar as tendências originais de fluxos hidromorfológicos superficiais: <ul style="list-style-type: none"> ○ identificação dos potenciais originais de produção de escoamento superficial concentrado em diferentes geometrias e setores da vertente; ○ utilizar tendências geométricas de vertentes agregadas a mapeamentos morfológicos como unidades de comportamento hidromorfológico específico na produção de deflúvio; ○ aplicação na escala de detalhe. ➤ Explorar as unidades morfológicas complexas relacionando-as à geração de deflúvio e produção de escoamentos excedentes, sobretudo para as modalidades de meio urbano da morfologia antropogênica (p. ex., por meio de padrões de urbanização, tipos e densidades de estruturas de drenagem) <ul style="list-style-type: none"> ○ sistematizar classes de unidades morfológicas complexas como unidades do modelado com comportamento hidromorfológico específicos na produção de deflúvio; ○ promover calibração destas unidades morfológicas complexas em função da capacidade de infiltração inicial (envolve monitoramento); ○ promover calibração de característica de deflúvio e comportamento hidrológico superficial das UCs, para detalhamento e aperfeiçoamento dos índices CNs, especialmente a ambientes urbanos (envolve monitoramento); ○ aplicação na escala de detalhe para determinar total escoado superficialmente e pico de vazão. <p>Utilização dos fundamentos teórico-metodológicos de mapeamentos das morfologias originais e antropogênicas em escala de detalhe e de suas técnicas para o aperfeiçoamento de dados básicos a simulação de manchas.</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Detalhar as morfologias originais de planície fluvial mapeadas no reconhecimento de paleofluxos, características da carga sólida de canais, tendências hidromorfodinâmicas atuais e limiares geomorfológicos que auxiliem na determinação de limites espaciais à simulação das manchas de inundação. ➤ Explorar as morfologias originais, antropogênicas e unidades complexas abrangendo morfologias de planície fluvial em relação às características de capacidade estocagem hídrica e funcionalidades hidromorfológicas atuais, sobretudo para modalidades de ocupação do meio urbano (p. ex., por meio da identificação de padrões construtivos e nível de perturbação, densidades de sistemas de drenagem): <ul style="list-style-type: none"> ○ aprimoramento de MDT por meio da inserção de limites de MOs mapeadas, e utilização como dado de entrada na extrapolação do NA máximo em simulações de inundação nos

<p>modelos hidráulicos;</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ aprimoramento de MDT por meio da inserção de limites de unidades complexas com diferentes níveis de perturbação morfológica (p. ex. altura estimada ou medida de aterros, mecanismos de drenagem para retirada dos excedentes do sistema, etc.); ○ refinamento de MDT (TIN) utilizado na derivação automática de perfil longitudinal do canal principal (HEC-GeoRAS), por meio da reconstituição do talvegue original e da identificação do histórico de intervenções antropogênicas, permitindo a derivação de informações hidrogeométricas de comprimento, largura e declividade vinculadas à realidade morfológica (específico para a escala de canal principal); ○ aplicação na escala de detalhe para determinar as tendências gerais de escoamento em canais e a vulnerabilidade à inundação das áreas adjacentes.
<div>GEOMORFOLOGIA ←</div> <div>→ HIDROLOGIA E HIDRÁULICA</div>
<p>Utilização de parâmetros hidrológicos determinísticos calibrados para caracterização e quantificação das tendências hidromorfológicas superficiais de morfologias originais e antropogênicas.</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Explorar os parâmetros que relacionam características de capacidade de infiltração inicial aos tipos de materiais e revestimentos e às formas e microtopografias, compreendendo seus fundamentos e calibrações; ➤ Aplicar parâmetros relacionados à produção de escoamento superficial buscando quantificar as modalidades de intervenção (categorias de uso e obras de drenagem) em relação à produção escoamento superficial e vazão de pico; <p>Desdobramentos do raciocínio probabilístico e da utilização de técnicas estatísticas no incremento da precisão e acurácia temporais de fenômenos hidromorfológicos relacionados às morfologias originais e, posteriormente, às morfologias antropogênicas.</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Fornecimento de acurácia temporal por meio de simulações baseadas em tempos de recorrência de eventos pluviométricos e fluviométricos; ➤ Aplicar tais raciocínio em modelagens hidrológicas e hidráulicas e comparar seus resultados aos mapeamentos das morfologias originais com objetivo de identificar frequências temporais de eventos de inundação, por exemplo, relacionadas aos limites destes mapeamentos, avançando no reconhecimento de limiares temporais. <p>Utilização de parâmetros de Geometria Hidráulica para reconstituição de paleofluxos</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Explorar a análise de capacidade de carga sólida de rio e as ferramentas para simulação e estimativa de transporte de sedimentos, fornecendo parâmetros e informações relativas à capacidade e competência do canal, atual e preteritamente; ➤ Estimativa de energia do fluxo e correlação com a granulometria de materiais de depósitos fluviais para análises que podem envolver características de denudação à gênese de paleopavimentos relacionados à dinâmica hidráulica fluvial.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS¹⁷

AB'SABER, A. N. Os terraços fluviais da região de São Paulo. **Anuário da Faculdade de Filosofia do Instituto Sedes Sapientie**, São Paulo, v. 10, p. 86-104, 1953.

_____. **Geomorfologia do Sítio Urbano de São Paulo**. 1957. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Instituto de Geografia, Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1957.

_____. Um conceito de Geomorfologia a Serviço das Pesquisas sobre o Quaternário. **Geomorfologia**, São Paulo, n. 18, p. 1-23, 1969.

_____. A planície do Tietê no Planalto Paulistano. **Geomorfologia**, São Paulo, n. 57, p. 1-24, 1978.

ALAMEDDINE, N. **Proposta de mapeamento de unidades morfológicas complexas na bacia hidrográfica do Ribeirão Pirajuçara**. 2005. Trabalho de Conclusão do Curso (Geografia) – Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras de Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

ALI, M. et al. Simulation of the impacts of land-use change on surface runoff of Lai Nullah Basin in Islamabad, Pakistan. **Landscape and urban planning**, v. 102, p. 271-279, 2011.

ARANHA, R. D. **Estudo morfológico da bacia do Ribeirão do Baú – São Bento do Sapucaí – SP**. 2011. 149f. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) - Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras de Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

BARROS, R. M.; MEDIONDO, E. M.; WENDLAND, E. Cálculo de áreas inundáveis devido a enchentes para o Plano Diretor de Drenagem Urbana de São Carlos (PDDUSC) na bacia Escola do Córrego do Gregório. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 12, n. 2, p. 5-17, 2007.

BASHENINA, N. V. et al. Legend to the international map of Europe 1:2.300.000. **UGI Commission on Geomorphic Survey and Mapping**. Brno: Czechoslovak Academy of Sciences, Institute of Geography, 1971.

BATISTA, S. C. **Conversa cartográfica: processo de expansão urbana na metrópole paulistana e unidades geomorfológicas de média escala. Pirajuçara**. 2003. 176f. Trabalho

¹⁷ Algumas das referências apresentadas neste item integram, exclusivamente, o apêndice A referente aos fundamentos teóricos e metodológicos (CD-ROM).

de Conclusão do Curso (Geografia). Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras de Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

BATES, P. D.; De ROO, A. P. J. A simple raster-based model for flood inundation simulation. **Journal of Hydrology**, n. 236, p. 54-77, 2000.

BAYER, H. B. **Hidrogeomorfologia e Sistemas de Informações Geográfica Integrados a um Modelo Hidrológico na bacia do Córrego Poá, Taboão da Serra-SP**. 2012. 137f. Dissertação (Mestrado em Geografia Física). Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras de Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

BERGER, A. R.; IANS, W. J. The geoinicator concept and its application: An introduction. In: _____. **Assessing Rapid Environmental Geoindicator: Changes in Earth Systems**. Rotterdam: Balkema, p. 1-14, 1996.

BERGES, B. **Geomorfologia urbana histórica aplicada à análise de inundações no Córrego da Mooca – São Paulo/SP**. 2013. 184f. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) - Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

BERTALANFFY, L. **Teoria geral dos sistemas**. Petrópolis: Vozes, 1975.

BOTELHO, R. G. M. Bacias hidrográficas urbanas. In: GUERRA, A. J. T. (Org.). **Geomorfologia Urbana**. Rio de Janeiro: Editora Bertrand Brasil, 2011. p. 71-116.

BRANDÃO, A. M. de P. M. Clima urbano e enchentes na cidade do Rio de Janeiro. In: Guerra, A. T. (Org.). **Impactos ambientais urbanos no Brasil**. Rio de Janeiro: Editora Bertrand Brasil, 2010. p. 71-116.

BRANDÃO, J. L. B.; BARROS, M. T. L. de; Determinação de áreas de inundação para uma bacia urbana. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 17. In: Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa, 8., 2007, São Paulo. **Anais...** São Paulo: 2007.

BRUBACHER, J. P.; OLIVEIRA, G. G.; GUASSELLI, L. A. Suscetibilidade de enchentes a partir da análise das variáveis morfométricas na hidrográfica do rio dos Sinos/RS. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 15., 2011, Curitiba. **Anais...** Curitiba, 2011. p. 1279-1286.

CAILLEUX, A.; TRICART, J. O problema da classificação dos fatos geomorfológicos. **Boletim Geográfico**, Rio de Janeiro, v. 24, n. 188, p. 643-709, 1956.

CARDOSO, C. A.; DIAS, H. C. T.; SOARES, C. P. B; MARTINS, S. V. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Debossan. **Revista Árvore**, Nova Friburgo, v. 30, n. 2, p. 241-248, 2006.

CARMO, W. **Avaliação da técnica de levantamento de perfis para dimensionamento da ação antrópica em áreas de proteção aos mananciais. O bairro do Jusa em Guarapiranga**. 1998. Trabalho de Conclusão do Curso (Geografia) - Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

CARVALHO, D. e RODRIGUES, C. Ensaio de Cartografia Morfológica de Detalhe sob a Abordagem da Antropogeomorfologia. Bairro do Jardim Serrano (Ribeirão Pires – RMSP). In: **Simpósio Nacional de Geomorfologia**, 4., 2002, São Luís. **Anais...**, São Luís, 2002.

CARVALHO, D. **Indicadores geomorfológicos de mudanças ambientais no sistema fluvial do Alto Tietê, município de São Paulo**: pesquisa documental. 2006. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) - Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

COORDENADORIA ESTADUAL DE DEFESA CIVIL (Cedec). **Municípios que decretaram situação de emergência ou calamidade pública em 2009**. São Paulo, SP: CEDEC, 2009.

CHEN, J.; HILL, A. A.; URBANO, L. D. A GIS-based model for urban flood inundation. **Journal of Hydrology**, n. 373, p. 184-192, 2009.

CHORLEY, R. J.; HAGGET, P. **Modelos físicos e de informação em geografia**. 1ª ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo (Edusp), 1967, 252 p.

CHORLEY, R. J. Geomorphology and general systems theory. **U.S. Geological Survey Prof. Paper**, n. 500b, 1962, 10 p. (Este trabalho foi transcrito e traduzido em Notícia Geomorfológica. Campinas. v. 11, n. 21, p. 3-22, 1971).

CHOW, V. T. **Open channel hydraulics**. Illinois: MCGRAW-HILL. Book Company, 1959. 679 f.

_____, MAIDMENT, D. R.; MAYS, L. W. **Hidrología aplicada**. (Traduzido por SILDARRIAGA, J. G.). Bogotá: MCGRAW-HILL Interamericana, 1994. 584 p.

CHRISTOFOLETTI, A. A análise morfométrica de bacias hidrográficas. **Notícia Geomorfológica**, n. 18, p. 35-64, 1969.

_____. A teoria dos sistemas. **Boletim de Geografia Teorética**, n. 1, p. 43-60, 1971.

_____. **Geomorfologia**. São Paulo: Ed. Edgar Blücher, 1974.

_____. **Geomorfologia Fluvial: Volume 1 - O canal fluvial**. São Paulo: Ed. Edgar Blücher, 1981.

_____. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo: Edgar Blücher, 1999.

CLARO, M. S. **Unidades morfológicas complexas na bacia do Córrego Tapera, São Paulo, SP**: contribuição ao planejamento urbano e ambiental. 2013. 157f. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) – Departamento de Geografia, Faculdade Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

COLÂNGELO, A. C. Modelo de Feições Mínimas ou das Unidades Elementares do Relevo: um suporte cartográfico para mapeamentos geoecológicos. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n. 10, p. 29-40, 1996.

COLTRINARI, L.; McCALL, G. J. H. Geoindicadores: ciências da Terra e Mudanças ambientais. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n. 9, p. 5-11, 1995.

COLTRINARI, L. Natural and anthropogenic changes in the Brazilian tropics. In: BERGER, A. R.; IAMS, W. J. (Org.). **Geoindicators** - Assessing environmental changes in Earth systems. Rotterdam: Balkema, v. 1, p. 295-310, 1996.

COOKE, R. U. e DOORNKAMP, J. C. **Geomorphology in environmental management**: a new introduction. 2nd ed. Oxford: Oxford University Press, 1990. 410 f.

CUNHA, C. M. L., MENDES, I. A.; SANCHES, M. C. A Cartografia do Relevo: Uma análise comparativa de técnicas para a gestão ambiental. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, n. 1, p. 1-9, 2003.

CUSTÓDIO, V. **A persistência das inundações na Grande São Paulo**. 2002. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

DAEE (Departamento de Águas e Energia Elétrica). **Plano Diretor de Macrodrenagem da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê, São Paulo**, Consórcio Enger/Promon/CKC. São Paulo, 1998.

Disponível em: <www.sigrh.sp.gov.br/sigrh/basecon/macrodrenagem/index.html>.

Acesso em: 8 de maio de 2011.

_____. **Guia Prático para projetos de pequenas obras hidráulicas.** 3ª ed. São Paulo: DAEE, 2008. 116 p.

_____. **Equações de chuvas intensas do Estado de São Paulo.** Convênio DAEE-USP. JUNIOR, F. M. e MAGNI, N. L. G. (Org). São Paulo, 1999.

DARBY, E. S.; VAN DE WIER, M. Models in Fluvial Geomorphology. In: KONDOLF, G. M.; PIÉGAY, H. **Tools in fluvial geomorphology.** London: John Wiley & Sons, p. 503-537, 2003.

DECINA, T. G. T. **Análise de medidas de controle de inundações a partir da avaliação de cenários de uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do Córrego do Gregório, São Carlos – SP.** 2012. 177f. Dissertação (Mestrado em Hidráulica) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

DEMEK, J. **Manual of detailed geomorphological mapping.** Prague: Czechoslovak Academic Sciences, IGU, 1972. 200 p.

DYLIK, J. Notion du versant em Geomorphologie. **Bulletin de l'Académie Polonaise des Science.** Série des Sciences Geologiques et geographiques, v.16, n. 2, p. 125-132, 1968.

DOORNKAMP, J. C.; KING, C. A. M. **Drainage basins and stream networks in numerical analysis in Geomorphology,** an introduction. London: E. Arnold, 1971.

DOUGLAS, I. The impact of urbanization on fluvial geomorphology in the humid tropics. In: ALEXANDRE, J. (Ed.), **Dynamical geomorphology in tropical regions.** Lubumbashi: Press Universitaires du Zaire, 1977.

DREW, D. **Processos interativos homem - meio ambiente.** 5 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1983.

ESTAIANO, J.C. **Impactos da mineração de areia em planícies fluviais meândricas da bacia hidrográfica do alto Tietê: O caso do rio Embu-Guaçu, São Paulo – SP.** 2007. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) - Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

FAIRBRIDGE, R. W. **Encyclopedia of Geomorphology.** Nova Iorque: Reinhold Book Corporation, 1962. 1296 p. (Encyclopedia of Earth and Sciences Series, Vol. III).

Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica (FCTH). **CLiv Software User Manual.** São Paulo, 2003. Disponível em: <<http://www.fcth.br/software/CLiv.html>>. Acesso em:

20 de março de 2011.

FELDS, E. Geomorfologia antropogenética. **Boletim Geográfico**, Rio de Janeiro, n. 144, p. 1-6, 1958.

FERRAZ, F. F. et al. Previsão de áreas inundadas na cidade de Piracicaba (SP) através de Sistema de Informações Geográficas (SIG). **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 3, n. 3, p. 17-27, 1998.

FIERZ, M. S. M. **As abordagens sistêmicas e do equilíbrio dinâmico na análise da fragilidade ambiental do litoral do estado de São Paulo: contribuição à geomorfologia das planícies costeiras**. 2008. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

FUNDAÇÃO FLORESTAL (FF) / DG-USP. **Plano de Manejo da Área de Proteção Ambiental Várzeas do Tietê**, São Paulo, SP, 2013.

GARCIA, J. F. da C.; MOREIRA, L. F. F.; MATTOS, A. Caracterização dos eventos de precipitação no Semiárido Nordestino. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 19. Maceió **Anais...** Maceió, 2011.

GELLERT, J. F. The nature and aims of detailed geomorphological mapping. In: DEMEK, J.; EMBLETON, C.; GELLERT, J.; VERSTAPPEN, H. (Eds.). **Manual of detailed geomorphological mapping**. Czech. Ac. Sc. Praha. p. 13-17, 1972.

GOUDIE, A. Human influence in geomorphology. **Geomorphology**, Amsterdam, v. 7, p. 37-59, 1993. (Special Issue Geomorphology the Research Frontier and Beyond).

_____. **Encyclopedia of Geomorphology** Vol 1 (A-I). Londres: Routledge. Taylor and Francis Group, 2004. 1123 p.

GREGORY, K. J. **A natureza da geografia física**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil (trad. CHRISTOFOLETTI), 1992.

_____.; WALLING, D. F. **Drainage Basin Form and Process** – A Geomorphological approach. New York: John Miller and Sons, 1973. 456 p.

GERASIMOV, I.P. Essai d'interprétation geomorphologique du schéma general de la structure geologique de l'URSS. **Problèmes de Geographie Physique**, Moscou, v. 12, 1946.

_____.; MESCERJAKOV, J.A. **Reljef Zemli** (morfostruktura i morfoskulptura). Moscou: Nauka Moskva, 1967. 311 p.

GUERRA, A. T. **Dicionário geológico-geomorfológico**. Rio de Janeiro: editora do IBGE, 1978.

GUPTA, A. e AHMAD, R. Geomorphology and the urban tropics: building an interface between research and usage. **Geomorphology**, n. 31, p. 133-149, 1999.

HACK, J. T. Interpretation of erosional topography in humid temperate regions. **American Journal of Science**, n. 258, p. 80-97, 1960.

HALL, M. J. **Urban Hydrology**. Londres: Elsevier Applied Science Publisher, 1984.

HART, M. G. Geomorphology Pure and Applied. London: George Allen & Unwin, 1986. 226f.

HASUI, Y.; CARNEIRO, C. D. R.; COIMBRA, A. M. The Ribeira folded belt. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 5, p. 257-266, 1975.

HAYDEN, R. S. Geomorphological Mapping. In: SHORT, N. M.; BLAIR, Jr. R. W. (Eds.). **Geomorphology from space**. Washington DC: NASA, 1986. p. 637-656.
Disponível em: <<http://disc.gsfc.nasa.gov/geomorphology/>>.

HORRITT, M. S.; BATES, P. D. Evaluation of 1D e 2D numerical models for predicting river flood inundation. **Journal of Hydrology**, n. 268, p. 87-99, 2002.

IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo). **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo**. São Paulo, SP: IPT, 1981. (Série monografias, v. 1,2).

JOLY, F. **Point de vue sur la geomorphologie**. An. De Géographie, 1977

JORGE, M. do C. O. Bacias hidrográficas urbanas. In: GUERRA, A. J. T. (Org.). **Geomorfologia urbana: conceitos, metodologias e teorias**. Rio de Janeiro: Editora Bertrand Brasil, 2011. p. 117-146.

KIRKBY, M. J. A role for theoretical models in geomorphology. In: RHOADS, B. L.; THORN, C. E. (Eds.). **The scientific nature of geomorphology**. Chichester: John Wiley and Sons, 1996. p. 257-272.

KNEBL, M. R. et al. Regional scale flood modeling using NEXRAD rainfall, GIS, and HEC-HMS/RAS: a case study for the San Antonio River Basin Summer 2002 storm event. **Journal of Environmental Management**, v. 75, p. 325-336, 2005.

KNIGHTON, A. D. **Fluvial forms and process**: a new perspective. London: Arnold, 1998. 383p.

KONDOLF, M. G.; PIÉGAY, H. Tools in Fluvial Geomorphology: Problem Statement and Recent Practice. In: _____. **Tools in fluvial geomorphology**. London: John Wiley & Sons, 2003. p. 105-134.

LANA, C. E.; ALVES, J. M. P.; CASTRO, P. T. A. Análise morfométrica da bacia do rio do Tanque, MG – Brasil. **Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, v. 54, n. 2, p. 121-126, 2001.

LEOPOLD, L. B.; WOLMAN, M. G. e MILLER, J. P. **Fluvial Processes in Geomorphology**. São Francisco: W. H. Freeman & Co, 1964.

LEOPOLD, L. B. **A View of the River**. Harvard: Press of Harvard College, 1994.

LIMA, R. E. **Uso dos solos e dos rios**: conceitos básicos e aplicações para a região de Curitiba - PR. Curitiba: Editora do NIMAD – UFPR, 2000.

LOMBARDO, M. A. **Ilha de calor nas metrópoles**: o exemplo de São Paulo. São Paulo: Editora Hucitec, 1985. 244 f.

LUCAS, L. M.; CUNHA, S. B. Rede de drenagem urbana em área tropical: mudanças na morfologia do canal e níveis de poluição das águas – Rio dos Macacos – Rio de Janeiro – RJ. **GEOUSP**, n. 22, p. 39 - 64, 2007.

LUZ, R. A. **Geomorfologia Original do Rio Pinheiros entre os Bairros de Pinheiros, Butantã e Cidade Jardim, São Paulo (SP)**. 2010. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) - Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

MACHADO, et al. Análise morfométrica de bacias hidrográficas como suporte a definição e elaboração de indicadores para a gestão ambiental a partir do uso de geotecnologias. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 15., 2011, Curitiba. **Anais...** Curitiba, 2011. 1441-1448 p.

MARCELINO, E. V. **Desastres naturais e geotecnologias**: conceitos básicos. Santa Maria: CRS/INPE (publicação interna), 2007. 20 p.

MARKS, K.; BATES, P. D. Integration of high resolution topographic data with floodplain flow models. **Hydrological Processes**, n. 14, p. 2109-2122, 2000.

MARKUS, M. et al. Changing estimates of design precipitation in Northeastern Illinois: Comparison between different sources and sensitivity analysis. **Journal of Hydrology**, v. 347, p. 211 - 222, 2007.

MARSH, G. P. **Man and Nature or Physical Geography as Modified by Human Action**. New York: Charles Scribner, 1864.

McCOLL, C.; AGGETT, G. Land-use forecasting and hydrologic model integration for improved land-use decision support. **Journal of Environmental Management**, v. 84, p. 494 – 512, 2007.

MELLER, A.; PAIVA, E. M. C. D. de.; Simulação hidrodinâmica 1D de inundações em Sistema de Drenagem Urbana. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 12, n. 2, p. 81 - 92, 2007.

MELO, J. de M. **Itaim Paulista: A origem histórica, o início da urbanização e a elevação a distrito**. São Paulo, 2004. 178 p.

Disponível em: <http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/upload/HB_itaim_1285346667.pdf>

MENDONÇA, A. S. F. **Hidrologia**. Espírito Santo: Centro tecnológico, Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, 2009. (apostila digital)

MERCEJAKOV, J. P. Les concepts de morphoestructure et de morphoesculture: um novel instrument de l'analyse geomorphologique. **Annales de Geographie**, Paris, n. 77, 1968.

MERWADE, V.; COOK, A.; COONROD, J. GIS techniques for creating terrain models for hydrodynamic modeling and flood inundation mapping. **Environmental Modelling & Software**, v. 23, p. 1300 - 1311, 2008.

MONTEIRO, C. A. F. **Teoria e Clima Urbano**. 1975. Tese (livre docência). Instituto de Geografia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1975.

MOROZ (CACCIA-GOUVEIA), I. C. **Da originalidade do sítio urbano de São Paulo às formas antropogênicas**: aplicação da abordagem da Geomorfologia Antropogênica na Bacia Hidrográfica do Rio Tamanduateí, Região Metropolitana de São Paulo. 2010. Tese (Doutorado) - Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

MOTTA JR, J. C.; TUCCI, C. E. M. Simulation of the urbanization effect in flow. **Hydrological Sciences – Journal des Sciences Hydrologiques**, Wallingford, v 29, n. 2, p. 131 – 147, 1984.

NIEMCZYNOWICZ, J. Urban hidrology and water management – present and future challenges. **Urban Water**, v. 1, p. 1-14, 1999.

NIR, D. **Man, a geomorphological agent** – An introduction to Antropic Geomorphology. Jerusalem: The Hebrew University, 1983.

NUNES, F. G. **A Influência do uso e ocupação do solo nas vazões de pico na bacia hidrográfica do rio Atuba**. 2007. 187f. Dissertação (Mestrado em Hidrologia) – Setor de ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

_____.; FIORI, A. P. A utilização do método de Ven Te Chow – Soil Conservation Service (SCS) na estimativa da vazão máxima da bacia hidrográfica do rio Atuba. **Revista Eletrônica Geografar**, Curitiba, v. 2, n. 2, p. 139-155, 2007.

NRCS/USDA (Natural Resources Conservation Service of United States Department of Agriculture). **Technical Release 55 – Urban Hydrology for Small Watersheds**. 2nd edition, 1986. Disponível em: <http://www.cpesec.org/reference/tr55.pdf>; Obtido em: 01/06/2013.

NRCS/USDA. 2010. Chapter 15: Time of concentration, In: **Part 630 Hydrology National Engineering Handbook**. 2010.

Disponível em:

<http://directives.sc.egov.usda.gov/OpenNonWebContent.aspx?content=27002.wba>. Obtido em 01/06/2013.

OSTERKAMP, W. R.; SHUMM, S. A. Geoindicators for river and river-valley monitoring. In: A.R. BERGER; W.J. IAMS. (Org.). **Geoindicators** - Assessing environmental changes in Earth systems. 1 ed. Rotterdam: Balkema, v. 1, 1996. p. 97-116.

PELLOGIA, A. U. G. A cidade, as vertentes e as várzeas: a transformação do relevo pela ação do Homem no município de São Paulo. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n. 16, p. 24-31, 2005.

PERICO, E. C. et al. Análise fisiográfica da bacia hidrográfica do rio Forqueta, RS. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 15., 2011, Curitiba. **Anais...** Curitiba: INPE, 2011, p. 1200-1207.

PFASTETTER, O. **Chuvas Intensas no Brasil**. Rio de Janeiro: DNOS, 1957.

PMPA (Prefeitura Municipal de Porto Alegre). **Plano Diretor de Drenagem Urbana** – Manual de Drenagem Urbana, v. 6. Rio Grande do Sul: Departamento de Esgotos Pluviais, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, UFRGS, 2005.

QI, H.; ALTINAKAR, M. S. A GIS-based decision support system for integrated flood management under uncertainty with two dimensional numerical simulations. **Environmental Modelling & Software**, n. 26, p. 817 - 821, 2011.

QUEIROZ NETO, J. P.; JOURNAUX, A. (Org.). Estudo e Cartografia de Formações Superficiais e suas Aplicações em regiões Tropicais. **Colóquio Interdisciplinar Franco-Brasileiro**. Universidade de São Paulo, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciência Humanas, Departamento de Geografia, São Paulo, v. 1, 1978.

RAMOS, et al. **Engenharia hidráulica**. Rio de Janeiro: Editora da UFRJ, 1989. 404 p.

RICCOMINI, C. **O Rift Continental do Sudeste do Brasil**. 1989. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 1989.

_____; SANTA'ANNA, L. G.; FERRARI, A. L. Evolução geológica do Rift Continental do Sudeste do Brasil. In: MANTESSO-NETO, V. et al. (Org.). **Geologia do continente Sul-americano**: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. São Paulo: Beca, 2004. p. 383-405.

RIGHETTO, A. M. **Hidrologia e Recursos Hídricos**. São Carlos: EESC/USP, 1998.

ROBERTO, A. N.; FADIGA JR. F. M. Drenagem Urbana: Curva Intensidade-Duração-Frequência. In: Semana de Engenharia e Arquitetura, 5., 2001, Marília. **Seminário...**, Marília, 2001.

ROBERTO, A. N. Drenagem Urbana O Modelo Chuva Vazão do *Soil Conservation Service*. In: Semana de Engenharia e Arquitetura, 5., 2001, Marília. **Seminário...**, Marília, 2001.

RODRIGUES, C. **Geomorfologia Aplicada: Avaliação de experiências e de instrumentos de planejamento físico-territorial e ambiental brasileiros**. 1997. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

_____. On anthropogeomorfology. In: Conferência Regional de Geomorfologia, 1999, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro, 1999.

_____.; COLTRINARI, L. Geoindicators of urbanization effects in humid tropical environment: methodological proposal for São Paulo/Brazil. In: International Geological Congress, 6, 2004, Florença. Anais... Florença, 2004. 976 p.

_____. A urbanização da metrópole sob a perspectiva da Geomorfologia: tributo a leitura geográficas. In: CARLOS, A. F. A. e OLIVEIRA, A. U. (Org.). **Geografias de São Paulo: Representações e crise da metrópole**. São Paulo: Ed. Contexto, v. 1, 2004. 89-114 p.

_____. Morfologia Original e Morfologia Antropogênica na definição de unidades espaciais de planejamento urbano: exemplo na metrópole paulista. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n. 17, p. 101-111, 2005.

_____. Avaliação do impacto humano da urbanização em sistemas hidromorfológicos. Desenvolvimento e aplicação de metodologia na Grande São Paulo. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n. 20, p. 111-125, 2010.

RODRIGUEZ, S. K. **Geologia Urbana da Região Metropolitana de São Paulo**. 1998. 171f. Tese (Doutorado em Geologia Sedimentar) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

ROSS, J. L. S. **Geomorfologia, ambiente e planejamento**. São Paulo: Editora Contexto, 1990. 85 p.

_____. O registro cartográfico dos fatos geomórficos e a questão da taxonomia do relevo. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n. 6, p. 17-29, 1992.

SALOMÉ, A. I.; van DORSEN, H. J. Exemplos de mapas geomorfológicos na escala 1:50.000 de parte das Ardenas. **Z. Geomorph. N.F.**, v. 26, n. 4, 1982.

SANT'ANNA NETO, J. L. Da climatologia geográfica à geografia do clima: Gênese, paradigmas e aplicações do clima como fenômeno geográfico. **Revista da Ampege**, Presidente Prudente, v. 4, p. 51-72, 2008.

SAVIGEAR, R. A. G. A Technique of Morphological Mapping. **Annals of The Association of American Geographers**, Los Angeles, v. 55, n. 3, p. 514-538, 1965.

SEABRA. O. C. L. **Os meandros dos rios nos meandros do poder: o processo de valorização dos rios e das várzeas do Tiete e do Pinheiros na cidade de São Paulo**. 1987, Tese (Doutorado em Geografia Humana) – Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1987.

SCHUMM, S. A. Evolution of drainage systems and slopes in badlands of Perth Amboy. **Geological Society of America Bulletin**, n.67, p. 597-646, 1956.

SHERLOCK, R. L. **Man and Geology**. London: Witherby, 1922.

SILVA, J. de P. **Expansão urbana e evolução geomorfológica em remansos de reservatórios**: Análise comparativa de duas bacias hidrográficas em Guarapiranga, São Paulo. 2005. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) – Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

SILVEIRA, A. L. L. Hidrologia Urbana no Brasil. In: BRAGA, B.; TUCCI, C. E. M.; TOZZI, M.; **Drenagem urbana**: gerenciamento, simulação, controle. 1ª ed. Porto Alegre: Editora da Universidade (UFRGS) - ABRH Publicações, n. 3, v. 1, 1998. 7-25 p.

SOARES, F. P. **Cartografia morfológica de detalhe e intervenções antrópicas no Alto Jacareí**: subsídios à avaliação da degradação ambiental do Sistema Cantareira. 2008. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) - Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

STRAHLER, A. N. Equilibrium theory of erosional slopes approached by frequency distribution analysis. **American Journal of Science**, n. 248, p. 673-696, 1950.

STRAHLER, A. Dynamic basis of geomorphology. **Geological Society of America Bulletin**, n. 63, p. 923-938, 1952.

SUGUIO, K. et al. Novos dados sedimentológicos dos aluviões antigos do rio Pinheiros (São Paulo) e seus significados na interpretação do ambiente deposicional. In: **Congresso Brasileiro de Geologia**, 25., 1971, São Paulo. **Anais...** São Paulo, 1971. p. 219-225.

SUETERGARAY, D. M. A. Geomorfologia: novos conceitos e abordagens. In: Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 7., 1997, Curitiba. **Anais...** Curitiba, 1997. p. 24-30.

_____. e NUNES, J. O. R. A natureza da geografia física na geografia. **Revista Terra Livre. Paradigmas da geografia**, São Paulo, n. 17, p. 11-24, 2001.

SURIYA, S.; MUDIGAL, B. V. Impact of urbanization on flooding: the Thrissolam sub watershed – A case study. **Journal of hydrology**, v. 412-413, p. 210-219, 2012.

TARIFA, J. R.; ARMANI, G. Os climas “naturais”. In: TARIFA J. R.; AZEVEDO, T. R. (Org.). **Climas da cidade de São Paulo**: teoria e prática. São Paulo: Pró-reitoria de cultura e extensão.

Universidade de São Paulo: Laboratório de Climatologia. Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo. 2001a. 199 f. (GEOUSP – Coleção Novos Caminhos, 4)

_____. Os climas urbanos. In: TARIFA J. R.; AZEVEDO, T. R. (Org.). **Climas da cidade de São Paulo: teoria e prática**. São Paulo: Pró-reitoria de cultura e extensão. Universidade de São Paulo: Laboratório de Climatologia. Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo. 2001b. 199 f. (GEOUSP – Coleção Novos Caminhos, 4)

THOMDYCRAFT, V. R., BENITO, G.; GREGORY, K.J. Fluvial geomorphology: A perspective on current status and methods. **Geomorphology**, n. 98, p. 2-12, 2007.

TOY, T.; HADLEY, R. F. **Terrain Analysis and Remote Sensing**. London: Allen & Unwin, 1987.

TRICART, J. **Principes et méthodes de la géomorphologie**. Paris: Masson, 1965. 201 p.

_____.; KILIAN, J. **L'éco-géographie et l'aménagement du milieu naturel**. Paris: François-Maspero, 1965.

_____. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE, 1977. 97 p.

TUCCI C. E. M. et al. **Drenagem Urbana**. 1ª ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 1995. (Coleção da ABRH)

_____. **Modelos Hidrológicos**. 1ª ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 1998. (Coleção da ABRH).

_____. **Plano Diretor de Drenagem Urbana de Porto Alegre**. Porto Alegre: IPH-UFRGS, 2001.

Disponível em: <http://www.iph.ufrgs.br/gerenciarede/servicos/producao/ListaPublicacoes.asp>.

_____. **Gestão das inundações urbanas**. Porto Alegre: Global Water Partnership e UNESCO, 2005. 197 f. (Curso de gestão das inundações urbanas)

_____.; CLARKE, R. T. Impactos das Mudanças da Cobertura no Escoamento. In: Fórum Geo-Bio Hidrologia, 1., 1998, Curitiba. **Anais...** Curitiba: UFRGS, 1998.

_____. Controle de enchentes. In: _____. **Hidrologia, Ciência e Aplicação**. 3ª ed. Porto Alegre: ABRH- Editora UFRGS, 2001.

VIEIRA, V. T.; CUNHA, S. B.; Mudanças na rede de drenagem urbana de Teresópolis (Rio de Janeiro). In: GUERRA, A T. (Org.). **Impactos ambientais urbanos no Brasil**. Rio de Janeiro: Editora Bertrand Brasil, 2010. 71-116 p.

WARD, R. **Floods**. A geographical perspective. Londres: The MacMillan Press, 1978.

WIJESEKARA, G. H. et al. Assessing the impact of future land-use changes on hydrological processes in the Elbow River watershed in southern Alberta, Canada. **Journal of Hydrology**, v. 412-413, p. 220-232, 2012.

WILKEN, P. S. **Águas Pluviais**: Contribuição ao Estudo dos Métodos de Dimensionamento de Estruturas Hidráulicas para o Esgotamento de Águas Pluviais. 1ª ed. São Paulo: Edição do autor, 1971.

WOLMAN, M. G.; MILLER, J. P. Magnitude and frequency of forces in geomorphic process. **Journal of Geology**, n. 68, p. 54-74, 1960.

ZAVOIANU, I. Morphometry of drainage basins. **Developments in water science**, Amsterdam, n. 20, 1985.

Materiais cartográficos e plantas de projetos

COUTINHO, J. M. V. Carta Geológica da Região Metropolitana de São Paulo. São Paulo. EMPLASA. 2 folhas. Escala 1:100.000. São Paulo, 1980.

DAEE (Departamento de Águas e Energia Elétrica)/HIDROSTUDIO Engenharia. **Projeto Básico**: Dique de proteção – Jd. Fiorelo, Município de Itaquaquecetuba, Rio Três Pontes, Canalização, Planta e Perfil Longitudinal. São Paulo, 2010.

EMPRESA PAULISTA DE PLANEJAMENTO METROPOLINATO S.A. (EMPLASA). Carta topográfica. Folha Jardim São Miguel (articulação SF-23-Y-D-IV-I-NO-B. EMPLASA. 1 folha. Escala 1:10.000. São Paulo, 1996.

_____. Carta topográfica. Folha Poá (articulação SF-23-Y-D-IV-I-NE-A). EMPLASA. 1 folha. Escala 1:10.000. São Paulo, 1996.

_____. Carta topográfica. Folha São Miguel Paulista (articulação SF-32-Y-D-I-3-SO-F). EMPLASA. 1 folha. Escala 1:10.000. São Paulo, 1993.

_____. Carta topográfica. Folha Itaquaquecetuba (articulação SF-23-Y-D-I-3-SE-E). EMPLASA. 1 folha. Escala 1:10.000. São Paulo, 1997.

Foto aérea de 1962, Acervo de Fotografias Aéreas, Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo. Vão solicitado pelo Instituto Agrônomo de Campinas e executado por Natividade aerofotogrametria.

Imagem de Satélite de Alta Resolução *WorldView-2*, acervo de imagens do Laboratório de Geomorfologia, DG/FFLCH/USP.

IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA). Carta topográfica. Folha Itaquaquecetuba (articulação SF-23-Y-D-I-3). IBGE. 1 folha. Escala 1:50.000; São Paulo, 1984.

_____. Carta topográfica. Folha Mauá (articulação SF-23-Y-D-IV-1). IBGE. 1 folha. Escala 1:50.000; São Paulo, 1984.

ROSS, J. L. S. e MOROZ, I.C. Mapa Geomorfológico do estado de São Paulo. Escala 1:500.000. São Paulo: Laboratório de Geomorfologia, Departamento de Geografia, FFLCH-USP/IPT/FAPESP: Vols. I e II, São Paulo. 1997.

Sites

ANA (Agência Nacional de Águas). **Hidroweb**. Sistema de Informações Hidrológicas. Posto pluviométrico 2346194.
Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/>>
Acesso em: 15 de novembro de 2012.

CÂMARA MUNICIPAL DE FERRAZ DE VASCONCELOS, 2013.
Obtido em: <www.camaraFerraz.sp.gov.br/modules/news/article.php?storyid=705>
Acesso em: 20 de dezembro de 2012.

CGE (Centro de Gerenciamento de Emergências).
Disponível em: <www.cgesp.org/>.
Acesso em: 17 de agosto de 2011.

CRED (Centre for Research on the Epidemiology of Disasters), 2012.
Obtido em: <<http://www.emdat.be/>>.
Acesso em: 20 de outubro de 2012.

DAEE (Departamento de Águas e Energia Elétrica). **DAEE contrata canalização de Trecho do Córrego Três Pontes**. 2011.

Obtido em: <
http://www.daee.sp.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=530:daee-contrata-canizacao-de-trecho-do-corrego-tres-pontes&catid=48:noticias&Itemid=53>.
Acesso em: 20 de dezembro de 2012.

_____. Piscinões cumprem papel das várzeas ocupadas desordenadamente. **2012**

Obtido em:
<[www.daee.sp.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=60%](http://www.daee.sp.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=60%>)>
Acesso em: 20 de dezembro de 2012.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Senso demográfico 2010**. Disponível em:
<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/default.shtm>.
Acesso em: 20 de dezembro de 2012.

JORNAL ITAQUÁ EM FOCO.

Obtido em: <<http://itaquaemfoco.blogspot.com.br/2011/05/corrego-tres-pontes-remocao-dos.html>>.
Acesso em: 20 de dezembro de 2012.

O JORNAL DO EXTREMO LESTE DE SÃO PAULO, 2008.

Obtido em::
www.itaimpaulista.com.br/portal/index.php?secao=news&Id_noticia=511&subsecao=4 Acesso
em: 20 de dezembro de 2012.

SEADE (Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados). **Informações dos Distritos da Capital. Município de São Paulo - MSP**.

Disponível em:
<<http://www.seade.gov.br/produtos/msp/index.php?tip=met4&opt=s&tema=DEM&subtema=9>>
Acesso em: 20 de dezembro de 2012.

CÂMARA MUNICIPAL DE FERRAZ DE VASCONCELOS, 2013.

Obtido em: <www.camaraferaz.sp.gov.br/modules/news/article.php?storyid=705>
Acesso em: 20 de dezembro de 2012.

SIGRH (Sistema Integrado de Gerenciamento dos Recursos Hídricos – DAEE). **Banco de Dados Pluviométricos do Estado de São Paulo**. Posto pluviométrico E3-091.

Disponível em: <<http://www.sigrh.sp.gov.br/cgi-bin/bdhtm.exe/plu>>
Acesso em: 15 de novembro de 2012.

_____. Regionalização Hidrológica do Estado de São Paulo.
Disponível em: <<http://www.sigrh.sp.gov.br/cgi-bin/regnet.exe?lig=podfp>>
Acesso em: 18 de novembro de 2012.

APÊNDICES

APÊNDICE A – REFERÊNCIAS TEÓRICO-METODOLÓGICOS

APÊNDICE B – IMAGEM DE SATÉLITE DA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO TRÊS PONTES

APÊNDICE C – CARTA-BASE OFICIAL. TOPOGRAFIA DA EMPLASA

APÊNDICE D – MAPA DE USO DA TERRA EM 1962

APÊNDICE E – MAPA DE USO DA TERRA EM 2011

APÊNDICE F – DADOS DE SEÇÃO TRANSVERSAL DE TRECHO DO CÓRREGO TRÊS PONTES

APÊNDICE G – RESULTADOS BRUTOS DAS SIMULAÇÕES HIDRÁULICAS PRODUZIDAS PELO HEC-RAS

APÊNDICE H – MAPAS DE COMPARAÇÃO ENTRE OS CENÁRIOS DE SIMULAÇÕES 1962 E 2011

APÊNDICE I – MAPAS DE COMPARAÇÃO ENTRE AS MORFOLOGIAS ORIGINAIS FOTOINTERPRETADAS E AS MANCHAS DE INUNDAÇÃO SIMULADAS PARA O CENÁRIO DE 1962

APÊNDICE J – MAPAS DE COMPARAÇÃO ENTRE AS VULNERABILIDADES À INUNDAÇÃO E AS MANCHAS DE INUNDAÇÃO SIMULADAS PARA O CENÁRIO DE 2011

APÊNDICE K – MAPA DE PONTOS CHECADOS EM CAMPO

APÊNDICE L – FORMULÁRIO DE ENTREVISTAS

APÊNDICE A – REFERÊNCIAS TEÓRICO-METODOLÓGICOS

SUMÁRIO DO APÊNDICE A

1. REFERENCIAIS TEÓRICO-METODOLÓGICOS DA GEOMORFOLOGIA	6
1.1. BASES DO ESTUDO GEOMORFOLÓGICO: FORMAS, PROCESSOS E MATERIAIS.....	6
1.2. TEORIA GERAL DOS SISTEMAS E A GEOMORFOLOGIA.....	10
1.2.1. OS SISTEMAS GEOMORFOLÓGICOS NATURAIS E ANTROPOGÊNICOS	13
1.2.2. O Homem como agente geomorfológico	14
1.3. GEOMORFOLOGIA E URBANIZAÇÃO	15
1.4. A GEOMORFOLOGIA ANTROPOGÊNICA.....	17
1.4.1. Indicadores hidromorfológicos	26
1.4.2. Indicadores de processos hidromorfológicos e a ocupação urbana	33
1.5. CARTOGRAFIA GEOMORFOLÓGICA DE DETALHE	36
1.5.1. As escalas da análise geomorfológica.....	39
1.5.1.1. O espaço-tempo dos fatos e fenômenos geomorfológicos.....	39
1.5.1.2. Unidade geomorfológica e legenda geomorfológica de detalhe	42
1.5.2. Cartografia geomorfológica evolutiva de detalhe	43
1.6. MODELOS COMO INSTRUMENTOS DA GEOMORFOLOGIA FLUVIAL.....	45
1.6.1. Revisão de conceitos elementares de geomorfologia fluvial	52
 2. HIDROLOGIA URBANA.....	 62
2.1. Bacias hidrográficas urbanas	66
2.2. Cheias urbanas: expressão da crise de água nas cidades	70
2.3. Definição de Hidrologia Urbana	74
2.3.1. Histórico e desenvolvimento da hidrologia urbana	77
2.3.2. Medidas de controle e mitigação	86
2.3.3. Hidrologia determinística e modelações de fases: ferramentas de elaboração, gestão, intervenção e operação.....	91
2.3.3.1. Tempo de retorno (Tr) ou Intervalo de recorrência	92
2.3.3.2. Chuva de projeto e curva de Intensidade-Duração-Frequência	94
2.3.3.3. Temporalidade e espacialidade das precipitações	96
2.3.3.4. Chuva excedente ou chuva efetiva.....	104
2.3.3.5. Tempo de Concentração (tc)	111
2.3.3.6. Hidrograma unitário sintético	115
2.3.3.7. Hidrograma de Projeto.....	117
2.3.4. Modelo hidrológico Ven Te Chow-SCS	117
2.3.4.1. Simulação hidrológica: programas computacionais.....	122
2.3.5. Modelação hidráulica	124
2.3.5.1. Simulação hidráulica: programas computacionais.....	125
2.3.6. Modelação hidrológico-hidráulica e a geomorfologia antropogênica	127
2.3.7. Conceitos elementares de hidrologia e hidráulica fluvial.....	131

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Combinações possíveis entre planos verticais e horizontais da vertente.	56
FIGURA 2 - Tipos de leitos fluviais (sem escala e com dimensões exageradas).	59
FIGURA 3 - Terraços fluviais em função dos tipos de abandono da planície.	60
FIGURA 4 - Distribuição hipotética de terraços fluviais.	61
FIGURA 5- Hidrogramas que demonstram os efeitos da urbanização sobre escoamento superficial em tormentas.	69
FIGURA 6 - Evolução do número de pessoas afetadas por tipos de desastres naturais no Mundo, de 1900 a 2011.	73
FIGURA 7 – Fluxograma dos elementos e processos hidrológicos decorrentes da urbanização.	76
FIGURA 8 - Fluxograma de procedimentos para projetos de problemas de drenagem.	91
FIGURA 9 - Curvas IDF hipotéticas representando a distribuição da Intensidade-Duração-Frequência	96
FIGURA 10 - Distribuição temporal de precipitações a partir de quatro diferentes métodos.	97
FIGURA 11 - Ietograma triangular hipotético.	98
FIGURA 12 - Distribuição do total acumulado por diferentes fases de circulação da água ao longo do tempo de uma tormenta.	107
FIGURA 13 - Soluções das equações de escoamento do SCS a partir da plotagem de $P \times Pe$	108
FIGURA 14 - Regressão existente entre I_a e S	109
FIGURA 15 - Relação entre velocidade e declividade para o fluxo superficial concentrado.	113
FIGURA 16 - Interface do programa de suporte à decisão ABC6.	124
FIGURA 17 - Variação vertical típica da velocidade do fluxo em um canal.	133
FIGURA 18 - Perfis transversais esquemáticos da distribuição das velocidades (cm/s) do fluxo por isolinhas em diferentes conformações hipotéticas de seção transversal.	134

LISTA DE TABELA

TABELA 1 - Exemplo de construção de blocos alternados a partir de curva IDF.	100
TABELA 2 - Tabela de transposição entre a relação td/Tp e o fator de redução de pico Z	122

LISTA DE QUADRO

QUADRO 1 - Indicadores hidromorfológicos e suas características de identificação e quantificação.	28
QUADRO 2 - Principais sistemas de classificação taxonômica, suas estruturas e considerações.	41
QUADRO 3 - Características, vantagens e limitações de diferentes modelos de geomorfologia fluvial.	48
QUADRO 4 - Indicadores gerais da qualidade do modelo.	51
QUADRO 5 - Classificação dos fluxos hídricos superficiais de acordo com o modelado de vertente.	57
QUADRO 6 – Comparação item a item da canalização à reservação.	89
QUADRO 7 - Períodos de retorno sugeridos pelo DAEE/CETESB.	93
QUADRO 8 - valores de $r=ta/tp$ do método do ietograma sintético triangular.	99
QUADRO 9 - Relação entre CN , os tipos de usos urbanos da terra e os grupos hidrológicos de solo.	111
QUADRO 10 – Valores de n para exemplo de superfícies em fluxos superficiais.	112
QUADRO 11 – Equações e pressupostos de desenvolvimento para a velocidade dos fluxos rasos.	113
QUADRO 12 - Valores estimados de n de Manning para diversos tipos de revestimentos de canais.	114
QUADRO 13 - Tipos de fluxos em canais abertos.	133

LISTA DE SIGLAS

ABC6 – Software de Análise de Bacias Complexas
AFA – Acervo de Fotografias Aéreas do DG/FFLCH/USP
ANA – Agência Nacional de Águas do Ministério do Meio Ambiente
CGE – Centro de Gerenciamento de Emergências do município de São Paulo
CHiWater – Computational Hydraulics International
CLiv – Software de Simulação de Escoamento em Condutos Livres FCTH
CTH – Centro de Tecnologia Hidráulica da EP/USP
CN – Curve Number (Número de curva)
CPTM – Companhia Paulista de Trens Metropolitanos
CRED – Centre for Research on the Epidemiology of Disasters of Université Catholique de Louvain, Bruxelas (Centro de Pesquisa em Epidemiologia de Desastres).
DAEE – Departamento de Águas e Esgoto de São Paulo
Emplasa – Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano S.A.

EP – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
 FCTH – Fundação Centro de Tecnologia Hidráulica
 GSP – Grande São Paulo
 HEC-RAS – Hydrologic Engineering Centers – River Analysis System of USAC (Centro de Engenharia Hidráulica – Sistema de Análise de Rios do Corpo de Engenheiros do Exército Americano)
 HEC-GeoRAS - Hydrologic Engineering Centers River Analysis Geosystem of USAC
 HEC-HMS - Hydrologic Engineering Centers – Hydrologic Modeling System of USAC (Centro de Engenharia Hidráulica – Sistema de Modelagem Hidrológica do Corpo de Engenheiros do Exército Americano)
 HU – Hidrograma Unitário
 IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
 IDE – Infraestrutura de Dados Espaciais
 IDF – Relação probabilística de Intensidade-Duração-Frequência
 MA – Morfologia Antropogênica
 MO – Morfologia Original
 NA – Nível d'Água
 NRCS – *Natural Resources Conservation Services*
 LabSid – Laboratório de Sistemas de Suporte à Decisão em Engenharia Ambiental e Recursos Hídricos EP/USP
 Lasere – Laboratório de Aerofotogeografia e Sensoriamento Remoto DG/FFLCH/USP
 IPH – Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS
 PCSWMM – SIG de Suporte a Decisão Espacial em Hidrologia
 RMSP – Região Metropolitana de São Paulo
 Saisp – Sistema de Alerta à Inundação do Estado de São Paulo
 SCS – Soil Conservation Service (Serviço de Conservação do Solo)
 SI – Sistema Internacional de medidas
 SIGRH - Sistema Integrado de Gerenciamento dos Recursos Hídricos
 SIG – Sistema de Informação Geográfica
 SSD – Sistema de Suporte à Decisão
 TR – Tempo de Retorno
 TIN – Triangular Irregular Network (Rede triangular irregular)
 UC – Unidade Complexa
 UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
 Unesco – United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura)
 USP – Universidade de São Paulo
 WMO – World Meteorological Organization (Organização Mundial de Meteorologia)

LISTA DE SÍMBOLOS

A – Fator área da bacia hidrográfica no modelo Ven Te Chow – SCS
 CN – Parâmetro adimensional que relaciona R e Re
 I – Declividade média do canal principal no modelo Ven Te Chow – SCS
 $i_{id,Tr}$ – Intensidade de precipitação para Tr e td específicos
 k – Parâmetro da equação de IDF básica
 L – Extensão longitudinal do canal
 n – Parâmetro de rugosidade de Manning
 n – Parâmetro da equação de IDF básica
 o – Parâmetro da equação de IDF básica
 P – Profundidade máxima da seção transversal
 Q – Vazão
 Q_{máx} – Vazão máxima
 R – Coluna total de chuva
 Re – Chuva excedente total
 Rh – Raio hidráulico
 s - Declividade
 S – Infiltração
 Si – Infiltração inicial
 Tb – Tempo de recessão

tc - Tempo de concentração
td – Tempo de duração
tp – Tempo de pico
to – Parâmetro da equação de IDF básica
Tr (ou T) – Tempo de Retorno
V – Velocidade do fluxo
Y – Fator climático no modelo Ven Te Chow - SCS
X – Fator de deflúvio no modelo Ven Te Chow – SCS
Z – Fator de redução de pico no modelo Ven Te Chow – SCS

1. REFERENCIAIS TEÓRICO-METODOLÓGICOS DA GEOMORFOLOGIA

1.1. Bases do estudo geomorfológico: formas, processos e materiais

A meta de definir o objeto da geomorfologia e suas bases metodológicas, embora seja árdua e válida, pode tornar-se repetitiva, ou ainda, pode envolver temas e discussões de interesse periférico ao objeto e ao objetivo da presente pesquisa. Por isso, este subcapítulo não assume a responsabilidade de definição (ou redefinição) de conceitos elementares ou princípios do pensamento geomorfológico. Ao contrário disto, buscou-se revisar sucintamente os conceitos e princípios de autores fundamentais para o delineamento do que se entende por estudo geomorfológico, particularmente para a pesquisa aplicada.

A pesquisa adotou como bases os trabalhos de Tricart (1965), Joly (1977) e Hart (1986), contidos na revisão realizada por Rodrigues (1997). Acredita-se que esta retomada é fundamental, particularmente, no que tange ao estudo geomorfológico antropogênico.

Para Tricart (1965) o objeto de estudo da geomorfologia é a superfície terrestre, a camada entre a litosfera e a atmosfera, e assim, é definida como um contato caracterizado pelo equilíbrio dinâmico de forças diversas. Joly (1977) conceituou geomorfologia como a ciência que estuda as formas do relevo da Terra, abrangendo sua gênese, sua evolução e suas relações espaciais.

A descrição, a interpretação e a explicação das formas do relevo em termos de sua espacialidade, gênese e temporalidade, portanto, são atribuições da ciência geomorfológica, cabendo, segundo Joly (1977) os níveis de análise: descrever, classificar e localizar as morfologias (morfologia); investigar a origem (morfogênese), a evolução no tempo (morfodiacronia e morfocronologia); delinear os processos responsáveis pela formação dos modelados antigos e atuais, determinando suas velocidades de atuação (morfodinâmica); e avaliar as dimensões das formas (morfometria), aspecto o qual Tricart (1965) inclui no nível morfológico. Rodrigues (1997) acentua a notória complexidade crescente e interdependência entre níveis descritivos da morfografia e, parcialmente, morfosedimentologia; para níveis explicativos envolvendo a morfogênese, morfocronologia e morfodinâmica.

A geomorfologia, portanto, parte da descrição de fatos observáveis do relevo, para constituir explicações racionais. Assim, tem as formas da superfície como objetos específicos de estudo, as quais descreve e classifica, para então interpretar e explicar.

O nível explicativo é mais complexo e, inevitavelmente, multidisciplinar. Uma vez que o objeto da geomorfologia é a camada de interface entre a estrutura geológica e os

fenômenos subaéreos, os problemas de interpretação das formas do relevo residem, muitas vezes, nas concepções das disciplinas vizinhas.

Ross (1990), explorando este conteúdo afirma que as pesquisas geomorfológicas, obrigatoriamente consideram os processos/dinâmicas responsáveis pela gênese e evolução do relevo e sua configuração espacial. Tais processos são oriundos, basicamente, da interação entre as forças endógenas e exógenas. As primeiras, mais estáticas, são identificadas como responsáveis pela formação das macroestruturas do relevo (grandes compartimentos elevados e deprimidos) produzidas por movimentos de componente vertical; enquanto as segundas atuam desencadeando processos de denudação e morfoesculturação (por movimentos de componente, prioritariamente, horizontal) com tendência geral ao aplainamento e diminuição da energia disponível no sistema.

Desde sua definitiva consolidação enquanto disciplina nos finais do século XIX até meados do século passado, a geomorfologia esteve imersa em debates envolvendo a teoria davisiana de evolução do relevo, os quais desembocaram em consolidações conceituais que reforçaram o campo da disciplina, devido a contribuições da geomorfologia climática, geomorfologia dos processos e pela absorção de novas técnicas, como a quantificação.

As décadas de 50 e 60 foram extremamente frutíferas no que se refere à produção de conhecimento em vários níveis, inclusive quanto à proposição e utilização de modelos (conceituais, morfológicos, etc.), técnicas de levantamento (cartográficas, sensoriamento remoto, de campo), técnicas para avaliação de dados (técnicas estatísticas, de correlação. Análise sistêmica, técnicas de laboratório, entre outras) e de dados de campo. Isto é característico na geomorfologia e no conjunto da geografia física (RODRIGUES, 1997. p. 47).

Strahler (1952) foi um dos principais responsáveis pela quantitativismo das metodologias e técnicas que passaram a ser empregadas na geomorfologia.

As contribuições de Hack (1960) e de Wolman e Miller (1960) também devem ser anotados na constituição da geomorfologia moderna. O primeiro, pela formulação da teoria do equilíbrio dinâmico, no qual inclui a percepção de ajustamento das formas e dos processos em contínuo estado de equilíbrio e desequilíbrio; e os segundos, pela ênfase à investigação da magnitude e frequência dos fenômenos geomorfológicos aos estudos fluviais e aos processos de vertente. Neste contexto é que os estudos sobre os materiais também ganharam importância nas investigações geomorfológicas, particularmente com as contribuições de Yatzu, reforçada por Hart (1986).

“Assim, é incontestável que, desde a década de oitenta já teríamos possibilidade de falar mais precisamente do objeto da geomorfologia como o estudo das formas, dos materiais e dos processos” (RODRIGUES, 1997. p. 50), consolidando assim o objeto da

geomorfologia moderna como sendo as relações estabelecidas entre as formas, os processos e os materiais à luz da perspectiva sistêmica.

A tríade forma, processos e materiais

Hack (1960) consolidou a tríade de estudo da geomorfologia, destacando as formas e os processos responsáveis, as propriedades dos materiais que os compreendem, e os métodos e as técnicas para análise.

A forma, ao mesmo tempo, é produto/expressão do relevo em função da intrincada relação estabelecida entre as diversas variáveis do meio físico (ARANHA, 2011). Seu estudo compreende a qualificação e a quantificação de seus atributos (tamanho e geometria), aspecto presente nos níveis ou funções do estudo geomorfológico sob o título de morfometria, para Tricart (1977), ou morfografia, para Joly (1977).

Qualidades como altura, comprimento, largura, ângulos são parâmetros que devem estar contidos na descrição da área de estudo. Para o estudo de uma bacia hidrográfica, por exemplo, a investigação deve conter informações morfométricas como: área da bacia, perímetro da bacia, amplitude da bacia, altitudes mais alta e mais baixa, circularidade, entre outros. Outras medidas podem ser obtidas com relação aos sistemas de vertente e aos canais fluviais.

Por meio da cartografia morfológica evolutiva, o nível morfológico (e morfométrico) será o mais explorado e aprofundado nas proposições do estudo geomorfológico antropogênico desta pesquisa.

Os processos constituem o fundamento da pesquisa geomorfológica que permite que esta disciplina saia do nível de ciência descritiva para atingir um nível de ciência explicativa, quando interpreta e busca definir explicações para as formas do relevo (HART, 1986). A apropriação do princípio que envolve os processos como “mecanismos de funcionamentos” do relevo se deve também à Hack (1960).

Hart (1986) sistematiza os processos de intemperismo, processos biológicos e processos pedológicos. Estes envolvem (1) os processos de desintegração ou intemperismo físico e (2) os processos de decomposição, alteração ou intemperismo químico e bioquímico, destacando-se também os processos biológicos.

Os processos de intemperismo abrangem a erosão, os processos de vertente e a deposição. Os primeiros compreendem as etapas de produção (retirada e transporte) e de deposição, cabendo-lhe, portanto, uma definição abrangente. A classificação de agentes erosivos em eólicos, fluviais, glaciais, entre outros, contudo, torna mais complexo o próprio conceito de erosão, uma vez que não se refere à apenas a retirada, o transporte e a

deposição dos materiais, mas também está relacionado aos mecanismos erosivos, o que implica reconhecer a natureza e as tendências dos movimentos de fluidos, da disponibilidade da energia, da ação das forças e das resistências presentes nos sistemas.

O transporte de material dentro das funções erosivas pode ser caracterizado em função de sua capacidade, de sua competência e da forma predominante de transporte. Capacidade está atrelada às taxas de materiais, enquanto competência refere-se à granulometria predominantemente transportada. As formas de transporte são dadas em função da característica do material, e podem ser por solução (elementos químicos), suspensão (argilas e siltes), arraste, saltação, rolamento, entre outros (materiais grosseiros).

Os processos de vertente abrangem os escoamentos superficiais e subsuperficiais, a infiltração, o arraste, e os movimentos coletivos. Nesta pesquisa, o escoamento concentrado com base em parâmetros de disciplinas vizinhas será abrangido para caracterização dos fluxos de superfície, a permeabilidade dos materiais e o potencial de enxurrada.

Os mecanismos deposicionais abrangem a conclusão da fase de transporte dos sedimentos, sua incapacidade de carga de sedimentação, e por isso tem estreita relação com a energia disponível no fluxo. Assim, os estudos sobre os processos deposicionais apresentam imenso significado prático, como a caracterização e o mapeamento de detalhes de áreas deposicionais voltadas à compreensão e monitoramento de processos fluviais.

Por fim, o estudo dos materiais, mencionado como o mais tardiamente apropriado às análises geomorfológicas, foi incorporado indiscutivelmente ao nível explicativo. Sua abordagem inclui conhecimentos básicos do papel da energia no comportamento dos materiais e das fases da matéria, e as propriedades dos materiais, abordados por meio da caracterização de métricas, da distribuição, da permeabilidade, da porosidade, das qualidades físicas como coesão, resistência ao cisalhamento, entre outras dos materiais.

Quando se trata de análises de materiais superficiais, há uma imediata associação à cobertura pedológica ou de fases deposicionais. Ressalta-se, no entanto, que a dimensão dos materiais superficiais aqui tratados diz respeito aos usos da terra e coberturas vegetais da bacia estudada, os quais são essenciais na consideração das morfologias antropogênicas, da dinâmica do escoamento e da vulnerabilidade à inundação.

A partir das bases apresentadas emergem os demais ramos da geomorfologia, como a geomorfologia antropogênica. Assim, os princípios dos estudos da geomorfologia antropogênica e suas metodologias estão estruturados sobre estes fundamentos, mesmo que nem todos sejam utilizados com a mesma profundidade, a análise isolada de partes ou características do sistema no entendimento das formas, materiais ou processos é relevante.

1.2. Teoria Geral dos Sistemas e a geomorfologia

Delineadas as concepções da disciplina geomorfológica, seu objeto, seu objetivo e seu campo de ação, observa-se com nitidez a importância das contribuições que o pensamento sistêmico ofereceu ao amadurecimento teórico-metodológico e conceitual, principalmente na sofisticação do nível explicativo da ciência.

Segundo Christofolletti (1971), os primeiros sinais de que o percurso teórico-metodológico próprio do pensamento geomorfológico tenderia a absorver a teoria dos sistemas estiveram nas obras de Gilbert em 1880. Um século mais tarde, Bertalanffy (1975), definiu sistema como uma totalidade complexa de componentes relacionados, cujas interações caracterizam uma organicidade controlada por categorias dinâmicas que correspondem a mecanismos de pensamento do raciocínio lógico, como a soma, a centralização, a competição, a finalidade, entre outros. Esse funcionamento orienta-se para a manutenção do sistema, ou para uma evolução dos mecanismos, ou ainda para a extinção do organismo.

Segundo Surtegaray e Nunes (2001), já em Humboldt em meados do século XX havia elementos da visão integrada na geografia física que antecederam a abordagem sistêmica, consolidada a partir dos anos 70, como uma resposta a uma crise das ciências em geral. Chorley (1971) e Bertalanffy (1975) concordam com um processo de crise do pensamento científico que envolveu (1) o excesso de especialização do conhecimento, e (2) o abuso da descrição como objetivo de estudos e não como etapa metodológica, particularmente na geografia física e geomorfologia, resultando em uma fase estacionária.

Ambos os autores, suscitam a ideia de que a maturação vivida pelas ciências do ambiente natural¹ deveu-se ao aprofundamento da análise sistêmica na qual foi priorizado o princípio de interação dinâmica e o rompimento de amarras metodológicas existentes dentro de cada ciência, sugerindo a associação de metodologias entre campos científicos para lograr novos níveis de compreensão dos mecanismos universais de funcionamento dos sistemas físicos. Assim, a edificação da teoria geral dos sistemas e sua introdução nas diversas ciências teve o mérito, sobretudo, de valorizar o aspecto dinâmico dos sistemas com os quais as ciências da natureza trabalham, ao mesmo tempo em que gerou um sistema explicativo que propôs a aproximação dos conhecimentos anteriormente isolados nas diferentes disciplinas.

¹ Na década de 1970, mas que pode ser expandida para os dias de hoje.

Chorley (1971) reconhece em Bertalanffy (nos anos 1950 e 1960), e em Strahler (em 1950 e 1952), a adoção dos sistemas naturais como sistemas abertos, difundindo esta perspectiva.²

[...] A geomorfologia realizará seu mais pleno desenvolvimento somente quando as formas e os processos forem relacionados em termos de sistemas dinâmicos, e as transformações de massa e energia forem consideradas como funções do tempo. (STRAHLER, 1952, pp. 934-936)

A gênese e a evolução do relevo são funções da atuação simultânea de um conjunto de forças sistemicamente organizadas durante intervalos de tempo, no qual a variabilidade dos processos (em termos de frequência, duração e magnitude) condiciona (e são condicionadas) pelas propriedades físicas do meio. Este ponto de vista, somente é possível pela adoção do princípio de funcionamento do sistema aberto, onde a entrada de energia e matéria ocorre e a entropia é constantemente alterada.

A colaboração de Hack na década de 1960, na elaboração do princípio do Equilíbrio Dinâmico³ elevou a complexidade do sistema geomorfológico e os mecanismos de funcionamento. O equilíbrio dinâmico não se caracteriza por um equilíbrio exato, mas por uma tendência global para atingir um balanço ideal entre os processos e as formas.

Um *steady state* significa que os aspectos das formas não são estáticos e imutáveis, mas que são mantidos pelo fluxo de matéria e de energia que atravessam o sistema. Um sistema aberto, pressupostas certas condições, desenvolver-se-á para atingir o *steady state* e, por conseguinte, sofrerá alterações nesse processamento. A tendência para, e o desenvolvimento de, o *steady state* não demanda uma igualdade entre a força e a resistência sobre a paisagem, mas que a resistência apresentada pela superfície, em qualquer ponto, seja proporcional à tensão (stress) nela aplicada (CHORLEY, 1971. p. 7).

Para Christofolletti (1974) a noção de equilíbrio dinâmico, particularmente na geomorfologia, significa que materiais, processos e a geometria do modelado compõem um conjunto autorregulador, de modo que toda forma é o produto do ajustamento entre materiais e processos. O estado de equilíbrio de variáveis internas às condições do ambiente (às variáveis externas), é que controla a qualidade e a quantidade de matéria e energia que flui pelo sistema. Ao longo do tempo, os sistemas evoluem e atingem diferentes estados, que representam novas composições. No estado de equilíbrio dinâmico pleno, onde a entropia é máxima (estado de estabilidade), a energia e a matéria do sistema são contínuas pelo tempo, enquanto as condições do ambiente forem constantes.

² Contudo, o próprio autor destaca que, internamente, muitos mecanismos apresentam estrutura e dinâmicas próprias de sistemas fechados (FIERZ, 2008).

³ Certamente inspirado em Gilbert, e provavelmente, na formulação de *steady state* de Bertalanffy

Tipos e composição de sistemas em geomorfologia

Um sistema se estrutura basicamente em: matéria (material mobilizado, base física da funcionalidade), energia (força motriz que permite o sistema funcionar) e estrutura (os materiais e suas relações, forma unidades estruturais, que podem ser expressas através dos arranjos). Assim, Christofolletti (1974) pontua que para um estudo sistêmico pleno é indispensável considerar os fluxos de matéria e energia, procurando identificar a estrutura que os compõem⁴.

A **energia** que mantém o sistema é de natureza potencial ou cinética, ou mista. Outras forças são atuantes no sistema (como a calorífica, ou ainda a tensão de cisalhamento) e devem ser compreendidas na totalidade dos mecanismos. A **estrutura**, por sua vez, apresenta como dimensões a serem consideradas o tamanho (que diz respeito a parâmetros geométricos de uma unidade ou de cada um dos elementos); as correlações que denotam a estrutura (podem ser simples, quando envolve variáveis; ou canônicas, quando envolve grupo de variáveis); e a causalidade (que evidencia a variável independente e as variáveis dependentes).

Segundo Christofolletti (1974), os sistemas apresentam diferentes categorias que podem ser classificadas de acordo com sua funcionalidade e complexidade estrutural:

- A funcionalidade diz respeito à abrangência do sistema, a definição de seus limites, dos subsistemas que fazem parte e da existência e influência de sistemas adjacentes. Definem-se pela origem e disponibilidade da energia atuante como força motriz. Classificam-se em sistemas isolados e não isolados, em que, os primeiros, mais simplórios, a energia inicial é a única disponível para fazer o sistema funcionar, e vai se esvaindo até o sistema desaparecer. Os segundos apresentam alguma relação com o universo circundante e com os sistemas vizinhos que podem ser subdivididos em: (1) sistemas fechados, quando há permuta de energia, mas não de matéria; e (2) sistemas abertos, quando há troca de energia e matéria.
- Quanto à complexidade estrutural, os sistemas se classificam em basicamente quatro tipos diferentes: sistemas morfológicos, sistemas em sequência, sistemas de processo-resposta e sistemas controlados.

Os primeiros são os de estrutura mais simplificada e correspondem às formas geométricas que compõem os sistemas e suas métricas: comprimento, altura, largura,

⁴ As formas presentes são entendidas como resultados da interação entre matéria e energia. Mas, ao mesmo tempo, ela é parte do arranjo de atributos sistêmicos, pois contribui e pode determinar a atuação dos demais elementos.

declividade, granulometria, densidade e outras. Ao geomorfólogo, em geral, são abertos e fechados e suas propriedades são interpretadas como respostas aos fluxos.

Os sistemas em sequência são de interesse dos cientistas naturais, pois dizem respeito à cadeia de subsistema com localização espacial e magnitude temporal. Nestes casos o output é igual ao input do sistema subjacente, sendo que em cada subsistema há um regulador (elemento distributivo) que determina quanto será retido/armazenado e quanto será transportado para o subsistema seguinte.

Os sistemas processo-resposta tornam mais complexo o balanço de distribuição e causalidade dos sistemas. Neles ocorre a combinação entre os dois anteriores: sistemas em sequência (que indicam processos) e os morfológicos (as formas), sendo que nos sistemas de processos-respostas a ênfase é dada na identificação das relações de processos e formas, buscando-se determinar (quando couber) o estado de equilíbrio entre eles. Desta maneira, o raciocínio que sempre se estabelece é o de que qualquer alteração no sistema em sequência será refletida por alteração no sistema morfológico, por meio do reajustamento de variáveis em um novo estado de equilíbrio. Analogamente, alteração nas formas implica modificações dos processos, resultando em variações nos inputs fornecidos aos sistemas (processos e formas). Tais mecanismos recebem o nome de retroalimentação (*feedback*) que podem ser: positiva (quando o resultado do circuito constrói uma tendência positiva, como uma “bola de neve”); ou negativa (estabiliza e arrefece o efeito das mudanças original, em busca de um equilíbrio dinâmico).

Além desses quatro, uma categoria particular de sistema de interesse à abordagem da geomorfologia antropogênica à análise de indicadores hidromorfológicos: o sistema controlado, que abrange e permite analisar a ação do Homem nos sistemas de processo-resposta. Baseia-se no princípio de que, quando se analisa um sistema, existem variáveis (válvulas) em que o Homem pode exercer influência ou mesmo certo grau de determinismo para orientar o sistema, intervindo sobre a distribuição de matéria e energia em sequência, modificando as formas e as dinâmicas originais. Christofolletti (1974) sugere que reside nestes sistemas a finalidade aplicada da geomorfologia.

1.2.1. Os sistemas geomorfológicos naturais e antropogênicos

Em geomorfologia, os sistemas naturais que criam e modelam o relevo são abertos controlados por forçantes endógenas e exógenas que se regular e produzem condições de equilíbrio na superfície resultando na diversidade de formas.

Existem dois conjuntos fundamentais de elementos dos processos endógenos: a tectônica de placas (ativo), expressa por meio das estruturas falhadas, dobras, intrusões, soerguimentos; e outro, relativo à litologia e as diferenças de resistência dos materiais (passivo), cujas respostas aos processos intempéricos resultam em variações no relevo. O conjunto dos processos exógenos abrange a ação atmosférica, hidrosférica e biológica presentes na superfície da Terra. O sistema atmosférico e a sua sucessão de climas e tempos constituem o agente modelador mais relevante do sistema geomorfológico, atuando, de modo geral, no aplainamento de superfícies, rebaixamento de patamares e dissecação do relevo. Este fator do relevo pode implicar a diferenciação de grandes compartimentos geomorfológicos.

A ação biológica, vinculada aos climas, não é tão expressiva nas macroestruturas da paisagem quanto os outros dois fatores. Por outro lado, suas velocidades de atuação podem ser muito maiores, deflagrando e acelerando processos de pedogênese e morfogênese, de particular importância a estudos de detalhe ou sub-regionais.

Dentro da ação biológica, a sociedade deve ser individualizada e destacada como um conjunto de ações exógenas, uma vez que, para o seu estabelecimento e desenvolvimento, as ações tomadas implicam mudanças ambientais de magnitude sobre os processos, formas e materiais muito além de qualquer outro agente geomorfológico. Por isso, ao longo dos últimos trinta anos,⁵ muitos autores sugeriram que a sociedade deva ser considerada o agente mais relevante na atualidade.

A sociedade como agente geomorfológico estende-se desde as práticas agrícolas, a exploração mineral até a urbanização moderna. Esta última, apesar de constituir o mais tardio dos processos de modelação do relevo, tem significância tanto por sua magnitude quanto por sua diversidade de atuação no espaço e ao longo do tempo, explicitando a razão de muitos autores terem se interessado pela geomorfologia antropogênica.

Na presente pesquisa, a urbanização foi enfocada como responsável pelas modificações na dinâmica hidrológica de superfície pela abordagem geomorfológica antropogênica e pela hidrologia urbana. Nos capítulos seguintes, realizou-se uma revisão da literatura que permite uma compreensão mais profunda da inserção da sociedade no sistema geomorfológico e no contexto das alterações hidrológicas relevantes à pesquisa.

1.2.2. O Homem como agente geomorfológico

Os primórdios da preocupação em compreender a atuação do Homem nos sistemas geomorfológicos estão nos trabalhos de Marsh (1864), Sherlock (1922), de acordo com o

⁵ A introdução do Homem como agente geomorfológico, contudo, está em discussão desde a primeira metade do século XX.

que destacam Nir (1983) e Rodrigues (1997). No Brasil, esta introdução se iniciou com Felds (1958), conforme menciona Surtegaray (1997).

A consolidação dessa perspectiva, no entanto, ocorreu com a divulgação e a adoção da teoria sistêmica nos estudos ambientais. Na geomorfologia, isso implicou, dentre outras coisas, a incorporação do Homem como agente de modificação em uma abordagem mais ecológica (TRICART, 1977) nos sistemas controlados ou processo-resposta.

A inserção do Homem esteve vinculada a uma crescente motivação em relação à análise dos impactos ambientais a partir dos anos 70. Neste período, a tomada de consciência quanto à escassez de recursos ambientais e à emergência do conceito de fragilidade e riscos ambientais, urgiram por análises das intervenções antrópicas (RODRIGUES, 1997).

A abordagem geomorfológica antropogênica foi a responsável por aprofundar, atualizar e detalhar a ação antrópica sobre o relevo, desenvolvendo princípios de abordagem, análise e síntese. Recentemente, nota-se a consolidação de tais princípios, particularmente para o meio urbano.

1.3. Geomorfologia e urbanização

A urbanização é tida como a modalidade de apropriação territorial mais vigorosa e impactante empreendida pelo ser humano (GUPTA e AHMAD, 1999). Jorge (2011) destaca que a consolidação urbana de grandes cidades, particularmente no mundo tropical, está vinculada ao modelo de desenvolvimento urbano empregado em seu crescimento, no qual, observa-se, de maneira generalizada, ocupação espontânea e caótica, ausência de infraestrutura de saneamento e serviços mínimos, principalmente nos além-centros metropolitanos.

Casos emblemáticos exemplificam tal precariedade, podendo citar: a ocupação de morros e encostas íngremes, em anfiteatros de nichos de nascentes, em rupturas de declividade e em planícies de inundação. Estas ocupações podem gerar, por exemplo, a perda de estabilidade das encostas; impermeabilização de áreas significativas de bacias, incorrendo no aumento do *runoff*, aumento da magnitude e frequência de enchentes, além do rebaixamento do nível freático e prejuízos à qualidade das águas (BOTELHO, 2011).

Pellogia (2005) é um dos autores que se destacam no estudo geomorfológico urbano, embora enfatize, em seus estudos, as metodologias e técnicas da geologia. Este autor se baseou na análise do espaço-tempo metropolitano (da Grande São Paulo, e de outras capitais), para consistir o que denominou Tecnógeno (ou Quinário), tempo geológico pós-

holoceno. Ao reconhecer que alterações sobre os sistemas geomorfológicos oriundas da ação antrópica são de magnitudes tão amplas que superam todos os demais processos geomorfológicos, o autor afirma que isso pode ser desdobrado na delimitação e na classificação de um novo momento geológico da história da Terra. Momento este, no qual os processos erosivos e agradativos, as derivações dos materiais e as estruturas dos sistemas geomorfológicos passaram a ser controlados pelas interferências humanas.

Acredita-se que há um esforço conceitual relevante nas contribuições deste autor, principalmente, por realizar uma delimitação temporal em grande escala. A geomorfologia urbana é uma geomorfologia do quaternário, na qual as intervenções humanas passam a ser controladoras das alterações geomorfológicas principais, respondendo pelo estabelecimento de novas condições de estabilidade ou instabilidade e pelas consecutivas reconfigurações da paisagem.

Rodrigues (2004) insere o debate da urbanização como agente geomorfológico, a partir da geomorfologia antropogênica, na modalidade de intervenções de primeira ordem, considerando tanto as alterações diretas quanto as indiretas. Segundo a autora, trata-se, na verdade, de um processo histórico envolvendo várias modalidades de intervenção, relativas às etapas de construção do ambiente urbano e às diferenciações infraestruturais do próprio processo.

[...] a leitura geomorfológica do urbano não se limite a entender e dimensionar a intervenção urbana no que se refere aos processos, materiais e formas, mas também em reconhecer várias modalidades de intervenção urbana e situações de instabilidade a elas associadas (RODRIGUES, 2004. p.119).

Ao passo do desenvolvimento urbano, outras intervenções de primeira ordem tomam espaço, como a retirada da cobertura vegetal nativa, a extração mineração, o uso agrícola remanescente e a implantação do sistema viário. Nelas são reconhecidas as maiores extensões de alteração e os mais profundos impactos sobre o sistema geomorfológico. Por essa razão, que há a proposta de que a urbanização deve ser detalhada em subcategorias espaciais e em fases históricas da ocupação. Rodrigues (2005) conduz essa discussão dizendo que:

Por exemplo, a categoria de intervenção urbanização poderá ser detalhada por padrão de arruamento, por densidade de edificação, densidade de lotes ou por fases de consolidação urbana. Pode ser ainda detalhada de acordo com a extensão, profundidade, densidade dessas novas formas ou pelo volume de remanejamento ou substituição dos materiais superficiais originais, (p. 103).

A ocupação urbana, portanto, sob a perspectiva geomorfológica tem importância inquestionável atualmente, principalmente no que se refere a sua interface aplicada.

Contudo, Rodrigues (2004) alertou para o momento das pesquisas a este respeito, colocando que atual fase é caracterizada por experimentações técnicas e metodológicas, mesmo aquelas envolvendo a abordagem antropogênica. A autora menciona, ainda, que não há orientações padronizadas que ofereçam metodologias para o estudo da ocupação urbana e suas implicações nos sistemas geomorfológicos. Em relação a isto, destaca que os estudos mais relevantes buscam discriminar os estágios de urbanização que possam ser representativos aos processos morfodinâmicos.

Aparentemente, é desta forma que vem sendo conduzidas as mais recentes pesquisas em desenvolvimento sobre a urbanização na perspectiva geomorfológica antropogênica. Todavia, numa pesquisa com preocupações atuais com os problemas de inundações e alterações nos picos de vazão, deve-se notar que a identificação de fases de consolidação do urbano está voltada à discriminação das morfologias pré-antropogênicas e antropogênicas (atualmente existentes), que possibilitem o mapeamento e as análises relativas à vulnerabilidade à inundação. Além disso, é imprescindível definir as subcategorias do urbano que são relevantes ao estudo. Esta etapa é contemplada nas definições de legendas utilizadas nos mapeamentos morfológicos e de uso da terra.

1.4. A geomorfologia antropogênica

A seleção das referências desenvolvidas neste item não objetivou a revisão dos primórdios da geomorfologia antropogênica. Procurou-se tecer considerações históricas relevantes ao surgimento do conceito, no intento de delinear as condições de sua constituição enquanto abordagem para estudos geomorfológicos. Rodrigues (1999, 2004, 2005 e 2010) tem sido o principal nome quanto a sistematizações dos princípios e da evolução metodológica deste campo da geomorfologia, particularmente na geomorfologia aplicada. Assim, suas contribuições foram exploradas para a apresentação da geomorfologia antropogênica.

Previamente a isso, faz-se necessário destacar o contexto em que o antrópico passou a interessar nos estudos geomorfológicos. Segundo Goudie (1993), na segunda metade do século XX, ampliaram-se as intervenções humanas sobre o ambiente natural, aceleradas pelo uso massivo das novas tecnologias de exploração e beneficiamento dos recursos naturais, e pelo crescimento dos aglomerados urbanos e das populações citadinas.

Este vertiginoso crescimento urbano-industrial resultou em acelerado progresso das atividades agropecuárias, silviculturais e minerárias. Tal panorama incitou as pesquisas a incluir o Homem como um novo elemento geomorfológico, colocando-o em um patamar

particular de intervenção e de modificação das formas e processos naturais, fato que desembocou no desenvolvimento da antropogeomorfologia, conforme Nir (1983).

Nesta, a sociedade impõem modificações na morfologia, nos processos, nos arranjos e nas propriedades dos materiais que compõem o relevo, alterando a paisagem e recondicionando o equilíbrio dinâmico existente. Além de NIR (1983), muitos outros autores tem se debruçado sobre tais questões, como: Gregory e Walling (1973); Toy e Hadley (1987), Gregory (1992), Goudie (1993); e Rodrigues (1997, 2004, 2005 e 2010).

Moroz (2010) menciona que conforme se acirraram as discussões e preocupações em torno do aquecimento global, desertificação, extremos climáticos e outros problemas ambientais, em meados dos anos setenta, despontaram diversos estudos que consideraram o Homem como modificador da biosfera. Esta nova fase da ciência geomorfológica conduziu à retração dos estudos voltados à cronologia da denudação, e passaram a valorizar as investigações relacionadas aos processos de “tempo curto”, atuantes nos sistemas geomorfológicos.

A antropogeomorfologia ou geomorfologia antropogênica abrange também o registro, a consideração, a análise e a mensuração (conforme o possível) das alterações postas pela sociedade. Neste sentido, os efeitos das alterações podem ser traduzidos em novos balanços com base em taxas relativas às intensidades, às magnitudes e às frequências dos processos geomorfológicos, contexto no qual, o conceito de limiar geomorfológico pode ser relevante em muitos casos, principalmente no que se refere à geomorfologia aplicada ao ordenamento e regulação territorial (RODRIGUES, 2004).

Em virtude desta composição teórico-conceitual da antropogeomorfologia, reafirma-se a preponderância em se incluir as intervenções antrópicas como fundamentais para descrever e explicar o relevo urbano, as formas e os processos relativos às inundações e picos de vazão.

Rodrigues (1997) apresentou uma ampla revisão e avaliação crítica a respeito da subutilização e pertinências das referências clássicas da Geografia Física e da Geomorfologia para a avaliação e dimensionamento dos efeitos da atividade antrópica na superfície terrestre. Como produto central desta crítica, a mesma autora (em 1999 e em 2004) realizou um esforço de revisão e de proposição metodológica, e elencou dez princípios para a compreensão das ações antrópicas sobre o meio físico. Estes evidenciam a preocupação da autora em sistematizar um caminhar metodológico voltado ao registro das transformações da sociedade que implicam a atual evolução do relevo.

Nota-se que eles constituem princípios basilares, sistematizados para oferecer suportes metodológicos iniciais de qualquer estudo geomorfológico preocupado com a

sociedade enquanto agente geomorfológico. Assim, nem todos são utilizados no presente estudo, e aqueles que são empregados possuem diferentes graus de importância.

Abaixo estão elencados estes dez princípios:

- 1 – Observar ações humanas como ações geomorfológicas na superfície;
- 2 – Investigar padrões de ações humanas significativas para a morfodinâmica;
- 3 – Investigar a dinâmica e a história cumulativa das intervenções humanas;
- 4 – Empregar diversas e complementares escalas espaço-temporais;
- 5 – Empregar e investigar as possibilidades da cartografia geomorfológica de detalhe;
- 6 – Explorar a abordagem sistêmica e a teoria do equilíbrio dinâmico;
- 7 – Utilizar a noção de limiares geomorfológicos e análise de magnitude-frequência;
- 8 – Dar ênfase à análise integrada de sistemas geomorfológicos;
- 9 – Levar em consideração as particularidades dos contextos morfoclimáticos e morfoestruturais; e
- 10 – Ampliar o monitoramento de balanços, taxas e geografia dos processos derivados e não derivados da ação antrópica.

A autora propõe explorar o potencial analítico e de síntese da geomorfologia para a abordagem e avaliação dos efeitos da ação humana na paisagem, incluindo na proposição o aprofundamento da abordagem antropomorfogênica para obter resultados e parâmetros mensuráveis. Estes princípios desembocam na necessidade de explorar diferentes técnicas, a exemplo da cartografia geomorfológica de detalhe e a cartografia geomorfológica retrospectiva. A seguir detalha-se a concepção e a abrangência de cada passo.

- 1 – Observar ações humanas como ações geomorfológicas na superfície.

Parte-se do princípio de que as ações humanas implicam mudanças morfológicas, alterações nas propriedades dos materiais, e influenciam os balanços, as frequências e as taxas dos processos. A autora destaca que nessa perspectiva é necessário reconhecer a gênese e evolução das formas, materiais e processos, sejam eles derivados ou não da ação antrópica.

- 2 – Investigar padrões de ações humanas significativas para a morfodinâmica.

Neste tópico, dois aspectos ressaltados pela autora são fundamentais: o primeiro, referente ao reconhecimento das atividades humanas em sua lógica espaço-temporal e dinâmica intrínseca da sociedade, referente, portanto, ao contexto histórico e social, incluindo as técnicas envolvidas nas ações. O segundo diz respeito à identificação e à caracterização dos atributos de ordem natural. Fala-se das modalidades de morfologias originais, as quais devem ser entendidas em suas relações e nas interferências mútuas que aplicam.

A autora condensa neste tópico o princípio de que os processos atuais que hoje tem espaço na superfície, são regidos pela dinâmica das ações antrópicas e pelos sistemas anteriormente existentes, sejam eles naturais ou não.

Assim, o destaque ao prognóstico geográfico reside no fato de que cada atividade e técnica envolvida na ação humana devem ser reconhecidas, e seu significado deve ser entendido em termos de extensão, duração e tipo de morfodinâmica derivada.

3 – Investigar a dinâmica e a história cumulativa das intervenções humanas.

Este tópico abrange um dos procedimentos metodológicos mais relevantes da presente pesquisa e deve ser entendido em sua plenitude. Por isso, optou-se por transcrever excertos essenciais do texto original, segundo Rodrigues (2004, p. 95):

Envolve a necessidade de se buscar reconstituir a situação pré-intervenção ou pré-anthropogênica, em que os processos originais, assim como as formas e os materiais, devam ser investigados, para posterior comparação com as situações de modificação. Constituem os parâmetros para o dimensionamento das modificações, pois, sem esse conhecimento, não é possível avaliar a magnitude dos impactos das ações que se sobrepõem ao sistema investigado, tampouco identificar as variáveis mais relevantes para a detonação de determinados processos indesejáveis [...].

Continua:

[...] O princípio de reconstituição deve, portanto, iniciar-se com a investigação geomorfológica pré-anthropogênica do sistema afetado e conclui-se a partir da investigação do acúmulo ou sobreposições históricas de intervenções antrópicas sobre a área. Trata-se da geomorfologia retrospectiva e evolutiva, também sistematizada e viabilizada por meio dos recursos da cartografia geomorfológica tradicional, com intensa utilização de sequência temporal de aerolevantamento e por fonte de informação menos usuais, como materiais iconográficos e entrevistas com moradores antigos (VERSTAPPEN, 1985).

Atentam-se, ainda, às recomendações sobre a definição dos estágios de perturbação a serem considerados e quanto à tipologia de intervenções, determinadas pelas técnicas empregadas e pelas classes sociais.

4 – Empregar diversas e complementares escalas espaço-temporais.

Este princípio retoma as clássicas proposições taxonômicas de Gerasimov e Merscejakov (1967) e Tricart e Cailleux (1965), e propõe a abordagem multiescalar, considerando a manifestação dos fatos geomorfológicos. Devido à abrangência do objeto da geomorfologia, o emprego de escala-complementares é um procedimento que busca relativizar o problema em diferentes ordens de grandeza espaço-temporal.

A autora enfatiza a necessidade de consideração particular das escala maiores, tendo em vista as derivações impostas pelas sociedades humanas, com destaque à fase industrial. O Homem tem modificado as formas da superfície muito mais velozmente que os sistemas naturais o fazem, implicando alterações químicas e aumento do transporte de sedimentos. Assim, escalas de detalhes (maiores que 1:10.000) e intervalos compatíveis à ação humana

e suas repercussões (diários ou horários, por exemplo), são fundamentais ao entendimento da dinâmica atual do relevo.

Moroz (2010) ressalta ainda que as dinâmicas de alteração antrópica sobre o meio físico apresentam temporalidade e espacialidade próprias, que revelam seus efeitos nas várias escalas. Estas alterações encontram similaridade no que diz respeito à magnitude de modificação se comparada aos eventos espasmódicos⁶, cuja escala espaço-temporal de ocorrência é local, mas decorrem em modificações históricas amplas e significativas.

5 – Empregar e investigar as possibilidades da cartografia geomorfológica de detalhe.

A cartografia geomorfológica de detalhe é o instrumento metodológico a ser mais explorado na abordagem geomorfológica proposta nesta pesquisa, buscando atender, assim, a este princípio ressaltado por Rodrigues (2004).

Este recurso metodológico e técnico potencializa a diferenciação e o dimensionamento dos efeitos das ações antrópicas, permitindo análises espaciais dos sistemas afetados, sua contiguidade e continuidade. Ele facilita, também, inúmeras operações envolvendo as análises espaciais, a exemplo da análise retrospectiva e evolutiva.

Essas possibilidades são incrementadas, ainda, pelo uso da cartografia digital por meio de Sistemas de Informação Geográfica (SIGs), que atualmente vem ganhando espaço nas produções cartográficas na geomorfologia. Esta utilização, contudo, apresenta algumas ressalvas. A popularização dos SIGs tem refletido na produção de pesquisas cujos resultados cartográficos baseiam-se em procedimentos pouco claros. Assim, ressalta-se a necessidade de descrição detalhada dos procedimentos adotados, a fim de expandir sua utilização, além de permitir o questionamento da adoção de determinados caminhos técnicos.

6 – Explorar a abordagem sistêmica e a teoria do equilíbrio dinâmico;

A perspectiva sistêmica integra a sequência metodológica da geomorfologia antropogênica. Sua exploração deve se dar no mesmo sentido do desenvolvido nos itens 2.2. a 2.4., primeiramente identificando e delimitando o sistema a ser estudado em sua funcionalidade e complexidade estrutural, para em seguida levantar os elementos de forma, processos e estrutura constituintes, bem como caracterizar seus atributos.

Essa etapa é fundamental à compreensão dos sistemas em sua mais preservada, contexto no qual a inserção das intervenções antrópicas ocorre e pode ser parametrizada, possibilitando a identificação das variáveis envolvidas, destacando a relevância de cada

⁶ Termo utilizado pelo Professor Dr. Aziz Ab'Saber para os eventos naturais excepcionais cuja ocorrência é pouco frequente, mas os resultados são os mais significativos em termos de morfodinâmica. Citam-se volumosos acumulados de chuva, enormes movimentos de massa, etc.

uma delas na alteração dos balanços dos processos nos cenários de pré-perturbação e de perturbação ativa.

Esse procedimento também é valioso na delimitação dos sistemas e no grau de impacto que determinada alteração pode acarretar nos subsistemas e nos sistemas adjacentes.

7 – Utilizar a noção de limiares geomorfológicos e análise de magnitude-frequência;

Este princípio é basilar tal qual a exploração da abordagem sistêmica nos estudos geomorfológicos antropogênicos. Ou seja, ainda que apenas tomadas no plano de referenciais conceituais, os limiares e as análises de magnitude-frequência devem estar presentes para uma apreciação adequada das atividades antrópicas na superfície.

O limiar geomorfológico, segundo Rodrigues (2004), *pode ser considerado como o limite superior de processos cumulativos, a partir do qual uma sequência particular de eventos cessa e outra, nova, passa a ser introduzida (p. 100).*

Sua identificação é essencial na proposição de intervenções antrópicas, pois uma vez que elas ocorrem, o rompimento de limiares não são desejáveis, e novas intervenções devem ser realizadas visando à regularização e estabilidade do sistema abaixo do limiar.

A análise de magnitude-frequência recebe o mesmo grau de importância, sendo relevante ao dimensionamento das mudanças espaço-temporais derivadas das ações antrópicas sobre os processos. A autora cita essa importância no caso da alteração das magnitudes das vazões de pico.

8 – Dar ênfase à análise integrada de sistemas geomorfológicos;

Fortemente vinculado ao item 6 que considera a abordagem sistêmica, ressalta-se a necessidade em se expandir a perspectiva sistêmica para a compreensão do sistema geomorfológico, especificamente, abrangendo os sistemas contíguos e os subsistemas. Essa valorização é reforçada pela necessidade de se reconhecer nestes sistemas sua originalidade ou sua configuração nos períodos pré-atuais, de modo a viabilizar a distinção e o dimensionamento das ações antrópicas que se sobrepõem ao longo do tempo.

Deste tópico, podemos realçar e adiantar sua relevância quanto à determinação das morfologias originais e morfologias antropogênicas, enquanto categorias relativas ao sistema geomorfológico. Trata-se da delimitação do sistema e a identificação dos subsistemas da modalidade original em escala compatível ao seu mapeamento e apresentação, e a determinação e reconhecimento dos subsistemas geomorfológico da modalidade antropogênica.

Na presente pesquisa, estão sendo considerados os sistemas: bacia hidrográfica, rede dos canais fluviais (perenes e intermitentes), planície e o conjunto de interflúvios e vertentes.

9 – Levar em consideração as particularidades dos contextos morfoclimáticos e morfoestruturais.

Tal como destacado no item 3 para as modalidades de intervenção antrópica, os contextos morfoestrutural e morfoclimático devem ser considerados, devido à necessidade de relativização dos impactos que as alterações da sociedade imprimem à dinâmica natural. Isso fica claro na seguinte passagem:

Taxas semelhantes de sedimentação em canais fluviais obtidas para zonas morfoclimáticas áridas [...] devem ser relativizadas quando comparadas a taxas contidas em outros contextos morfoclimáticos, ainda que elas se refiram aos mesmos sistemas geomorfológicos, como, por exemplo, canais fluviais e planícies de inundação (RODRIGUES, 2004. p. 101).

10 – Ampliar o monitoramento de balanços, taxas e geografia dos processos derivados e não derivados da ação antrópica.

A autora ressalta a necessidade de que sejam ampliadas e adensadas as redes de monitoramento das variáveis dos sistemas geomorfológicos, tanto em áreas originais quanto antropizadas. Nas áreas que apresentam preservação das condições originais esta necessidade é ainda maior, primeiro em virtude da difundida antropização e redução dos ambientes natural representativos; em segundo devido à importância de dados que possibilitem a calibração dos parâmetros que permitam a avaliação dos novos balanços de processos derivados da ação antrópica. Por estas razões, que se destacam as importâncias das Unidades de Conservação.

Com base nestes princípios, Rodrigues (2005) e Batista (2003) apresentaram estudos na RMSP em que destacaram alguns procedimentos metodológicos de reconhecimento e caracterização de morfologias antropogênicas, com o objetivo final de constituir unidades espaciais de planejamento urbano. Estes procedimentos metodológicos⁷ estão baseados na utilização da cartografia geomorfológica, de escalas complementares, da produção de conhecimento geomorfológico relativo às condições originais da superfície estudada (morfologias originais), identificação de padrões de intervenção humana (morfologia antropogênica), produção de conhecimento e análise das sequências e sobreposições de intervenção urbana, reconhecimento dos conteúdos em diversas e complementares escalas, e, por último, na utilização de sistemas geomorfológicos com o reconhecimento cartográficos de seus limites como referências da correlação realizada na identificação do que as autoras denominaram de unidades de planejamento ou unidades complexas.

⁷ As metodologias da análise geomorfológica antropogênica que vem sendo aplicadas nos estudos dos ambientes urbanos são apresentados e descritos em Rodrigues (2004), publicação na qual a autora esclarece a fase de experimentação metodológica e técnica vivida por este ramo da geomorfologia.

Assim, é primordial a definição dos conceitos de morfologia original, morfologia antropogênica e unidades complexas.

Por morfologia original, entende-se:

[...] aquela cujos atributos como extensão, declividade, rupturas e mudanças de declives, dentre outros não sofreram alterações significativas por intervenção antrópica direta ou indireta. Modificação significativa é aquela que já implica em dimensões métricas nos atributos mencionados (RODRIGUES, 2004. p. 103).

Assim, a morfologia original é a que não sofreu intervenção direta nas formas originais, ou seja, os sistemas geomorfológicos podem ter sido objeto de interferências importantes do ponto de vista dos processos, como no caso da ação do desmatamento, mas não sofreram remanejamentos diretos significativos de material como aqueles que ocorrem em áreas com aragem, pastagem intensiva e uso de trator (superfícies agrícolas) ou cortes, aterros e substituição por materiais tecnogênicos (superfícies urbanas) (RODRIGUES, 2004. p. 104).

O parâmetro de variação da orientação da vertente pode incrementar a lista de atributos morfométricos e morfológicos mencionada. Estes são utilizados como base para a delimitação de unidades morfológicas semelhantes. Nesta pesquisa é proposta a aplicação deste parâmetro para o cotejo das características hidromorfológicas originais das vertentes e conjuntos interfluviais.

A ocupação urbana imprime morfologias antropogênicas de primeira ordem, e pode ser subdivida em diversas categorias ou hierarquias de intervenção, em que, normalmente, se consideram os padrões de arruamento, as densidades de edificações, os estágios de consolidação urbana, as distribuições e densidades de materiais superficiais, as profundidades e extensões de cortes e aterros, e os volumes de materiais remanejados (RODRIGUES, 2004).

A utilização destas categorias é balizada pelos objetivos do estudo, pelas limitações de acesso às informações referentes a cada uma delas e pelas escalas de trabalho adotadas. Dados sobre as características dos materiais superficiais, por exemplo, são raramente divulgados.

Devido ao fato de que a presente pesquisa foca suas análises e aplicações nas questões relativas às enchentes e aos picos de vazão, acredita-se que as categorias a serem apreciadas em primeiro plano sejam: os estágios de consolidação urbana, as densidades de edificações e os padrões de arruamento, devido ao que implicam sobre as dinâmicas hidromorfológicas de superfície, principalmente, às características de velocidade do escoamento superficial. Pode-se afirmar, a priori, que os estágios de consolidação urbana e as densidades de edificação apresentam uma correlação imediata à impermeabilização da superfície, enquanto os padrões de arruamento oferecem informações sobre os setores de fluxo concentrado. Cada uma dessas categorias deve ser

subdivida e classificada de acordo com o que está presente na área de estudo, e pode ser discriminadas conforme as características do sistema hidromorfológico estudado.

Seja por dificuldade de acesso a informações, por inexistência de dados, ou ainda, para viabilizar seus estudos nas escalas adotadas, alguns autores se utilizaram de simplificações das categorias de urbanização. Em geral, suas pesquisas foram conduzidas levando em consideração a categoria genérica de intervenção urbana, como pode ser observado em Batista (2003) e Rodrigues (2005).

Em escalas regionais ou sub-regionais (entre 1:100.000 e 1:20.000) esta simplificação incorre em generalizações, o que, na derivação de unidades complexas, pode ser entendido, inclusive como um recurso metodológico.

A definição das unidades complexas parece estar contida muito mais nos procedimentos metodológicos e técnicas que as derivam, do que na elaboração de sistematizações conceituais no contexto da geomorfologia antropogênica. Ela pode ser entendida como a sobreposição das unidades morfologias antropogênicas às originais, caracterizando um cruzamento onde ficam evidenciados os setores mais preservados e os mais perturbados ao longo do tempo pela expansão urbana. Rodrigues (2005) menciona que as unidades morfológicas complexas *“agregam características de sua situação pré-intervenção e sequência de intervenções urbanas semelhantes e irão constituir as unidades de planejamento urbano”* (p. 107).

É com base nesta proposição, e nos conhecimentos geomorfológicos por ela abrangidos e aqui apresentados, que se pretende proceder por meio da cartografia morfológica de detalhe: identificando as unidades complexas e delas derivar os potenciais de inundação e geração de escoamento superficial concentrado.

A proposta de análise das unidades complexas além de se utilizar dos conhecimentos da geomorfologia antropogênica, recorre à identificação e análise de indicadores de mudanças nos sistemas hidromorfológicos. Dito de outro modo, as metodologias que viabilizam a abordagem geomorfológica antropogênica têm, ao longo dos anos, sistematizado indicadores voltados à avaliação qualitativa e quantitativa de mudanças antrópicas, particularmente no meio tropical úmido (RODRIGUES, 2010).

Suas aplicações e avanços tem caracterizado a fase de amadurecimento e consolidação metodológicos dessa abordagem. Por essa razão é que se pretende utilizar de parâmetros oferecidos por essa metodologia. A seguir, desenvolve-se o conceito de indicador hidromorfológico e reproduz-se a sistematização oferecida por Rodrigues (2010).

1.4.1. Indicadores hidromorfológicos

Este item tem como objetivo definir o conceito de geoindicador, inserindo-o brevemente em seu contexto de origem, e caracterizar o aperfeiçoamento do conceito e da metodologia proposta para o estudo das intervenções antrópicas em meio urbano. Para tanto, ainda que a título de introdução à proposta metodológica que será tratada a seguir, tecem-se considerações preliminares sobre o conceito de geoindicador.

Sua origem é atribuída às emergentes preocupações com a necessidade de se reconhecer as alterações ambientais, induzidas ou não pela ação humana. Nas ciências da Terra, desde o último quartel do século XX, a proposta de constituir um arcabouço conceitual e um conjunto de ferramentas de análise de mudanças e tendências espaço-temporais do meio físico, por meio da sistematização de indicadores ambientais, tem sido alvo de esforço coletivo por parte de diferentes grupos de pesquisadores, abrangendo geólogos, hidrólogos, engenheiros, geógrafos, entre outros.

Coltrinari e McCall (1995) e Rodrigues (2004 e 2010) salientaram a emergência de um empenho de grupos da International Union of Geological Sciences (IUGS) em elaborar uma sequência de análises das intervenções antrópicas sobre o meio natural. Em suma, Geoindicadores são, de acordo com Berger (1996. p. 6):

[...] measures of surface or near-surface geological processes and phenomena that vary significantly over periods of less than 100 years and that provide information that is meaningful for environmental assessment. [...] Geoindicators measure both catastrophic events and those that are more gradual but evident within a human lifespan.

A escala espaço-temporal de análise de um geoindicador vincula-se à própria escolha de processo, forma ou material que será estudado, devendo-se contemplar alterações ambientais de curto prazo e de importância no contexto físico⁸.

Eles podem ser estabelecidos por medidas de magnitudes, frequências, taxas e tendências de processos ou fenômenos geológicos cuja abrangência temporal é menor que 100 anos, e quando se situam na superfície ou próximo a ela (COLTRINARI e McCALL, 1995). O uso de tal margem temporal relaciona-se intimamente ao ciclo da vida humana, e, mais genericamente, a uma fase técnico-econômica, impressa na paisagem na forma de alterações sucessivas e cumulativas.

Apesar de não terem sido concebidos, *a priori*, para serem utilizados no monitoramento da ação antrópica, Rodrigues e Coltrinari (2004) assimilando tais referências,

⁸ Berger (1996) propõem quatro perguntas básicas às quais estudos de geoindicadores devem buscar responder: "1) *What is happenig* in the environmental – what is its state? Is environmental and ecosystem health and integrity being reduced, maintained or improved? 2) *Why is it happening?* – What is the stress? [...] 3) *What is the significance of the changes*, for human being and for ecosystems? What are the *implications for the future?* 4) *How are we responding to the changes* – what are we doing about them?" (p. 2)

realizaram uma aproximação à abordagem da geomorfologia antropogênica e uma proposição metodológica.

Rodrigues (2010) realizou proposta metodológica respaldada em pesquisas teóricas, utilização de fundamentos teóricos de obras clássicas abrangendo a teoria dos sistemas e os princípios e métodos da geomorfologia, e aplicadas, analisando os procedimentos e testes de diversos autores, dentre eles Carmo (1997), Carvalho e Rodrigues (2002), Carvalho (2006), Batista (2003), Alamedinne (2005), Silva (2005), Rodrigues (2004 e 2005).

Além dos princípios basilares da geomorfologia antropogênica, sua proposta caracteriza-se pela seleção e proposição de conteúdos de legenda (para a cartografia geomorfológica) (1) representativos de fases e de modalidades de intervenção ou perturbação antrópica e (2) representativos de processos hidromorfodinâmicos (erosivos, sedimentares e de transporte); (3) indicadores e parâmetros da morfologia pré-intervenção e da morfologia antropogênica; (4) indicadores, parâmetros e medidas de condições físicas dos materiais originais e antropogênicos de superfície; (5) indicadores, parâmetros e medidas dos processos superficiais originais e derivados; e (6) correlação de indicadores de mudanças.

A proposta da autora está sistematizada no quadro de geoindicadores, inspirado na proposição inicial contida em Coltrinari e McCall (1995) e Berger e Ians (1996), além de Nir (1983) e outros, e visa oferecer com objetividade, parâmetros, indicadores e medidas ao monitoramento das alterações antrópicas. Assim, nele são definidos estes itens para cada tipo (ou categoria do sistema: forma, material e processos), por escala e por sistema geomorfológico, conforme se observa no quadro 1.

QUADRO 1 - Indicadores hidromorfológicos e suas características de identificação e quantificação.

Siglas: Sistema Bacia hidrográfica (**BH**), canais fluviais (**CF**), Planícies (**P**), Planícies de Inundação (**PI**), Conjunto ou unidades de vertente (**CV,V**), Interflúvios (**I**), Lagos (**L**), Reservatórios (**R**), Remansos de Reservatórios e de Lagos (**Rr e RI**), Vales (**V**).

Natureza do indicador: Original ou pré-antropogênico (**O**), Antropogênico (**A**).

Escala espacial do indicador: Média (**M**), Detalhe (**D**).

Obs.: Na tabela estão destacados os indicadores que serão explorados na presente pesquisa. Os indicadores marcados em **negrito** serão debatidos mais profundamente.

Indicadores morfológicos

Sistema/ indicador	Natureza/ Escala	Parâmetro	Unidade	Instrumentos básicos
BH	AO/MD	Área/forma/localização	m ² ou km ² /década/ano/mês	Cartografia (documentos antigos e recentes)
<u>BH</u>	<u>AO/MD</u>	<u>Densidade de drenagem (Dd) ou coeficiente de manutenção (Cm)</u>	<u>Dd ou Co/Década/ano/mês km/km² m²/m</u>	<u>Cartografia (documentos antigos e recentes/aerofotos)</u>
<u>BH</u>	<u>AO/MD</u>	<u>Direção de fluxo</u>	<u>Extensão total/década/ano/mês</u>	<u>Cartografia (documentos antigos e recentes/aerofotos)</u>
<u>P</u>	<u>AO/D</u>	<u>Área/Altitude/forma/localização</u>	<u>m² ou km²/década/ano/mês Década/ano/mês</u>	<u>Cartografia (documentos antigos e recentes/aerofotos) Perfis topográficos antigos e recentes</u>
<u>PL</u>	<u>AO/MD</u>	<u>Área</u>	<u>m² ou km²/década/ano/mês</u>	<u>Cartografia Geomorfológica Retrospectiva</u>
<u>PL</u>	<u>AO/D</u>	<u>Altitude</u>	<u>m/década/ano/mês</u>	<u>Perfis topográficos antigos e recentes</u>
<u>CF</u>	<u>AO/MD</u>	<u>Comprimentos</u>	<u>m/km/década/ano/mês</u>	<u>Cartografia Geomorfológica Retrospectiva</u>
<u>CF</u>	<u>AO/MD</u>	<u>Padrão</u>	<u>m ou km/ano/mês/padrão</u>	<u>Cartografia Geomorfológica Retrospectiva</u>
<u>CF</u>	<u>AO/MD</u>	<u>Declividade</u>	<u>m/h/%/década/ano/mês</u>	<u>Cartografia Geomorfológica Retrospectiva e relatórios técnicos</u>
<u>CF</u>	<u>AO/D</u>	<u>Largura</u>	<u>m/década/ano/mês</u>	<u>Cartografia Geomorfológica Retrospectiva</u>
CF	AO/D	Seção Transversal	m ² /década/ano/mês	Relatórios Técnicos e levantamento de Campo
CF	AO/D	Perfis Batimétricos	Perfis correlacionáveis/década/ano	Topo-Batimetria em documentos antigos e recentes. Levantamento
CF	AO/D	Profundidades Médias	h/ano/década	Topo-Batimetria em documentos antigos e recentes. Levantamento
I e CV	AO/D	Área	km ² /década/ano/mês	Cartografia Geomorfológica Retrospectiva

Sistema/ indicador	Natureza/ Escala	Parâmetro	Unidade	Instrumentos básicos
<u>V</u>	<u>AO/D</u>	<u>Declividades</u> <u>Rupturas</u> <u>Extensão</u> <u>Altura</u> <u>Volume</u>	<u>ângulos médios</u> <u>N (número de ocorrências)</u> <u>m</u> <u>m</u> <u>m²</u>	<u>Levantamento de perfis</u> <u>Cartografia Geomorfológica Retrospectiva de</u> <u>detalhe</u>
L, R, Rr e RI	AO/MD	Área Profundidades Médias Localização Volume	km²/ano/década m/ano/década	Cartografia Geomorfológica Retrospectiva e relatórios técnicos

Indicador dos materiais superficiais (formações superficiais e solos. Uso físico da terra e cobertura vegetal).

Sistema/indicador	Natureza/Escala	Parâmetro	Unidade	Instrumentos básicos
<u>Cobertura vegetal</u>	<u>AO/MD</u>	<u>Área/sistema/tempo</u>	<u>m²/km²/ano/década</u>	<u>Cartografia/Documents antigos e</u> <u>recentes/imagens de satélite/Mosaicos/Campo</u>
<u>Áreas desmatadas</u>	<u>A/DM</u>	<u>Área/sistema/tempo</u>	<u>m²/km²/ano/década</u>	<u>Cartografia/Documents antigos e</u> <u>recentes/imagens de satélite/Mosaicos/Campo</u>
Solos originais	O/DM	Área/sistema/tempo	m²/km²/ano/década	Cartografia/Documents antigos e recentes/imagens de satélite/Mosaicos/Campo/Dados pedológicos
Solos e formações superficiais	AO/DM	Área/sistema/Propriedades/volume/Tempo propriedades Mecânicas propriedades Hidrológicas propriedades Sedimentológicas e Pedológicas propriedades Estratigráficas	m²/km²/propriedades/m³/km²/sistema/ano/década Resistência Compactação Porosidade, Permeabilidade e Compactação Textura, Estrutura e Outras. Espessura, descontinuidades e outras.	Cartografia/aerofotos/documentos antigos e recentes/perfis/sondagens Levantamento de campo/tradagens/sondagens/testes Ensaio Análises laboratoriais
<u>Solos</u> <u>impermeabilizados</u>	<u>A/DM</u>	<u>Área/tempo</u>	<u>km³/mês/ano/década</u>	<u>Cartografia/documentos antigos e</u> <u>recentes/imagens de satélite/mosaicos/campo</u>
Aterros	A/DM	Área/tempo	km³/mês/ano/década	Cartografia/documentos antigos e recentes/imagens de satélite/mosaicos/campo

Sistema/indicador	Natureza/Escala	Parâmetro	Unidade	Instrumentos básicos
<u>Solos perturbados (terra exposta e movimentação de terra)</u>	<u>A/DM</u>	<u>Área/tempo</u>	<u>km²/mês/ano/década</u>	<u>Cartografia/documentos antigos e recentes/imagens de satélite/mosaicos/campo</u>
<u>Superfícies urbanizadas (contínuas)</u>	<u>A/DM</u>	<u>Área/padrão morfológico urbano/tempo</u>	<u>km²/padrão/mês/ano/década</u>	<u>Cartografia/documentos antigos e recentes/imagens de satélite/mosaicos/campo</u>
Leitos lacustres fluviais e de reservatórios	AO/D	Propriedades estratigráficas e sedimentológicas volume/perfis/tempo	m³/perfis/mês/ano/década Estrutura Textura Espessura Composição	Cartografia Geomorfológica/aerofotos/documentos antigos e recentes/perfis/sondagens Levantamento de campo/tradagens/sondagens/ Levantamento de campo/tradagens/sondagens/testes Análises laboratoriais

Indicadores de processos hidromorfológicos

Sistema/indicador	Natureza/Escala	Parâmetro	Unidade	Instrumentos básicos
Variabilidade do nível d'água (originais/operação de sistemas hidráulicos/canais, planícies e reservatórios).	AO/D	NA/número de eventos/tempo NA/número de eventos/Área alagada correspondente	N/m/dia/mês/ano m/N/área	Pesquisa documental/dados de operação
Regime fluvial	AO/DM	Variabilidade Anual das Vazões (inclui margens plenas e inundações)	m³/s/vazões médias mensais/década/século	Pesquisa documental/monitoramento
<u>Frequência e magnitude de vazões fluviais extremas (originais/operação de sistemas hidráulicos/canais e reservatórios)</u>	<u>AO/D</u>	<u>Número de eventos de Vazões Extremas/magnitude/tempo</u>	<u>N/m³/dia/mês/ano/década</u>	<u>Pesquisa documental/monitoramento</u>
Variabilidade das Vazões de reservatórios e outros sistemas hidráulicos	A/D	Número de eventos/Magnitude das Vazões/Tempo	m³/s/década/ano/mês	Pesquisa documental/dados de operação

Sistema/indicador	Natureza/ Escala	Parâmetro	Unidade	Instrumentos básicos
Variabilidade de vazões sólidas em fluxos fluviais e de vertente	AO/D	Vazões Sólidas/volume/tempo/sistema Textura	m³/s/dia/mês/ano/década	Pesquisa documental/Monitoramento de campo/análises laboratoriais
<u>Balanços de tipos de fluxos hídricos em sistemas fluviais e de vertentes</u>	<u>AP/D</u>	<u>Participação Relativa/Tipo de fluxo/tempo/área/sistema</u> <u>Participação relativa/Tipo/fluxo/Taxas de Erosão correspondentes/tempo/sistema</u>	<u>Percentuais/tipo/dia/mês/ano/década/m²/km</u>	<u>Monitoramento de campo</u>
Taxas de Desmatamento	A/DM	Área/tempo	km²/ano/década	Cartografia/documentos antigos e recentes/aerofotos/mosaicos/imagens de satélites
<u>Frequência e magnitude de Inundações</u>	<u>AO/DM</u>	<u>Número de eventos/NA e Vazões correspondentes/Tempo de duração e frequência/área sistema ou localização</u>	<u>m/numero de eventos/hora/m³/hora/dia/mês/ano/década/m²/sistema</u>	<u>Cartografia, pesquisa documental e monitoramento.</u>
Taxas e balanços de tipos de processos de Erosão em Vertentes	AO/D	Volume erodido/processo/Tempo Área erodida/processo/Tempo Tipos de processos: escoamento superficial concentrado, difuso, movimentos de massa e outros. Frequência/número/tipo de evento/Tempo	m²/hora/dia/mês/ano/década/tipo de evento m²/km²/tipo de processo/mês/ano/década N/tipo de processo/mês/ano/década	Cartografia, pesquisa documental e monitoramento.
Taxas e balanços de tipos de processos de Erosão e Transporte em sistemas fluviais	AO/DM	Volume erodido/tipo de processo: solução, suspensão, rolamento e saltação e solapamento/desassoreamento/Tempo participação relativa volume/Processo/Tempo Vazões sólidas tipo/Tempo	m³/tipo/dia/mês/ano/década percentuais em m³/tipo de processo/mês/ano/década m³/textura/composição/processo/dia/mês/ano/década	Cartografia, pesquisa documental e monitoramento
Taxas de Erosão antropogênica direta (mineração/terraplenagens/desassoreamento/outras)	A/DM	Área erodida/sistema/Tempo Volume de sedimentos/tipo de material/sistema Tempo	m²/km²/m³/sistema hora/dia/mês/ano/década/tipo m³/composição/sistema/hora/dia/mês/tipo/dia/mês/ano/década	Cartografia, pesquisa documental e monitoramento

Sistema/indicador	Natureza/ Escala	Parâmetro	Unidade	Instrumentos básicos
Frequência e magnitude de Movimentos de Massa: escorregamentos rasos, rotacionais, outros.	AO/D	Frequência: N/tipo/Tempo Frequência: N/tipo/Sistema ou Localização/tipo de intervenção antrópica associada/evento chuvoso/Tempo Área Afetada ou Volume Deslocado/tipo de processo/Tempo	Número de eventos/mês/ano/década Número de eventos/processo/sistema/intervenção/mm de chuva/hora/mês/ano/década m ² /km ² ou m ³ /km ³ /n/hora/mês/ano/década	Cartografia fotointerpretação, pesquisa documental, monitoramento de campo
Taxas de Deposição (coluvionamento/assoreamento e colmatagem)	AO/DM	Volume de sedimentos/Tempo Área/sistema/volume/Tempo Sistema afetado/Tempo (sistemas: fluviais, vertentes e flúvio-lacustres)	m ² /dia/mês/ano/década m ² /km ² /sistema/dia/mês/ano/década m ² /km ² total/m ² /km ² percentual afetado/ano/década/século	Cartografia, fotointerpretação, imagens, pesquisa documental, monitoramento de campo
Taxas de Deposição Antropogênica direta (aterros, lixões, edificações e outras.)	A/DM	Volume de sedimento/sistema/Tempo Área/sistema deposicional/Tempo Volume/tipo de sedimento/sistema/tempo	m ³ /dia/mês/ano/década/século m ² /km ² /sistema/dia/mês/ano/década/século m ³ /km ³ /textura ;estrutura; composição/sistema/dia/mês/ano/década/século	Cartografia, fotointerpretação, imagens, pesquisa documental, monitoramento de campo
Taxas de Produção de Material Tecnogênico (verticalização, mineração, esgoto, lixo e outros).	A/DM	Área produtora/sistema afetado Volume de material	m ² /km ² /dia/mês/ano/década/século m ³ /composição/dia/mês/ano/década/século	Cartografia, pesquisa documental e monitoramento

Fonte: Rodrigues (2010)
Adaptação: Yuri Veneziani

1.4.2. Indicadores de processos hidromorfológicos e a ocupação urbana

Uma vez apresentados os indicadores hidromorfológicos que possibilitam a análise quantitativa e qualitativa da geomorfologia antropogênica, cabe verticalizar o entendimento das dimensões envolvidas pelos dois indicadores que serão mais profundamente discutidos ao longo deste trabalho: **frequência e magnitude de vazões fluviais extremas (Pico de vazão) e frequência e magnitude de inundações.**

Estes indicadores hidromorfológicos de processos apresentam uma correlação evidente entre si. São diversos os fatores que interferem na determinação de ambos. Osterkamp e Schumm (1996) reconhecem que, em uma bacia, modificações nos principais parâmetros de avaliação (descarga e produção de sedimento) podem ser multiplamente influenciados, ou ainda, resultados de influencia indiretas, o que dificulta a identificação precisa dos fatores responsáveis pelas alterações.

It is often difficult, for example, to ascertain whether an increase in fluvial sediment load is the result of changes in land-use practices, climate variability (such as anthropogenic or induced global climate change) or, possibly, natural cyclicality that is triggered by exceeding a geomorphic threshold. In some instances, it is likely that change in surficial processes results from several causes, none of which can be identified confidently on the bases of a short period of data collection. (Osterkamp e Schumm, 1996, p.97)

Com isso, os autores propõem que as análises fluviais relativas à descarga do canal (e os processos referentes a elas) iniciem-se pela consideração da *funcionalidade natural* e a *evolução* do canal fluvial, levando em consideração os mecanismos do trabalho do rio. Isto, em suma, abrange o princípio sistêmico para determinação do estado de estabilidade dinâmica, vinculado ao padrão de drenagem observado. Osterkamp e Schumm (op. cit., 1997) ainda destacam, por meio da equação 1 abaixo, as variáveis hidrogeométricas que permitem entender características hidrodinâmica e o estado de estabilidade do canal fluvial:

$$Q_w \approx w, d, L/G \dots \dots \dots \text{EQUAÇÃO 1}$$

(1) *Relação de descarga fluvial*

Em que Q_w é a vazão, w é a largura do canal, d é a profundidade, L comprimento de onda do meandro, G é o gradiente de declividade, estabelecidos em uma relação em que a descarga é proporcional às características geométricas da seção transversal e à menor sinuosidade do rio (implicando maior comprimento de onda), e inversamente ao gradiente.

A equação 1 evidencia correlações diretamente proporcionais entre o aumento da descarga e a largura, profundidade e comprimento do meandro (no caso de rios

meandranes), e inversamente proporcionais ao gradiente de declividade. Assim, a análise de indicadores fluviais envolvendo a descarga recorre a parâmetros hidráulicos e hidrogeométricos.

Dentro da proposta de avaliar a modificação das magnitudes e frequências destes processos pela geomorfologia antropogênica, deve-se considerar a ocupação urbana da bacia, como determinante na avaliação. Enfocando-se no crescimento urbano em ambientes tropicais e suas implicações sobre o funcionamento e as características do meio natural de uma bacia, Coltrinari (1996), com base em Douglas (1977)⁹, esclareceu que:

These collectively produced a decrease in transpiration and an increase in peak storm runoff, lowering of the water table, development of gullying, siltation in valley floors, soil loss, organic enrichment of river, among other effects. *The later stages of urbanization brought increased runoff and risk of major flooding due to "sealing" of the soil surface by construction of houses and paving of streets, siltation of drains and culverts [...].* (p. 300-301).

Assim, a autora relaciona as características hidrológicas modificadas pela urbanização ao aumento da frequência de inundações, identificando nessas alterações, não unicamente aspectos de uso da terra, mas, sobretudo, as intervenções de cunho geomorfológico produzidas pela sociedade.

Postas estas características gerais das análises dos indicadores hidromorfológicos considerando parâmetros hidrogeométricos e da ocupação urbana, faz-se necessário introduzir a discussão metodológica proposta para esta pesquisa.¹⁰

Pela geomorfologia antropogênica é possível avaliar as modificações sofridas pelos geoindicadores de processos: magnitude e frequência das vazões extremas e das áreas inundáveis, sendo que, a determinação do primeiro está baseada na utilização de pesquisa documental e monitoramento, enquanto o segundo pode ser obtido por pesquisa documental, monitoramento e pela cartografia geomorfológica de detalhe.

Assim, o aumento da área inundável é um resultado da cartografia geomorfológica evolutiva. Baseado nesta, pretende-se obter taxas relativas aos graus de comprometimento dos sistemas de fundo de vale (através do mapeamento das unidades complexas), à variação da magnitude das inundações e às vulnerabilidades à inundações atuais. Devem ser derivadas, ainda, taxas relativas ao aumento ou diminuição de áreas com diferentes potenciais de inundação.

A indisponibilidade de documentos históricos sistemáticos e a inexistência de monitoramento que permitam obter valores de descargas extremas configura-se uma

⁹ DOUGLAS, I. The impact of urbanization on fluvial geomorphology in the humid tropics. In: J. Alexandre (ed), Dynamical geomorphology in tropical regions. Lubumbashi: Press Universitaires du Zaire [Geo-Eco-Trop. 2 (1-2): 229-242] 1977.

¹⁰ Optou-se por incluir aqui esta discussão, pois se acredita que ela envolva pressupostos metodológicos, e que, por isso, anteceda os procedimentos metodológicos a serem aplicados.

limitação à determinação dos picos de vazão. Nesta pesquisa esta informação será obtida por meio da aplicação do modelo hidrológico chuva-vazão Ven Te Chow-SCS tendo como referência o uso da terra, as características físicas da bacia e da rede de drenagem, e as tormentas de diferentes características temporais (abrangendo tempos de retorno e tempos de duração, com base em curvas IDF).

O uso de um modelo hidrológico é um recurso fundamental para análise de modificações espaciais produzidas pela ocupação humana, às quais a geomorfologia antropogênica abrange, e por isso tal ferramenta deve constituir instrumental básico de determinação dos valores mensuráveis dos processos hidromorfológicos.

Se por um lado, a utilização da cartografia geomorfológica evolutiva e do modelo hidrológico proposto apresenta compatibilidade em relação à escala de detalhe adotada, bem como por envolver os mesmo períodos históricos de ocupação urbana; por outro, os parâmetros em que se baseiam são diferentes. Enquanto a cartografia geomorfológica evolutiva utiliza-se de parâmetros baseados em princípios de funcionamento dos sistemas hidromorfológicos originais e antropogênicos, o modelo hidrológico é estruturado em parâmetros, variáveis e relações colocadas pela hidrologia e pela hidráulica. Esta diferenciação, juntamente com outros fatores, tem distanciado os campos do conhecimento e descartado a aplicação combinada dessas diferentes metodologias.

A aplicação de análise de indicadores morfológicos, portanto, constitui um esforço de aproximação entre elas, a qual deve estar fundamentada na relação existente entre as variações da magnitude e frequência dos picos de vazão e das áreas inundáveis. A princípio isso ocorre levando-se em consideração a resposta de áreas alagadas frente a picos de vazão, os quais estão subordinados, diretamente às tormentas de entrada do modelo.

Assim, é possível obter dois tipos de resultados na análise dessa aplicação: (1) relações de áreas potencialmente alagáveis como respostas a diferentes picos de vazão, e, conseqüentemente, às distintas tormentas de entrada; e (2) taxas relativas à variação de áreas potencialmente alagáveis frente a diferentes picos de vazão como respostas às alterações da bacia pela ocupação urbana¹¹.

A obtenção desses é uma experimentação que prevê a aplicação da metodologia de indicadores hidromorfológicos da geomorfologia antropogênica, associando a modelagem hidrológica à produção de cartografia geomorfológica evolutiva. Nos capítulos que seguem, descrevem-se os fundamentos e detalham-se os procedimentos que ambas abrangem.

¹¹ Modelos hidrodinâmicos como o CLiv e HEC-RAS pode assessorar na determinação das áreas inundáveis. Seus resultados possibilitam relacionar chuvas de diferentes tempos de retorno e duração ao alagamento de diferentes setores do sistema hidromorfológico, ou ainda, à partes destes setores, possibilitando afirmar, por exemplo, que uma dada porcentagem da planície de inundação será alagada frente à uma precipitação de determinado tempo de retorno e duração.

1.5. Cartografia Geomorfológica de Detalhe

O mapeamento geomorfológico constitui-se, antes de tudo, uma etapa indispensável aos estudos das formas, dos processos e dos materiais da superfície. Para Demek (1972):

The relief of the Earth's surface consists of a system of surface forms which can be *distinguished and defined*. The investigation of these forms, their *definition* and the elucidation of their *functions* in the system are carried out by the science called geomorphology. Geomorphology is thus a discipline within natural science placed at present most often between geography and geology (p. 15).

Sobre o desenvolvimento e amadurecimento da cartografia geomorfológica, muitos autores assinalam o percurso histórico baseado em, pelo menos, duas fases: uma antes e outra depois da segunda guerra, assumindo que a necessidade de avanços militares e de novas tecnologias bélicas, a posteriori, impulsionou a pesquisa científica.

Anteriormente à II Guerra Mundial, o “Atlas Morfológico”, de Siegfried Passarge (1914) é tido como a única e pioneira tentativa de sistematização cartográfica das formas do relevo. Durante a guerra e após este período, a difusão das fotografias aéreas e da restituição morfológica passou a ser interesse bélico (para definição de estratégias de avanços sobre territórios desconhecidos), mas também científico.

Com o fim da guerra e graças aos avanços técnicos por ela proporcionados, as tentativas de padronização na construção de cartas geomorfológicas e a sistematização de legendas de restituição foram largamente exploradas por diferentes escolas¹². No anseio global de sistematizar estes avanços espalhados por diversos países, a UGI (União Geográfica Internacional) promoveu, desde meados dos anos 1950, congressos focados neste tema, culminando com a criação de uma subcomissão de Mapeamento Geomorfológico. Cerca de vinte anos mais tarde, nos primeiros anos da década de 1970, foram publicadas dois grandes produtos deste esforço internacional: a legenda do Mapa Geomorfológico Internacional da Europa, em 1971 (BASHENINA et. al., 1971); e o Manual de Mapeamento Geomorfológico de Detalhe, em 1972 (DEMEK, 1972).

No contexto da ciência geomorfológica, Demek (op. cit.) destaca a importância de a investigação das formas atentarem-se (1) aos aspectos qualitativos e quantitativos das formas, sua distribuição e sua composição, (2) identificando processos com vias de dupla mão (as causas e suas consequências) responsáveis por modelar e remodelar as formas, sendo por elas influenciados. Há a necessidade de se mencionar (3) as características

¹² Tipicamente são citadas as escolas polonesa (entendida por muito como precursora), suíça, alemã, checa, francesa, canadense, entre outras. Foi sobre a legenda francesa que se basearam as primeiras práticas e os estudos iniciais de mapeamento no Brasil, tendo sido, a partir de meados da década de 1970, com a publicação de J.P. Queiroz Neto e A. Journaux (1978), o marco da introdução efetiva da cartografia geomorfológica de detalhe no Brasil.

genéticas, permitindo (4) o agrupamento de formas e suas relações e distribuições espaciais (identificação de unidades homogêneas e o estabelecimento de suas conexões e influências).

Caracterizar, portanto, um mapa geomorfológico como uma modalidade de carta temática constitui, no mínimo, em uma redução técnico-conceitual dentro da pesquisa geomorfológica (MOROZ, 2010).

Assim, a carta geomorfológica possui um valor analítico intrínseco, ao qual Luz (2010) destacando dos dizeres de Tricart (1965) e Rodrigues (1997), menciona que ela integra o próprio objeto de análise, uma vez que contribui para compreensão genética, cronológica, morfológica e constitutiva do relevo, destacando suas dimensões sistêmicas de dinâmica e arranjo espacial.

O mapa geomorfológico deve ser à base do estudo, necessariamente integrando o processo de investigação, ou seja, conduzindo-a metodologicamente, e não unicamente representando a efetivação “espacial” do que se propôs estudar.

Assim, a definição de metodologia contemplando a realização de um mapeamento geomorfológico, principalmente se este for um mapeamento de detalhe, implica em delimitar o mais precisamente possível (1) o sistema/recorte que será objeto de cartografiação; (2) os aspectos aos quais quer se oferecer relevância na leitura do mapa, estando esta escolha subordinada à escala de trabalho e aos objetivos da pesquisa.

Assim, a filtragem das informações, seu nível de detalhamento, bem como o grau de generalização das representações, são orientados pela escala de abordagem¹³, sob a qual, a priori, deve estar definido, necessariamente, o enfoque (1) ao conjunto de formas (macro-compartimentações) do relevo tipicamente utilizados para revelar aspectos de influência macroestrutural; ou (2) aos aspectos vinculados ao modelado e aos processos e materiais relativos à sua gênese e evolução.

O primeiro enfoque leva, necessariamente, à cartografiação de escala pequena, enquanto o segundo recorre à análise de detalhe, com informações em escala até 1:25.000.¹⁴

Essa discussão encontra referência nos debates acerca da definição de unidades espaciais de mapeamento, às quais diferentes concepções oriundas de diferentes escolas, resultaram na constituição de um leque de procedimentos e legendas geomorfológicas, extensamente explorados por Salomé e Van Dorsen (1982); e rediscutidos por Cunha, Mendes e Sanches (2003), Estaiano (2007), Soares (2008) e Moroz (2010).

¹³ Na geomorfologia antropogênica, a cartografia geomorfológica retrospectiva e evolutiva.

¹⁴ Demek (1972) engloba nas escalas de mapeamento geomorfológico de detalhe mapas até 1:50.000, ou ainda 1:100.000 levando em consideração a abrangência e a homogeneidade do fenômeno a ser estudado.

Na presente pesquisa, os mapeamentos geomorfológicos em cenários envolvendo condições originais e perturbadas (urbanizadas) do meio físico, e a produção da carta de unidades complexas com respostas hidrológicas heterogêneas serão realizados em escala de 1:10.000.

Assim, buscando atender ao protocolo deste tipo de cartografia a serviço da pesquisa geomorfológica, adotou-se, como pressupostos de funcionalidade do mapa, as seguintes características:

1. The recognition of the surface forms occurring in the mapped area
2. Their analysis for the purpose of:
 - 2.1. The establishment of *qualitative and quantitative measures* of their form
 - 2.2. The elucidation of *their genesis by means of the determination of their dependence on the material, processes of modeling and age*
 - 2.3. The establishment of *their arrangement in space and mutual relations* in the system
3. Cartographic representation of their *distribution and properties*. (DEMEK, 1972, p. 15).

Nele devem estar contidas as principais formas da superfície que ocorrem na bacia hidrográfica estudada, sobre as quais necessariamente devem estar destacados aspectos morfológicos e morfométricos (dado pela dimensão horizontal e vertical que o fato abrange). Tratando-se de um estudo de interface da geomorfologia com a hidrologia, a dimensão genética esteve vinculadas, prioritariamente, aos processos e formas estruturais, fluviais ou antropogênicas, sendo que, o tratamento dos materiais correlativos e suas idades não serão explorados profundamente.

Gellert (1972) destaca que planos geomorfológicos em escalas de 1:5.000 a 1:10.000 são os mais amplamente utilizados nos estudos de interface entre a geomorfologia e outras disciplinas, como a agronomia, engenharias de transporte, hidráulica, para o dimensionamento e operação de estruturas hidráulicas, e para o planejamento urbano e territorial de maneira geral.

Este autor destaca ainda que em um mapa geomorfológico de detalhe com escala acima de 1:10.000 não possui uma categoria principal de dado a ser representado, mas sim, um conjunto de informações de diferentes níveis de representatividade, que dizem respeito ao arranjo complexo de formas, processos e materiais superficiais, ordenados dentro do trabalho de cartografia, em procedimento de morfografia (em que deve ser representadas formas e partes de formas) e caracterização morfológica (envolvendo a descrição e o detalhamento do nível de morfometria, da litologia ou sedimentologia presente, características morfodinâmicas e, se possível, aspectos de morfogêneses).

1.5.1. As escalas da análise geomorfológica

Não é tarefa simples a nenhum geomorfólogo a distinção e definição dos fatos e fenômenos geomorfológicos de um determinado recorte, primeiro pela complexidade e riqueza do objeto em termos de variabilidade espacial e temporal que engloba: forma, dimensão, constituição, idade, gênese/evolução e tendência atual, e segundo porque, sendo a cartografia geomorfológica uma sintetização (e, portanto, uma simplificação), é necessário considerar o grau de abstração das formas e dos processos geomorfológicos a cada escala espaço-temporal definida.

1.5.1.1. O espaço-tempo dos fatos e fenômenos geomorfológicos

O relevo, como objeto de estudo da geomorfologia, assume dimensionalidades espaciais e temporais, cujo grau de correspondência à vida humana é extremamente amplo e variado. Tricart (1965), reconhecendo esta complexidade, que caracteriza uma das celeumas mais centrais da maturação da pesquisa em geomorfologia, polemiza a questão dizendo que sua escala pode variar entre micrômetros (10^{-6}) a milhares de quilômetros, envolvendo todo globo (10^7).

A amplitude do objeto de estudo não ocorre singularmente na geomorfologia. Situação semelhante suscita debates em ciências como a biologia, e dentro desta, da botânica. Neste exemplo, a menor unidade poderiam ser os elementos que compõem as células, sendo esta a menor estrutura autossuficiente e objeto de compreensão como um sistema. A partir dela, outras estruturas vegetais se desenvolvem até o nível de indivíduo, do qual facilmente passamos a outros extratos da vida e fitofisionomia vegetal, que inclui, certamente, a abordagem ecológica.

Não se trata, no entanto, como pode parecer a partir deste exemplo, como a questão única de determinar a abrangência ou a amplitude dos estudos geomorfológicos para comparar regiões ou discutir sua legitimidade territorial, mas de reconhecer qual seria a abrangência necessária para cada estudo geomorfológico, e, assim, escolher quais sistemas e quais os limites entre sistemas estão implicados no estudo, e quais ferramentas metodológicas e técnicas seriam mais adequadas.

Dentro da sistemática de estratificação das escalas geográficas, os graus de generalização e interpretação sofrem um aparente incremento, de tal maneira que feições que numa escala são centrais para o objeto de estudo, em outra são diluídas no complexo geomorfológico, e passam a integrar características morfológicas e morfométricas (fisionômica) genéricas. Tricart (1965) revela que é importante estar sensível à consideração de que as formas não são, em nenhum caso, idênticas umas as outras, e que suas particularidades podem ser muito significativas enquanto dados de gênese e evolução do

relevo. Por outro lado, não há dúvidas de que este autor considera necessário à cartografia e ao estudo das formas de relevo, a compreensão do micro ao macro, em que diferentes graus de generalização são exigidos.

Esta discussão fomentou, durante boa parte da segunda metade do século XX, a elaboração de sistemas de classificação taxonômica do relevo, que ao longo anos, não só desembocou no desenvolvimento de instrumentos metodológicos próprios (a classificação com base em metodologias de análise), como eles próprios tornaram-se metodologias. As mais marcantes tentativas de sistematização que desembocaram no sistema taxonômico mais amplamente conhecido e utilizado no Brasil estão registradas no quadro 2.

Com Ross (1992), a elaboração de uma classe taxonômica (6º táxon) que correspondesse, em termos de escala espaço-temporal, a escala da vida humana, e que, além disso, contemplasse a ação do homem como um fato geomorfológico, implica considerar as particularidades dessas interferências e sua completa distinção do que é abrangido pelo tempo-espaço geológico e geomorfológico natural.

QUADRO 2 - Principais sistemas de classificação taxonômica, suas estruturações e considerações.

Autor (ano)	Abrangência espacial (m)	Abrangência temporal (ano)	Sistema taxonômico (tipos de unidades)	Sistemas de Relevô	Sistemas climáticos	Observações
Cailleux e Tricart (1956)	10^{-n} a 10^7	trilhões a dezenas	8 classificações, em que o critério de subdivisão não é óbvio.	Envolvem desde a escala global, passando pelos grandes conjuntos estruturais, até atingir microformas e detalhes de corrosão e polimento em agregados.	Atuação preponderante em escalas inferiores à manifestação de compensações isostáticas. A identificação de fatores climáticos ocorre secundariamente à análise das formas do relevo.	Esta classificação foi umas das pioneiras e introduziu discussões aprofundadas a respeito dos mecanismos genéticos que controlam o relevo, tendo sido destacada a tectônica em primeiro plano, e subordinadamente a geologia.
Mercejakov (1968)	10^3 a 10^{10}	Não há definição	6 classificações, com clara sustentação nos conceitos de Gerasimov (1946)	Engloba morfotecturas de 1ª ordem (plataformas) até microrelevos traduzidos por diques e fendas, em termos estruturais, e formas de vale ou cársticas, em termos morfoesculturais.	O clima apresenta representatividade em diversas escalas (inclusive nas de dimensões continentais) capazes de constituir unidades zonais identificáveis. O clima é fator muito importante e determina as morfoesculturas de terra firme.	Este sistema taxonômico foi o primeiro a evidenciar em sua estrutura a tentativa de relativizar a taxonomia do relevo, sua dimensão e expressividade, às contribuições penkianas e aos conceitos de geotexturas, morfoestruturas e morfoesculturas.
Demek (1967)	Não há definição e varia de acordo com o estudo	idem	3 classificações, em que se destacam as tentativas pioneiras de analisar e descrever o relevo a partir de suas unidades elementares.	Sistematiza as superfícies geneticamente homogêneas (unidade elementar de mesmas características genéticas), formas de relevo (conjunto de superfícies que define uma estrutura singular do relevo), e tipos de relevo (conjunto de formas de relevo) de mesma origem e forma.	Nestas unidades aspectos tectônicos ou geológicos são menos marcantes (excetuando-se a diferenciação de formas por resistência ao intemperismo) que os aspectos climáticos, possivelmente predominantes. Porém a escala de detalhe torna-os menos relevantes.	Demek (1967) enfocou os sistemas geomorfológicos na análise de detalhe das formas. Por isso sua classificação não abrange grandes macroestruturas de escala continental.
Ross (1992)	10^1 a 10^7	Do pré-cambriano ao pleistoceno /holoceno, envolvendo processos atuais resultados de manejos e usos inadequados da terra, sem, no entanto vincular quantidade de anos para o desenvolvimento.	6 classificações, com fundamento evidente nos conceitos de morfoestrutura e morfoescultura. Parte também se deve à incorporação da leitura fisionômica da paisagem como elemento central da taxonomia, resultante das contribuições de Demek (1967)	Envolve: morfoestrutura, morfoescultura, unidade de padrões de forma de semelhante, forma individualizada, setor de relevo da forma e feições erosivas ao longo da vertente.	Os fatores climáticos ganham importância na definição espacial do predomínio de processos de denudação e deposição (modelamento) do relevo, cuja sustentação, evidentemente, ocorre com base na consideração estrutural sob a diversidade climática e sua variação (sucessão de tipos de tempo).	Amplamente utilizada nas pesquisas geomorfológicas no Brasil ao longo das últimas décadas, tem o mérito de ter notado que a taxonomia do relevo deve ser realizada a partir da leitura central das formas do relevo (no conjunto de formas ou singularmente), na qual estão contidas as informações geomorfológicas necessárias para seu entendimento (genético, cronológico e morfológico) e cartografiação.

Fonte: Moroz (2010).

Destaca-se, neste sentido, a necessidade posta, por diversos autores, na necessidade de se reconsiderar as temporalidades e espacialidades próprias da ação humana, como a introdução dos conceitos de quinário ou tecnógeno (PELLOGIA, 2005, SURTEGARAY, 1997).

Neste sentido, parece não haver dúvida de que, a cartografia geomorfológica retrospectiva e evolutiva (contempla a morfologia original e antropogênica), integrante metodológico da abordagem geomorfológica antropogênica, é suficiente para compor um enfoque que identifique as ações humanas como ações geomorfológicas, e particularize as formas, os processos e os materiais oriundos dessa ação, em um tempo e um espaço específico.

1.5.1.2. Unidade geomorfológica e legenda geomorfológica de detalhe

A necessidade de se determinar a unidade geomorfológica, precedente à etapa de cartografia, (ou unidade espacial) foi consenso entre as várias escolas de mapeamento (suíça, soviética, polonesa, francesa, checa, belga e húngara) de cartografia geomorfológica, apesar das divergências existentes entre as técnicas e as metodologias empregadas por cada uma (MOROZ, 2010). O mesmo pode se afirmar sobre a impossibilidade de se determinar um único parâmetro espacial ou geomorfológico capaz de contentar todas as escalas de cartografia ou todas as naturezas de investigação do relevo.

Genericamente, uma unidade espacial é definida como:

[...] an individual, *genetically homogeneous* landform produced by a definite constructional or destructional geomorphic process." Most geomorphologists would agree with this definition as far as it goes, but would differ widely as to the descriptive characteristics of the genetically homogeneous landform. In addition, although most landforms may be considered as "genetically homogeneous" in terms of *present processes*, most landforms owe their characteristics, in part, to *past processes of a different sort* (Myiogi et al. 1970 apud HAYDEN, 1986, p. 644)¹⁵.

Para uma escala de trabalho que satisfaça a abordagem geomorfológica antropogênica, a unidade espacial (ou unidade geomorfológica) abrangida, ou melhor, representativa considerando as formas e os processos derivados da urbanização, deve recorrer à identificação não de modelados generalizantes de formas de relevo, mas, sobretudo, aos elementos individuais ou conjunto localizado e bem delimitado de formas de relevo¹⁶.

¹⁵

¹⁶ De acordo com a proposta de análise de Speight (1974), quando este autor divide as unidades geomorfológicas em Elementos de Formas de Relevo e Modelos de Padrões de Formas de Relevo.

Os Elementos de Formas de Relevo constituem as unidades mínimas do relevo que apresentam feições mapeáveis, correspondendo a toda variação tridimensional do modelado, em que se consegue distinguir e cartografar as singularidades morfológicas de cada vertente e de setores desta. A prática desta cartografia foi desenvolvida amplamente por Savigear (1965), tendo sido, posteriormente adaptada por Cooke e Doornkamp (1990), para atingir o grau de maturidade em que hoje são utilizadas.

Este mapeamento geomorfológico de detalhe, ao valorizar as menores unidades de relevo, as quais, essencialmente, contêm todas as morfologias existentes na superfície, restringe-se à morfologia e à morfometria, não contemplando outras dimensões consagradas na cartografia geomorfológica. Esta técnica e os símbolos associados foram baseados no princípio de que a superfície é geometricamente constituída por planos seccionados entre si em côncavos e convexos, angular ou curvo.

Nesta legenda são mapeadas as discontinuidades do relevo, compreendidas como as alterações dos padrões de declividade, sobre as quais são traçadas linhas descontínuas para modificações suaves na vertente, e linhas contínuas para modificações abruptas da declividade. Além disso, essas mudanças são classificadas em convexas e côncavas no sentido do perfil longitudinal da vertente. A morfologia em planta (horizontal) da vertente é marcada por um segmento de reta e seta com indicação da jusante da encosta com a identificação específica se é convexa, côncava ou retilínea.

O mapeamento de discontinuidades em perfil e a possibilidade de identificação setores côncavos, convexos e retilíneos, em planta, surgem como potencial para a análise de tendência natural à concentração ou à dispersão de fluxos pelo relevo, pretendida nesta pesquisa.

Parte desta simbologia foi utilizada na cartografia geomorfológica de detalhe das condições originais do relevo da bacia hidrográfica estudada. Sua adaptação será pormenorizada adiante, no item de procedimentos.

1.5.2. Cartografia geomorfológica evolutiva de detalhe

A cartografia geomorfológica evolutiva,

[...] consiste na identificação e representação da morfologia original [...], e a sequência de intervenções nas formas e materiais superficiais, oferecendo importante instrumento de identificação e interpretação de mudanças nos processos (MOROZ, 2010. p.55).

Sua operação desenvolve-se sobre a análise geomorfológica de detalhe, com utilização de cartas topográficas (de escala adequada), fotografias aéreas e estereoscopia, e foto interpretação, e trabalhos de campo, além de uso de SIGs (Sistemas de Informação Geográfica) e outras tecnologias de apoio.

As morfologias originais correspondem às formas que integraram a paisagem preteritamente à intervenção antrópica, ou seja, corresponde à cartografia geomorfológica de elementos do relevo que identifiquem o funcionamento e a configuração de processos, formas e materiais naturais. Essa avaliação é feita observando-se o passado do local de estudo, e deve recorrer a informações que lhe digam respeito, como cartografias históricas, fotografias aéreas antigas (que compõem acervos históricos), arquivos públicos e não públicos referentes a levantamentos expeditos para realização de obras e implantação de infraestruturas, além de entrevistas com coleta de depoimento, obras históricas e registros iconográficos.

Em relação a esta etapa, para a presente pesquisa deu-se enfoque ao mapeamento de atributos morfológicos e morfométricos em setores de vertente, que incluem geometria das vertentes (concavidade, convexidade e retilidade), extensão e declividade de vertentes, geometria de subsetores, e suas posições nas vertentes.

A antropogeomorfologia corresponde às alterações humanas que decorrem na modificação de processos, formas e materiais originais do relevo, às quais a cartografia retrospectiva deve levar em conta, por meio da identificação dos momentos históricos em que a ocupação e derivação humana das formas do relevo alteraram significativamente os mecanismos geomorfológicos. No caso da urbanização, esta cartografia deve recorrer à identificação de subcategorias de ocupação. Assim, há a necessidade de estruturação e desenvolvimento de legendas preocupadas com a identificação de unidades geomorfológicas antropogênicas que correspondam à produção de informações a respeito de alterações com significados geomorfológicos convergentes ao objeto de estudo. Tendo como referência os processos envolvidos nos fenômenos de enchentes, por exemplo, é imprescindível que outras classes sejam elaboradas, tendo em vista a produção de escoamento superficial, a concentração de fluxos, a reservação da água em superfície, etc.

Não há dúvidas, portanto, que a partir da correlação entre morfologias originais e morfologias antropogênicas, é possível a identificação de quadro ou contextos em que tendências naturais sejam intensificadas, reduzidas ou eliminadas, que processos tomem tendências preferenciais diferentes a aquelas observadas originalmente, que novas formas derivem processos não observados anteriormente, que se altere o balanço entre as taxas de

erosão e sedimentação, entre outros, discutidos no item de geomorfologia antropogênica. Em geral, essa correlação ocorre através de uma combinação de informações que produzam unidades morfológicas complexas, cuja coesão é dada pela derivação da forma e de sua importância para o fenômeno estudado (RODRIGUES, 2005).

A mesma autora, conclui, com isso, que esta metodologia, através da cartografia geomorfológica de detalhe retrospectiva e evolutiva, constitui um grande potencial para subsidiar o planejamento urbano, tanto no sentido de prever situações de risco como de recuperar áreas já afetadas.

1.6. Modelos como instrumentos da Geomorfologia Fluvial

As definições de modelo constituídas sobre fenômenos ou objetos do meio físico variam em torno da própria definição de sistema físico em relação ao qual buscam delimitar ou definir (CHRISTOFOLETTI, 1999). Definições generalizantes são úteis para introduzir o princípio de modelação e simulação. A maior parte destas descreve o conceito como um conjunto de hipóteses estruturadas que pretende explicar as propriedades de um sistema, sem necessariamente preservar todas as suas características.

O modelo contém esta característica, mas não é ela que discrimina exatamente seus limites, considerando que um conjunto de hipóteses a serem explicadas é princípio de qualquer angústia científica, e para tanto a redução do objeto e a análise são necessárias, o que de fato sempre decorre na não preservação de características originais.

“Modelo é a representação de algum objeto ou sistema, numa linguagem ou forma de fácil acesso e uso, com o objetivo de entendê-lo e buscar suas respostas para diferentes entradas” (p. 13). Esta é a definição de Tucci (1998) para o conceito. Nota-se a preocupação de referenciar a estrutura mínima correspondente do sistema na modelação (entrada e saída) e da razão para o desenvolvimento de modelos: as simulações; afinal, como o próprio autor salienta, *“o modelo, por si só, não é objetivo. Mas uma ferramenta para atingir um objetivo”* (p.13).

Perpassa muitas outras definições, a ideia de simplificação do empírico, onde o recorte têmporo-espacial da análise é o fator controlador da qualidade e da aplicabilidade do modelo. Neste sentido, Christofolletti (1999) propõem que um modelo seja entendido como uma representação simplificada da realidade ou de alguns de seus aspectos, possibilitando sua reconstituição e previsão de comportamentos, de transformações e de evoluções. Segundo este autor, a hipótese científica do modelo deve orientar sua construção, e, enquanto hipótese, deve ser testada, para, somente então, concorrer a uma validade teórica. Esta representação

hipotética é, portanto, um viés entre a observação e as proposições teóricas, e uma vez consolidadas suas funções, deve-se delinear suas potencialidades de simulação para só então, servir ao planejamento territorial como um Sistema de Suporte à Decisão (SSD). Comprovada sua capacidade de realizar previsões, os modelos podem permitir avaliar as consequências de execução de planos e estruturas territoriais (Sistemas de Suporte à Decisão), onde permitem a escolha de cenários desejados.

A este respeito, seria um descuido não mencionar a seguinte passagem de Darby e Van der Wiel (2003):

In fact, fluvial geomorphological modelling tools have been developed to address problems within two broad themes: pure scientific research and river engineering. Fluvial geomorphologists have traditionally focused on the study of river landforms and the processes that create them (Kirkby, 1996). However progress in understanding these areas has been hampered because rates of landform change are typically much less than the scales at which changes in natural systems are readily observable. Hence, geomorphologists often use models simply as study tools to increase their understanding of the landscape. This is because models provide the basis for aggregating from the scales of observation to the scales of interest, as well as a pivotal link between the study of process and the study of landforms (Kirkby, 1996). (pp. 503).

Assim, acredita-se que o uso de modelos tem ganhado espaço cada vez maior enquanto ferramentas explicativas poderosas, principalmente por suas capacidades sintetizadoras e agregadoras do que analíticas, as quais permitem avaliar a tendência evolutiva dos processos e das formas no tempo e no espaço.

As primeiras modelações na geomorfologia, em particular, podem ser remontadas aos esquemas explicativos Davisianos. As estruturas conceituais propostas por este consagrado nome da geomorfologia foram as guias que orientaram toda a produção geomorfológica durante o final do século XIX até o final da segunda guerra mundial, em 1945. De certa forma, foi o modelo de pediplanação, principal pilar do ciclo geográfico, que iniciou um processo de identificação, posteriormente, de discussão e consolidação do núcleo-duro da ciência geomorfológica.

Contudo, nos moldes atuais, a revolução da modelagem, assim como em outras ciências, teve início ao final da II Grande Guerra. Na geomorfologia em particular, e na geografia em geral, Chorley e Hagget (1967) principiaram esta perspectiva. Na verdade, esta obra, como um todo, é um árduo esforço propositivo de modificação paradigmática da ciência geográfica, introduzido nos seguintes termos:

Não nos propomos a alterar a definição básica de Hartshorne (1959, p. 11) sobre a principal função da Geografia, nem desafia a propriedade do conceito de matriz (*a qual*,

segundo os autores, compõe a estrutura teórica e principais ferramentas metodológicas utilizadas pelos geógrafos dos diversos campos) Sugerimos, no entanto, que pode ser possível extrair uma segunda matriz da primeira, transformando os dois vetores básicos de maneira tal a afastar a ênfase da classificação no sentido da construção de modelos (p. 12).

Essa discussão avança para a justificativa de se utilizar nesta pesquisa um modelo que, não somente deriva da hidrologia, mas é utilizado como uma ferramenta da engenharia com a finalidade de se avaliar as implicações dos processos abrangidos, de forma que, o que se propõem, entre outras coisas, é a aproximação destas ferramentas à avaliação dos processos e ao estudo das formas dentro da geomorfologia fluvial e urbana, particularmente buscando comparar e incrementar o modelo pressuposto na cartografia morfológica evolutiva da geomorfologia antropogênica. Este objeto, permeado pela angústia em revisitar a utilização de modelagem matemática, não é inovadora, como assinalado anteriormente, nem está restrita ao passado, como será discutido em subitem mais adiante no trabalho.

Assim, cabe ressaltar, por fim, que o ensejo de capítulo não é o de aprofundar em uma incursão teórica dos modelos em geografia, hidrologia ou em geomorfologia, trabalho que deve ser prioritariamente desenvolvido pelos historiadores do campo, pelos pesquisadores epistemológicos da geomorfologia ou por investigadores que buscam elaborar estas modelagens. Todavia, o particular interesse em aplicar metodologias baseadas em modelos matemáticos e espaciais análogos aos naturais (CHORLEY, 1967), requer esta revisão específica da definição, composição e estrutura dos modelos.

Genericamente um modelo se estrutura em forçantes, estado, transferência e parâmetros. As forçantes são as entradas, os impulsos do sistema. Na bacia diz-se da precipitação ou de afluições. O estado são os valores, fórmulas, ou condições que delimitam o momento do sistema, como a condição de saturação do solo. A transferência é o equacionamento representando os processos sistêmicos, indicando mudança no conjunto de variáveis (o processo de infiltração e escoamento do CN é um exemplo). Os parâmetros são os valores (ou grandezas) ou aspectos constantes, como a área da bacia ou seu nível de impermeabilização.

Os modelos hidrológicos são ferramentas desenvolvidas para se entender e representar os processos em uma bacia hidrográfica, auxiliando na previsão de condições diferentes das constatadas. As simulações hidrológicas encontram limites na heterogeneidade física da bacia e dos processos que considera, além, lógico, dos dados reais em que se baseia (tanto as forçantes e os parâmetros quanto o estado e as transferências) (TUCCI, 1998).

Para este autor, existem modelos físicos, analógicos e matemáticos, sendo que na hidráulica os primeiros são constituídos por protótipos reduzidos em que se observa os

processos, os segundos se valem da analogia das equações que representam os processos em diferentes sistemas físicos (como da elétrica para a hidráulica); e, por último, os modelos matemáticos, também denominados de computacionais, são os mais versáteis e potentes, pois podem ser rapidamente alterados e podem produzir uma enormidade de cenários. Sua dificuldade recai, exatamente, naquilo que lhe é mais primoroso, os processos de análise-síntese sistêmica, ou em outras palavras, a discretização das variáveis e suas relações.

Darby e Van der Wiel (2003) apoiados nas discussões e no singular compêndio realizado por Chorley (1967), complementam, por outro viés, essa categorização dos tipos de modelo. De acordo com os autores, os modelos são diferentes de acordo com a natureza de sua sistematização, sua interface entre o conhecimento e o usuário, o nível de conhecimento entre os elementos que compõem o sistema físico modelado, e a sua aplicação, de modo que podem ser classificados, ao menos os mais básicos, entre: modelos conceituais, modelos empíricos (ou estocásticos), modelos analíticos e modelos de simulação numérica (QUADRO 3).

A cartografia geomorfológica evolutiva se baseia, certamente, em um modelo de estrutura conceitual que explica satisfatoriamente a espacialidade dos fenômenos geomorfológicos incrementando a ação antrópica como uma componente, ou ainda, um termo variável do modelo. Por outro lado, pela cartografia geomorfológica evolutiva, essa abordagem estrutura-se como um modelo analítico, com amplas possibilidades de aplicação.

QUADRO 3 - Características, vantagens e limitações de diferentes modelos de geomorfologia fluvial.

Categoria do modelo	Aplicação habitual	Vantagens	Limitações	Escala do modelo
Conceitual	- Reconhecimento do estudo	Metodologia de rápida avaliação. Bom para grandes áreas e grandes escopos de estudos	Requer um treinamento básico	Modelos conceituais são adequados para uma grande variabilidade de escalar.
	-Previsões qualitativas	Relativamente simples. Requer pouca pesquisa e uma mínima base de dados	Fornecer apenas resultados qualitativos	
	-Probabilidades qualitativas			
Empírico/ Estocástico	-Métricas do canal	Simple. Estes modelos são fáceis de serem compreendidos e usados.	Técnicas específicas para determinados locais. Requer cuidado extra para evitar uso equivocado.	É bem representativo para seções transversais individuais de rios curtos.

Categoria do modelo	Aplicação habitual	Vantagens	Limitações	Escala do modelo
	-Previsões quantitativas -Probabilidades quantitativas -Paleohidrologia	Os dados de entrada são disponíveis.	Não fornece taxas das alterações Exige estimativa da descarga. Dimensionamento inconsistente	
Analítico	-Métricas do canal -Previsões quantitativas	Partindo de bases físicas (dados) melhores, estes modelos são, normalmente, válidos para um grande número de ambientes. Os dados de entrada requeridos são, normalmente, manipuláveis.	Não fornece taxas das alterações Exige estimativa da descarga.	É bem representativo para seções transversais individuais de rios curtos.
Simulação numérica	-Métricas do canal -Previsões quantitativas	Quando calibrado, estes modelos valem em um largo leque de ambientes. Fornecem previsões detalhadas de fases de transição.	Modelos são muito complexos e requer treinamento especializado Dados de entrada requeridos são muitos.	Em teoria, cabe a qualquer escala, mas apresenta importantes restrições de acordo com os dados requeridos.

Fonte: Darby e Van der Wiel (2003)
Adaptação: Yuri Veneziani.

Os modelos matemáticos propostos para aplicação estão estruturados sobre equações estatísticas e um grande número de observações utilizadas para adequada calibração. Dessa característica, derivam as corretas correlações e relações estabelecidas entre os parâmetros, as variáveis de estado, transferência e forçantes, com as quais são montados os fluxos de cálculos das simulações numéricas. Assim, ao contrário da abordagem geomorfológica antropogênica, os modelos hidrológicos tendem a se consolidarem perante observações estatísticas da repetição dos fatos, e sobre estruturas numéricas.

Por último, Tucci (1998) discorre sobre três grupos conceituais imprescindíveis à modelação: (1) risco e incerteza, (2) série estacionária e não-estacionária, e (3) parcimônia.

(1) Risco é a probabilidade de ocorrência aceita de que uma dada variável supere (ou fique abaixo) de um determinado valor. Por exemplo, em uma obra projetada com Tr de 100 anos, há um risco assumido de que anualmente, em 1% dos casos ela seja insuficiente para suportar os requerimentos hidráulicos. A incerteza tem como natureza (i) a amostra sobre o qual se baseia o modelo, pois se ela for menor que o necessário, ou (ii) quando os dados são

errados por efeito de coleta inadequada. Em ambos a distribuição estatística ajustadas dos dados tenderá a apresentar estimativas viciadas.

(2) Série estacionária é a invariabilidade estatística temporal de uma condição. A série não estacionária é o seu oposto. Os níveis do rio ou os acumulados de chuva tendem a constituir séries não-estacionárias.

(3) Parcimônia é o princípio de melhor representação do modelo, que atua por meio da redutibilidade de um equacionamento, logo, significa a manutenção do menor número de variáveis sem abrir mão do detalhamento.

A despeito destas notas preliminares sobre os modelos, acredita-se ser adequado realizar aqui algumas ponderações sobre a escolha dos modelos. Embora, em um primeiro momento, pareça óbvio que esta definição deva compartilhar do capítulo 5. Metodologia e procedimentos, também não há dúvidas de que ela é preliminar à própria descrição dos modelos e ao que se espera de suas aplicações. Assim, optou-se por, antes mesmo de apresentar a modelagem chuva-vazão objetivada e de regime transitório para demarcação das manchas de inundação, demonstrar a escolha dos modelos.

Para além das facilidades técnicas e operacionais que permitem o acesso e manipulação dos modelos matemáticos escolhidos, a qualidade de um modelo é o produto de uma série de critérios que não são simplesmente dependentes de uma formulação completa, apropriada e realística das leis envolvendo os processos. Os modelos consistem das leis dos processos ou das regras naturais pelas quais preveem, bem como da série de dados de entrada que caracterizam os aspectos do rio ou sistema a ser modelado. A qualidade do modelo é, assim, altamente vinculada aos dados de entrada, que podem apresentar diferentes acurácias e resoluções espaciais e temporais. Quanto aos valores de input (forçantes), não há ressalvas a serem realizadas, pois não há incompatibilidade ou registro na bibliografia consultada a respeito de uma configuração mínima aceitável nos dados de entrada nos modelos utilizados, acreditando-se que, o levantamento e a derivação de informações por meio de plataformas de SIGs atende aos requisitos que oferecem aos modelos qualidade para serem utilizados. Neste sentido, esta pesquisa tem uma preocupação em aplicar modelagem hidrológico-hidráulica conjuntamente a uma abordagem geomorfológica, com intuito de identificar requerimentos, limitações e combinações potenciais entre ambas.

Por outro lado, Kirkby (1996) menciona que aspectos como portabilidade, acessibilidade, custo e usabilidade dos modelos tornaram-se, com o tempo e com o desenvolvimento e sofisticação tecnológica, critérios superpostos aos primeiros, e são, possivelmente, os que mais

orientam a escolha dos modelos na atualidade. A robustez de um modelo matemático hidrológico, por exemplo, deixou de ser um critério primordial em função da popularização de softwares hidrodinâmicos com interface amigável que realizam automaticamente extensas rotinas de cálculos. Ao mesmo tempo, a avaliação da qualidade destes modelos, suas interfaces e principalmente seu desenvolvimento e performances com base em plataformas digitais, tem sido ponderadas por alguns autores, como Horrit e Bates (2002), Bates e De Roo (2000), Marks e Bates (2000), entre outros.

Para auxiliar a definição da qualidade de um modelo, Kirkby publicou em 1996 o quadro 4, traduzido nesta pesquisa, e a partir do qual pudemos refletir sobre a correta escolha dos modelos.

Pode-se afirmar que a primeira questão colocada pelo autor sobre o que um modelo deve fornecer corresponde às características inerentes a qualquer modelo, o que em outras palavras significa dizer que, qualquer outro mecanismo de pesquisa que não se oriente ao entendimento mais profundo da realidade e que não possua este potencial para previsão, é um modelo que não apresenta as qualidades mínimas em seus *outputs*.

Quanto aos critérios que permitem classificar um modelo como bom, o modelo Ven Te Chow – SCS apresenta alguma restrição sobre seu potencial de generalizar, isso em função, basicamente, do fato de que, para bacias hidrográficas de grandes dimensões (acima de 100 a 150km², dependendo de sua configuração), com alta amplitude topográfica, e com mosaico de uso da terra muito diverso, os cálculos tenderão à utilização de valores médios o que incorrerá em um acréscimo significativo nos erros.

QUADRO 4 - Indicadores gerais da qualidade do modelo.

Questões fundamentais	Critérios	Comentários
O que um modelo deve fornecer?	Compreensão	Os modelos ajudam a promover aprofundamento da compreensão dos ambientes naturais, e sustentam diálogos entre o desenvolvimento da teoria e os experimentos.
	Potencial para previsão	A Previsão é uma importante aplicação prática, e como um meio de testar a validade e o intervalo da compreensão.
O que faz um bom modelo?	Bases físicas	Quando modelos tem uma base física potente, eles fornecem consistência com outras teorias. Isto apoia sua validade e oferece mais aos usuários da comunidade científica.
	Simplicidade	Os modelos devem ser tão simples quanto possíveis, tanto o quanto eles possam ser compreendidos e comunicados. É difícil construir um modelo no qual mais do que três processos dominantes interagem simultaneamente.
	Generalidade e riqueza	Bons modelos devem ser transferíveis a outras áreas geográficas. A riqueza refere-se ao ganho de informações do modelo.

Questões fundamentais	Critérios	Comentários
	Potencial para detalhar ou generalizar	Geralmente, há aplicação do modelo ao longo de uma gama de escalas, se o modelo tiver uma base física explícita.

Fonte: Kirkby (1996).
Adaptação: Yuri Veneziani

O modelo HEC-RAS atende aos critérios de qualificação e escolha de modelo mais adequado, e tem se demonstrado uma ferramenta polivalente ao planejamento de macrodrenagens e de obras pontuais. Por isso, foi identificado como o mais indicado à avaliação que se propõe, a qual envolveu a modelação hidráulica das condições de alteração da vazão de pico resultantes do modelo hidrológico. Será avaliada, a partir destes resultados, a correspondência entre as áreas mais suscetíveis a enchentes obtidas pelos modelos hidrológicos e àquelas delimitadas pela cartografia geomorfológica evolutiva.

1.6.1.Revisão de conceitos elementares de geomorfologia fluvial

Muitos princípios hidrológicos e hidromorfológicos são fundamentais para a compreensão do processo de inundação. Este item se destina a resgatar o arcabouço conceitual elementar oriundo da geomorfologia para as análises que serão realizadas.

Sistema vertente: fluxos superficiais e desenvolvimento do modelado.

Vertente pode ser definida como uma superfície inclinada, não horizontal, sem qualquer conotação genética ou locacional relacionada (CHRISTOFOLETTI, 1974). A complexidade dos estudos das vertentes envolve a ação de numerosos processos responsáveis pela sua formação, cuja natureza pode ser, predominantemente, de remoção ou acumulação de material.

Esta variabilidade espacial de mobilidade do material e dos processos dominantes ao longo do perfil e da extensão da vertente é um dos aspectos centrais para definição, formação e caracterização da vertente segundo Dylik (1968). Segundo este autor, etimologicamente, verter ou escoar, em *strictu sensu*, é a ação praticada pela vertente. Assim, necessariamente, o conceito pressupõe declive ou inclinação do plano horizontal sendo que, para nenhum caso, esta inclinação é uniforme, e nem toda superfície inclinada é uma vertente. As vertentes, em sentido amplo ou restrito, são superfícies trabalhadas por agentes que dependem da gravidade (sujeitas à ação gravitacional) e cuja ação é facilitada pelos agentes meteorológicos.

Entretanto, a forma de ação desses processos e sua distribuição espacial não são as mesmas nas planícies e nos interflúvios. Os processos fluviais agem de forma linear, assim, nas

bacias fluviais as águas correntes em canais atuam de forma contínua na superfície, conectando de forma dinâmica as partes mais altas às mais baixas. Nos interflúvios, contudo, os processos e o transporte são descontínuos ao longo da direção geral da declividade, e deixam de atuar quando atingem o nível de base mais próximo. Os processos de vertente vinculam elementos rochosos sem recobrimento a outros onde a acumulação é predominante, constituindo uma unidade dinâmica e complexa de vertente, submetidas à ação de ablação ou de acumulação.

Os limites de uma vertente são pela dinâmica que rege seu modelado, logo, a parte superior e inferior se localizam onde os processos que lhe são próprios se extinguem e deixam de influenciar o modelado. Por exemplo, à jusante, pode ser constituído pela margem de um rio ou por uma bacia de inundação; à montante, pode ser a linha divisória de águas, quando duas vertentes vizinhas estejam separadas por cristas estreitas, ou as rupturas de relevo demarcam o transporte contínuo de materiais sólidos até a base de erosão. Neste ponto, por fim, o nível de base está estreitamente ligado à noção de continuidade dos processos típicos. O nível de base é a superfície hipotética limite onde os processos se extinguem, ou cedem lugar a outros agentes de transporte de outras naturezas, como as águas correntes, as geleiras, a abrasão marinha ou lacustre.

Os atributos geométricos são respostas morfológicas possíveis de medir e avaliar, mas que, geneticamente, correspondem a série de superfícies fósseis e depósitos sucessivos os quais testemunham processos morfogenéticos do passado e que podem estar atualmente operantes. A temporalidade, portanto, enriquece a noção e a análise de vertente, pois substitui a concepção equivocada de componentes estáticas da paisagem, a de um produto complexo de acontecimentos morfogenéticos que conduzem à integração do relevo exogênico.

No terço superior da vertente, o princípio de um fluxo concentrado é central no entendimento da evolução da bacia, da rede de drenagem e do modelado presente, que são fatores geomorfológicos de importância significativa na dinâmica de distribuição das águas na bacia.

Leopold (1994) afirma que somente no final do século XX pesquisas hidrológicas e hidromorfológicas passaram a se preocupar com os estados primordiais do desenvolvimento hidrológico e hidrográfico, e com suas configurações incipientes. A localização de uma cabeceira de drenagem e o distanciamento de seu ponto mais a montante em relação ao interflúvio variam grandemente, e, de acordo com Leopold (op. cit.):

The hydraulic conditions that lead to rill formation involve raindrop impact, erosion by raindrop splash, and depth of the overland flow. Rainfall impact on a film of water flowing overland splashes up sediment, which tends to fill and obliterate incipient rills or channel, a concept developed and measured by Thomas Dunne. Downslope, where the depth of overland flow is sufficient to shield the soil surface from the direct impact of falling rain, and where the intensity of sediment transport in the flow may be high, rills or small channels begin. (p. 3)

Estes mecanismos de funcionamento inicial do escoamento concentrado que definem as áreas de captação e corrente, e resultam no desenvolvimento de superfícies diferentes dos modelados são universais, sendo que, as intensidades de suas ações e a velocidade de alteração e diferenciação do relevo estão em função de atributos da paisagem, que dizem respeito, essencialmente, à configuração da estrutura do relevo e ao clima que se sobrepõe a ela.

As condicionantes estruturais estão relacionadas a dois aspectos: à composição litológica, cuja relevância é maior em áreas de relativa estabilidade tectônica; e à tectônica, fator predominante quando se trata de controle estrutural sobre uma drenagem, principalmente se houver a presença de falhas.

Quanto ao clima, não há dúvidas de que, as características pluviométricas (montante, distribuição, frequência e intensidade) são fundamentais para o desenvolvimento de cursos d'água, e para a esculturação do modelado. Além dessas, características paleohidromorfológicas podem também influenciar no desenvolvimento e instalação de fluxos hídricos.

Channels originate in a variety of ways, related in part to the history of the land surface on which they develop. They may form on a recently exposed surface or during a phase of network expansion. They may be influenced in their development by channel lines inherited from the past. Invariably they start out as exterior links or first-order streams. Understanding channel initiation involves two related problems: to understand the processes whereby water movement became sufficiently concentrated to cut a definable channel; and to identify the conditions under which that initial cut is maintained and enlarged to ensure initially a *permanent channel*, and eventually *permanent flow within that channel*. The first is closely linked to the modes of hillslope water movement and their associated processes of erosion, while the second embraces the broader question of drainage network development, since permanence implies some level of integration between surface channels. (KNIGHTON, 1998. p. 33. *Grifo nosso*).

Os processos de desenvolvimento do canal, sob influência das características estruturais, são responsáveis, portanto, pela efetiva esculturação de formas do relevo e, logo, pela definição de diferentes setores da vertente, tanto em perfil quanto em planta, fato que interessa diretamente à identificação de uma bacia hidrográfica de áreas côncavas e convexas, cujas respostas hidrológicas são, obviamente, diferentes.

O relevo continental é constituído por uma sucessão de elevações e depressões que são construídas tectonicamente e esculpidas pela ação combinada de processos erosivos vinculados tanto ao escoamento superficial fluvial (linear) quanto ao escoamento interfluvial (em lençol e/ou linear) (*em meio tropical úmido*) [...]. No tempo geológico, foram persistentes ações erosivas {...} das águas de superfície e subsuperfície sobre o arcabouço lito-tectônico, as responsáveis pela esculturação de grande parte de toda a variedade de formas de relevo presentes na atualidade. (COLANGELO, 1996. p. 32).

Colângelo (1996) explorou este assunto no desenvolvimento de um modelo de análise geomorfológica e proposta de cartografia do que denominou de feições mínimas do relevo, sobre a qual o mapeamento geomorfológico desta pesquisa foi parcialmente inspirado, particularmente na definição de áreas de concentração de fluxo. De acordo com o autor, este esforço se orienta no sentido de “transformar um pedaço de superfície de terreno [...], em um equivalente onde toda a complexidade geométrica apresentada pelas formas de relevo possa ser reduzida a nove tipos básicos” (p. 29), seguindo as premissas de (1) análise morfométrica comandada pela morfológica, (2) análise morfológica isenta de “elementos descritivos de natureza subjetiva, referente à unidade de relevo cujas formas sejam as mais simples do ponto de vista geométrico [...] irredutíveis para uma determinada escala de abordagem” (p.29); e (3) elaboração de taxonomia do relevo (considerando morfologia e morfometria), universalmente aplicável, e que viabiliza a comparação entre sistemas de relevo continentais.

A proposta vai ao encontro da cartografia geomorfológica proposta por Savigear (1965) adaptada por Cooke e Doornkamp (1990), com escopo teórico muito similar, no qual as dimensões morfológicas e morfométricas são as únicas presentes, e são bases de caracterização e comparação de áreas.

Com base nessas propostas as infinitas variações dos sistemas de vertentes presentes em uma bacia hidrográfica podem ser organizadas nas unidades menores do relevo de acordo com categorias geométricas que contém em essências, dinâmicas hidrológicas importantes ao escoamento superficial e subsuperficial¹⁷. De modo a esclarecer, cumpre mencionar que as feições mínimas são unidades do relevo em que as projeções dos planos horizontais (planta) e verticais (perfil) exibem, em cada um deles, apenas uma das formas elementares (côncavas, convexas e retilíneas) sendo nove as combinações entre estes planos, conforme a figura 1 a seguir:

¹⁷ Troeg (1965), ressaltou Colângelo (1996), realizara as primeiras tentativas de adequação de formas hidrológicas para o escoamento superficial com base na análise das vertentes a partir de curvas de nível, buscando estabelecer uma relação entre seu modelado e o comportamento hidrológico.

Feições Mínimas		
Tipos		Formas
Número	Perfil	Planta
1	CV	CV
2	CV	RET.
3	CV	CC
4	RET.	CV
5	RET.	RET.
6	RET.	CC
7	CC	CV
8	CC	RET.
9	CC	CC

FIGURA 1 - Combinações possíveis entre planos verticais e horizontais da vertente.
(Título original: Unidade ideal de Relevo e suas componentes elementares)

Fonte: Colângelo (1996)

Em termos hidrológicos, em um perfil de vertente os fluxos estão subordinados a dois fatores: (1) relacionada à declividade, que condiciona a transferência de energia cinética ao fluido (decomposição lateral da gravidade); e (2) controla o padrão espacial do escoamento por meio da geometria do terreno. Esta geometria condiciona os padrões do escoamento superficial, descrito, habitualmente, em função do caráter de concentração e dispersão, consequências de superfícies côncavas e convexas, respectivamente. A retilinidade de rampas, teoricamente existentes, ainda que mais raras na natureza, são igualmente importantes, e carregam consigo uma neutralidade hidrológica associada à transitoriedade do modelado.

A convexidade atua sobre a dispersão do fluxo hídrico na mesma direção que a concavidade age sobre a concentração d'água, porém em sentido oposto. Em planta, a convexidade da forma condiciona linhas de fluxos divergentes, levando a uma dispersão denominada de radial, devido ao aumento da superfície de escoamento, levando, consequentemente, a uma menor disponibilidade de água por unidade de área (espalhamento). Em perfil, outra componente de dispersão ocorre desta vez vinculada à energia do fluxo. Com o aumento da declividade a jusante, a componente horizontal da gravidade aumenta, levando a aceleração do fluxo, que, em termos teóricos é, nas convexidades, tangenciais a superfície, decorrendo em uma força "centrífuga" (embora não seja adequado, este é um termo que permite comparação), que tende a lançar o escoamento para fora da vertente, levando a menor retenção de água no terreno (em superfície e em subsuperfície). Em contraposição, nestes setores de mudanças ou ruptura de declividade, os solos podem apresentar menos percentuais de argila, podendo facilitar a permeabilidade e condutividade hidráulica, compensando o fator

dispersivo. A síntese das combinações geométricas e suas respostas hidrológicas estão contempladas no quadro 5.

QUADRO 5 - Classificação dos fluxos hídricos superficiais de acordo com o modelado de vertente.

FM	Perfil	Planta	Fluxo resultante	Domínio
1	CV	CV	Hiperdispensor	Dispersão
2	CV	RET.	Mesodispensor longitudinal	
3	CV	CC	hipodispensor	
4	RET.	CV	Mesodispensor radial	
5	RET.	RET.	Transição (neutro)	Transição
6	RET.	CC	Mesoconcentrador radial	Concentração
7	CC	CV	Hipoconcentrador	
8	CC	RET.	Mesoconcentrador longitudinal	
9	CC	CC	Hiperconcentrador	

Fonte: Colângelo (1996)

Esta classificação foi um dos pontos de partida para a definição de setores hidrologicamente diferentes no sistema vertente dentro do mapeamento geomorfológico.

Por fim, vale frisar que a consideração dos terços superior, médio e inferior converge à concepção de vertente voltada a entender e caracterizar a dinâmica dos fluxos ao longo do perfil, pressupondo que para cada setor as funções da água sobre o modelado são significativamente distintas.

Para o mapeamento morfológico antropogênico em meio urbano, indicar estes setores equivale a assinalar as tendências de processos espaciais atuais ou passados são fundamentais, pois podem ser interpretados no sentido de indicar, como exemplos, as condições favoráveis ou não à formação de fluxo convergente em setor de anfiteatro, o potencial de aterramento ou de submersão de setores de baixa vertente, possibilidade de formação de enxurradas em uma rua, entre outros.

Sistema de fundo de vale: o canal, a planície de inundação e morfologias associadas.

Os sistemas de fundo de vale envolvem o canal fluvial e os setores de inundação, compostos pelas planícies de inundação e, em alguns casos, por diques marginais, *backswamps* e terraços fluviais.

O canal é objeto de estudo focado da hidrologia fluvial, disciplina que se preocupa em decifrar todos os processos hidrológicos e hidráulicos envolvendo os rios, entendidos neste

campo como elementos sistêmicos integrados à paisagem e submetidos a variações do entorno, dentre as quais os arranjos estruturais, de uso da terra e do clima, principalmente, das precipitações. Os rios atuam como canais de escoamento de máxima eficiência dentro de um determinado contexto, realizando os trabalhos de erosão, transporte e deposição, responsáveis pela modelação do relevo. Na escala de tempo geológico, esta modelação seguida de sucessivas remodelações, produzem sistemas e subsistemas geomorfológicos fluviais singulares na paisagem, tal como as planícies de inundação e seus subsetores.

A planície de inundação é a área do vale fluvial em que se encontram os sedimentos aluviais estendidos ao longo da borda do curso, e que é periodicamente tomada pelas águas correntes do canal (CHRISTOFOLETTI, 1981)¹⁸. É o setor correspondente ao leito maior de um canal fluvial, que, naturalmente, está submetido à ocupação pelas águas de uma cheia. Seu limiar no contato com o rio se dá na vazão de margens plenas, a partir da qual o escoamento, em um processo de extravasamento, deixa de estar confinado no conduto, e as características de débito ganham complexidade hidro geométrica. A seguir, transcrevemos a descrição do transbordamento e a formação de dique marginal realizada por Christofolletti (1974):

A planície de inundação é formada pelas aluviões e por materiais variados depositados no canal fluvial ou fora dele. Na vazante o escoamento está restrito a parcelas do canal fluvial, onde há deposição de parte da carga detrítica com o progressivo abaixamento do nível das águas. Ao contrário, com as cheias, há elevações do nível das águas que, muitas vezes transbordando por sobre as margens, inundam as áreas baixas marginais. A corrente fluvial, ao transpor as margens, é freada e abandona parte de sua carga permitindo a edificação do *dique marginal*. Tais diques são muito nítidos nos casos em que as areias finas e médias, em suspensão, são bruscamente abandonadas ao transpor a margem devido à rápida diminuição da velocidade da corrente que transborda. Nos casos em que as águas dos canais são menos rápidas, só as argilas e os coloides saem do leito menor e a areia permanece nas camadas inferiores da água sob a cota de transbordamento. A deposição é progressiva e o dique marginal, menos nítido, forma um plano inclinado para o exterior, de declive muito suave. (p. 60).

Assim, a planície de inundação é formada, em sua maior parte, por materiais grosseiros (indicadores de eventos de torrentes ou períodos de vazões mais competentes, ou ainda podendo ser advindo de movimentação lateral do canal fluvial, principalmente se estes detritos apresentarem feições de ostensivo trabalho fluvial, como arredondamento), recobertos por finos, em geral, oriundos da decantação da carga suspensas nas cheias (LUZ, 2010).

¹⁸ O mesmo autor pondera que a planície fluvial pode ser redefinida de acordo com os critérios de cada campo do conhecimento: a um geólogo é onde, no vale, uma área é recoberta por sedimentos; ao hidrólogo, é o setor inundado periodicamente com certa frequência e magnitude (não superior a 10 anos de tempo de retorno). Para o geomorfólogo, é uma configuração topográfica, que resulta em um sistema geomorfológico, com forma, material e dinâmica própria.

Os diques marginais, por sua vez, podem ser descritos como saliências topograficamente acima da superfície da planície contígua ao canal com tendência à formação de crista. Sua constituição, como mencionado por Christofolletti (1974), é de materiais pioneiros no transbordamento (FIGURA 2).

FIGURA 2 - Tipos de leitos fluviais (sem escala e com dimensões exageradas).

Fonte: CHRISTOFOLETTI (1981)

Nos contatos da planície de inundação com os patamares altimetricamente mais elevados, como os diques e as bases de encostas, o maior tempo de retenção da água favorece a decantação de finos e a superposição de camadas de argilas e coloides. Nestes setores, não é incomum ocorrer uma variação negativa da altimetria em relação à superfície da planície, e, em geral, são submetidas a processos de inundação mais frequentemente e mais duradouros. Denominadas de backswamps (*floodbasin*), estes terrenos são caracterizados por um nível altimétrico deprimido, o que define uma concavidade na planície de inundação, nível freático mais raso em comparação ao das áreas circundantes e localização típica próxima às vertentes. Em termos de processo, isto resulta em drenagem menos eficiente e permanência mais prolongada das inundações nestes setores, definindo uma susceptibilidade mais elevada a eventos de inundação.

Deve-se notar que algumas formas produzidas pelo Homem, particularmente em meios urbanos, como os aterros e os cortes podem induzir ou mesmo deflagrar, processos de formação de backswamps, ou intensificar as inundações nas áreas rebaixadas.

Esta dinâmica fluvial que produz a planície de inundação e a remodela de maneira a constituir outros setores aplainados ou levemente inclinados são indicadores morfológicos do regime de cheias e inundação de uma determinada bacia, e denunciam aspectos de sua torrencialidade (intensidade), temporalidade (duração e frequência) e espacialidade.

Os terraços fluviais são, simplificadaamente, patamares que representam antigas planícies de inundação abandonadas. Constituem superfícies morfológicamente descritas como planas e horizontais, de larguras variáveis, com localização preferencial no contato com a vertente e limitadas por berma no contato com a planície. Constituem superfícies paralelas à planície, mas, altimetricamente, superiores a ela. São formados por pacotes sedimentares de materiais

da antiga planície de inundação, e, por isso, são fontes de informações fundamentais sobre o regime fluvial antigo da bacia.

Hidrologicamente, os terraços são, raramente, afetados pelas cheias do canal, pois estão topograficamente localizados a uma cota em que, as vazões de cheias mais frequentes, há um determinado tempo, não atingem e nela deixaram de depositar ou erodir.

Dentre as várias possibilidades explicativas para o abandono de setores de planícies de inundação e a simultânea modelação do terraço fluvial, dois tipos de controles em geral ocorrem, conjuntamente ou não: (1) quando ocorrem oscilações climáticas e (2) quando se altera o nível de base relativo.

(1) Alterações climáticas resultando em menores acumulados pluviométricos podem provocar diminuição no débito fluvial que passa então a dar forma a uma nova superfície de inundação mais baixa e encravada na anterior. Neste caso, o rio perde poder erosivo, e tanto a antiga planície como a nova, e o próprio escoamento, ocorrem sobre o mesmo embasamento litológico. Por outro lado, se tais alterações redundarem no aumento da vazão é possível que, tanto a competência quanto a capacidade do rio sejam acrescidas, podendo levar a um aumento da frequência e da magnitude das cheias favorecendo a aggradação do assoalho e das áreas vizinhas ao canal, fato que leva ao recobrimento da planície por novas aluviões de características diferentes. Este processo dá origem a um terraço de recobrimento (FIGURA 3).

(2) A mudança do nível de base relativo (a partir do qual, em direção à jusante, o rio não erode) pode levar a modificação nas taxas de erosão e deposição do canal, cuja resposta morfológica, não raramente, está atrelada à alteração nas áreas de sedimentação e erosão, e na própria forma do canal.

É preciso lembrar ainda que, em vales estreitos, grande parte da planície de inundação antiga pode ser removida durante a formação da nova planície, principalmente na ocasião de aumento do débito fluvial.

Por último, vale salientar que o (re)entalhamento do canal ou a seu aumento de carga, são induzidos por alterações de naturezas externas, tanto climáticas quanto tectônicas, ou

FIGURA 3 - Terraços fluviais em função dos tipos de abandono da planície.

Fonte: CHRISTOFOLETTI (1974).

ainda, humanas, que podem gerar diversas sequencias cronológicas de evolução da paisagem, e que possibilitam inúmeros arranjos entre planícies e terraços, e entre terraços, uma vez que, um mesmo canal pode dar origem a sequências de patamares terraceados, frutos de alterações sucessivas na bacia ao longo do tempo geológico (FIGURA 4).

FIGURA 4 - Distribuição hipotética de terraços fluviais.

Fonte: CHRISTOFOLETTI (1974)

Processos de Inundações e emersão da planície fluvial

Em geomorfologia fluvial, a inundação é o processo pelo qual o canal atua para conseguir dar vazão a um débito não ordinário decorrente de um evento pluviométrico intenso. Em seu decorrer, ao longo do tempo geológico, as inundações e o retorno das águas ao conduto, redundam na formação dos setores naturais de amortecimento de cheias e reservação hídrica da planície fluvial. Essa alternância entre inundação e emersão é o mecanismo elementar que controla as ações erosivas e deposicionais, ao qual Allen (1970, apud Christofolletti, 1981), classificou em quatro fases: *transbordamento*, *enchimento*, *esvaziamento* e *secamento*.

O *transbordamento* é o primeiro processo de deflagração de uma inundação frente à primeira onda de cheia, quando as águas em elevação começam a tomar as bacias de inundação adjacentes ao canal ou na retaguarda dos diques marginais, inicialmente por meio de sulcos que dissecam estes sobressaltos topográficos, e depois pela superação de suas cristas. Nesta fase é comum que ocorra solapamento de margens e rompimento de trechos dos diques, pela pressão exercida pelas ondas e pela erosão atuante em seu reverso.

O *enchimento* ocorre nas *backswamps* pelas conexões existentes entre elas ou pela submersão de seus divisores, e em seguida, quando essas já saturaram, ao longo da planície. A deposição encontra nesta fase um momento ótimo, pois, a menos que ocorram ondas de cheias consecutivas, a erosão tende a se concentrar no canal.

A potência do fluxo diminui à medida que aumenta a distância em relação ao canal, e a taxa de deposição também diminui na mesma direção. Nas proximidades do canal, a deposição ocorre em maior volume e vai diminuindo para as bacias de inundação. [...] no mesmo sentido ocorre diminuição no tamanho médio do sedimento depositado (CHRISTOFOLETTI, 1981. p. 248).

A terceira fase, de *esvaziamento*, caracteriza-se pela diminuição das ondas de cheia, que decorre da perda de energia do fluxo, observada também na redução da velocidade de escoamento e em consequência do poder erosivo e da emergência das soleiras da planície. A água tende a ficar represada apenas nas *backswamps* onde, por ação do vento, formam marcas ondulares nos depósitos ou construir degraus com a planície.

Por último, a fase de *secamento* é marcada pela retirada de água da superfície (por evaporação ou por infiltração), promovendo o surgimento de superfície arenosa e argilosa.

Altimetricamente a superfície da planície de inundação está ajustada ao tamanho do canal, que por sua vez, corresponde à quantidade de fluxo que necessita escoar, de maneira que, a expansão ou a regressão da planície é estabilizada pela dinâmica do fluxo, caso contrário, as sucessivas cheias levariam ao aumento da topografia da planície e seu consecutivo abandono pelas inundações, o que de fato não ocorre (CHRISTOFOLETTI, 1981).

2. HIDROLOGIA URBANA

Há muito, o crescimento das manchas urbanas vem sendo tomado em diversos campos como um fenômeno ubíquo nas metrópoles globais, merecendo a destinação de subáreas específicas e de desenvolvimentos teórico, metodológico e técnico exclusivos. O excerto do livro **Urban Hydrology** de M. J. Hall (1984), a seguir, reitera e exemplifica esta crescente preocupação:

Despite the continuing increase in the extent of major town and cities, in many countries the land occupied by the urban population is often less than 5% of the total area (UNESCO, 1979). The concentration of human activities intensifies local competition for all types of resources, among the most vital of which is water. As Schneider et al. (1973) have noted, water is both an artery and a vein to urban life. In addition to those uses that are essential for human existence, water is also employed extensively in urban areas for the disposal of wastes. However, for the majority of most urban populations, individual rights and responsibilities in relation to these functions have been delegated to the local community. Of more immediate concern to individuals is role of water as a nuisance, among the more obvious form of which are flooding, drainage, erosion and sedimentation. These problems are compounded by the modifications to both the natural environment in general and the landscape in particular that are a consequence of urbanization (p. 2).

Assim, os problemas que nelas surgiram e se acentuaram exigiram um aprofundamento na assimilação dos arranjos espaciais dos sistemas físicos pelas “ciências duras”. Na hidrologia, por exemplo, a partir dos anos 1960 tornou-se recorrente o emprego do termo de hidrologia urbana, como expressão de um subcampo emergente.

O presente subitem constitui um esforço de elucidação da formação, evolução e abrangência deste campo, o qual se associa à geomorfologia fluvial e compartilha um gama de conteúdos, metodologias e técnicas fundamentais à realização desta pesquisa.

a) Cheia, Enchente e Inundação¹⁹

Cada vez mais, há necessidade em se precisar adequadamente os conceitos utilizados na discussão de resultados e na argumentação científica. Em estudos sobre os problemas da circulação das águas na cidade, os termos cheia, enchente e inundação são, recorrentemente, confundidos entre si ou tomados a partir de conotações ordinárias ou populares.

Consequentemente, flexibilizações conceituais são realizadas com o intuito de secundarizar as confusões relativas à natureza, ao desenvolvimento e as consequências do processo a que se refere cada termo. Disto, são produzidas e consolidadas inexistências conceituais que se propagam nas mais diversas áreas e meios de comunicação, exigindo discussões verticalizadas no meio científico sobre cada um dos termos e os processos que abrangem.

Popularmente²⁰, compreende-se como enchente o fenômeno de transbordamento de um rio como uma ocorrência natural, que normalmente não afeta diretamente a população, e tem a frequência de sua manifestação afiliada à ciclicidade natural da chuva que lhe origina.

Por sua vez, as inundações são os transbordamentos decorrentes, também de chuvas importantes, mas, prioritariamente, são originadas das modificações no uso da terra, e por isso podem provocar danos à população e corresponder a situações críticas no escoamento da bacia, tanto por não apresentar uma ciclicidade evidente quanto pela dificuldade em se modelar os sistemas antropizados.

Ambos os conceitos denotam a superação do limiar das margens plenas pela lâmina d'água de curso fluvial, e o consequente transbordamento do canal. A cheia, ou a onda de

¹⁹ Neste trabalho, o termo alagamento foi utilizado com conotação muito próxima ao do termo inundação, por isso não foi discriminado neste item de dedicação exclusiva à discussão conceitual.

²⁰ As conceituações populares são frequentemente utilizadas em meio científico-acadêmico com menos rigor do que se espera para este ambiente para o discurso normalmente empregado. Elas foram obtidas pela leitura de exemplos retirados de sites populares da internet, tendo sido sistematizada com base na descrição fornecida no wikipedia (http://pt.wikipedia.org/wiki/Inunda%C3%A7%C3%A3o#cite_note-Inund-0).

cheia, é um termo utilizado para expressar a elevação temporária da linha d'água como resposta a uma dada tormenta, sem necessariamente implicar ultrapassagem do limite superior do conduto.

Em um empenho de sistematizar estes conceitos e esclarecê-los em nível mais global, a Unesco (Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura) disponibilizou um Glossário Internacional de Hidrologia²¹ onde consta a definição de todos os termos fundamentais à hidrologia.

Neste documento, a cheia é definida como a subida, geralmente rápida, no nível d'água até o pico (ponto máximo) a partir do qual há um rebaixamento do nível, cujo comportamento é menos veloz. Ele inclui ainda o caudal ou o próprio nível atingido pela água, e não está vinculada a qualquer gênese do fenômeno, podendo referir-se à entrada de água (por precipitação) ou à elevação por maré.

Há, para o conceito de cheia, similaridade ao uso popularmente delineado, fato que ocorre, parcialmente, com a ideia de inundação, definida como “*submersão de áreas fora dos limites normais de um curso de água ou acumulação de água proveniente de drenagens, em zonas que normalmente não se encontram submersas*”. Em outras palavras, sobre-elevação da água com superação da capacidade do conduto (entendido como limite normal) ou a acumulação da água extravasada em áreas normalmente secas, o que não permite concluir que se trata de afogamento de áreas “novas” que nunca estiveram sujeitas, mas apenas a zonas para além do próprio córrego.

A princípio, portanto, os conceitos de cheia e inundação são tratados, no glossário internacional, como termos meramente descritivos sobre os processos de elevação do nível d'água e extravasamento do conduto, respectivamente.

Ainda neste sentido, inclui-se no glossário internacional o termo inundação urbana, o qual designa o aumento do nível d'água devido à precipitação que se acumula em virtude da insuficiência de débito do sistema de drenagem (natural ou alterado), produzindo o alagamento em ambiente urbano.

No Glossário Internacional de Hidrologia não consta definição para o conceito de enchente. Vale a pena notar, complementarmente, que nas enciclopédias internacionais de geomorfologia (Fairbridge, 1968; GOUDIE, 2004), ainda que exista o termo “**inundation**”, o

²¹Glossário Internacional de Hidrologia da Unesco:
<http://webworld.unesco.org/water/ihp/db/glossary/glu/HINDPT.HTM>

conceito de “**flood**”²² é utilizado muito mais amplamente. A rigor, este perfaz tanto a ideia de inundação como a de enchente e de cheia. Assim, por tratar-se de um glossário internacional de hidrologia, o documento disponibilizado pela Unesco, provavelmente, não abrangeu a distinção entre esses termos em português, os quais vêm paulatinamente, diferenciando-se no meio técnico-científico.

O glossário de termos hidrológicos disponibilizado pela ANA (Agência Nacional de Água) adota as definições de cheia e inundação da WMO (World Meteorological Organization), que também fundamentam os conceitos oferecidos pela Unesco, por isso também não faz distinção adequada entre enchente e inundação. Portanto, pode-se afirmar que, no nível global, a sistematização destes conceitos é descomprometida com a precisão necessária ao uso técnico em meio científico.

Contudo, mesmo em fontes acadêmicas clássicas, como o dicionário geológico-geomorfológico do professor Guerra (1978), a distinção entre os termos também exprime certa imprecisão conceitual, a começar pela inexistência da definição de cheia.

Para este autor, inundação é definida como alagado, que corresponde à área inundada como consequência de uma enchente. Neste sentido, não constitui nem ao menos um processo geomorfológico, mas é, antes de tudo, uma zona do vale submetida ao afogamento perante uma enchente. Este conceito é definido como grande cheia que ocorre em um rio, e está vinculado a desastres socioambientais, como perdas na agricultura, na pecuária e nas cidades. De modo a delinear preciosamente esta definição, o autor afirma que o que caracteriza as enchentes é a sua irregularidade, ou seja, sua ocorrência acíclica.

Christofolletti (1981), por outro lado, define inundação como um processo natural que faz parte da dinâmica fluvial. É a partir da ocorrência de inundações que são constituídas as franjas de alagamento das planícies e assinaladas as descontinuidades morfológicas dos sistemas canal fluvial e planície de inundação.

Tendo em vista, todo o resgate dos termos no contexto popular quanto nos meios institucionais e acadêmicos, não se pode considerar absolutamente equivocado o uso dos termos cheia, inundação e enchentes como sinônimos, ou sintetizados em um único conceito, como ocorre com **Flood**.

²² Segundo Goudie (2004) “a flow of water greater than the average flow along a river. A flood may be described in terms of its magnitude. On a given river, for example, any discharge exceeding 1.000m³/s might be designated a flood. A flood may also be described by its recurrence interval; a 100-yr flood occurs on average once every 1000 years. Or a flood may be described as any flow that overtops the bank or LEVEES along a channel and spread across the FLOODPLAIN.” (p. 378).

No entanto, com o intuito de esclarecer e posicionarmos quanto à celeuma evidenciada e à luz de todas as contribuições descritas, as adoções aqui realizadas mesclaram estes subsídios com o intuito de delinear mais precisamente e coerentemente com o uso corrente no meio acadêmico.

Prioritariamente, o termo 'cheia' é meramente descritivo utilizado para referir-se à elevação do nível d'água de qualquer corpo hídrico, sem caracterizar geneticamente o fenômeno ou ter relação com o transbordamento das margens. Tipicamente, diz-se de fase transitória do fluxo em regime não-permanente, ou seja, à translação de uma onda de cheia pelo conduto.

Os conceitos de inundação e enchentes são menos rígidos quanto o de cheia, e por isso seus limites e abrangências se entrelaçam e confundem-se. Adotou-se para esta pesquisa, o conceito de 'inundação' sistematizado por Christofolletti, o qual, refere-se a um fenômeno natural de transbordamento do canal e alagamento das planícies de inundação, abrangendo, assim, uma ideia relacionada à gênese não antropizada do processo e à originalidade das formas e limiares geomorfológicos. Esta conceituação é diferente da normalmente utilizada em meio populares.

Apropriando-se parcialmente da definição de 'enchente' de Guerra (1978), e baseando-se amplamente nos usos técnicos do termo pelos técnicos e engenheiro hidráulicos e sanitaristas, pode-se afirmar que os alagamentos decorrentes do aumento da vazão de pico que estejam em função de ações antrópicas, como alterações no uso da terra e obras de drenagem, especialmente urbanos, são considerados como fenômenos de enchentes. Carrega consigo, entre outras significações, o agravamento de uma dada condição de risco ao alagamento, perdas sociais e econômicas.

Contudo, não é devido a essa natureza de ocorrência que elas não apresentam ciclicidade. Ao contrário disto, elas ocorrem e também apresentam uma frequência, a qual, normalmente, é alterada de acordo com as novas configurações espaciais da bacia hidrográfica.

Estas distinções auxiliarão nas discussões e argumentações a serem realizadas sobre os resultados e considerações finais.

2.1. Bacias hidrográficas urbanas

Uma vez compreendida a urbanização como principal processo antrópico de intervenção geomorfológica, torna-se fundamental, neste momento, compreender alguns aspectos

fundamentais de funcionamento e estrutura hidrográfica e hidrológica, como justificativas para a consolidação da hidrologia urbana.

Preliminarmente, todavia, é essencial retomar brevemente a dinâmica natural do ciclo hidrológico, para então enfocar-se na circulação da água em meio urbano.

Baseando-se em Drew (1983), a circulação hídrica constitui, genericamente, de um circuito de etapas de armazenamento conectadas por transferências de diferentes modalidades com funcionamento geral relacionado à ação gravitacional e entendida como homogênea ao longo da superfície.

Secundariamente, o ciclo hidrológico está condicionado pelas características da precipitação (basicamente frequência e magnitude), e pelas diferenças de atributos e condições das diferentes esferas pelas quais a água percola (biosfera, litosfera, pedosfera e hidrosfera), de maneira que estes aspectos, ao mesmo tempo em que são fortemente subordinados à disponibilidade, distribuição e ação pluviométrica, também determinam estas mesmas condições hídricas, atuando através interceptação, armazenamento, drenagem, escoamento e evaporação da água.

Assim, em meio natural, a precipitação constitui a variável mais importante para o estudo da dinâmica hidrológica. Sua característica de ocorrência envolvendo distribuição temporal e espacial, sua intensidade, sua duração e sua frequência são aspectos que importam significativamente para a entrada de matéria e energia do sistema, e é sob essa entrada que os demais mecanismos de regulação que atuam no processamento do ciclo hidrológico agem (BOTELHO, 2011).

Drew (1983) teve o mérito de descrever com detalhamento os processos do ciclo hidrológico em ambientes naturais e antropizados, enfocando as alterações antrópicas. Por essa razão suas contribuições foram aqui exploradas e sistematizadas.

Segundo o autor, em ambiente florestal o ciclo hidrológico pode ser teoricamente subdividido entre fase arbóreo-arbustiva (ou fase aérea) e fase superficial. Na primeira, as etapas de interceptação, evaporação, armazenamento nas copas, transprecipitação (atravessamento), escoamento pelo tronco e galhos e gotejamento compõem diversos momentos da entrada de água no sistema bacia hidrográfica. Atuando de maneira conjunta, estas diferentes etapas fracionam o total pluviométrico, dissipam a energia cinética contida nas gotas de chuva, ao mesmo tempo em que regulam a entrada de água, permitindo que parte alcance a superfície, e parte volte à atmosfera por evaporação.

Ao atingir a superfície, o autor descreve que a água da chuva é novamente decomposta entre os processos de infiltração e escoamento, cujas ocorrências estão fortemente subordinadas às características do relevo, principalmente, à declividade, à rugosidade superficial e ao modelado da vertente (que envolve configurações côncavas, convexas e retilíneas, em planta e em perfil, resultando em nove possibilidades de feições de vertente). O processo de escoamento envolve dois tipos mais habituais discutidos na literatura: o escoamento superficial (*runoff*), em que a água não chega a infiltrar; e o escoamento sublateral ou em subsuperfície, no qual a água infiltra até certa profundidade, a partir da qual drena paralelamente à superfície no sentido do nível de base.

À infiltração estão relacionados outros processos e estruturas do solo ou substrato rochoso que condicionam os caminhos da água em subsolo. Em geral, consideram-se a capacidade de drenagem do solo, a qual às variáveis: condutividade hidráulica e inclinação do terreno; e profundidade do lençol freático, a partir do qual passa a alimentar os corpos d'água perenes, que constitui a principal saída de água do sistema. Apesar disso, deve-se considerar que, mesmo armazenada no solo (com exceção das fases higroscópicas ou argílicas) a água pode ser absorvida pelas raízes das plantas passando a compor a ciclagem de nutriente, sendo, posteriormente, liberada à atmosfera por transpiração.

Em ambientes urbanos, o autor destaca que o ciclo hidrológico é intensamente alterado e reconfigurado, resumindo-se aos processos de escoamento e infiltração. A fase arbórea e a serra pilheira, por exemplo, são eliminadas no processo de construção urbana, e o fracionamento pluviométrico não compõe mais a dinâmica de redistribuição e armazenamento de água.

Por meio das componentes do meio urbano: as edificações, a pavimentação, a canalização e a retificação da drenagem, e demais equipamentos e elementos urbanos favorecem a impermeabilização e, consequentemente, aumentam o escoamento superficial e a velocidade dos fluxos, e diminuem o tempo de concentração. Disso decorre o aumento dos picos de vazão e das magnitudes e frequências dos eventos de inundação (FIGURA 5).

FIGURA 5- Hidrogramas que demonstram os efeitos da urbanização sobre escoamento superficial em tormentas.

Fonte: CHOW (1994)

Comparando-se bacias em condições naturais às bacias urbanizadas, alguns autores já mencionaram o aumento de até seis vezes no pico de vazão entre diferentes momentos. Este aumento se deve, primordialmente, à impermeabilização da superfície, embora seja um equívoco não mencionar o incremento hídrico das águas de uso doméstico, comercial e industrial, que em geral são trazidas de bacias contíguas, cuja área de contribuição não pertence à bacia de destino da água, e passam a incrementar as vazões das bacias às quais servem (Botelho, 2011).

Pode-se afirmar que as intervenções urbanas criaram especificidades nos sistemas hidromorfológicos, caracterizando as bacias hidrográficas como novas categorias de análise geomorfológica e, certamente, de unidade de planejamento territorial. Conhecer os efeitos da urbanização sobre os fluxos do sistema são determinantes para antecipar condições críticas de cheias e sistematizar planos de adequação do meio (MOTTA JR. E TUCCI, 1984).

Aliadas a essas modificações, as obras hidráulicas acompanharam o crescimento de todas as metrópoles, e modificaram estruturalmente o funcionamento sistêmico das bacias hidrográficas, em geral, com vistas ao disciplinamento de águas pluviais e minimização dos efeitos das enchentes.

Dentre estas obras hidráulicas estão as canalizações, retificações, desvios do canal original, alargamentos e aprofundamentos das seções transversais. Além dessas, obras de contenção como pôlderes e barragens não são incomuns em ambientes urbanos.

Sistemas fluviais meândricos tem se caracterizado, particularmente no meio tropical, como os mais problemáticos do ponto de vista da drenagem urbana. Isso em função, dentre outros fatores, do fato de suas planícies serem extensamente ocupadas pela urbanização, devido à configuração topográfica favorável.

Com o objetivo de garantir o escoamento destes sistemas intervenções visando o aumento da vazão são as mais recorrentes. Retificação dos meandros (transformação do traçado), o aprofundamento do canal associados à geometria regular e impermeabilidade do assoalho (eliminação de macrorugosidades e diminuição da tensão tangencial) são medidas que aceleram o escoamento das águas pluviais e fluviais, ampliando a capacidade de débito e minimizando os fenômenos de enchentes.

Tais obras tendem a surtir efeito imediatamente, minimizando a frequência e a magnitude das inundações. Contudo, na maioria dos casos, as intervenções hidráulicas promovem alterações além das pretendidas sobre os sistemas hidromorfológicos, abrangendo, por exemplo, os setores de montante ou jusante do setor que recebeu a intervenção. Essas consequências não dimensionadas adequadamente podem resultar em problemas de resolução ainda mais complexa no médio e longo prazo.

Atualmente, as perspectivas clássicas de combate aos problemas hídricos e hidráulicos urbanos envolvendo enchentes, escorregamentos e qualidade das águas, vêm sendo substituídos por um paradigma cujo fundamento reside no conceito de prevenção. Isso tem sido alçado pelo desenvolvimento de legislações específicas e instrumentos de gestão balizados em novos modelos de planejamento, regulação e ordenamento da ocupação urbana.

Visando uma compreensão mais completa do contexto das intervenções hidráulicas clássicas e as modificações que vem sofrendo na resolução das questões de enchentes urbanas, realizou-se uma breve revisão deste conceito, destacando seus efeitos e as medidas de combate e mitigação.

2.2. Cheias urbanas: expressão da crise de água nas cidades

As enchentes urbanas ocorrem pela proximidade das ocupações urbanas aos grandes corpos d'água, que apresentam oscilação de seu nível. Decina (2012) pontua que a necessidade elementar de suprimento de água e navegação faz com que, mesmo na sociedade moderna, a localização de centros urbanos seja próxima a reservatórios hídricos.

Tucci (2005) complementa esta tese destacando a importância das planícies como áreas favoráveis ao assentamento graças a sua topografia. Nestes locais, durante os períodos de

pequenas inundações, existe a tendência à ocupação de áreas de risco, que advém do fato de estes setores estarem submetidos a inundações menos frequentemente.

Pelas razões levantadas, é possível entender a concentração das grandes cidades nas regiões litorâneas e próximas a grandes rios, alterando em vários níveis os sistemas hidromorfológicos, particularmente, os localizados nos fundos de vale.

Contudo, neste panorama, particularmente nos países em desenvolvimento, o êxodo rural ocorrido durante as décadas de 1960 e 1970 levou ao crescimento acelerado das cidades. De modo a contextualizar a mudança dos perfis demográficos das metrópoles brasileiras, de acordo com o IBGE (2010), atualmente, 85% da população vive em cidades, dos quais cerca de 40% está concentrada em 12 regiões metropolitanas. A Região Metropolitana de São Paulo figura entre as três maiores do Mundo em termos populacionais, de acordo com os dados apresentados por Tucci (2005), com aproximadamente 17,9 milhões de habitantes.

No contexto brasileiro, a Grande São Paulo é a região metropolitana com o maior número de problemas relativos às inundações. Desde as primeiras décadas do século XX quando a apropriação por essa modalidade de uso da terra passou a se expandir exponencialmente sem o devido controle e regulação territorial, problemas ambientais, econômicos e sociais relacionados às enchentes são frequentes.

Durante a década de 1930 particularmente, quando somente o município passou de 580 mil para 1 milhão de habitantes, também ocorreram as mais importantes definições sobre as funções e estrutura urbana da metrópole. Transformações físicas produzidas pelo avanço da industrialização, a priorização do sistema viário (intra e interurbano) e a ampliação dos bairros residenciais periféricos, foram responsáveis por impulsionar a construção de vias em fundos de vale o que inevitavelmente levou a realização de diversas obras de disciplinamento de águas pluviais e intervenções sobre canais fluviais e áreas de planície de inundação para melhoramento da drenagem.

Nas décadas que se seguiram até os anos 1970 a taxa de crescimento populacional era em torno de 4%, e a população atingiu 6 milhões de habitantes, aproximadamente. A maior parte dessa massa formada por migrantes de outras regiões do país alocou-se em áreas periféricas do município ou em setores não priorizados na etapa inicial de urbanização, normalmente por apresentarem alguma fragilidade ou restrição ambiental ao assentamento urbano. Nestas áreas observam-se, por exemplo, deslizamento de terra, movimentos de massa, processos erosivos latentes, enxurradas, inundações severas e prolongadas, ou ainda caracterizam-se como especiais à conservação de mananciais ou de remanescentes vegetais.

Foi neste contexto que o bairro do Itaim Paulista e adjacências expandiram-se, produziram centros e consolidaram-se. Consequentemente, neste período aumentaram os problemas ambientais, dentre os quais a drenagem urbana pouco a pouco se tornou um gargalo incômodo à população residente e ao planejamento territorial.

Desde meados da década de 1970 até o início dos anos 2000 a taxa de crescimento populacional se manteve elevada, porém menor que a observada nos anos antecedentes. O aglomerado urbano passou a se expandir horizontalmente na direção dos bairros periféricos de São Paulo até atingirem os limites municipais, a partir dos quais passaram a crescer no sentido dos demais núcleos urbanos. No centro de São Paulo, pela indisponibilidade física, os distritos deixaram de ampliar e passaram a apresentar taxa nula ou negativa de crescimento da população.

Na primeira década do ano 2000 a metrópole paulista estagnou sua dinâmica populacional, e os programas de planejamento territorial valorizaram aspectos de regularização e revitalização de áreas degradadas ou sob condições de risco ambiental. Essas ações objetivaram o aumento das áreas verdes, como parques urbanos e canteiros, o melhoramento da qualidade das águas e do ar, a definição de áreas de risco de escorregamento e interdição de setores já ocupados, e a implantação de medidas mitigatórias das enchentes urbanas. Contudo, ainda que esse esforço tenha redundado em algum nível de melhora da estrutura urbana e da salubridade da população residente, severos problemas hidráulicos permanecem atuantes e refletem as definições do planejamento e a construção da cidade do século passado.

A explosão demográfica e o estabelecimento caótico de ocupações, muitas vezes ilegais e sem infraestrutura, promoveram impermeabilização sobre inúmeros setores de planície de inundação e vertentes. Tal contexto implicou alterações em todos os níveis e fases do ciclo hidrológico. Dentre as principais dimensões atingidas pela urbanização estão: as funções de produção de água (enquanto mananciais), o abastecimento, o saneamento de efluentes, a drenagem urbana e as enchentes.

De acordo com o CRED (Centre for Research on the Epidemiology of Disasters, 2012)²³, desde 1900 até 2011, as inundações corresponderam 36% dos registros de ocorrência de desastres naturais, sendo que esta fração sobe para 39% quando nos restringimos aos últimos 12 anos (FIGURA 6). As inundações são causas para 21% das mortes resultantes de desastres naturais em todo o Mundo.

²³ The International Disaster Database é um órgão da Organização Mundial da Saúde (OMS) responsável por coletar e divulgar informações sobre desastres naturais. Disponível em: <http://www.emdat.be/>

FIGURA 6 - Evolução do número de pessoas afetadas por tipos de desastres naturais no Mundo, de 1900 a 2011.

Fonte: CRED (2012)

Extraído de <http://www.emdat.be/>, 2012

Destaca-se da figura 3, a participação dos desastres hidrológicos (que incluem as enchentes) em relação ao seu próprio histórico, e em relação às demais naturezas de desastres. Pode-se adiantar que, este dado aponta para uma necessidade de se repensar as soluções técnicas até então adotadas e, logo, os parâmetros científicos e técnicos que lhes dão subsídios.

No Brasil este cenário se agrava. As inundações correspondem a 57% dos desastres naturais registrados entre 1900 e 2011, sendo responsáveis por 62% das mortes. A partir do século XXI, os registros de inundação ganham ainda mais importância, e passam a representar 64% dos eventos de desastres naturais e 83% das mortes. Nos últimos 10 anos, no Brasil, 90% dos desastres mais trágicos foram inundações, que resultaram na morte de 1.783 pessoas e de 7.430.995 número de afetados, com perdas econômicas na ordem de US\$ 3.813.000,00. Considerando apenas as inundações, de 2003 a 2012, foram registrados no Brasil 37 eventos, dos quais 90% foram inundações entendidas como típicas (*General flood*), e 10% como *flash flood*. As primeiras mataram mais de 2.000 pessoas, e afetaram cerca de 8.183.367 indivíduos.

As *flash floods* foram menos massivas, porém significativamente violentas, resultando em 78 vítimas, 203.080 atingidos (CRED, 2012).

Uma vez constituído esta visão panorâmica da representatividade das enchentes urbanas e o problema que elas representam atualmente, a drenagem urbana deve ser destacada como a principal abordagem utilizada pelos planejadores nos diversos instrumentos de regulação e ordenamento territorial. Ela envolve aspectos de microdrenagem, como a rede de coleta da água pluvial (além de efluentes e resíduos sólidos), o seu tratamento e o lançamento aos rios, bem como o desenvolvimento e efetivação de medidas de macrodrenagem, as quais tem papel mais importante sobre o controle das inundações. Essas últimas buscam evitar o transbordamento do rio e o alagamento de setores ribeirinhos (TUCCI, 2005).

A gestão da inundação tem como objetivo a minimização dos impactos sobre a dinâmica e economia urbana, e sobre a vida humana. No entanto, a impossibilidade de eliminar a sua ocorrência ou de retroagir no tempo e reconfigurar as situações do espaço urbano faz com que, atualmente, ganhe importância a execução de medidas não estruturais de combate e mitigação de enchentes. As obras hidráulicas recorrentes e tais medidas não estruturais são apresentadas no item seguinte.

2.3. Definição de Hidrologia Urbana

Muitos autores se empenharam em desenvolver e estabelecer uma conceituação ampla de hidrologia urbana como termo e campo de estudo. Alguns destes o fizeram de modo mais sintético, sem ostensivas construções conceituais; outros, não obstante, procuraram, de forma mais laboriosa, cingir o conceito nas suas interfaces e fixar o centro de sua preocupação e perspectiva.

De modo geral, ao se tomar por base as contribuições de alguns autores fundamentais para a engenharia hidrológica no Brasil, tais como Tucci (1995), Silveira (1998) e Canholi (2005), dentre muitos outros, ou ainda, considerando as multivariadas contribuições dos periódicos especializados na área (Journal of hydrology; Applied Water Science; Hydrological Processes; Water Science and Technology; Urban Water; Journal of Hydrological Engineering, Revista Brasileiro de Recursos Hídricos) a definição de hidrologia urbana é mais imediata e, habitualmente, está subentendida nas suposições adotadas pelos estudos.

Sung e Li (2010), por exemplo, destacam o aumento da superfície impermeável como principal aspecto para caracterização de uma preocupação particular sobre a qual a hidrologia urbana deve se debruçar-se e desdobrar-se:

Urban streams suffer from flashy hydrology with larger peakflow and lower baseflow. Increased impervious surface generates more stormwater runoff in urbanized watersheds. Engineered drainage systems, such as stormwater sewer pipes and open channel ditches, quickly discharge the stormwater runoff from the impervious surface, which increases the frequency and magnitude of floods in downstream. Meanwhile, impervious surface also decreases baseflow during dry periods by impeding infiltration of stormwater and lowering the groundwater level (p. 3706).

A argumentação destes autores, claramente, orienta-se no sentido de salientar as modificações nas relações espaço-temporais da sequência de processos do ciclo hidrológico em ambientes urbanos, particularmente sobre as taxas de infiltração e escoamento superficial, e o papel dos sistemas de esgotamento e encanamento pluvial nestas alterações.

De imediato, este é o substrato a partir do qual são compostas as definições mais objetivas. Niemczynowicz (1999) oferece-nos um exemplo desta perspectiva complementada pelo escopo argumentativo que sustenta o campo, conforme se pode constatar no seguinte excerto:

Urban hydrology is an applied Science that will have an increasing role to play in the sustainability of human societies. Facing present growth of urban population, it is increasingly difficult to find and utilize new sources of water necessary to satisfy growing water demand. [...]Growth of urban areas brings significant changes in physical properties of land surface increasing integrated vulnerability of inhabitants, agricultural land and rural ecological life supporting systems [...].

Urban hydrology is a special case of hydrology applied for cities i.e., areas with very high level of human interference with natural processes. All hydrological sub-processes in urban areas must be considered in much smaller temporal and spatial scales than those in rural areas. This brings essential differences with respect to theory, data collection and calculation methods. (p. 1)

No segundo parágrafo do fragmento acima, deve-se sublinhar a necessidade de detalhamento da abordagem espaço-temporal mencionada pelo autor para os processos e subprocessos hidrológicos que ocorrem nas cidades. Esta afirmação ratifica a necessidade de adaptação teórica, metodológica e técnica da hidrologia para este ambiente.

Por fim, admite-se a conceituação realizada por Hall (1984) como adequada para a hidrologia urbana como campo de estudo recente:

[...] urban hydrology would be the study of the hydrological processes occurring within the urban environment. [...].

[...] the natural drainage system are both altered and supplemented by sewerage. The effects of flooding are mitigated by flood alleviation schemes or storage ponds. In the initial stages of urban development, septic tanks are employed for the disposal of domestic wastes. As the urban area grows, foul sewerage systems discharging to sewerage treatment works are installed, and the treated effluent is returned to local

watercourses of even the ocean. Initially, water supplies are drawn from local surface and groundwater sources at minimum cost, but as the population increases and the demand for water rises, further supplies may only be obtainable from more remote locations. Both waste disposal and water supply therefore extend the influence of the urban area well beyond its immediate boundaries. **Urban hydrology may consequently be defined in more appropriate terms as the study of hydrological processes both within and outside the urban environment that are affected by urbanization** (p. 6).

O contorno dado pelo autor para o desenvolvimento teórico dos sistemas complexos de saneamento (de esgotamento e águas pluviais) e de abastecimento público ao longo do crescimento das cidades sugere que os efeitos da urbanização sobre os sistemas hidrológicos não estão restritos aos limites territoriais da metrópole, nem, tampouco, a uma propagação a montante e a jusante dos canais modificados.

Trata-se de alterações de ampla magnitude e sobre diversos ambientes que redundam em alteração, inclusive, nas curvas de Intensidade-Duração-Frequência significativas para as obras de drenagem, de modo que exigem metodologias, técnicas e dados pormenorizados, além de modelos mais robustos para incorporar elementos que fazem parte do meio urbano e satisfazer as novas exigências à gestão. Sinteticamente, o fluxograma da figura 7 ilustra o arranjo dos processos sobre os quais as alterações no meio urbano são responsáveis, e os problemas derivados desta reorganização.

FIGURA 7 – Fluxograma dos elementos e processos hidrológicos decorrentes da urbanização.

Hall (1984) optou por demonstrar separadamente no esquema acima, a cadeia de condições geradoras dos problemas relativos ao controle da poluição e ao controle das cheias, pois o autor esteve preocupado em caracterizar e analisar os aspectos negativos globais dos recursos hídricos no meio urbano. É evidente, por exemplo, que, ao longo de uma cheia, numerosas perturbações irão ocorrer sobre a qualidade das águas pluviais e, inclusive, de abastecimento.

Entretanto, detendo-se nos componentes da direita do fluxograma, encarregados dos problemas de inundação nas cidades, destacam-se duas alterações estruturais causadores do aumento do pico de vazão: ampliação da área impermeável e modificações no sistema de drenagem.

No presente estudo, abordaram-se, mais detalhadamente, os problemas relativos ao aumento e característica das áreas urbanizadas impermeáveis, tanto para avaliação da geomorfologia antropogênica quanto para a mudança no pico de vazão. A análise dos aspectos dos córregos, rios e condutos, foram de suporte para a avaliação das áreas suscetíveis à inundação e às cheias. Por essa razão aspectos de controles dos fluxos, como velocidade, rugosidade e os tempos de pico e de concentração foram estimados.

No mundo e no Brasil, a hidrologia urbana passou por algumas fases de complexificação do seu objeto de estudo e de amadurecimento, antes de atingir a estrutura elementar do fluxograma apresentado. Estes estágios estiveram fortemente vinculados às tendências científicas globais que abrangeram os vários campos do conhecimento. Para a hidrologia urbana, assim como para outras áreas e subcampos de aplicações técnicas, estas modificações incidiram sobre as bases do pensamento sistêmico que apoia as esferas sanitária e ambiental.

2.3.1. Histórico e desenvolvimento da hidrologia urbana

Com o intuito de contextualizar o atual estágio de desenvolvimento da disciplina e entender as opções técnicas que hoje são relevantes à drenagem urbana e a qualidade das águas nas cidades, bem como os procedimentos hidrológico-hidráulico de modelagem e fluxo de trabalho que serão utilizados, este item buscou retomar, brevemente as fases e desenvolvimentos da hidrologia e, particularmente, da seção praticada no urbano.

As contribuições de Silveira (1998) neste sentido são as mais recentes, claras e sintéticas disponíveis no Brasil. O autor faz uma recapitulação do caminhar teórico do campo no mundo e no Brasil, destacando as fases marcantes de evolução do pensamento, as características gerais de cada uma e as transformações sofridas. Para isso inicia pontuando a perspectiva atual assumida pela disciplina:

A visão exclusivamente mecanicista da circulação das águas e esgotos no espaço urbano não é mais admissível no mundo moderno que deseja um saneamento com maior respeito pelo meio ambiente. **Este enfoque é justamente a base do conceito atual do que se convencionou chamar de Hidrologia Urbana.**

[...] a Hidrologia urbana estruturou-se gradativamente como disciplina científica nos países desenvolvidos da América do norte e Europa a partir do fim dos anos 60, em decorrência de uma necessidade crescente de conhecimento e controle das relações frequentemente conflitantes, entre a cidade e o ciclo hidrológico. (p. 511)

Sucintamente, os objetivos do campo podem ser assim enumerados:

- (i) realizar pesquisas de caráter fundamental sobre efeitos da urbanização no escoamento de bacias hidrográficas (qualitativas e quantitativas) e na circulação atmosférica, focando as precipitações;
- (ii) realizar pesquisas aplicadas com o objetivo de melhorar ou propor novas soluções em relação a obras (equipamentos urbanos) e à forma de ocupação do solo de maneira a reduzir os impactos nocivos no próprio meio urbano assim como a jusante da cidade.

É comum entre os principais autores especialistas afirmar que para atingir tal perspectiva com objetivos mais bem definidos, o campo evoluiu basicamente por três fases bem marcadas: (1) a primeira, em que predominou o conceito higienista; (2) segunda, no qual a racionalização e normatização dos cálculos hidrológicos foram regras para se ratificar a prática da hidrologia urbana; e, por último, (3) a abordagem vigente de cunho científico e ambiental para contemplar o ciclo hidrológico urbano.

No Brasil, desde a proclamação da república, em 1889, com o advento do conceito higienista, o campo seguiu a tendência europeia. Os tamanhos das cidades da Europa e brasileiras da época fizeram com as diferenças entre elas fossem supostamente minimizadas, um equívoco conceitual e técnico recorrente na hidrologia e muitos outros campos do conhecimento. O conceito higienista veio acompanhado da noção de drenagem urbana composta, neste primeiro momento, das máximas de evacuação rápida e separação entre esgoto pluvial e doméstico.

A diferença entre as cidades europeias e brasileiras, no entanto, obviamente não eram meramente de tamanho, mas essencialmente, de território, ou seja, tratava-se de uma distinção do ambiente e da sociedade. A desconsideração de elementos imanentes como estes incutiram em importações *stricta* de pressupostos, decorrendo erros significativos nas construções (materiais e dimensionamentos) e nos aparatos técnicos dos sistemas de drenagem.

De forma breve, durante as duas primeiras fases mencionadas o Brasil acompanhou o movimento internacional de perto. Na terceira (e atual) etapa, no entanto, a difusão dos conhecimentos atingiu, até o momento, níveis insatisfatórios.

“[...] Não é difícil ligar este fato à falta crônica de investimentos suficientes para pesquisa e construção de obras física. Assim a situação atual é de grande defasagem em relação aos países desenvolvidos (enquanto a Europa já fala seriamente em purificar os esgotos pluviais, somente 8% dos esgotos domésticos brasileiro são tratados)”. (p. 513)

Por outro lado, deve-se destacar que o maior mérito desta fase tem sido o de suplantar a noção de drenagem urbana pelo de hidrologia urbana no desenvolvimento das pesquisas e técnicas, fornecendo uma visão de conjunto muito mais sofisticada, robusta e abrangente que a anterior.

A divisão por fases de desenvolvimento do pensamento de um determinado campo do conhecimento é reconhecida como uma estratégia metodológica analítica que facilita o entendimento dos processos sofridos e auxilia significativamente no resgate epistemológico, teórico, conceitual e aplicado. No entanto, a passagem de uma fase para outra não implica descarte de tudo que houvera sido produzido no momento anterior. Ao contrário disto, nas ciências aplicadas, particularmente, o acúmulo de conhecimento associado ao reconhecimento da importância dos avanços técnicos e conceituais anteriores e a persistência de pressupostos antigos em condições mais atuais é normalmente observada. Por essa razão, observa-se que aspectos da fase higienista da disciplina, seguem orientando muitas pesquisas e planejamentos até os dias de hoje, integrando-se ao atual estágio de desenvolvimento da disciplina. A seguir, detalhou-se as características das fases.

(1) Predominância do conceito higienista

A primeira etapa é decorrente do movimento higienista surgido na Europa do século XIX, que preconizava como medida de saúde pública a eliminação sistemática das águas paradas ou empoçadas nas cidades, assim como dos dejetos domésticos jogados nas vias públicas. Surge o conceito de **evacuação rápida para longe**, por meio de canalização subterrânea, de toda água circulante na cidade, passível de ser infectada ou contaminada por dejetos humanos ou animais. Em termos hidrológicos, são estabelecidas as primeiras relações quantitativas entre precipitação e escoamento para dimensionamento de obras de esgoto.

Tomada como ponto de partida da hidrologia urbana, esta fase marca os primórdios da disciplina no século XIX e sua prática nas grandes metrópoles europeias. Ela é caracterizada pelas preocupações sanitaristas urgentes relacionadas aos recursos hídricos, fortemente concentrados na disponibilidade hídrica de fontes potáveis e nos problemas relacionados às enchentes. Motivadas por estas razões, durante toda essa etapa os pesquisadores estiveram concentrados em desenvolver e operar sistemas capazes de dissociar os fluxos de águas pluviais e fluviais dos fluxos de esgotamento, e que expurgassem as águas excedentes.

Como menciona Silveira (1998) tratou-se do advento e consolidação do conceito de evacuação rápida para além dos limites da cidade, evitando contaminações e problemas de drenagem. Sobre estes pressupostos é que a drenagem urbana foi sendo edificada e importada ao Brasil.

As primeiras concretizações estruturadas sobre estas perspectivas foram as canalizações na cidade do Rio de Janeiro, por volta da segunda metade do século XIX. Com a proclamação da república, em 1889, realizaram-se reformas urbanísticas na capital e em outras cidades brasileiras, todas elas orientadas pelo conceito de livrar o meio urbano das “águas nocivas”.

A limitação dos investimentos para a reestruturação oriundas das reformas fez com que o governo optasse pelo sistema de drenagem separador absoluto com construção de redes de fluxos distintas para cada coletor, distribuidor ou concentrador do sistema.

Durante toda essa fase, ao longo dos séculos XIX e primeira metade do século XX, o engenheiro civil e sanitarista, Saturnino de Brito, foi a principal referência e autoridade no Brasil em desenvolver as reformas urbanistas. Baseado em seus aprendizados e conhecimentos trazidos da França, onde completou seus estudos, Saturnino de Brito realizou fortes críticas aos engenheiros brasileiros que insistiam na aplicação insensata e reprodução às cegas dos métodos parisienses de drenagem urbana para a realidade do Brasil.

Dentre suas principais críticas está a utilização de chuvas de fraca intensidade para o dimensionamento de obras de drenagem. Na França, à época, aceitavam-se valores de 1/3 das chuvas de projeto para o planejamento de dutos e canalização, considerando que o volume restante integravam perdas hídricas e capacidade de abatimento e retardo do pico. A crítica recaiu, principalmente, na simples adoção de procedimentos tais como o mencionado e pela carência de esforços voltados à adaptação para as características de clima e hidrologia tropicais e à realidade urbana das cidades brasileiras.

(2) Racionalização e Normatização dos cálculos

A segunda etapa mantém o conceito de evacuação rápida, mas procura **estabelecer melhor o cálculo hidrológico para dimensionamento de obras hidráulicas**. Já dispondo de melhores instrumentos de medida das grandezas hidrológicas, é a etapa de 'racionalização' (surgimento do método racional) e da normatização dos cálculos.

A propagação do teor crítico das contribuições de Saturnino de Brito desembocou na produção de conhecimentos genuínos e um rigor maior nos cálculos de dimensionamento voltados a aplicações em território nacional. Um consagrado exemplo desta fase no Brasil foram as obras de saneamento de Santos, no litoral Paulista, da qual Saturnino de Brito, em 1898, foi coordenador. Nesta oportunidade o autor desenvolveu algumas formulações que ajudavam nos cálculos hidrológicos e nos fluxos pertinentes às obras de drenagem, algumas das quais permanecem em uso até os dias atuais.

Apesar do esforço e do advento de novas tecnologias que aprimoraram a precisão e a acurácia das medições hidrológicas, as técnicas de cálculos e modelagem ainda sofriam um intenso atraso. Um exemplo foi os problemas relativos à definição das chuvas de projeto associado ao conceito de probabilidade de ocorrência (atualmente indicado pelo Tempo de Recorrência) que veio a consolidar-se tardiamente na ciência hidrológica. Em virtude desta limitação, por exemplo, durante toda a primeira fase e parte deste segundo momento de amadurecimento da hidrologia urbana, as chuvas de dimensionamento eram a média das máximas observadas. A falta deste domínio pleno dos períodos de retorno ou probabilidade de ocorrência ligada à chuva de projeto perdurou até o final da década de 40.

Não obstante, foi a partir dos anos 30 e, mais especificamente, na sequência dos anos 50 que a etapa de racionalização consolidou-se na hidrologia. Em um primeiro momento, um exemplo disto foi a acepção de que a duração crítica de uma chuva de projeto deveria ser maior que o tempo de concentração de uma dada bacia. Este pressuposto chegou ao Brasil fortemente apoiado pelo aumento do número de pluviógrafos e do monitoramento da translação da onda de cheia.

Ao longo da década de 50 ocorreram a consolidação do método racional²⁴ no formato clássico em que ele é ensinado na engenharia civil, e a formulação das primeiras expressões IDF para o Brasil, realizadas por Parigot de Souza em meados do século XX. Este avanço ainda foi corroborado pela publicação de Chuvas Intensas no Brasil por um dos maiores estudiosos no país sobre os eventos extremos, o professor Pfafstetter (1957), tendo feito

²⁴ $Q=CiA$; onde: Q é vazão de projeto, C é o coeficiente de escoamento (tabelas em função do uso da terra); i é a intensidade da precipitação de projeto com uma duração igual ao tempo de concentração (m/s; se o tempo for de duas horas, a chuva de projeto deverá ter 2h de duração e T_r que corresponda à máxima intensidade); A é a área da bacia (m²).

aumentar a popularidade do método racional e das curvas IDF como principal caminho para a solução de obras de drenagem urbana.

Os lapsos técnicos vividos até o início dos anos 60 fizeram com que nas décadas seguintes e, a rigor, até o fim da fase de normatização nos fins da década de 70, a hidrologia urbana no Brasil se desenvolvesse e fosse aplicada sem a existência de normatizações técnicas específicas. Como consequência desta desregulamentação, o método racional passou a ser adotado indiscriminadamente e, em muitos casos, equivocadamente, bem como alguns outros métodos empíricos sintéticos, como o SCS.

“Grigg e Willie (1979), através da análise das leis que orientaram diversos loteamentos em várias cidades, confirmam que o Brasil chegou às portas dos anos 80 numa situação em que a drenagem urbana era concebida na maior dos casos sem se basear em nenhuma norma técnica, o que facilitou a aceitação de projetos de eficácia duvidosa, sem falar numa total desuniformização de critérios no país. E muitos problemas foram agravados pelo fato de que tradicionalmente a drenagem urbana é de exclusiva responsabilidade do município e geralmente há pouca preocupação sobre consequências a jusante de ações locais implementadas a montante.” (SILVEIRA, 1998, pp. 517).

Esta carência de normatização induziu, entre outras coisas, à adoção do, então lançado, Manual de Projeto de Drenagem Urbana pelo DAEE/CETESB (1980), pelo amplo corpo de engenheiro hidráulicos do país, como um guia técnico nacional por ser uma das únicas publicações específicas sobre o tema até então divulgadas.

Deve-se notar que este manual, ainda amplamente consultado hoje em dia, recomenda o clássico estudo de Pfafstetter (1957) para definição de chuvas de projeto, deixando evidente o lento progresso na aquisição de dados, formulação matemática, desenvolvimento de modelos e aprofundamento das simulações no Brasil.

Pode-se considerar, portanto, que a fase de racionalização e normatização não se desdobrou de forma ideal no país. Em suma, esta etapa se caracterizou pela importação direta de métodos sem validação local, prejudicando e, até certo ponto, retardando o estabelecimento de normas técnicas nacionais definitivas ao planejamento das cidades de país já intensamente urbano em meados dos anos 70. Silveira (1998) critica severamente este momento sugerindo que isso impediu também uma cultura própria de drenagem urbana baseada nos graves problemas urbanos, que, em grande parte, permaneceu sujeitado à ótica da rápida evacuação.

(3) Fase científica e ambiental

A terceira etapa, que estabeleceu a hidrologia urbana de hoje, é, na sequência mencionada, uma espécie de revolução impulsionada por outras revoluções iniciadas nos anos 60 e 70: a consciência ecológica e a explosão tecnológica. Assim, entre outros

aspectos, alternativas ao conceito de evacuação rápida puderam ser estabelecidas, a poluição do esgoto pluvial foi reconhecida, e uma crescente pressão desenvolveu-se para que todos os esgotos sejam tratados. Um índice alto de tratamento de esgotos domésticos e industriais já é uma realidade nos países desenvolvidos e um grande número de suas pesquisas trata do futuro tratamento do esgoto pluvial.

Pelas características destas etapas, não é difícil imaginar que a transferência para outros países de menor produção científica, de métodos de cálculo e concepções de obras correspondentes às duas primeiras etapas tenha sido mais fácil em relação à atual etapa. Pode-se constatar que sendo a pesquisa atual em hidrologia urbana mais complexa e custosa, porque multidisciplinar, e fortemente dependente de condições locais, porque ambiental, a aplicação de seus resultados ou métodos para locais diferentes é bem menos aceitáveis.

Claramente, a hidrologia urbana no Brasil chegou a esta fase de amadurecimento da disciplina a reboque de um movimento de consciência ecológica e de avanços e disponibilidade técnicas, fortemente influenciado por preocupações científicas e ambientais de primeiros níveis, muito mais amplas que qualquer uma disciplina isolada.

Pelas características assumidas por esta, assim denominada, revolução científica, preocupações mais abrangentes, normalmente envolvendo problemas de macroescala, passaram a ser consideradas primordiais a qualquer estudo da natureza.

Abordagens sistêmicas, orgânicas e holísticas entraram em voga neste momento, refletindo na hidrologia, por meio do enfoque priorizado para as grandes bacias hidrográficas e os sistemas de macrodrenagem. Neste período, a hidrologia voltou-se aos problemas de geração de energia e de grandes cheias, tendo sido lateralizada as discussões e estudos na escala de lote. Por esta razão, o enfoque sobre a macrodrenagem e as amplas áreas de estudo, dificultaram o reconhecimento preciso dos impactos dos tipos de urbanização, relevados apenas no olhar apurados das grandes escalas cartográficas (no geral, quilométricas).

Salienta-se, todavia, que esta nova postura mediante as questões hidrológicas veio de encontro ao que havia sido objetivado até então pelo campo nas duas fases de desenvolvimento anteriores, dentre as quais: a resolução de problemas pontuais e desenvolvimento de equipamentos e técnicas para dissolução de dificuldades específicas.

A valorização das diferenças ambientais e dos aspectos regionais de cada território, decorrentes deste movimento revolucionário, atuou no sentido de fortalecer a crítica no país sobre a adoção direta de métodos e técnicas do exterior. Isto, contudo, não cessou a importação de modelos constituídos e calibrados no exterior. Ao longo de toda a década de 70, com a 'popularização' dos computadores e a possibilidade de desenvolvimento e processamento automático de algoritmos de transformação, particularmente de chuva-vazão, a

modelagem hidrológica passou a ser difundida em todo o mundo sobre plataformas essencialmente similares.

No Brasil, por exemplo, este progresso ocorreu em dois centros hidrológicos de importância nacional: o IPH (Instituto de Pesquisas Hidrológicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, em associação ao Departamento de Esgotos Pluviais do Estado do Rio Grande do Sul), e pelo CTH (Centro de Tecnologia Hidráulica vinculado à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo).

No IPH, por exemplo, iniciou-se, na década de 70, o desenvolvimento de pesquisas aplicadas com a produção da linha de modelos hidrológicos IPH (IPH II, IPH III e o IPH IV), nos quais foram elaborados modelos chuva-vazão acoplados a modelos hidrodinâmicos para simulação de escoamento em canais. De forma geral, a estrutura deste modelo computacional esteve baseada nos modelos da família HEC (Hidrologic Engineering Center do U.S. Army Corps of Engineers), que se utilizavam da associação entre modelos hidrológicos de transformação chuva-vazão desenvolvidos desde os anos 50 pelo SCS (Soil Conservation Services da Natural Resources Conservation Services), a modelos hidrodinâmicos de escoamento unidirecional estruturado na sequência de equações de Saint Venant.

Em seguida, o CTH em trabalho desenvolvido juntamente com o DAEE (Departamento de Águas e Esgoto do Estado de São Paulo) também desenvolveu um centro de pesquisas hidrológicas urbanas na USP. Neste centro ocorreu o desenvolvimento de modelos de grade retangular (baseado em projeções matriciais da superfície) e a produção, já na década de 1990, do modelo DRENG, o qual pode ser considerado o primeiro a ser elaborado com a intenção de modelar o escoamento em área urbana. Antes disto, o DAEE e o CTH já havia divulgado algumas publicações iniciais de chuvas intensas e manuais de obras hidráulicas que, conforme mencionado, serviram de base para a aplicação de obras de drenagem em todo o país.

Vale citar que para a calibração do modelo IPH IV, utilizou-se as condições extremas de cheias registradas para alguns cursos urbanos de São Paulo nos anos de 1981, 82 e 83. Este procedimento esteve bem dentro da tendência experimentada na etapa de abordagem científica (pelo menos quantitativamente). Por outro lado, na contramão disso, as técnicas adotadas para os problemas das cheias envolvendo o aprofundamento do leito mantiveram-se arraigadas às soluções higienista de evacuação rápida.

Expressão desta opinião crítica vivida até os dias atuais, Tucci (2000) faz uma recapitulação histórica das fases de desenvolvimento da hidrologia urbana para constituir o bojo de sua argumentação, a qual está concentrada (1) na defasagem entre o desenvolvimento

teórico, conceitual e técnico obtido no campo em nível internacional e no Brasil, e (2) no distanciamento importuno entre os órgãos gestores, planejadores e fiscalizadores em relação aos centros de inovação e desenvolvimento de tecnologias, da academia e dos institutos de pesquisas.

O insistente predomínio de valores do decadente paradigma da drenagem urbana evidencia esta defasagem, fato que pode ser rapidamente constatado pela aplicação generalizada de modelos há muito desenvolvidos desconsiderando as alterações promovidas pelo urbano (USDA, 1986).

Os projetos de drenagem urbana foram ensinados aos engenheiros e ainda muitos são desenvolvidos com a filosofia de que a melhor drenagem é a que expulsa a água do local o mais rápido possível. Com este princípio inadequado, a urbanização de uma área tem contribuído para ocorrência das inundações mais rápidas, frequentes e de maior magnitude (da ordem de 6 vezes) em diferentes pontos das cidades. (TUCCI, 2000, p. 499).

No Brasil, o planejamento, a construção e a manutenção dos sistemas de drenagem das áreas urbanas, especialmente as estruturas de microdrenagem como canaletas, bocas de lobos, sarjetas e caixas de passagem, são de responsabilidade dos municípios. Isso, segundo Tucci (2000), é um dos principais agravante para a condição hidrológica urbana nas cidades brasileiras, devido à inexistência, na maioria dos casos, de corpos técnicos qualificados nas pastas deste nível de governo, incorrendo na adoção de modelos e soluções limitadas, que frequentemente apenas transferem o problema de uma seção à outra, desprovida de análise realística de conjunto e de custos.

A recomendação de modelos e de fluxos de trabalhos para análises hidrológicas visando o dimensionamento de obras de drenagem pela prefeitura de São Paulo exemplifica esta condição. Nos dias atuais, diversos são os modelos computacionais disponíveis para avaliações mais precisas e rápidas, contudo, as propostas municipais permanecem vinculadas a modelos menos ágeis.

Dentre outras razões, estas condições são salientadas como as fundamentais para a permanência de pressupostos sanitaristas atualmente, mesmo nas principais capitais.

Os países desenvolvidos identificaram estes problemas ainda no início da década de 70 e adotaram soluções que priorizaram o controle na fonte do escoamento gerado pela urbanização, ou seja, no lote ou loteamento, com a filosofia que o melhor projeto de drenagem é o que mantém as vazões máximas iguais ou menores as das condições naturais. Estas condições são preservadas através de manutenção de áreas de infiltração naturais ou artificiais como pavimentos permeáveis, regulação de volumes por áreas de percolação, detenção em lotes e loteamentos com projetos paisagísticos adequados (TUCCI, 2000, p. 499).

A falta de regulamentações municipais para drenagem urbana e a defasagem na qualificação dos hidrólogos nas prefeituras, afastam os projetos de drenagem de soluções técnicas coerentes com as perspectivas científica e ambiental.

Neste sentido, os planos diretores de macrodrenagem, como os da Bacia do Alto Tietê (SP), do Rio de Janeiro (RJ) e do Arroio Dilúvio (RS) são os documentos que mais se aproximam deste planejamento esperado.

Uma das características mais marcantes dos planos de macrodrenagem e que refletem os pressupostos ambientais demandados pela recente fase da hidrologia urbana, é a consideração da qualidade da água como primordial ao abastecimento e salubridade nas cidades, e seu tratamento em conjunto à regulação de vazão, conforme o modelo de BMP (Best Management Practices) praticado nos Estados Unidos, o qual norteia as ações modernas de drenagem, com adoção de soluções sustentáveis visando à minimização de impactos e a integração entre os sistemas de controle de cheias e de melhoramento da qualidade das águas.

Atualmente, a dinâmica urbana e seu caráter de variabilidade espaço-temporal, intrincado pela “clandestinidade das ocupações” exigem do planejamento adaptações e desenvolvimentos que antecipem os impactos, tais como: modelos de planejamento, simuladores que estimem as áreas impermeáveis e relacionem com parâmetros de urbanização; modelos hidrológicos de simulação precipitação-vazão, modelos de medidas de controle (amortecimento, infiltração, percolação), modelos de qualidade das águas, e modelos complexos.

2.3.2. Medidas de controle e mitigação

Apesar da profunda mudança sofrida pelo campo responsável por impulsionar as formas de controle e regularização hidrológico-hidráulica sob a égide das recentes preocupações ambientais, permanece, praticamente inalterado, o paradigma do escoamento rápido e evacuação das águas excedentes. Assim, este subitem resgata as principais intervenções hidrológicas e hidráulicas para controle da drenagem urbana e das cheias, e discute o emprego dos diversos métodos e as principais críticas que recaem sobre cada um.

As medidas de correção ou prevenção podem ser classificadas de acordo com a natureza de sua intervenção sobre os processos, e normalmente são subdivididas em estruturais e não estruturais. As primeiras se subdividem em intensivas ou extensivas, e as segundas são relativas às ações de mitigação (TUCCI, 2001).

As **medidas estruturais** são as obras hidráulicas propriamente ditas, e podem ser implementadas visando à correção e a prevenção dos problemas oriundos das enchentes. As **intensivas** se caracterizam como intervenções que atuam sobre o rio ou córrego, por meio de canalizações, retificações, desvios do canal, alargamento, aprofundamentos, barramentos, construção de diques, muros de contenção, pôlderes e bacias de retenção. Elas podem ser agrupadas em quatro tipos, caracterizados pelos modos de atuação sobre os sistemas: (i) de aceleração do escoamento (canalizações e obras correlatas); (ii) de retardamento do fluxo (reservatórios, bacias de retenção/retenção, restauração de calhas naturais); (iii) de desvio do escoamento (túneis de derivação e canais); e (iv) ações pontuais que tornam edificações “à prova de enchentes”.

As **extensivas** ocorrem sobre a área drenada pela bacia visando à modificação do escoamento superficial, sem alterar os canais. Nestas incluem-se as contenções de encostas (para diminuição da erosão), captação da água da chuva, recomposição vegetal e aumento da área verde da cidade (janelas de infiltração), aumento do uso de pisos permeáveis e o reúso de águas servidas.

De acordo com Canholi (2005), as **medidas não-estruturais**, ao contrário das estruturais, que em muitos casos podem produzir sensação de falsa segurança habitacional e sanitária e até mesmo induzir a ocupação de áreas de risco à inundação não são emergenciais e podem ser mais eficazes a custos menores e com maior tempo de vida útil. Elas são definidas como aquelas em que não há intervenção, e visa estabelecer relação mais equilibrada entre o Homem e a dinâmica hidrológica, atuando no sentido preventivo por meio da implantação de sistemas de alertas, planos de zoneamento, programas de disciplinamento de uso e ocupação, educação ambiental e, em alguns casos, através do seguro-enchentes²⁵.

Não há dúvidas de que as medidas não-estruturais, em diversos níveis, é tão eficiente quanto as convencionais obras hidráulicas e podem ser muito melhor desfrutadas pelos habitantes da cidade no médio e longo prazos. Dentre as medidas mais satisfatórias, a recuperação da vegetação associada ao aumento da área não-impermeabilizada, e a regulamentação do uso e ocupação da terra são as mais apropriadas. Por não serem emergenciais, ambas são aplicadas em situações não críticas na bacia, e, portanto, derivam de processos mais longos de planejamento e preparação. Além disso, previnem os fatores de ampliação dos deflúvios, controlam a área impermeabilizada e impedem a ocupação de áreas de risco, moderando o número de habitantes em situação de vulnerabilidade à enchente.

²⁵ Em São Paulo, a prefeitura isenta moradores e empresas alocadas em áreas com riscos de inundação do Imposto Predial e Territorial Urbano (IPTU), até que seja resolvida a condição de fragilidade.

Conforme visto anteriormente, vários têm sido os questionamentos das clássicas intervenções da hidráulica sobre os canais e áreas de drenagem, os quais argumentam sobre o decaimento da eficiência dessas obras a médio e longo prazos, e sobre seus custos. Não à toa, as medidas extensivas e as não-estruturais tem se constituído verdadeiras alternativas na promoção do desenvolvimento urbano e da salubridade pública.

No Estado de São Paulo um exemplo de ampliação de medidas não estruturais foi a promulgação da lei estadual 12.526/2007²⁶ que prevê a redução do escoamento e retardo do tempo de pico por meio de retenção no lote. Esta norma obriga a implantação de sistema de captação e retenção de águas pluviais em telhados, coberturas, terraços e pavimentos descobertos, em lotes, edificados ou não, que tenham área impermeabilizada superior à 500m².

Como um passo inaugural, a lei é um avanço significativo para efetivação da mudança de perspectiva sobre a drenagem urbana. Entretanto, em termos práticos, a medida está longe de almejar alterações reais nas vazões e tempos de pico, uma vez que recai, basicamente, sobre os grandes lotes urbanos, cuja área impermeabilizada é elevadíssima em termos relativos ao terreno, porém corresponde a menor parte no contexto do sítio urbano, onde os lotes residenciais e comerciais, em sua maioria, menores que 500m², ocupam a maior parte.

De acordo com Botelho (2011), os resultados da eficiência de medidas não estruturais ainda foram pouco avaliados. A autora aponta para algumas informações significativas em relação à exploração dessas medidas, tais como: as obras de contenção de encostas e margens de rios aumentaram o controle da erosão e reduziram o assoreamento em porcentagens significativas, considerando que um percentual de 95% da colmatagem dos canais é devido ao aporte de sedimentos em áreas urbanas, os 5% restantes são constituído pelo lixo e outros componentes, como o entulho da construção civil e materiais tecnogênicos.

O quadro 6 salienta os benefícios que medidas não-convencionais possuem frente às ações clássicas da hidrologia e hidráulica sanitária. No caso específico, Canholi (2005) compara a canalização de um trecho de canal ao papel de reservação na bacia.

²⁶ Disponível em: <http://governo-sp.jusbrasil.com.br/legislacao/132505/lei-12526-07>. Obtido em: 28/12/2013.

QUADRO 6 – Comparação item a item da canalização à reservação.

Característica	Canalização	Reservação
Função	Remoção rápida dos escoamentos	Contenção temporária para subsequente liberação
Componentes principais	Canais abertos/galerias	Reservatório a superfície livre; Reservatórios subterrâneos; Retenção subsuperficial.
Aplicabilidade	Instalação em áreas novas; Construção por fases; Ampliação de capacidade pode se tornar difícil (centros urbanos).	Áreas novas (em implantação); Construção por fases; Áreas existentes (à superfície ou subterrâneas).
Impacto nos trechos de jusante (quantidade)	Aumenta significativamente os picos das enchentes em relação à condição anterior; Maiores obras nos sistemas de jusante.	Áreas novas: podem ser dimensionadas para impacto zero (legislação EUA); Reabilitação de sistema: podem tornar vazões a jusante compatíveis com capacidade disponível.
Impacto nos trechos de jusante (qualidade)	Transporta para o corpo receptor toda carga poluente afluente	Facilita remoção de material flutuante por concentração em áreas de recirculação dos reservatórios e dos sólidos em suspensão, pelo processo natural de decantação.
Manutenção e operação	Manutenção em geral pouco frequente (pode ocorrer excesso de assoreamento e de lixo); Manutenção nas galerias é difícil (condições de acesso).	Necessária limpeza periódica; Necessária fiscalização; Sistema de bombeamento requer operação/manutenção; Desinfecção eventual (insetos)
Estudos hidrológicos e hidráulicos	Requer definição dos picos de enchente	Requer definição dos hidrogramas (volumes das enchentes)

Outros exemplos dados por Botelho (2011) referem-se à captação da água da chuva e o reuso de águas servidas. A primeira pode ser compreendida como um elemento “substituto” à interceptação e infiltração, considerando sua capacidade de contenção, estocagem e fracionamento do total pluviométrico. Telhados, coberturas, terraços e pavimentos externos podem ser adaptados à coleta e armazenamento de águas pluviais, as quais, submetidas a um simples tratamento e purificação, servem à lavagem, irrigação, ou mesmo, hidratação humana. A segunda tende a melhorar a qualidade da água e do serviço de abastecimento, satisfazendo também a necessidade de aumento do tempo de concentração na bacia. Em ambos os casos, destaca-se a participação cada vez mais significativa das “construções sustentáveis”, cuja tecnologia tem se orientado às medidas relativas à conservação ambiental.

Associados a todas essas ações, e contemplando-as em nível político-territorial, a elaboração de planos voltados à regularização e ao ordenamento do uso da terra urbano, com ênfase às áreas de risco a enchentes, devem ser incentivadas. Da mesma maneira, planos de mitigação abrangendo sistemas já mencionados de alertas, de evacuação e de realocação populacional envolvendo a ação da defesa civil, além de sistemas de prevenção com dados reais e adensamento de rede hidrometeorológica, devem, cada vez mais, integrar o planejamento urbano de macrodrenagem.

Com base nestes contextos do controle, prevenção e mitigação das enchentes e tendo em vista as modalidades de intervenção, é fundamental notar que tais ações se inserem em etapas do processo hidrológico tendo como referência o funcionamento original dos mecanismos dos sistemas hidromorfológicos. Assim, elas buscam cumprir, estabilizar ou compensar processos próprios destes mecanismos, favorecendo a estabilização, ou mesmo, propiciando condições estáveis à comunidade e dinâmica urbana. Contudo, o que se observa na prática é a consolidação de um descompasso entre as perspectivas de desenvolvimento urbano atuais e as medidas de controle e mitigação das enchentes.

Possivelmente, este descompasso se deve à subutilização da compreensão sistêmica do ciclo hidrológico em ambientes urbanos, legado que durante um longo tempo, resultou na ideia de que se mecanismos de circulação da água voltados ao aumento do débito fluvial fossem potencializados, as etapas de interceptação, evaporação e armazenamento, eliminadas na urbanização, seriam compensadas. Estas medidas, além de paliativas e de curto prazo, nem sempre se preocuparam com as implicações sistêmicas que poderiam ocorrer à jusante e à montante do setor alterado.

Dentro da geomorfologia e na interface com as ciências vizinhas, como a hidrologia e a hidráulica, a geomorfologia antropogênica busca sistematizar o conhecimento a respeito das alterações antrópicas sobre as formas originais dos sistemas geomorfológicos, atuando, desta forma, na viabilização de pesquisas de análise e síntese do acúmulo dessas intervenções.

Por esta razão, e pelo potencial que apresenta nos estudos aplicados e na produção de informações e interpretações de base ao planejamento territorial, é que se adotou os princípios da geomorfologia antropogênica.

2.3.3. Hidrologia determinística e modelações de fases: ferramentas de elaboração, gestão, intervenção e operação.

Como consequência de todo o processo de desenvolvimento e amadurecimento do campo, os problemas hidrológicos nas cidades estão sendo encarados sob a ótica conservacionista preconizada desde fins dos anos 70.

A expansão do campo a partir da adesão às novas perspectivas e do fortalecimento da multidisciplinariedade voltada ao avanço do conhecimento ficaram, por assim dizer, enclausurados na academia, nos institutos de pesquisa e nos centros de desenvolvimento, ao passo que, nos órgãos gestores, o que mais se proliferou foram os procedimentos pré-programados para lidar com os problemas envolvendo os recursos hídricos.

Existem inúmeros autores que definem fluxogramas de procedimento para a realização de um projeto de drenagem (CANHOLI, 2005; DAEE, 2008; WARD, 1978). Hall (1985) apresentou um claro e sucinto esquema de trabalho necessário para o estudo de uma situação crítica e a realização de uma intervenção hidráulica (FIGURA 8).

FIGURA 8 - Fluxograma de procedimentos para projetos de problemas de drenagem.

Existem quatro etapas para consideração de um problema hidrológico/hidráulico, os quais, de certo modo, abrangem os processos e dimensões naturais e sociais necessárias para considerar o objeto como um todo.

No primeiro momento, a variável é o tempo de recorrência e diz respeito ao risco social e econômico que se assume ou que se crê adequado para um dado contexto urbano. Para cada condição social e econômica, diferentes níveis de vulnerabilidade podem ser assumidos. Uma obra de macrodrenagem, como uma tubulação ou retificação, em uma área naturalmente susceptível à inundação em condição de jusante de uma bacia extensamente urbanizada, por exemplo, habitualmente se escolhe um tempo de recorrência grande, acima de 50 anos, o que significa assumir um risco aceitável de 2% ao ano de ocorrer um evento que iguale ou supere a capacidade de assimilação da estrutura.

Normalmente, esta avaliação obrigatoriamente coteja os custos de implantação e manutenção do sistema, que entram como um nível de viabilidade construtiva e operacional. Quanto maiores os Trs assumidos, mais elevados são os custos. Normalmente, mais de um Tr é avaliado para que sejam simulados diversos hidrogramas de cheia, a partir dos quais um é considerada a tormenta de projeto, que orientará a simulação voltada à obra.

A escolha da tormenta de projeto é a definição da principal variável do sistema modelado: a precipitação. A partir de então, as etapas de consideração do problema são resolvidos no fluxo de processos hidrológicos, os quais normalmente são subdivididos em duas fases de modelação: hidrológica, onde é determinado o pico de vazão para canalizações, tubulações e retificações; ou o hidrograma de cheia para o dimensionamento de reservatórios e bacias de retardo; e hidráulica, onde é simulada translação do fluxo no canal e o amortecimento no canal.

Detalha-se, a seguir, as características e as formas de obtenção de cada um dos itens que integram o fluxograma.

2.3.3.1. Tempo de retorno (Tr) ou Intervalo de recorrência

O tempo de retorno (ou intervalo de recorrência) é um conceito estocástico desenvolvido na hidrologia como técnica de análise para o intervalo de ocorrência de eventos de mesma intensidade. A partir dele é possível determinar a probabilidade de um evento ser igualado ou superado em um dado número de anos denominado Período de retorno. Um fenômeno de cheia de 100 anos de período de retorno, por exemplo, tem a probabilidade de 1/100 de acontecer no ano seguinte, o que é considerada uma frequência baixa e, provavelmente, uma magnitude elevada. Este princípio probabilístico orienta a determinação de períodos de retorno de tormentas de projeto.

A utilização deste princípio para balizar e conduzir o dimensionamento de obras hidráulicas pressupõe o reconhecimento dos riscos a que se submetem estas obras e o

entorno, conforme ilustra o quadro 7. Este reconhecimento está associado ao que se estabelece, a priori, como um risco aceitável tendo em vista o tempo de retorno e o tempo de vida útil de uma obra.

QUADRO 7 - Períodos de retorno sugeridos pelo DAEE/CETESB.

Projeto	Ocupação	Período de retorno (anos)
Micro-drenagem	Residencial	2
Micro-drenagem	Comercial	5
Micro-drenagem	Edifícios de serviços públicos	5
Micro-drenagem	Aeroportos	2-5
Micro-drenagem	Áreas comerciais e artérias de tráfego	5-10
Macro-drenagem	Áreas comerciais e residenciais	50-100
Macro-drenagem	Áreas de importância específica	500

Fonte: BAYER (2012).

Por outro lado, e o tempo de retorno, como um conceito e técnica estatística, apresenta limitações de previsibilidade em função da própria série histórica sobre a qual se baseia, cujo comportamento pode ser melhor ou pior estimado para cada situação de acordo com a extensão da série de dados.

Os termos de macro e microdrenagem dizem respeito, primeiro a amplitude em relação à capacidade de assimilação de eventos, tendo como referência os períodos de retorno maiores; e, segundo, à própria magnitude das obras, as quais em geral são classificadas como sistemas iniciais de drenagem (microdrenagem) e sistemas finais (macrodrenagem).

Os pavimentos das ruas, as sarjetas as valas de drenagem, as bocas de lobos, os bueiros e as galerias de águas pluviais, além das estruturas urbanas, como os telhados e calhas, integram os sistemas de microdrenagem. Dependendo do arranjo e disposição destas estruturas na paisagem urbana, e a sua associação ao padrão de arruamento, a distribuição das galerias e bocas de lobos podem não reduzir os efeitos de uma chuva intensa e, inclusive, induzir ou potencializar a ocorrência de enxurradas e inundações.

Os sistemas de macrodrenagem atuam, particularmente, como principais controladores do sistema hidráulico das bacias e da drenagem urbana. São constituídos pelas obras de maior magnitude (e, geralmente, mais custosas) realizadas para viabilizar um aumento da capacidade de reservação de uma bacia ou para acelerar o amortecimento de cheia, tendo como base estatística tempos de retorno entre 25 e 100 anos. As retificações, as canalizações e as bacias de reservação são exemplos de obras que integram o sistema de macrodrenagem urbana.

2.3.3.2. Chuva de projeto e curva de Intensidade-Duração-Frequência

O dado de vazão de projeto é o mais importante para os projetos de canalização, e sua obtenção exige a determinação do pico de deflúvios associada a uma precipitação crítica e a um risco assumido (CANHOLI, 2005).

A chuva de projeto é um evento extremo de precipitação sobre o qual são balizados os parâmetros das obras hidráulicas das drenagens urbanas. Este evento é construído com base em análises estatísticas de dados de chuvas, estruturados sobre o período de retorno e a duração crítica do evento. A chuva de projeto é, em outras palavras, o limite de uma estrutura. Precipitações que incorrem em picos de vazões menores são assimiladas adequadamente pelo sistema projetado, e o risco é reduzido.

A escolha do tempo de retorno considera, essencialmente, os tipos de precipitação que importam para os projetos, eliminando, assim, fatores que possam interferir na determinação do risco de cheias, o que poderia ocorrer caso o tempo de retorno levasse em consideração o escoamento superficial. Assim, a precipitação e sua importância à inundação devem ser estudadas em função do que se denomina de duração crítica, a qual deve ser longa o suficiente para superar o tempo de concentração da bacia, e assim permitir afirmar que toda ela contribui com escoamento superficial (BAYER, 2012).

De acordo com o Manual de Drenagem Urbana do Plano Diretor de Macrodrenagem de Porto Alegre (RS), um projeto pode se basear em precipitações de intensidade contínuas ou variadas ao longo do tempo do evento. No primeiro caso, normalmente, a duração da tormenta deve ser igual ou maior que tempo de concentração da bacia, garantido a configuração de precipitação excedente em toda sua extensão. Quando variada, configura-se o uso do ietograma de projeto, no qual, igualmente ao anterior, o tempo de duração total da precipitação deve ser igual ou maior que o tempo de concentração (PMPA, 2005).

Para obras de canalização, como o dimensionamento de canais de drenagem, o valor da intensidade média da precipitação pode ser suficiente. Porém, para estruturas de reservação (piscinões, bacias *in line* e pôlderes), apenas este dado não é satisfatório. Nestes casos, os projetos requisitam a determinação do ietograma e do deflúvio.

Exigências desta natureza fazem com que, cada vez mais, dados históricos de precipitação sejam necessários, ainda que, raramente eles estejam disponíveis. Por essa razão, dados de locais próximos são utilizados para consideração da precipitação em uma dada região de interesse. Diversos métodos de apropriação, adaptação e correção espaciais das precipitações têm sido desenvolvidos para viabilizar essa transposição de informação, porém,

para alguns autores esse procedimentos devem ser utilizados com cautela para não comprometer a confiabilidade dos resultados. Para bacias maiores, muitas vezes, a variabilidade espacial de um único evento de interesse pode ser extremamente importante.

Como, na maioria dos casos os estudos não dispõem de dados de precipitação precisos e bem localizados em relação às áreas de interesse, o uso de informações generalizadas pode servir de base para projetos e análises. Utiliza-se comumente para suprir esta carência de informação, curvas IDF e metodologias de construção de ietograma.

As curvas IDF são equações que viabilizam a análise da tipologia de chuvas, sua temporalidade (duração e frequência) e concentração (intensidade). Elas fornecem a intensidade de uma precipitação extremas em função de um tempo de retorno qualquer, com base no histórico de precipitações registradas.

Para certa intensidade de chuva, constante e igualmente distribuída sobre uma bacia hidrográfica, a máxima vazão a ser verificada numa seção corresponde a uma duração de chuva igual ao “tempo de concentração da bacia”, a partir da qual a vazão é constante. Assim, o dimensionamento das obras hidráulicas exige o conhecimento da relação entre a intensidade, a duração e a frequência da precipitação (DAEE, 1999, p.1).

Assim, a análise de eventos intensos da série histórica de um posto pluviométrico revela que a intensidade de um evento de precipitação varia inversamente com sua duração. Essas relações de intensidade-duração-frequência são produzidas pela análise probabilística das máximas intensidades pluviométricas, fornecendo a intensidade das chuvas (em mm/min) ou a altura precipitada (mm) dada uma duração (t) e um período de retorno (Tr) (FCTH, 2003). A expressão geral das equações IDF primeiramente elaboradas tinham a seguinte estrutura básica (equação 2):

$$i_m = \frac{k \cdot T_r^m}{(t + t_0)^n} \dots\dots\dots \text{EQUAÇÃO 2}$$

Na qual: i_m : intensidade pluviométrica (dada em mm/min); T_r : período de retorno (anos); $(t + t_0)$: duração da chuva (minutos), e k, m, t_0, n : parâmetros relativos ao ajuste da equação. Para São Paulo, os valores dos parâmetros são, segundo Righetto (1998): $K = 57,71$; $m = 0,172$; $t_0 = 22$; e $n = 1,025$.

Uma família de curvas IDF apresenta distribuição logarítmica negativa, conforme se observa na figura 9.

FIGURA 9 - Curvas IDF hipotéticas representando a distribuição da Intensidade-Duração-Frequência

As funções IDF foram desenvolvidas para várias localidades no Brasil, sendo que, para o Estado de São Paulo as mais utilizadas são: a equação geral, LnLn, Eng^o. Otto Pfafstetter, Sorocaba, DAEE/FCTH, HC/FCHT e Santo André. Não convém descrevê-las todas aqui, todavia salienta-se que a credibilidade e adequação de cada uma delas estão vinculadas, respectivamente, às séries de dados sobre as quais foram desenvolvidas.

A partir dos resultados obtidos pelas equações IDF faz-se a análise da distribuição temporal e espacial da precipitação, a partir da produção de um ietograma de projeto e consideração de sua distribuição espacial.

2.3.3.3. Temporalidade e espacialidade das precipitações

Idealmente, os hidrólogos concordam que a utilização de eventos reais deve ser priorizada para calibração dos modelos e dimensionamento de obras de drenagem. Por outro lado, é consenso, também, que a adoção de chuvas padronizadas seja um recurso de valor inestimável aos técnicos e planejadores.

A construção de chuvas padronizadas objetiva a representatividade de eventos de qualidades semelhantes, o que corresponde a afirmar que as características básicas de intensidade, volume e duração de uma tormenta (de um conjunto de eventos) de mesma frequência devem ser similares.

Quando se dimensiona uma obra de reservação a partir de uma determinada precipitação de projeto, espera-se que, em média, sua capacidade, assim definida, sirva para proteger a bacia contra eventos de mesma recorrência desta precipitação de

projeto. Nesse caso, é importante assumir implicitamente algumas hipóteses, tais como: a tormenta de projeto tem um volume equivalente ao de uma chuva observada com a mesma recorrência; a distribuição temporal da chuva adotada é representativa de uma tormenta ocorrida [...]; e a chuva é considerada uniformemente distribuída na bacia. (CANHOLI, 2005, pp. 74)

A distribuição temporal dos volumes de chuva condiciona o volume infiltrado, a chuva excedente e, conseqüentemente, a forma do hidrograma de escoamento direto. Como respostas desta temporalidade da chuva e do tempo de resposta da bacia, os valores de vazão máxima e o instante de pico podem ser maiores ou menores, e antecipados ou atrasados, respectivamente. Outros aspectos, tais como a condição de umidade inicial e o tipo de uso da terra podem ser destacados como determinantes para a variação do volume do escoamento superficial na bacia e como variáveis de modelos hidrológicos chuva-vazão.

Para a construção das chuvas padronizadas, os métodos mais comuns utilizados são derivadas de IDF's previamente desenvolvidas. Os sete procedimentos mais comumente adotados são: bloco de tormenta; método de Sifalda; método de Chicago; método dos Blocos Alternados, método de Yen e Chow (ietograma triangular) e método de Huff.

Entre estes métodos há dispersão significativa dos padrões de ietogramas gerados para uma mesma duração, devido à complexidade de fenômenos físicos considerados em cada uma das opções (figura 10).

FIGURA 10 - Distribuição temporal de precipitações a partir de quatro diferentes métodos.

Fonte: CANHOLI, 2005, p. 81.

Algumas tendências gerais são constatadas, tais como: (i) para eventos de curta duração (menores que 30 minutos) o ietograma tende a ter pico de intensidade logo no início da chuva; (ii) chuvas de duração média (até 10 horas) o valor máximo de intensidade do gráfico tende a ocorrer na primeira metade do evento, normalmente, no final do primeiro terço do tempo; e (iii)

para chuvas de larga duração (maiores de 10 horas) o ietograma é mais bem distribuído e a chuva é mais uniforme no tempo.

Para escolha do método de distribuição de chuva, faz-se necessário cotejar previamente alguns eventos de precipitação reais de mesma intensidade e frequência.

Por serem largamente utilizados, dois métodos para chuvas padronizadas são particularmente importantes para consideração dos projetos hidráulicos em geral: (a) o ietograma triangular e (b) o método os blocos alternados. Devido a sua simplicidade, os técnicos e engenheiro hidráulicos dos órgãos públicos dão preferência à utilização de ambos.

(a) Ietograma triangular

Este método tem como grande virtude a simplicidade de construção. Baseado em análises empíricas de mais de 10 bacias localizadas nos Estados Unidos, o método desenvolvido por Yen e Chow (1983) tem como principal premissa a dispersão triangular da precipitação ao longo do tempo. A simplificação da distribuição de um evento natural a uma forma geométrica conhecida facilita a interpretação e amplia a gama de ferramentas de análise estatística dos dados (FIGURA 11).

FIGURA 11 - Ietograma triangular hipotético.

Pressupõe-se, portanto, que:

$$td = ta + tb \dots\dots\dots \text{EQUAÇÃO 3}$$

No qual td é a duração total do evento, ta (ou tp) é o tempo de pico e tb é o tempo de recessão da chuva.

Por ser um triângulo, pode-se considerar que o volume total precipitado P equivale à área da figura. Assim:

$$P = td \cdot \frac{h}{2} \therefore h = \frac{2P}{td} \dots\dots\dots \text{EQUAÇÃO 4}$$

No qual P é o volume total precipitado (mm) e h é a altura máxima do ietograma, ou seja, a máxima intensidade registrada.

Para a construção do ietograma triangular é necessário conhecer o coeficiente de avanço (r) da precipitação, variável que informa o local de pico do evento. Ele varia em função da natureza de formação da chuva, ou seja, dos mecanismos atmosféricos principais que produzem instabilidade. Em poucas palavras, o coeficiente de avanço delinea a forma do gráfico e é definido por:

$$r = ta/td \dots\dots\dots \text{EQUAÇÃO 5}$$

Onde ta é o tempo de pico e td o tempo de avanço da tormenta.

Este coeficiente é um valor fixo para cada região ou posto pluviométrico. Ele é determinado pela análise de diversos pluviogramas reais, sendo que pode ser obtido como uma média simples para todos os tipos de eventos, ou pode ser determinado para casos específicos de precipitação. Canholi (2005), Yen e Chow (1980) e Garcia, Moreira e Mattos (2011) são alguns autores que ressaltam a importância deste coeficiente e obtiveram-no para algumas regiões (QUADRO 8), apesar afirmarem sua deficiência na literatura específica.

QUADRO 8 - valores de $r=ta/tp$ do método do ietograma sintético triangular.

Local	$r=ta/td$
Chicago	0,37
Winnipeg	0,31
SCS	0,34
São Paulo	0,36
Porto Alegre	0,44
Gauhati (Índia)	0,416

(b) Método dos blocos alternados

Este é um dos métodos mais aplicados em pesquisa e estudos técnicos por ser derivado de relações IDF, facilitando a utilização onde não há registro histórico de dados. Por ser uma

aproximação teórica, algumas limitações devem ser notadas e pressupostos devem ser aceitos, por exemplo:

- 1 - o somatório dos volumes de precipitação coincide com o volume definido pela IDF para cada duração conforme se acrescentam os blocos;
- 2 - a disposição alternada é arbitrária, podendo compor diversas configurações, as quais, necessariamente, devem conduzir a picos diferentes, hora mais elevados, hora mais abrandados;
- 3 - a parcela mais intensa deverá ser disposta entre 1/3 e 1/2 do tempo de duração do evento, considerando que, raramente, ocorrem picos na segunda metade de uma tormenta;
- 4 - o passo temporal deverá ser escolhido antecipadamente e adequadamente ao valor de discretização que será utilizado no hidrograma de escoamento superficial direto, ou seja, deverá ser igual ou submúltiplo;
- 5 - o Δt deverá ser menor que o tempo de concentração da bacia, permitindo calcular a translação da cheia na bacia.

Para construir uma tormenta padronizada a partir do método de blocos alternados, primeiramente é necessário definir a duração do evento (t_d) e o intervalo de discretização (Δt). Os valores de intensidade e de altura da chuva para cada intervalo considerado no passo de tempo será obtido por uma IDF local e pela multiplicação da intensidade pelo lapso de tempo. A partir disto, obtêm-se os incrementos totais acumulados por intervalo, dispondo-os em uma sequência crescente. Esta sequência será rearranjada de modo que o maior bloco se situe no centro ou na posição arbitrada para o evento, podendo ser balizada ou não pelo valor de r . A partir deste bloco maior, os demais blocos são dispostos em ordem decrescente alternadamente à direita e à esquerda, produzindo a forma triangular típica dos ietogramas.

Para elucidar os procedimentos do método, a tabela 1 apresenta valores hipotéticos de t_d e de intensidade para uma região hidrológica qualquer.

TABELA 1 - Exemplo de construção de blocos alternados a partir de curva IDF.

Equação IDF		Cálculos para transformação			Blocos alternados		
Duração (min)	Intensidade (mm/min)	Altura da chuva acumulada (mm) $P=i*t_d$	Incremento da altura (mm)	Intensidade desagregada (mm/h)	Intervalo considerado (min)	Intensidade (mm/min)	Ietograma de projeto (mm)
10	2,18	21,80	21,80	130,80	0 - 10	0,51	0,76
20	1,65	33,00	11,20	33,60	10 - 20	1,71	2,00
30	1,33	39,90	6,90	13,80	20 - 30	3,72	3,10
40	1,11	44,40	4,50	6,75	30 - 40	13,80	6,90

Equação IDF		Cálculos para transformação			Blocos alternados		
Duração (min)	Intensidade (mm/min)	Altura da chuva acumulada (mm) $P=i*td$	Incremento da altura (mm)	Intensidade desagregada (mm/h)	Intervalo considerado (min)	Intensidade (mm/min)	letograma de projeto (mm)
50	0,95	47,50	3,10	3,72	40 - 50	130,80	21,80
60	0,83	49,80	2,30	2,30	50 - 60	33,60	11,20
70	0,74	51,80	2,00	1,71	60 - 70	6,75	4,50
80	0,67	53,60	1,80	1,35	70 - 80	2,30	2,30
90	0,604	54,36	0,76	0,51	80 - 90	1,35	1,80
100	0,55	55,00	0,64	0,38	90 - 100	0,38	0,64

Em áreas urbanas, devido à velocidade em que os processos superficiais operam, costuma-se trabalhar com bacias hidrográficas de dimensões pequenas a médias, o que corresponde a áreas entre 1 a 30 km². Por essa razão, em muitos casos em que as áreas de estudo não superam os 10km², os métodos hidrológicos consideram a entrada de água na bacia espacialmente uniforme. Contudo, ainda nestes casos, há variabilidade iminente do processo, mesmo que menor e mais discreta que a discrepância presente em bacias de abrangência maior.

Para satisfazer essas variabilidades espaciais da precipitação e sintetizar os valores de entrada da precipitação em um único conjunto de dados, existem alguns recursos metodológicos e técnicos consagrados na hidrologia. Dentre estes, certamente, deve-se mencionar o método aritmético, o método de Thiessen, o método de isoietas e o radar meteorológico.

O primeiro, método aritmético, baseiam-se na obtenção da média aritmética de um acumulado total para uma área contemplada por um determinado número de pluviômetros. Julga-se extremamente necessário que a área de estudo apresente baixa variabilidade espacial da precipitação, pois este método é o mais rígido em termos espaciais para consideração do fenômeno.

De modo a reduzir o erro de estimativa deste método a amostragem deve ser bem distribuída na área, de forma que, para uma área com ampla variabilidade de disposição dos equipamentos este método não é recomendado. A garantia de uma qualidade mínima dos resultados pode ser rapidamente avaliada pelo desvio padrão obtido, sendo essencial que este valor seja o mais baixo possível. A confiança também pode ser expandida pela exclusão de dados espúrios das bases de dados. Os processos de sistematização e consistência das séries devem ser frequentes e claros para tornar este método viável.

O segundo método, baseado nos polígonos de Thiessen, é um dos mais utilizados e recomendados para situações com distribuição regular de postos. A análise do desvio padrão e outros parâmetros estatísticos básicos são recomendados como pré-tratamentos fundamentais dos dados.

Trata-se da obtenção de valores médios ponderados considerando o arranjo e a densidade de pluviômetros numa área. A ponderação atribuída a cada um dos pluviômetros está relacionada à área de influência de cada um dos equipamentos em relação ao recorte estudado, valores que são obtidos pela intersecção de polígonos de Thiessen (ou polígonos de Voronoy) construídos a partir da localização dos postos e da área de estudo.

Os procedimentos básicos do método, primeiramente descrito em 1911 (Thiessen, 1911) são os seguintes: (a) aloca-se os pontos de coleta em um mapa da bacia; (b) une-se os pontos vizinhos com retas; (c) traça-se as mediatrizes dessas retas formando-se polígonos; (d) as áreas de intersecção dos polígonos com o recorte estudado são as áreas de influência dos dados dos diferentes pluviômetros; e (e) calcula-se os pesos por área e a média ponderada.

Este é um método geometricamente preciso; contudo, apresenta limitações significativas em termos de análise precisa da variação espacial. Ele assume variações lineares e meramente triangulares para um evento de chuva ou de um valor médio de altura d'água, desconsiderando variáveis territoriais que possam influenciar na distribuição da precipitação como: elevações significativas, presença de corpos hídricos, fragmentos florestais, núcleos urbanos na área ou na proximidade.

Os valores, por fim, não são interpolados neste método, mas sintetizados por meio de um procedimento de ponderação espacial. Recomenda-se este método para regiões em que haja um reconhecimento significativo a respeito dos mecanismos produtores de chuva e para condições adequadamente equipada com pluviômetros e pluviógrafos, de modo a abranger as diferenciações espaciais.

O terceiro método é o de isoietas, ou seja, inclui técnicas de demarcação de curvas de igual precipitação e de interpolação de dados. Existem diversas técnicas de interpolação, mas no geral, o método de isoietas é mais preciso e meteorologicamente mais coerente, por isso, é frequentemente mais recomendado que os demais procedimentos até então apresentados.

Quando se aplica o método de isoietas há tentativas de se representar o mais precisamente possível a variação espacial das chuvas, um esforço que não está presente nos métodos aritméticos e de Thiessen. Efeitos orográficos e demais fatores territoriais que

influenciam na distribuição e na forma da precipitação podem estar parcial ou totalmente representados, dependendo do algoritmo de interpolação utilizado.

Basicamente, o IPD (Inverso da Potencia da Distância) e a ferramenta geoestatística Kriging são as duas técnicas de geoprocessamento mais aplicadas para interpolação espacial presentes nos softwares de SIG e nos estudos de precipitação. O IPD pode assumir diversos graus exponenciais, sendo que, quanto maior for o grau polinomial maior é a difusão e a mútua influência entre os valores de um pluviômetro e outro. A krigagem é um algoritmo que pode ser linear como exponencial, sendo que para o primeiro as diferenças de precipitação são mais preservadas, enquanto que, para o segundo, a influência mútua entre os pluviômetros é maior. Para este último, alguns softwares permitem adicionar informações de natureza territorial, como corpos d'água, barreiras orográficas, entre outras, para ponderar a interpolação.

A síntese e obtenção do valor de acumulado, contudo, se dá pelo cálculo da média ponderada das áreas de influência dos equipamentos. Estas áreas são definidas pela intersecção entre as isoietas e os limites do recorte.

A partir dos dados do monitoramento realizado pela ANA e pelo DAEE mostram que, no Brasil, a maior densidade de pluviômetros ocorre em regiões mais populosas, sendo que o Estado de São Paulo é o que possui maior rede integrada de observação, totalizando 650 pluviômetros instalados (CLARKE & SILVA DIAS, 2002).

De modo a suprir a necessidade de monitoramento espacialmente mais preciso e em tempo real, o Brasil e outros países tem instalado um maior número de radares meteorológicos. No geral, eles apresentam uma excelente representatividade espacial, mas com uma margem maior de incertezas quanto à intensidade de precipitação nas células. O Brasil possui atualmente 20 radares meteorológicos instalados e com projetos do governo federal para a instalação de mais 9, o que deve melhorar de maneira significativa o monitoramento da precipitação em todo o território.

Esta nova tecnologia vem, gradativamente, sendo expandida e acompanhada de métodos de otimização e refinamento dos dados. Em vários casos, estes procedimentos acoplam dados de superfície às informações fornecidas pelo radar. A despeito destes progressos, os dados de radar fornecem informações espacialmente privilegiadas que podem ser retrabalhadas para cada recorte analisado. Os procedimentos em geral, envolvem o cálculo das médias ponderadas, assim como realizados para os outros métodos. Neste caso, contudo, a ponderação ocorre pela área de intersecção entre as células do radar e área de estudo.

2.3.3.4. Chuva excedente ou chuva efetiva

Para a construção de qualquer obra hidráulica no meio urbano, é necessário determinar a chuva excedente ou chuva efetiva, ou seja, a parcela da precipitação que escoará superficialmente durante o evento. Em outras palavras, é a fração da chuva que não infiltrará, portanto não é a responsável pela recarga do aquífero, mas sim responde pela oscilação do nível d'água como resposta direta do volume de escoamento superficial.

Devido à massiva impermeabilização nas cidades, a chuva excedente corresponde a maior parte do volume precipitado. A partir do conceito hortoniano, no início de um evento, pressupondo-se condição seca da superfície, a infiltração predomina em relação à geração do *runoff*. Uma vez superada a capacidade de assimilação hídrica pelo solo, o que tende a ocorrer no final do primeiro terço do tempo do hidrograma, a bacia tende a produzir escoamento superficial de modo generalizado.

A infiltração e o escoamento superficial são variáveis dependentes nos sistemas e cálculos hidrológicos, e, assim como a precipitação, não são uniformes no tempo e no espaço, dificultando sua consideração e modelagem. Alguns dos principais métodos são: a razão de infiltração variável e específica do local; a razão constante de infiltração (índice ϕ); balanço de massa e o número da curva (CN-SCS).

A razão de infiltração variável e específica do local é fortemente recomendada para estudos focados em setores específicos de um terreno, pode ser mais complexo, detalhado e menos generalizante. Dentre todos os quatro métodos mencionados, este é o único que considera a variação da infiltração no tempo, considerando taxas maiores no início do evento, uma curva de decaimento da velocidade do processo relacionada às características da chuva e do solo (superfície), sintetizada no fator k , o qual é uma constante de decaimento da infiltração, não linear. Este é um método que exige ensaios de campo.

O índice ϕ pressupõe taxa de infiltração constante durante a precipitação, e normalmente é apresentado no formato de:

$$\phi = \frac{R - Re}{D} \dots \dots \dots \text{EQUAÇÃO 6}$$

Onde, R é o volume precipitado, Re é o volume excedente e D a duração da chuva. Logo, ϕ é a razão de infiltração no tempo.

O método do balanço de massa é um dos mais usados para pequenas bacias e áreas urbanas (até 5km²) e está baseado no cálculo do método racional. Ele relaciona a intensidade da precipitação à intensidade do deflúvio, pressupondo que, em uma bacia urbanizada onde as perdas e estocagens são mínimas, o volume precipitado é igual ao escoado. Isto significa afirmar que relação da vazão da chuva (altura por tempo) e da vazão do escoamento superficial equivale à área impermeabilizada quando todo terreno está contribuindo.

Uma vez superada a capacidade de infiltração, mesmo as áreas permeáveis passam a contribuir para o escoamento direto, sendo que, a partir de então, as perdas e retenções ficam a cargo de pequenas bacias e depressões. A equação do balanço de massa, em unidades equivalentes, pode ser descrita como:

$$\frac{Q}{I} = \frac{A_d \cdot C}{3,6} \dots\dots\dots \text{EQUAÇÃO 7}$$

Onde: Q é o deflúvio (m³/s/área); I é a intensidade de precipitação (mm/h); A_d é a área total de drenagem (km²) e C é a fração da área impermeável.

O valor de C varia conforme o uso da terra predominante e o período de retorno estipulado. Existe uma série de valores tabulados na bibliografia que fornecem informações para simulações mais próximas possíveis da condição estudada. No Brasil Tucci (1993) e DAEE (1986) podem ser citados como fontes de referência para estes dados.

Apesar de terem sido mencionados estas possibilidades, **o método do número da curva (Curve Number) do SCS** é um dos mais reconhecidos, utilizados e estudados para se determinar a chuva excedente e o escoamento superficial. Neste estudo, o método do SCS é utilizado na obtenção do pico de vazão e do escoamento direto. Por essa razão, ele é explorado mais extensivamente.

Primeiramente descrito pelo Soil Conservation Service (SCS), em 1986, o método foi revisto e republicado pelo NRCS (Natural Resource Conservation Service) do U.S. Department of Agriculture, em 2004, Chapter 10 do Hydrology National Engineering Handbook (Part 630).

A principal aplicação do método é a estimativa do volume de escoamento superficial em um hidrograma de cheia ou em um pico de vazão. Ou seja, é a representação do volume combinado dos fluxos do canal, superficial e subsuperficial. O resultado de sua aplicação não inclui o volume de escoamento de base.

O modelo estima o total escoado a partir de um total precipitado. Assim, a variável tempo não é contemplada pelo modelo, excluindo variações de armazenamento, perdas e infiltração. Da mesma forma, a intensidade da precipitação não é um parâmetro de ponderação, podendo ser utilizado unicamente para derivação do total precipitado ou na construção do ietograma de projeto.

A expressão geral do modelo é:

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a) + S}, \text{ se } P > I_a \dots\dots\dots \text{EQUAÇÃO 8}$$

$$Q = 0, \text{ para, } P \leq I_a$$

Onde, Q é a altura do escoamento (mm ou polegadas); P é a coluna de chuva (mm ou polegadas), I_a são as perdas iniciais (mm ou polegadas), e S é o potencial máximo de retenção. As condições de satisfação da expressão acima afirmam que haverá escoamento superficial apenas se o total precipitado for maior que o volume de perdas iniciais.

Morkus (1949), responsável por deduzir e descrever a estrutura básica do modelo, objetivou determinar uma equação ideal que descrevesse a relação entre o total precipitado e o total escoado, o qual, há muito tempo antes, havia sido relatado como sendo proporcional, não linear e côncavo para cima. Para pequenos eventos de chuva, não há geração de escoamento superficial. Todavia, a tendência é de que conforme se aumenta a coluna de chuva, a curva torna-se assintótica, representando a um ajuste de proporcionalidade direta entre os eixos. Em um primeiro momento, o autor desconsiderou as perdas iniciais ($I_a=0$) e encontrou o ajuste na seguinte equação envolvendo a chuva, o escoamento e retenção:

$$\frac{F}{S} = \frac{Q}{P} \dots\dots\dots \text{EQUAÇÃO 9}$$

Onde: F é a retenção atual depois do início do escoamento (em mm ou polegadas); S é o potencial máximo de retenção (limite da retenção) após o escoamento inicial ($F \leq S$, em mm ou polegadas); Q é o escoamento superficial atual (em mm ou polegadas) e P é a chuva atual ($Q \leq P$, em mm ou polegadas). Assim, se a capacidade atual de retenção for igual ao potencial total da área, a componente do lado esquerdo da expressão será igual a 1. Para satisfazer esta

condição o total escoado é igual ao total precipitado, ou seja, a geração de *runoff* é máxima quando $F=S$.

Para contemplar a conservação da massa, a elaboração implica $F = P - Q$, e considerando as abstrações iniciais iguais a zero, substitui a sentença na equação 9 e produz:

$$\frac{P-Q}{S} = \frac{Q}{P} \therefore Q = \frac{P^2}{P+S} \dots\dots\dots \text{EQUAÇÃO 10}$$

Quando a perdas iniciais não são (0), o que é a absoluta maioria dos casos, deve-se considerar que o total de chuva disponível para o escoamento é um valor que equivale à P menos I_a , ou seja:

$$\frac{F}{S} = \frac{Q}{P-I_a} \dots\dots\dots \text{EQUAÇÃO 11}$$

Baseado na seguinte premissa:

FIGURA 12 - Distribuição do total acumulado por diferentes fases de circulação da água ao longo do tempo de uma tormenta.

Fonte: CHOW (1994)

No qual: P , precipitação total; P_e , precipitação excedente; I_a , infiltração inicial; F_a , infiltração após o início do escoamento superficial; e S , infiltração potencial máxima (FIGURA 12).

Da mesma forma, a conservação da massa passa a equivaler à $F = (P - I_a) - Q$. Substituindo-se esta fórmula na equação 11, tem-se:

$$\frac{(P - I_a) - Q}{S} = \frac{Q}{(P - I_a)} \therefore Q = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a) + S} \dots\dots\dots \text{EQUAÇÃO 12}$$

This is the rainfall-runoff relationship with the initial abstraction explicitly taken into account.

The initial abstraction consists mainly of interception, infiltration during early parts of the storm, and surface depression storage. It can be determined from observed rainfall-runoff events for small watershed, where lag is minimal, as the rainfall that occurs before runoff begins. Interception and surface depression storage may be estimated from cover and surface conditions, but infiltration during the early part of the storm is highly variable and dependent on such factors as rainfall intensity, soil crusting, and soil moisture. Establishing a relationship for estimating I_a is not easy. Thus, I_a was assumed to be a function of the maximum potential retention, S . An empirical relationship between I_a and S [...] (p. 3).

As funções de correlação entre P e P_e (ou Q) apresentaram ajustes bastante confiáveis, os quais permitiu ao SCS atribuir um valor adimensional denominado de CN , *Curve Number*, que obedece ao intervalo de $0 < CN < 100$ (FIGURA 13).

FIGURA 13 - Soluções das equações de escoamento do SCS a partir da plotagem de $P \times P_e$.

Fonte: CHOW (1994)

Esta relação é dada ainda por:

$$I_a = 0,2S \dots\dots\dots \text{EQUAÇÃO 13}$$

FIGURA 14 - Regressão existente entre I_a e S .

O gráfico da figura 14 explicita a relação existente na expressão 13. Claramente, mais da metade dos pontos obtidos pelo estudo de Mockus (1949) estão fora da margem de confiança determinada para a relação. Porém, para situações urbanas Canholi (2005) salienta que autores recomendam o valor de $I_a=0,1S$ ou menor, o que corresponderia à minimização das perdas. Esta afirmação tem por base o decréscimo da interceptação, o nivelamento do terreno e a construção de sistemas de drenagem. Substituindo-se a equação 13 na expressão 12, produz a relação final do método do SCS:

$$Q = \frac{(P - 0,2S)^2}{P + 0,8S}, \text{ para } P > I_a, \dots\dots\dots \text{EQUAÇÃO 14}$$

O conjunto de curvas baseadas na equação acima e que correlaciona Q a P foi produzida considerando a relação $Ia=0,2S$. Caso este ajuste não seja o priorizado para uma dada área de estudo, é imperativo que se construa uma nova família de curvas.

A capacidade de retenção S, por fim, é dada por um arranjo de elementos que constituem superfície, os quais basicamente são constituídos de: permeabilidade/impermeabilidade da superfície, tipo de solo e condição de umidade antecedente. A combinação destas condições está contida no CN (*Curve Number*), um parâmetro único a ser calibrado.

O valor de CN, em outras palavras, é a transformação de S, resolvida a partir da seguinte equação para unidades americanas tem-se: $CN = \frac{1000}{10 + S}$. A conversão para milímetros fica:

$$CN = \frac{1000}{10 + S/25,4} \therefore S = \frac{25.400 - 254CN}{CN} \dots\dots\dots \text{EQUAÇÃO 15}$$

O CN, portanto, é vinculado à característica de infiltração potencial. Para áreas que possuam alguma permeabilidade CN é menor que 100, e para áreas totalmente impermeáveis CN é igual a 100. O CN foi também relacionado aos tipos de solos e à suas características hidrológicas, informações a partir das quais se podem obter taxas de infiltração potencial de um terreno.

Esta metodologia foi desenvolvida, primeiramente, para o estudo e dimensionamento de obras hidráulicas em zonas rurais, por isso considera amplamente os tipos de solos e suas características hidrológicas. No entanto, seus resultados confiáveis fizeram com que passasse a ser utilizado tão largamente para áreas urbanas, tornando-o padrão em muitos modelos hidrológicos. Para ampliar seu uso, principalmente em bacias urbanas, os valores de CN tiveram que ser recalculados derivando-se novas tabelas e quadros, nos quais os tipos pedológicos, embora continuassem a ser importantes, tiveram suas funções seus pesos reduzidos (QUADRO 9).

QUADRO 9 - Relação entre CN, os tipos de usos urbanos da terra e os grupos hidrológicos de solo.

Tipo de uso do solo/Tratamento/Condições hidrológicas			Grupo hidrológico			
	Tamanho médio do lote	% Impermeável	A	B	C	D
Uso residencial	até 500m ²	65	77	85	90	92
	1000m ²	38	61	75	83	87
	1500m ²	30	57	72	81	86
Estacionamentos pavimentados, telhados			98	98	98	98
Ruas e estradas	Pavimentadas, com guias e drenagem		98	98	98	98
	com cascalho		76	85	89	91
	de terra		72	82	87	89
Áreas comerciais (85% de impermeabilização)			89	92	94	95
Distritos industriais (72% impermeável)			81	88	91	93
Espaços abertos, parques e jardins	Boas condições > 75%		39	61	74	80
	Médias condições >50%		49	69	79	84
Terreno Preparado para plantio, descoberto e em linha reta			77	86	91	94

Fonte: Material de apoio da disciplina de Drenagem Urbana. Obtido em: 2012

Obs: Os grupos hidrológicos dizem respeito ao tipo de solo e sua condição de humidade. Em áreas urbanas, parece-nos que este aspecto é menos preponderante à geração de escoamento superficial, tanto pela impermeabilização da superfície quanto pela descaracterização das condições hidromorfológicas originais do solo.

2.3.3.5. Tempo de Concentração (t_c)

O intervalo de tempo que leva que a água de uma precipitação leva do ponto mais distante da bacia até o exutório considerado, é denominado de tempo de concentração (t_c). Este intervalo é fundamental à translação da onda de cheia e ao amortecimento do pico de vazão entre um ponto a montante e outro a jusante pela bacia e pelo canal.

A maior parte dos métodos foi desenvolvida para o cálculo do tempo de pico em bacias de uso predominantemente rural. Por isso, a determinação dos dados de entrada nos cálculos deve ser cautelosa, particularmente quanto à escolha dos aspectos que dizem respeito à percolação em superfície, ou seja, o revestimento que compõe o canal e a predominância do uso da terra.

Os métodos mais amplamente utilizados sugerem que o tempo de concentração seja obtido pelo cotejo dos traslados realizados pela água durante todo o percurso. Em geral, o cálculo toma a forma de:

$$t_c = t_s + t_n + t_q \dots\dots\dots \text{EQUAÇÃO 16}$$

Onde, t_c é o tempo de concentração (h), t_s é o tempo de escoamento em superfície (h), t_n é o tempo de escoamento em canais rasos (h) e t_q é o tempo de escoamento em canais ou galerias definidos (h).

Tomando-se os termos separadamente, t_s ocorre nas condições de cabeceira de drenagem, normalmente a um raio de 50 a 100m do ponto de surgência ou de definição de um canal raso de drenagem. Nessa área sem talvegue definido, o fluxo caracteriza-se por lâminas delgadas de baixas velocidades e depende da rugosidade do terreno, da declividade predominante e da intensidade da precipitação. Uma das equações mais comumente utilizada para sua obtenção é dada por:

$$t_s = \frac{0,091(n \cdot L)^{0,8}}{P_2^{0,5} \cdot S^{0,4}} \dots\dots\dots \text{EQUAÇÃO 17}$$

Onde: n é o coeficiente de rugosidade de Manning ($\text{s/m}^{5/2}$); L é o comprimento do trecho (m); P_2 é o total precipitado em 24 horas para recorrência de 2 anos (mm); S é a declividade do terreno (m/m).

Os aspectos L e S são obtidos pela análise morfométrica da bacia. O coeficiente de rugosidade de Manning (n) é um frequente parâmetro de análise hidrológica e hidráulica, tendo sido tabulado por inúmeros autores para diversas condições de revestimento de superfícies (QUADRO 10). O valor de P_2 pode ser obtido a partir da IDF utilizada na geração do ietograma de projeto.

QUADRO 10 – Valores de n para exemplo de superfícies em fluxos superficiais.

Superfície	n
Asfalto liso	0,011
Concreto liso ou rugoso	0,012
Pavimento intertravado/paralelepípedo	0,024
Gramados (esparso/denso)	0,15/0,24
Vegetação arbustiva (leve/densa)	0,40/0,80
Plantações rasteira (normais)	0,13

O tempo de escoamento em canais rasos é definido por um fluxo superficial efêmero concentrado. Em termos geomorfológicos pode ser dito como o ponto mais baixo da cabeceira de drenagem, onde o anfiteatro de nascente converge para formar um talvegue inicial, raso, linear e, muitas vezes, identificado apenas em campo.

O tempo de concentração do fluxo neste setor do canal é expresso por:

$$t_n = \frac{L}{3600 \cdot V} \dots\dots\dots \text{EQUAÇÃO 18}$$

Onde: L é o comprimento do trecho de talvegue (m) e V é a velocidade média do escoamento no trecho (m/s).

A velocidade média, normalmente, é obtida por meio de parâmetros mínimos do escoamento, como será feito para o cálculo do tempo de escoamento em canalizações. Para os canais rasos, no entanto, em função de não apresentarem, em muitos casos, seção transversal bem definida, a velocidade de fluxo pode ser obtida a partir de uma abstração desta informação, sendo derivada apenas da declividade da superfície e das características gerais de revestimento (QUADRO 11 e FIGURA 15).

QUADRO 11 – Equações e pressupostos de desenvolvimento para a velocidade dos fluxos rasos.

Tipo de superfície	Profundidade assumida (ft)	n de Manning assumido	Equação da velocidade (fts/s)
Pavimentos e pequenas ravinas de cabeceiras	0,2	0,025	$V=20,328(s)^{0,5}$
Caminhos com grama encharcada	0,4	0,05	$V=16,135(s)^{0,5}$
Solo quase nu e lavrado; e leques aluviais em regiões de sopés de montanhas	0,2	0,051	$V=9,965(s)^{0,5}$
Cultivos em curvas de nível	0,2	0,058	$V=8,762(s)^{0,5}$
Pasto ou vegetação rasteira	0,2	0,073	$V=6,962(s)^{0,5}$
Cultivo de mínima lavoura, em curvas de nível ou em linha, e áreas vegetadas	0,2	0,101	$V=5,035(s)^{0,5}$
Floresta com espessa serra pilheira ou solo recoberto com palha	0,2	0,202	$V=2,516(s)^{0,5}$

FIGURA 15 - Relação entre velocidade e declividade para o fluxo superficial concentrado.

Por último, o tempo de escoamento em canalizações, sejam elas naturais ou artificiais, é o tempo de traslado que o fluxo leva desde o início do trecho até o exutório. Existem alguns métodos para determinação deste intervalo. Na maior parte dos casos de aplicação em meio urbano, mesmo onde os dados não são absolutamente precisos, a equação cinemática de Chèzy-Manning é adequada para derivação dos dados necessários, além de ser amplamente útil e de fácil manuseio.

Sua aplicação pode ocorrer para trechos de seções semelhantes ou para todo um canal, quando as variações na seção transversal, de montante à jusante, podem ser abstraídas. Para qualquer uma dessas condições, a estimativa da velocidade e do tempo de concentração requer a adoção da seção hidráulica plena, ou seja, sem consideração da velocidade na horizontal.

A consagrada equação da cinemática pode ser expressa da seguinte forma:

$$V = \frac{1}{n} \cdot S^{1/2} \cdot Rh^{2/3} \dots\dots\dots \text{EQUAÇÃO 19}$$

Onde, V é a velocidade média do escoamento (m/s), n é o coeficiente de Manning ($s/m^{5/2}$); S é a declividade longitudinal de fundo (m/m), e Rh é o raio hidráulico do canal (m). Necessariamente, as características geométricas dependem do projeto ou de levantamento de campo, por outro lado, valores de n para diferentes revestimentos podem ser definidos a partir de uma breve análise expedita a com base em dados encontrados em tabelas publicadas na bibliografia de referência (QUADRO 12).

QUADRO 12 - Valores estimados de n de Manning para diversos tipos de revestimentos de canais.

Tipo de revestimento		n de Manning		
		Mínimo	Médio	Máximo
Condutores parcialmente cheios	Concretos			
	galeria reta e livre	0,010	0,011	0,013
	galeria curva, conexões e detritos	0,011	0,013	0,014
	tubos de concreto e juntas	0,013	0,015	0,017
	sem acabamento, rugoso (madeira)	0,015	0,017	0,020
	sem acabamento, liso (aço)	0,012	0,013	0,014
	Metal corrugado	0,021	0,024	0,030
	Tubos cerâmicos	0,011	0,013	0,017
Isa a céu aberto	Concretos			
	Acabamento liso	0,013	0,015	0,016

Tipo de revestimento		n de Manning		
	sem acabamento	0,014	0,017	0,020
	Acabado com margens com cascalho (fundo)	0,015	0,017	0,020
	projetado, seção uniforme	0,016	0,019	0,023
	projetado, seção não uniforme (ondulada)	0,180	0,022	0,025
	Argamassa			
	pedra argamassada (margens) com fundo em concreto acabado	0,170	0,020	0,024
	pedra argamassada (margens) com fundo em cascalho	0,020	0,023	0,026
	Gabiões			
	gabião manta, sem revestimento	0,022	0,025	0,027
	gabião caixa, sem revestimento	0,026	0,027	0,028
	gabião manta, recoberto com argamassa	0,015	0,016	0,018
	gabião manta, sem revestimento com vegetação	0,028	0,030	0,032
	córregos em planícies (largura < 30m)			
Canais naturais	limpo, reto, cheio, seção uniforme	0,025	0,030	0,033
	idem, pedras no fundo e vegetação	0,030	0,035	0,040
	limpo, sinuoso, alguns remansos, secções não uniformes	0,033	0,040	0,045
	idem, vegetação nas margens e pedras	0,035	0,045	0,050
	Calha secundária, áreas marginais, várzeas			
	pastos sem arbustos, gramado	0,025	0,030	0,035
	gramado alto	0,030	0,035	0,050
	áreas cultivada (sem plantio)	0,020	0,030	0,040
	cultivo maduro em linha	0,025	0,035	0,045
	cultivo maduro em terraço	0,030	0,040	0,050
	vegetação arbustiva - esparsa	0,035	0,050	0,070
	esparsa com árvores	0,040	0,070	0,110

Fonte: CANHOLI, 2005.

2.3.3.6. Hidrograma unitário sintético

Para que os projetos de reservatório, bacias de retenção ou qualquer outra estrutura de aumento do tempo de concentração sejam corretamente dimensionados, deve ser construído um hidrograma. Como alternativa à indisponibilidade de informações fluviométricas, principalmente nas pequenas bacias urbanas, engenheiros, técnico e demais especialistas fazem uso de hidrogramas unitários sintéticos, os quais podem ser considerados como ferramentas de conversão de ietogramas de chuva em hidrograma de projeto.

Concebido, primordialmente, por Sherman (1932), um hidrograma unitário pressupõe a bacia hidrográfica ideal com comportamento de reservatório *on line*. Neste caso, chuvas efetivas de intensidades constantes (volume a partir do qual a geração de escoamento direto) e mesmas durações produzem hidrograma de mesmo tempo de pico e duração, logo, os deflúvios gerados são proporcionais às chuvas efetivas. O ietograma utilizado é concebido pelos métodos de hidrograma unitário como sendo uma sequência de blocos de chuva com a mesma duração (as intensidades são minimizadas).

Assim, para construção do hidrograma é imprescindível determinar o escoamento produzido por uma chuva unitária (1cm, por exemplo). Uma vez obtido este valor, obtém-se os

hidrograma parciais relativos a cada bloco e o hidrograma da chuva de projeto pela soma dos deflúvios de cada bloco.

Os métodos sintéticos para elaboração de hidrograma unitário, em sua maioria, estão estruturados em dados obtidos em bacias adequadamente instrumentalizadas, a partir dos quais seus resultados podem ser generalizados. Os mais abundantes na literatura e nas análises técnicas para áreas urbanas são método racional, método SCS, Santa Bárbara, Convolução Contínua e CHUP (*Colorado Urban Hydrograph Procedure*). Para esta pesquisa é investigado mais detalhadamente o método SCS.

O método racional é adequado a pequenas áreas (até 1km²) cujo t_c não supere 20min, pois o método pressupõe chuva contínua e uniforme. Em termos práticos, o hidrograma construído é extremamente simplificado. Adota-se a forma de um triângulo isóscele com altura igual ao pico de vazão e a base é o dobro do tempo de concentração. Este é um método recomendado para o dimensionamento de estruturas de microdrenagem.

O método SCS além de largamente aplicado, é um dos procedimentos recomendados pela prefeitura de São Paulo para obtenção do hidrograma unitário e do hidrograma de projeto.

Apoiado em um grande número de bacias de diferentes características (cerca de 3.000) em todo os Estados Unidos, Mockus (1985) obteve um ajuste ideal dos hidrogramas de cheia.

Este ajuste, considerado o hidrograma sintético adimensional, é dado pela variação da vazão em virtude da chuva excedente (Q_u , mm, m³, m³/s.cm), por uma vazão de pico (Q_{up} , mm, m³, m³/s.cm) e t_p (h), conforme as expressões a seguir:

$$Q_{u,p} = \frac{2,08 \cdot A_d}{t_p} \dots\dots\dots \text{EQUAÇÃO 20}$$

$$t_p = \frac{t_r}{2} + t_L \dots\dots\dots \text{EQUAÇÃO 21}$$

$$t_L = 0,6t_c \dots\dots\dots \text{EQUAÇÃO 22}$$

Em que: t_p é o tempo de ocorrência do pico (h) e varia positivamente conforme o tempo de resposta da bacia e a duração do evento; t_d é o tempo de duração da precipitação excedente (h), t_L é o tempo de resposta da bacia (h), t_c é o tempo de concentração (h), e A_d é a área drenada (km²).

Conhecendo-se estes valores, pode-se construir o hidrograma unitário para uma duração desejada com base no hidrograma adimensional. Ressalta-se que, em termos práticos, é ideal que o método seja utilizado para as circunstâncias de $t_R \leq 0,25 t_p$ ou $t_R \leq 0,17 t_c$. A base triangular para simplificação do hidrograma unitário sintético pode ser determinada pela obtenção do tempo de base, dado por: $t_B = 2,67 t_p$.

2.3.3.7. Hidrograma de Projeto

Tendo sido obtido o hidrograma unitário, por qualquer um dos métodos existentes, é possível produzir o hidrograma de projeto de drenagem. Esta generalização, contudo, exige a adoção de duas clássicas hipóteses na hidrologia de condutos: proporcionalidade e superposição.

A proporcionalidade permite afirmar que, uma vez conhecido o hidrograma unitário de uma dada chuva, é possível obter um hidrograma qualquer a partir de outra chuva, cujo de tempo de duração unitário seja igual. Outra circunstância é de que o tempo de permanência do escoamento direto seja o mesmo para qualquer intensidade de chuva, ou seja, t_B permanece constante. Este princípio é denominado constância do tempo de base.

A superposição habilita a obtenção do hidrograma de projeto a partir a agregação dos valores resultantes do hidrograma unitários para cada bloco de chuva excedente. O tempo de base de cada bloco permanece inalterado, porém, para o hidrograma total, o tempo de base é estendido proporcionalmente ao tempo tomado pelos blocos de chuva excedente.

2.3.4. Modelo hidrológico Ven Te Chow-SCS

O aumento do escoamento superficial pode triplicar quando comparamos bacias rurais às bacias urbanas, em virtude da impermeabilização, a qual eleva o pico de vazão e implica sua particularização enquanto indicador de alteração induzida pela urbanização.

Segundo Righetto (1998), nestes mesmos casos, a razão entre o tempo da precipitação em uma drenagem e sua saída através da vazão pode diminuir em até quatro vezes, apontando para uma aceleração geométrica da velocidade do escoamento direto. Esta razão, entretanto, é função das variáveis de estado, que incluem a forma da bacia, dos tipos de usos que se faz nela, e, obviamente, dos *inputs*. O problema territorial e econômico decorrido de enchentes justifica a necessidade de reconhecimento complexo do problema, o que inclui na consideração do geoindicador, a taxa de aumento e os novos balanços entre entrada e saída do sistema.

Como o monitoramento de pequenas e médias bacias urbanas na GSP não é realizado com frequência, a carência de dados fluviométricos e pluviométricos dificulta e limita o uso de modelos hidrológicos. Neste sentido, utiliza-se de modelos numéricos sejam eles, empíricos, conceituais ou estocásticos, é imperativo nas circunstâncias de monitoramento atuais.

Assim, optou-se em utilizar uma metodologia chuva-vazão, de Ven Te Chow e o modelo da *Soil Conservation Service*, amplamente empregado na hidrologia e na engenharia hidráulica, em função de sua praticidade e facilidade (RAMOS et.al. 1989)²⁷, mas também em função de sua recomendação como metodologia de referência para elaboração do escoamento de pico e geração de hidrograma de projeto no dimensionamento de obras hidráulicas.

Existe uma série de incertezas iminentes nos resultados obtidos às vazões derivadas a partir de chuvas artificiais, mesmo em condições de calibrações devidas, pois as limitações recaem, principalmente, na variedade temporal e espacial das chuvas, na incerteza sobre os dados coletados de precipitação, na escala em que se propõem a análise, na extrapolação e transposição de metodológica e técnica, ou ainda, devido à heterogeneidade da representação dos elementos do meio físico.

A quantificação do escoamento superficial em áreas urbanas pela aplicação de modelos matemáticos é baseada em parâmetros de fração de áreas impermeáveis, separando as fases de infiltração e permeabilidade e derivando fluxos mais ou menos abundantes de *runoff*, fato que parece decorrer em alguns erros, considerando a carência de dados fluviométricos consistentes, tornando esses parâmetros em fatores de ajuste (NUNES, 2007), constituindo, portanto, mais uma das incertezas dos modelos.

Em absoluto, a chuva excedente é a responsável pelas vazões de cheias no maior número de casos, podendo ser obtida por relações funcionais que partem do total precipitado, o tipo de solo, sua umidade antecedente, sua ocupação, entre outros; os quais o parâmetro *CN* busca representar. A metodologia racional e o hidrograma unitário são os modelos que permitem transformar chuva em vazão mais utilizados em obras de drenagem urbana (TUCCI et al, 1995).

As metodologias que pressupõem o hidrograma unitário determinam a vazão de pico ou hidrograma de projeto a partir de uma tormenta de projeto da qual subtrai as perdas hidrológicas até a seção de interesse. O modelo Ven Te Chow-SCS parte da mesma premissa, a de que as vazões de cheias são proporcionais às chuvas, considerando a transformação

²⁷ O método racional é muito utilizado em áreas urbanas dentro de projetos de microdrenagem, mas são mais adequados a pequenas bacias (na ordem de 3 a 5 km²), sendo que, com segurança há recomendações para bacias de até 0,5km².

contida em chuva-vazão. Chow (1994) fez a avaliação de que os dados usados no hidrograma unitário sintético do SCS podem permitir a avaliação do excesso de chuva pelo *CN*.

As principais vantagens apontadas para uma metodologia, segundo NUNES (2007), são: parte dos mais sólidos princípios hidrológicos, com fundamento analítico, os dados em que se baseia são admissíveis de universalização de sua aplicação, sua aplicação pode ser simplificada pela construção de planilhas de cálculo e, por último, ele pode ser ponderado com análises complementares, com variação dos dados de entrada (chuva, por exemplo), dados de estado ou mesmo parâmetros, sem, no entanto, alterar sua estrutura básica.

Ven Te Chow–SCS

A aplicação da metodologia Ven Te Chow segue as recomendações de Wilken (1971 apud NUNES e FIORI, 2007, e NUNES, 2007) sendo acompanhado pelas demonstrações e deduções de fórmulas auxiliares colocadas por Ramos et. al. (1989) e Righetto (1998).

A equação principal da metodologia pode ser colocada a partir da relação:

$$Q_{m\acute{a}x} = \frac{A.X.Y.Z}{3,6} \dots\dots\dots \text{EQUAÇÃO 23}$$

Na qual: $Q_{m\acute{a}x}$ é a vazão máxima (dada em m³/s); A é a área da bacia (dada em m²); Y é o fator climático. No caso, para a GSP este dado é fornecido pelo DAEE com base em testes empíricos. Z é o fator de redução do tempo de pico de vazão, obtido através da relação entre o pico da descarga de um hidrograma unitário (constituído a partir da duração de um evento pluviométrico) e o deflúvio da mesma intensidade; X é o fator de deflúvio, dado pela razão entre a chuva excedente e sua duração. Para constituir os acumulados precipitados excedentes é imprescindível o uso da fórmula do modelo SCS.

Pela inexistência dos dados de vazão, impõem-se o procedimento de escolha de chuvas de importante magnitude, definindo situações críticas (NUNES e FIORI, 2007). Para cada valor definido, considerando o ritmo do regime pluviométrico da região e a equação de IDF (Intensidade-Duração-Frequência), gerasse uma intensidade de precipitação (i_m). A partir da multiplicação entre a intensidade e o tempo de recorrência (T_d) obtém-se o total precipitado ($R = i_m . t_d$), assumindo sua continuidade no tempo. Assim como para a determinação da

intensidade da precipitação, a chuva excedente e as vazões máximas exigem o valor de tempo de retorno (T_r), a priori, definido como de 10 anos com vistas à avaliação de eventos de significativa magnitude, e que exigem interferência de obras de macrodrenagem.

O deflúvio correspondente à produção de escoamento superficial e é considerado no parâmetro *Curve Number* (CN), contemplado na metodologia do SCS. O valor do fator de deflúvio (X) é obtido a partir da multiplicação entre a precipitação excedente e as durações de chuvas ($X = \frac{Re}{td}$). Por conseguinte, o fator de redução de pico (Z) será alcançado pela razão entre as durações da precipitação e o tempo do pico de vazão ($\frac{td}{tp}$).

Determinando-se o valor de Y é possível calcular as vazões máximas da bacia. Os valores de A e Y são fixos e estão atrelados aos parâmetros não alterados significativamente no período de abordagem do estudo. A comparação dos resultados de vazão máxima obtida em cada período abordado está submetida, diretamente, às alterações relativas à impermeabilização do solo (alteração das taxas de infiltração), correlacionando-se às alterações antropogeomorfológicas e de uso da terra.

O modelo SCS é utilizado para determinar a chuva excedente num determinado ponto e na bacia como um todo, e para construir o hidrograma de escoamento direto. A chuva excedente é estabelecida pela equação (2), demonstrada por Wilken (1971) e utilizada por Nunes e Fiori (2007):

$$Re = \frac{(R - 5080/N + 50,8)^2}{R + 20320/N - 203,2} \dots\dots\dots \text{EQUAÇÃO 24}$$

Na qual: Re é a precipitação excedente (dada em mm); R é o total precipitado acumulado (dado em mm), obtido pela multiplicação entre a intensidade do evento e o tempo de ocorrência; N é o parâmetro de deflúvio (valor CN adimensional).

O valor de i_m , usado na definição da precipitação excedente pode ser definido como a maior intensidade média num espaço observado em um determinado intervalo e considerando um período de retorno específico (NUNES e FIORI, 2007). Sua determinação é dada pela equação IDF que melhor se ajusta aos dados da região. Para a RMSP, embora tenham sido desenvolvidos outros modelos pelo DAEE e pelo CTH (ROBERTO e FADIGA JR., 2001), nesta

etapa da pesquisa, a princípio, o uso da equação IDF geral satisfaz as necessidades de análises temporais. Sua relação é expressa em:

$$i_m = \frac{k \cdot T_r^m}{(t + t_0)^n} \dots\dots\dots \text{EQUAÇÃO 25}$$

Em que i_m : intensidade pluviométrica (dada em mm/min); T_r : período de retorno (anos); T_d : duração da chuva (minutos); e k, m, t_0, n : parâmetros relativos ao ajuste da equação.

Para São Paulo, os valores paramétricos acima são, segundo Righetto (1998): $K = 57,71$; $m = 0,172$; $t_0 = 22$; e $n = 1,025$.

De acordo com Tucci et. al. (1995), o deflúvio, além de estar subordinado ao tipo de uso da terra que se observa na bacia, é caracterizado pelo grupo hidrológico dos solos presentes, de tal forma que N (parâmetro de deflúvio) é igual ao CN , podendo ser obtido pela metodologia do SCS que compõe o modelo de Ven te Chow.

Em relação aos grupos hidrológicos de solos sintetizados pelos valores de CN da SCS é a efetiva influência das características pedológicas sobre os processos de infiltração e escoamentos, as quais, em meios urbanos, são abreviadas frente às reconfigurações e interferências da ocupação, cujos efeitos de impermeabilização e concentração de fluxos são largamente mais importantes.

Como as superfícies das áreas urbanas são, em geral, diversificadas e formam verdadeiros mosaicos de usos, é provável que diferentes valores de CN para cada porção da superfície da bacia sejam determinados. Neste caso, é recomendado o uso da média ponderada para o cálculo da precipitação excedente (FCTH, apud ROBERTO, 2001).

Por último, o fator de redução (Z), conforme descrito por Wilken (1971), é obtido pela relação entre o pico de vazão, produzido por uma chuva de uma determinada duração, e o deflúvio resultante de precipitação igualmente intensa. Assim, na equação da metodologia de

Ven Te Chow, Z é correlacionado à relação $\frac{t_d}{t_p}$, com t_d como duração de um evento de precipitação; e t_p é o valor do tempo de pico da vazão,

A variável t_p depende das características dos aspectos morfométricos do canal, e é dado por:

$$t_p = 0,005055 \cdot \left(\frac{L}{\sqrt{I}} \right)^{0,64} \dots\dots\dots \text{EQUAÇÃO 26}$$

Na qual t_p é o tempo de pico da descarga (dado em horas); L é a extensão longitudinal do canal principal (em metros); I é a declividade média do rio principal (dada em %). “ I ” e “ L ” são parâmetros obtidos da carta topográfica 1:10.000, escala cuja adequação é satisfatória tendo em vista a área da bacia. A tabela 2, correlaciona td/tp à Z :

TABELA 2 - Tabela de transposição entre a relação td/tp e o fator de redução de pico Z .

td/tp	Z	td/tp	Z	td/tp	Z	td/tp	Z	td/tp	Z
0,05	0,04	0,46	0,36	0,84	0,58	1,22	0,75	1,6	0,9
0,1	0,08	0,48	0,38	0,86	0,59	1,24	0,76	1,62	0,9
0,12	0,1	0,5	0,39	0,88	0,5	1,26	0,77	1,64	0,91
0,14	0,12	0,52	0,4	0,9	0,6	1,28	0,78	1,66	0,91
0,16	0,14	0,54	0,41	0,92	0,61	1,3	0,79	1,68	0,92
0,18	0,16	0,56	0,42	0,94	0,62	1,32	0,8	1,7	0,92
0,2	0,18	0,58	0,44	0,96	0,63	1,34	0,81	1,72	0,93
0,22	0,19	0,6	0,45	0,98	0,64	1,36	0,82	1,74	0,93
0,24	0,2	0,62	0,46	1	0,65	1,38	0,82	1,76	0,94
0,26	0,22	0,64	0,47	1,02	0,66	1,4	0,82	1,78	0,94
0,28	0,24	0,66	0,48	1,04	0,67	1,42	0,83	1,8	0,95
0,3	0,25	0,68	0,49	1,06	0,68	1,44	0,84	1,82	0,95
0,32	0,26	0,7	0,5	1,08	0,69	1,46	0,85	1,84	0,96
0,34	0,28	0,72	0,51	1,1	0,7	1,48	0,86	1,86	0,96
0,36	0,29	0,74	0,52	1,12	0,71	1,5	0,86	1,88	0,97
0,38	0,3	0,76	0,54	1,14	0,72	1,52	0,87	1,9	0,97
0,4	0,32	0,78	0,55	1,16	0,73	1,54	0,88	1,92	0,98
0,42	0,33	0,8	0,56	1,18	0,74	1,56	0,88	1,94	0,98
0,44	0,34	0,82	0,57	1,2	0,74	1,58	0,89	1,96	0,99

2.3.4.1. Simulação hidrológica: programas computacionais

Existem inúmeros softwares desenvolvidos por diversas agências e instituições, governamentais e privadas, em todo o Mundo. Eles buscam atender às necessidades de modelação e simulação dos fluxos e processos hidrológicos nas bacias e mediante eventos de interesse do usuário, com o máximo de eficiência e otimização.

Para modelagem hidrológica, os programas TR-20, HEC-HMS e ABC6 são os mais aplicados no Brasil, ainda que o primeiro, baseado no protocolo TR-55 do NRCS, tenha se tornado inócuo desde a divulgação e disponibilização de outros modelos de interface mais amistosa.

O HEC-HMS e o ABC6 foram desenvolvidos, respectivamente, pela *U.S. Army Corps of Engineers* e pelo Centro de Tecnologia Hidráulica em conjunto com o LabSid (Laboratório de

Sistemas de Suporte à Decisão) da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Ambos, muito familiares entre si, tem o objetivo de simular os processos chuva-deflúvio em bacias hidrográficas, por meio da separação do ciclo hidrológico em diferentes fases e processos. A simulação tem por base a modelação matemática de processos, sendo que, para cada um destes, o usuário deve determinar os dados de entrada e optar pelos recursos metodológicos oferecidos pelo programa.

Tendo em vista a gratuidade do programa, a facilidade de manipulação devido à interface em português e o corrente uso em outros projetos, o ABC6 foi explorado ao longo deste estudo. Este programa fornece, apenas para geração do dado de precipitação de entrada, um conjunto de mais de 100 curvas IDF's para todo o Brasil, as quais podem ser utilizadas para cômputo da chuva excedente e construção do hidrograma de projeto. As saídas do programa podem ser diretamente utilizadas ou podem integrar simulações hidráulicas em outros softwares, visando, por exemplo, análises complexas de drenagem, disponibilidade hídrica, previsões de cheia, projetos de obras de drenagem e reservação, e sobre riscos e impactos no meio urbano.

Os elementos de topologia do programa, ou seja, a representação dos elementos hidrológicos simulados são os nós (início, confluência ou exutório de um trecho ou de um canal), bacia hidrográfica (representa a área drenada e o trecho do canal), e reservatórios (*in line*, represamentos, ou *off line*, piscinões). Como vantagens, o HEC-HMS permite ainda adentrar com outros elementos topológicos que influenciam no escoamento: sumidouros e derivações.

Os dados mínimos para a simulação dependem dos modelos matemáticos definidos. De modo geral, são requeridas informações sobre o canal (comprimento, largura e informações hidrogeométricas), sobre a bacia (área), sobre o uso da terra (*CN*) e de precipitação. Os principais resultados que podem ser obtidos são: a precipitação total e excedente, capacidade de infiltração, hidrograma de cheias para os nós e trechos, amortecimento e armazenamento.

Assim, utilizar de programas computacionais é vantajoso pelo controle do fluxo de trabalho e procedimentos de cálculo. No caso do ABC6 (FIGURA 16), mas também do HEC-HMS, a interface gráfica simples facilita a operação e a simulação de redes hidrográficas complexas, mesmo em meio urbano. A necessidade de dados simplificados, além da automatização de parâmetros, contribui para a escolha deste programa. Acrescenta-se, ainda, a disponibilidade gratuita do software e a existência de um sistema de apoio ao usuário.

FIGURA 16 - Interface do programa de suporte à decisão ABC6.

2.3.5. Modelação hidráulica

Os processos tratados nos modelos hidrológicos fornecem informações essenciais à avaliação das condições de escoamento e drenagem, e ao desenvolvimento de planos básicos para o tratamento de problemas relativos à cheia, a fluxos superficiais concentrados, à vazão de pico e à disponibilidade hídrica.

O planejamento da macrodrenagem urbana, no entanto, exige tratamento hidráulico do escoamento em canais. Precisar a capacidade de débito máxima (linha d'água) de condutos, rios e córregos; determinar a eficiência do amortecimento de ondas; delinear manchas de inundação; ou ainda, indicar rigorosamente a capacidade de armazenamento e vazão de extravasamento de um reservatório existente ou a ser construído, são exemplos de processos que requerem abordagens hidráulicas. Isto decorre do fato de que, a hidráulica abarca a translação da onda de cheia em trecho de canal, considerando os diferentes regimes hidráulicos.

Alterações promovidas na geometria de seções, modificações na topografia da planície, diversificação do uso da terra, sobreposição de diferentes revestimentos na superfície e no canal, originam diferentes condições de escoamento, que podem ser adequadamente trabalhadas pela hidráulica.

A modelagem hidráulica concebe resolução para o escoamento em duas condições: permanente e não permanente. Baseando-se Chow (1959), Tucci (1998) e Canholi (2005), para

explorar tais condições, tem-se que, no primeiro caso, a velocidade em uma seção é invariável no tempo. Como consequência, as variáveis dependentes como vazão, profundidade, largura e raio hidráulico não se alteram. Para estas condições, aspectos controladores do canal como inclinação da linha de energia (paralela ao fundo) e rugosidade devem permanecer constantes, para satisfazer as condições de uniformidade do escoamento. Este regime baseia-se nos princípios de conservação da energia e da massa, de acordo com as equações de Bernoulli e da continuidade, que estão presentes também nos regimes não permanentes.

Na maior parte dos casos, a resistência, dada pela rugosidade, e a velocidade de fluxo são facilmente resolvidas pelas equações de Chèzy-Manning. Por essa razão, seu uso é corrente para o dimensionamento de condutos e passagens (CANHOLI, 2005).

Em situações de translação da onda de cheia, o regime passa a ser não permanente, em que a velocidade da água e algumas características hidrogeométricas alteram-se no tempo e no espaço.

Neste caso, as equações estão fundamentadas nos princípios da continuidade e da quantidade de movimento, contempladas na sequência de fórmulas não lineares que compõem a sequência de Equações de Saint Venant, uma sequência de expressões matemáticas cuja complexidade exige conhecimento avançado de cálculo e cuja resolução exige a adoção de simplificações e de ferramentas matemáticas adequadas. Segundo Tucci (1998), a sequência de equações de Saint Venant não é resolvida por métodos analíticos, exigindo métodos numéricos capazes de discretizar as seções e o caminhamento da onda, como o método das diferenças finitas. Dois dos algoritmos de solução usualmente empregados na modelagem hidrodinâmica são Preissman e MacCormack.

Normalmente, para tratar problemas relativos à translação da onda de cheia em um conduto, utiliza-se de abordagens unidimensionais e que, portanto, desprezam as variações de velocidade horizontais e verticais do trecho.

Como ferramenta de solução das equações, existem desenvolvidos programas computacionais que abrangem os algoritmos de resolução de modelos hidrodinâmicos de simples manipulação.

2.3.5.1. Simulação hidráulica: programas computacionais.

Assim como para as questões hidrológicas existem softwares largamente utilizados, para a resolução de situações críticas em hidráulica existe um leque amplo de opções. No Brasil, o

HEC-RAS (e suas extensão HEC-GeoRAS da família HEC), o CLiv e o PCSWMM são os mais utilizados.

O PCSWMM é um dos softwares mais robustos e completos que existem atualmente, ainda que seja uma plataforma fechada. Desenvolvido pela CHI (*Computational Hydraulics International*), tem uma série de aplicações, tais como: dar suporte a projetos hidrológicos, produzir modelação 1D e 2D, modelar cenários de complexos como sistemas integrados (rural e urbano), oferecer resultados para análises de micro drenagem e avaliação da eficiência de estruturas, fornece dados para análise de qualidade da água, sistemas sanitários, remediação e mitigação, além de permitir o mapeamento de manchas de inundação, análise de risco e controle em tempo real do funcionamento de extravasores e vertedouros.

Outros programas não oferecem tantas funcionalidades quantos as que estão presentes no PCSWMM, por outro lado, tanto o HEC-RAS quanto o CLiv estão baseados nos mesmos princípios físicos e possuem as mesmas soluções numéricas para os cálculos do regime permanente e não permanente. Além de gratuitos e abertos, apresentam ainda interfaces com CAD e SIG, facilitando a transferência de dados e manipulação de resultados.

O HEC-RAS, assim como o HEC-HMS, foi desenvolvido pelo *U.S. Army Corps of Engineers*. Seus fundamentos, potencialidade, funcionalidades e interface são parecidos com os do CLiv, software construído no Centro de Tecnologia Hidráulica da Escola Politécnica da USP.

Ambos os softwares tem como objetivo modelar o escoamento permanente e o escoamento não permanente ao longo de um canal. Para o primeiro caso, a avaliação do escoamento permanente, a análise normalmente se detém ao funcionamento dos canais ou trechos de canais para condições em que as grandezas hidráulicas variem no espaço como funções do conjunto de dados de geometria e condição de contorno. Isto é particularmente interessante quando há a necessidade de se reconhecer, em condições de escoamento uniforme, a resposta hidráulica que uma dada seção pode oferecer ao fluxo.

Tanto o HEC-HAS quanto o CLiv simplificam os problemas hidráulicos concebidos tridimensionalmente, a tratamentos unidimensionais onde todas as características ficam associadas ao comprimento das seções transversais típicas. As particularidades de cada uma são consideradas na forma dos seus parâmetros hidrogeométricos (forma, comprimento, declividade e rugosidade).

No caso do escoamento não permanente, a modelação tem como características as situações em que há variação ao longo do tempo e do espaço das condições de extremidade,

que são dados por hidrogramas de cheia ou limnigrama. Esta natureza de simulação oferece oportunidade para avaliação da condição de assimilação do sistema e capacidade de operação, possibilitando, ainda, a obtenção de níveis d'água para enchentes hipotéticas.

A modelagem matemática para o escoamento em condutos baseia-se nas Equações Básicas de Saint-Venant derivadas da aplicação unidimensional das formulações de Navier-Stokes, combinando as equações de conservação da massa e quantidade de movimento. Estas equações, publicadas desde o final do século XIX, são analiticamente insolúveis, tendo sido desenvolvido diversos métodos de solução numérica desde então, tornando-as integráveis e aplicadas a casos práticos. O método de diferenças finitas em esquema implícito é o método utilizado pelos programas computacionais.

O dados de entrada essenciais para iniciar a modelação nos softwares são a geometria de cada seção considerada no canal, a vazão que pode ser um valor fixo para o escoamento permanente e um hidrograma para uma vazão não-permanente; dados de contorno e valores de n de Manning para o canal e planície de inundação. Para este estudo, utilizou-se do software HEC-RAS e a extensão HEC-GeoRAS para a etapa de modelagem hidráulica.

2.3.6. Modelação hidrológico-hidráulica e a geomorfologia antropogênica

A modelagem hidrológica e hidráulica atingiu um nível de desenvolvimento elevado nas ciências das engenharias. Ela não apenas se verticalizou, aprofundando o reconhecimento dos sistemas físicos, os processos operantes, os materiais dos quais compõem e as regulações existentes, como se difundiu e buscou acoplar novas técnicas de simulação. Dentro deste conjunto de técnicas, o uso de SIG ou de plataformas espaciais que o equivalham, talvez possa ser considerado o maior avanço verificado na hidrologia nos anos recentes.

A expansão dos computadores, desde os anos 1970, certamente foi o marco que iniciou essa renovação, mas a evolução de softwares, a representação espacial horizontal dos fenômenos e elementos importantes à hidrologia e a introdução de dados de radar meteorológico são, sem dúvida, elementos notáveis no processo de avanço da disciplina.

Apesar disso, a modelagem hidrológico-hidráulico-hidráulica, baseada em transformações chuva-vazão, continuou em voga, particularmente no meio técnico e para os tomadores de decisão. Não à toa, eles estruturam ou fazem parte do conjunto de opções metodológicas da maioria dos programas computacionais que apoiam os sistemas de suporte a decisão.

Pode-se dizer que a hidrologia não passou por uma fase de suplantação ou substituição dos modelos hidrológicos mais clássicos. Prova disto, por exemplo, é a franca utilização das

Equações de Saint Venant nas simulações hidrodinâmicas e as modelagens do *Soil Conservation Service* para chuva excedente e hidrograma unitário. Além da própria recomendação da Prefeitura de São Paulo para o uso dos métodos Ven Te Chow, Racional e Chicago para obtenção dos dados de referência a obras e intervenções em canais e fluxos pluviais.

Na geomorfologia, conforme destacado em subcapítulos anteriores, a modelagem de sistemas naturais é oriunda do século XIX, com as tentativas de conceituação e estruturação dos modelos de pediplanação. Estes primórdios, contudo, tem interesse secundário nesta pesquisa, onde há preocupação latente está mais intimamente relacionada às pesquisas voltadas às modelações ambientais baseadas na geomorfologia antropogênica e sua interface com a hidrologia urbana.

Devido aos potenciais qualitativos e quantitativos da geomorfologia antropogênica de monitorar e indicar evidências e tendências espaço-temporais de mudanças hidrológicas, acredita-se que a principal interface entre esta abordagem e os modelos hidrológicos chuva-vazão e hidrodinâmicos se concentra na escolha e tratamento dos dados de entrada e na possibilidade de visualizar e analisar dados em SIG.

Recentemente, a utilização de modelos físicos e matemáticos em geomorfologia urbana tem se restringido a estudos a processos de vertente e sedimentológico em áreas urbanas. A preocupação cada vez maior com o deslizamento de material pelas encostas, devido aos fenômenos de chuva observados consecutivamente nos verões do sudeste e sul do Brasil nos últimos anos, ou com a colmatação de cursos d'água como decorrência do carreamento de material, serve de motivação para o aprofundamento destas discussões e dos estudos em geomorfologia atual.

A recente publicação de duas obras de particular interesse a este assunto: *Geomorfologia Urbana* (2010) e *Impactos Ambientais Urbanos no Brasil* (2011), ambas organizadas pelos professores Antônio Teixeira Guerra e Sandra Baptista da Cunha, exemplificam a abordagem daqueles temas da geomorfologia por meio da aplicação de modelos.

Em geomorfologia urbana, são diversas as investigações concentradas nos aspectos de cheia, de pico de vazão e mancha de inundação. Em sua maior parte, o interesse particular e os métodos carecem de sedimentação conceitual e voltam-se a aplicação de técnicas de geoprocessamento, com base, fundamentalmente, em mapeamentos de uso da terra e manipulação de dados topográficos e MDTs. Em muitos casos, mesmo o tratamento espacial de dados de precipitação, que corresponde ao principal valor de entrada para os sistemas de

bacias hidrográficas e para qualquer modelagem hidrológica ou hidráulica, tem sido realizado muito superficialmente.

A modelagem de escoamentos ou de mobilidade do leito fluvial, ou ainda da drenagem urbana, dos fluxos superficiais e da qualidade das águas, são ferramentas poderosas para representar situações críticas das águas nas cidades, e, por essa razão, podem e devem ser integradas ou, ao menos, aproximadas aos métodos e modelos da geomorfologia. O livro *Tools in Fluvial Geomorphology* (2010) o qual é uma obra de referência na produção de conhecimento na geomorfologia fluvial contemporânea, apresenta capítulos destinados a introduzir, instrumentalizar e estimular o uso de modelagens hidrológicas, principalmente aquelas envolvendo vazão sólida, capacidade de carga e mobilidade dos canais para o estudo da evolução do relevo.

Considerando as investigações urbanas estruturadas sobre os pilares geomorfologia antropogênica, as recentes publicações de Moroz (2010) e Berges (2013) evidenciam a diversidade de recursos que a abordagem proporciona à análise espacial das formas produzidas da interação técnica entre a ocupação urbana e o relevo original.

A derivação das formas, ou ainda, as formas que definem as unidades complexas do relevo, e seu arranjo espacial introduziram nestes trabalhos potenciais de reflexão crítica ao que se sucedeu ao largo do tempo no espaço metropolitano paulista, e de planejamento adequado da ocupação para as áreas que estejam, eventualmente, livres ou nas bordas da expansão urbana.

A análise antropogênica dos fluxos superficiais de água e, particularmente, das alterações ocorridas em canais devem ser, especialmente, salientadas em ambos os trabalhos, pois aprofundam e reforçam a possibilidade de cooperação metodológica entre a proposta geomorfológica antropogênica e os modelos chuva-vazão e hidrodinâmicos. De modo similar, também se deve pontuar os trabalhos recentes de Brandão (2010), Lucas e Cunha (2007) e Vieira e Cunha (2010).

Nestas investigações, a alteração humana das formas superficiais e das seções transversais é tomada a partir de dados obtidos por meio de imagem de satélite, fotografias aéreas e mapas históricos, para o primeiro dado, e por meio de levantamentos de seções, projetos hidráulicos e monitoramentos fluviométricos, para o segundo dado.

Para a engenharia civil, logo em seguida aos termos da hidrologia básica, o desenvolvimento do conhecimento ocorre em apenas duas direções específica: (1)

gerenciamento de recursos hídricos e obras hidráulicas, e (2) desenvolvimento e aperfeiçoamento de modelos hidrológicos e hidrodinâmicos.

Em relação a este segundo caso, estudos preocupados com: o aprimoramento da acurácia e precisão dos resultados modelados, a avaliação de incertezas (inclusive, incertezas adicionadas devido às alterações climáticas), revisões e recalibrações hidráulicas, a avaliação de situações complexas (ocorrências de *flash floods* e *coupled peaks*), e com o monitoramento em tempo real são as mais abundantes nos principais periódicos internacionais sobre o assunto. Além destes, a derivação de métodos, o uso de técnicas matemáticas diversas (determinísticas e estocásticas), a avaliação e comparação de cenários de alteração das condições do terreno e de fluxo para calibração hidrológica, são temas que frequentemente estão presentes no contexto de desenvolvimento da disciplina, considerando os principais periódicos.

Convergente ao interesse desta pesquisa, estudos aplicados de modelos hidrológicos chuva-vazão ou modelos hidrodinâmicos 1D e 2D são também comuns nos periódicos voltados à hidrologia e à hidrologia urbana, dentre os quais, alguns que, inclusive, fazem uso de metodologias hidrológicas e hidrodinâmicas que vem ao encontro da proposta deste estudo.

Contudo, há incontáveis estudos de casos presentes na literatura consultada que poderiam dar apoio às discussões. Recentemente, pesquisas em hidrologia de interesse direto à modelagem hidrológica chuva-vazão e hidrodinâmica para fins de análise de inundação e planejamento foram desenvolvidos por Ferraz (1998), Knebl (2005), Brandão e Barros (2007); Nunes (2007), Barros, Mediondo e Wendland (2007), Markus et al. (2007), Meller e Paiva (2007), McColl e Aggett (2007), Merwade, Cook e Coonrod (2008), Chen, Hill e Urbano (2009), Ali et al. (2011), Qi e Altinakar (2011); Suriya e Mudgal (2012); Wijesekara et al. (2012).

Neste conjunto de autores, Knebl (2005), Nunes (2007), Barros, Mediondo e Wendland (2007) e Suriya e Mudgal (2012) são particularmente importantes devido à utilização em suas pesquisas de softwares de análise hidrológica como o HEC-HMS/RAS e CLiv, aplicando métodos de produção de tormentas padronizadas por meio de curvas IDF (blocos alternados e hidrograma de Clark), geração de hidrograma unitário de escoamento superficial considerando a chuva excedente produzida (pelo SCS *Curve Number*), *routing* da onda de cheia e mapeamento de áreas de inundação por modelos hidrodinâmicos (HEC-GeoRAS e CLiv).

2.3.7. Conceitos elementares de hidrologia e hidráulica fluvial

Com a preocupação de abranger os princípios básicos de hidrologia sobre os quais os modelos estão fundamentados, este subitem apresenta definições objetivas de aspectos do escoamento em canais abertos daquilo que se considerou minimamente necessário para compreensão de um processo de inundação.

Escoamento superficial: resistência ao escoamento e fluxos em canais.

O escoamento superficial é uma fase do ciclo hidrológico que corresponde à ocorrência, circulação e transporte da água na superfície. Seja em canais fluviais (na forma de descarga) ou nas vertentes e topos de morros (como *runoff*), a água em movimento na superfície está submetida, constantemente, a duas forças principais e universais:

- (1) a gravidade, a qual age na direção de jusante movimentando a água com uma aceleração $g \sin\beta$, em que, adota-se $g=9,81\text{m.s}^{-2}$, e β é a inclinação da rampa sobre a qual a água escoar, ou seja, é a decomposição da força peso no plano tangencial (considerando o peso específico da água como $\approx 1000\text{kg/m}^3$), cuja derivação é função da diferença entre o plano de escoamento e o plano horizontal, promovendo a aceleração do fluxo; e;
- (2) o atrito, de mesma direção, porém de sentido oposto à força peso, exercida pela superfície delimitante do escoamento, e que é função do tipo de superfície e de como esta gera tensão tangencial entre a água e a parede. Em um canal fluvial a fricção produzida pode gerar separação entre as camadas de água, e efeito de tensão de cisalhamento de uma sobre a sua adjacente acima (KNIGHTON, 1998).

Outros fatores de natureza, climática, geomorfológica ou relacionados a obras hidráulicas interferem no escoamento superficial, sua ocorrência e suas características. A duração e a intensidade das chuvas, e as precipitações predecessoras; a área, a forma (da rede de drenagem e da topografia da bacia) a capacidade de infiltração (que influi no tempo de concentração); ou ainda, a construção de reservatórios e a retificação ou canalização de córrego, são elementos que devem permear o entendimento do escoamento em superfície (MENDONÇA, 2009).

As bases teóricas da física que atualmente sustentam a modelação da resistência ao escoamento em canais foram postuladas por Chézy, Darcy e Reynolds no final do século XIX, sendo que, ao primeiro, são atribuídos os principais experimentos capazes de ilustrar as equações empíricas que ponderam a relação entre a força peso decomposta na horizontal e a resistência ao escoamento.

De acordo com Christofolletti (1981) a força peso da água pode ser obtida por: $F_a = AL\rho gS$; em que A, área da seção transversal; L, o comprimento do canal; S, a declividade; ρ , densidade da água; e g, gravidade.

Contudo, no sentido inverso ao realizado pela decomposta da força peso, a fricção, por sua vez, corresponde à relação $F_c = \tau LP$, na qual τ é resultante como força de cisalhamento por unidade de área, e pode ser derivada da expressão $\tau = \rho ghS$, onde h é a profundidade do canal (também correspondendo ao raio hidráulico, quando o rio é muito largo e os efeitos das margens são pouco expressivos).

Por fim, se A/P foi igual ao raio hidráulico, tem-se a seguinte possibilidade: $\tau = \rho gRS = \gamma RS$, nas quais γ é peso específico da água. Assim, a força de atrito por unidade de área é proporcional ao produto da profundidade média pela declividade, a qual se caracteriza como uma variável que, no contexto da resistência ao escoamento, representa a perda de carga do fluxo em direção à jusante por fricção. A resistência, portanto, é: igual a τ / V^2 .

Para superar a resistência o fluxo deve possuir uma velocidade crítica denominada de velocidade de atrito (ou de cisalhamento), que corresponde à $V_c = \sqrt{\tau RS}$. Neste contexto, devem-se considerar as equações de Chèzy-Manning como as relações numéricas mais antigas, clássicas e consolidadas da hidrodinâmica em canais, o que as tornam uma das sequências de resoluções numéricas mais exploradas pelos modelos hidrológicos.

Chèzy define a velocidade como proporcional a raiz quadrada do produto do raio hidráulico pela declividade, derivando a expressão $V = C/\sqrt{RS}$, na qual C é a constante de Chèzy. A fórmula de Manning, determinada por experimentações, é expressa pelo ajuste $V = R^{2/3} \cdot S^{1/2} / n$; em que n é o coeficiente de rugosidade de Manning, um dos parâmetros hidráulicos amplamente utilizados.

Os valores de n estão sistematizados em tabelas que propõem relações entre o tipo e a localização do canal e os valores mínimos, normais e máximos possíveis, que devem ser utilizados de acordo com a situação estudada.

Em canais abertos, os fluxos superficiais são tipicamente classificados em função das características do escoamento. Em geral são denominados de laminar ou turbulento, uniforme ou não-uniforme, estável ou instável, tranquilo ou agitado (QUADRO 13).

QUADRO 13 - Tipos de fluxos em canais abertos.

Tipos de fluxos	Critério
Uniforme/não uniforme (variado)	Velocidade é constante/variável em função da posição
Estável/não estável	Velocidade é constante/variável em função do tempo
Laminar/turbulento	Número de <i>Reynolds</i> ($Re = vR \rho / \mu$) é $<500 / >2500$, com definição de tipo transicional quando $500 < Re < 2500$
Tranquilo/agitado	Número de <i>Froude</i> ($F = v / \sqrt{gd}$) é $<1 / >1$, com fluxo crítico quando $F = 1$

V, velocidade; $R (=w.d/2d=w) \rightarrow d$ para dimensão do canal, relação hidráulica (raio hidráulico), w, comprimento; d, profundidade do fluxo; ρ , densidade da água (1000 kg.m^{-3}); μ , viscosidade molecular (apresenta variação de acordo com a temperatura do fluido); g, gravidade.

Fonte: KNIGHTON (1998).

De acordo com o material, a localização e a disposição das paredes e do assoalho fluvial, a velocidade do fluxo pode apresentar diferentes tipos de distribuição, tanto no sentido vertical, quanto da transversal e longitudinal. Quanto mais afastado das margens e do fundo, maior será a velocidade de um rio, e o contrário também é verdadeiro.

Em perfil, as velocidades tendem a ser maiores próximas à superfície e menores no contato com fundo, por vezes, sendo negativas, dada a ação de macrorugosidades. Comumente, acredita-se que a velocidade obtida a 0,6 da profundidade representa a média do fluxo, sendo satisfatório o valor médio obtido das profundidades de 0,8 e 0,2 (FIGURA17).

FIGURA 17 - Variação vertical típica da velocidade do fluxo em um canal.

Fonte: CHOW, 1959

Na transversal, as maiores velocidades localizam-se no centro (quando há) e um pouco abaixo do Na (Nível da Água), e as menores velocidades próximas ao fundo e às laterais. Todavia, essa distribuição só é simétrica em condutos artificiais e igualmente simétricos. Em todo caso, fluxos naturais não encontram tais condições, de maneira, que a distribuição das velocidades obedece à forma e à sinuosidade do canal. Nestes, a velocidade mais alta desloca-

se lateralmente do centro para a zona de maior profundidade, enquanto as maiores turbulências elevam-se nos trechos mais rasos (FIGURA 18).

FIGURA 18 - Perfis transversais esquemáticos da distribuição das velocidades (cm/s) do fluxo por isolinhas em diferentes conformações hipotéticas de seção transversal.

Fonte: CHOW (1959)

Fonte: Cartas topográficas 1:10.000 da Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano (EMPLASA). Folhas: Jardim São Miguel (SF-23-Y-D-IV-I-NO-B), 1996; Poá (SF-23-Y-D-IV-I-NE-A), 1996; São Miguel Paulista (SF-32-Y-D-I-3-SO-F), 1993; Itaquaquecetuba (SF-23-Y-D-I-3-SE-E), 1997. Imagem de Satélite de Alta Resolução WorldView-2, 2011, acervo de imagens do Laboratório de Geomorfologia, DG/FFLCH/USP.

Fonte: Cartas topográficas 1:10.000 da Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano (EMPLASA). Folhas: Jardim São Miguel (SF-23-Y-D-IV-I-NO-B), 1996; Poá (SF-23-Y-D-IV-I-NE-A), 1996; São Miguel Paulista (SF-32-Y-D-I-3-SO-F), 1993; Itaquaquecetuba (SF-23-Y-D-I-3-SE-E), 1997. Imagem de Satélite de Alta Resolução WorldView-2, acervo de imagens do Laboratório de Geomorfologia, DG/FFLCH/USP.

Fonte: Cartas topográficas 1:10.000 da Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano (EMPLASA). Folhas: Jardim São Miguel (SF-23-Y-D-IV-I-NO-B), 1996; Poá (SF-23-Y-D-IV-I-NE-A), 1996; São Miguel Paulista (SF-32-Y-D-I-3-SO-F), 1993; Itaquaquecetuba (SF-23-Y-D-I-3-SE-E), 1997. Fotografias aéreas 1:25.000 de 1962 produzidas pelo IAC (Instituto Agrônomo de Campinas) e disponibilizadas pelo AFA do Laboratório Aerofotografia e Sensoriamento Remoto, DG/FFLCH/USP.

APÊNDICE F

Seções transversais originalmente levantadas para o trecho de jusante do córrego Três Pontes (SP) e informações hidráulicas adicionais. Esquemas de retificação do conduto constantes no projeto executivo de construção do Dique de proteção do Jd. Fiorelo.

Localização das estacas das seções transversais levantadas.

Estaca 1					
Seção natural			Seção construída		
	X	Y		X	Y
ME	0.0	731.3	ME	0.0	733.0
	2.0	731.3		0.0	729.6
	2.5	730.6		0.4	729.2
	5.7	729.9		1.9	729.1
	12.4	729.9		8.1	729.1
	14.2	730.2		9.6	729.2
MD	14.2	731.5		10.0	729.6
			MD	10.0	733.0

Estaca 2					
Seção natural			Seção construída		
	X	Y		X	Y
ME	0.0	731.4	ME	0.0	733.0
	1.4	731.5		0.0	729.6
	2.4	730.5		0.4	729.2
	4.8	729.6		1.9	729.1
	7.1	729.5		8.1	729.1
	11.7	729.7		9.6	729.2
	12.2	730.1		10.0	729.6
MD	12.5	731.8	MD	10.0	733.0

Estaca 3					
Seção natural			Seção construída		
	X	Y		X	Y
ME	0.0	731.6	ME	0.0	733.0
	1.5	731.5		0.0	729.6
	2.5	730.4		0.4	729.2
	4.0	729.5		1.9	729.1
	6.2	729.3		8.1	729.1
	9.0	729.6		9.6	729.2
	10.4	730.1		10.0	729.6
	10.4	731.6	MD	10.0	733.0
MD	14.1	731.8

Estaca 4					
Seção natural			Seção construída		
	X	Y		X	Y
ME	0.0	731.7	ME	0.0	733.0
	0.9	731.6		0.0	729.6
	1.5	730.6		0.4	729.2
	2.7	729.7		1.9	729.1
	5.3	729.3		8.1	729.1
	9.8	729.7		9.6	729.2
	10.6	730.1		10.0	729.6
	10.6	730.7			
MD	15.9	731.3	MD	10.0	733.0

Estaca 5					
Seção natural			Seção construída		
	X	Y		X	Y
ME	0.0	731.7	ME	0.0	733.0
	0.8	731.7		0.0	729.6
	1.9	730.6		0.4	729.2
	3.2	729.7		1.9	729.1
	6.2	729.5		8.1	729.1
	10.9	729.7		9.6	729.2
	11.7	730.0		10.0	729.6
	11.7	731.8			
MD	12.1	731.9	MD	10.0	733.0

Estaca 6					
Seção natural			Seção construída		
	X	Y		X	Y
ME	0.0	731.9	ME	0.0	733.0
	1.2	731.9		0.0	729.6
	3.0	730.7		0.4	729.2
	5.1	729.7		1.9	729.1
	7.4	729.6		8.1	729.1
	12.5	730.0		9.6	729.2
MD	12.5	732.1		10.0	729.6
			MD	10.0	733.0

Estaca 7					
Seção natural			Seção construída		
	X	Y		X	Y
ME	0.0	732.0	ME	0.0	733.0
	2.1	732.1		0.0	729.6
	3.4	730.6		0.4	729.2
	5.2	729.6		1.9	729.1
	7.7	729.5		8.1	729.1
MD	12.7	729.6		9.6	729.2
	12.7	732.1		10.0	729.6
			MD	10.0	733.0

Estaca 8					
Seção natural			Seção construída		
	X	Y		X	Y
ME	0.0	732.1	ME	0.0	733.0
	1.0	732.1		0.0	729.6
	2.6	730.6		0.4	729.2
	7.0	730.3		1.9	729.1
	12.4	730.6		8.1	729.1
MD	12.4	732.0		9.6	729.2
	13.5	732.1		10.0	729.6
			MD	10.0	733.0

Estaca 9					
Seção natural			Seção construída		
	X	Y		X	Y
ME	0.0	731.9	ME	0.0	733.0
	0.1	731.9		0.0	730.1
	1.2	730.6		0.4	729.7
	4.1	730.6		1.9	729.6
	5.8	730.5		8.1	729.6
MD	8.7	730.7		9.6	729.7
	11.4	730.6		10.0	730.1
	11.5	732.2	MD	10.0	733.0
	13.2	732.19

Estaca 10					
Seção natural			Seção construída		
	X	Y		X	Y
ME	0.0	732.2	ME	0.0	733.0
	0.8	732.1		0.0	730.1
	2.1	730.6		0.4	729.7
	4.1	730.2		1.9	729.6
	7.5	729.9		8.1	729.6
	13.3	730.1		9.6	729.7
	13.3	732.3		10.0	730.1
MD	14.0	732.3	MD	10.0	733.0

Estaca 11					
Seção natural			Seção construída		
ME	X	Y		X	Y
	0.0	731.7	ME	0.0	733.0
	1.3	731.2		0.0	730.1
	1.7	730.6		0.4	729.7
	4.3	730.1		1.9	729.6
	7.5	729.9		8.1	729.6
	13.5	730.3		9.6	729.7
MD	13.5	732.1		10.0	730.1
			MD	10.0	733.0

Estaca 12					
Seção natural			Seção construída		
	X	Y		X	Y
ME	0.0	732.5	ME	0.0	733.0
	0.2	732.5		0.0	730.1
	1.1	729.8		0.4	729.7
	11.9	730.1		1.9	729.6
MD	14.0	732.0		8.1	729.6
				9.6	729.7
				10.0	730.1
				10.0	733.0
				10.0	733.0

Estaca 13					
Seção natural			Seção construída		
	X	Y		X	Y
ME	0.0	732.3	ME	0.0	733.0
	0.9	732.3		0.0	730.1
	1.5	730.5		0.4	729.7
	4.8	730.5		1.9	729.6
	8.3	730.6		8.1	729.6
	12.2	732.3		9.6	729.7
MD	14.0	732.6		10.0	730.1
			MD	10.0	733.0

Estaca 14					
Seção natural			Seção construída		
	X	Y		X	Y
ME	0.0	732.6	ME	0.0	733.0
	1.3	732.7		0.0	730.1
	1.6	730.6		0.4	729.7
	10.0	730.6		1.9	729.6
	10.0	731.9		8.1	729.6
				9.6	729.7
MD	13.0	732.2		10.0	730.1
			MD	10.0	733.0

Variação da declividade e cota de fundo - Seção natural típica			
Estaca/seção	Altitude do fundo	Desnível	Declividade
14	730.6		
13	730.5	0.1	0.0008
12	729.8	0.7	0.0072
11	729.9	-0.1	-0.001
10	729.9	0.0	-0.0002
9	730.5	-0.6	-0.006
8	730.3	0.2	0.0024
7	729.5	0.8	0.0079
6	729.6	-0.1	-0.0013
5	729.5	0.2	0.0017
4	729.3	0.2	0.0015
3	729.3	0.0	0
2	729.5	-0.2	-0.002
1	729.9	-0.4	-0.004
			0.000538462

Variação da declividade e cota de fundo - Seção projetada típica			
Estaca/Seção	Altitude do fundo	Desnível	Declividade
14	729.7		
13	729.7	0.0	0
12	729.7	0.0	0
11	729.6	0.1	0.001
10	729.6	0.0	0
9	729.6	0.0	0
8	729.1	0.5	0.005
7	729.1	0.0	0
6	729.1	0.0	0
5	729.1	0.0	0
4	729.1	0.0	0
3	729.1	0.0	0
2	729.1	0.0	0
1	729.1	0.0	0
			0.000461538

Apêndice G

Cenário de 1962 - Tempo de Retorno - 2 anos											
XS	Distância	Dist. Acum.	Q (m³/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit. W.S. (m)	E. G. Slope (m/m)	V Chnl (m/s)	Flow area (m²)	Top Width (m)	Froude XS
5537.55	34.72	34.72	2.91	758.84	760.35	759.24	0.00016	0.30	14.98	28.80	0.08
5502.83	37.42	72.14	2.91	759.25	760.34		0.00057	0.45	11.87	30.00	0.15
5465.42	47.73	119.87	2.91	759.45	760.32		0.00070	0.43	14.21	42.61	0.16
5417.69	45.05	164.92	2.91	759.36	760.30		0.00033	0.31	21.66	68.76	0.11
5372.63	31.80	196.72	2.91	759.40	760.28		0.00061	0.40	16.40	56.01	0.15
5340.83	32.83	229.55	2.91	759.36	760.25		0.00060	0.40	16.58	59.85	0.15
5308.00	27.64	257.19	2.91	759.36	760.23		0.00068	0.42	16.85	68.03	0.16
5280.36	18.48	275.67	3.19	759.13	759.68	759.65	0.00019	2.07	1.54	3.53	1.00
5261.87	22.55	298.22	3.19	757.45	757.71	757.91	0.28007	4.00	0.80	3.93	0.83
5239.33	26.75	324.97	3.19	756.31	756.92	756.92	0.03080	2.13	1.51	4.32	2.98
5212.58	25.45	350.42	3.19	755.27	755.65	755.74	0.06652	2.53	1.26	4.06	1.45
5187.12	23.26	373.68	3.19	754.76	755.73	755.21	0.00201	0.78	4.10	4.93	0.27
5163.86	26.66	400.34	3.19	754.89	755.40	755.40	0.03104	2.10	1.52	3.43	1.00
5137.20	30.95	431.29	3.19	753.92	755.43	754.30	0.00021	0.34	9.55	8.76	0.09
5106.26	29.59	460.88	3.19	754.33	755.39		0.00184	0.77	4.60	10.31	0.26
5076.67	26.76	487.64	3.19	754.10	755.37		0.00061	0.52	8.67	18.31	0.16
5049.91	32.47	520.11	3.19	754.18	755.36		0.00042	0.41	15.08	38.71	0.13
5017.44	31.22	551.33	3.19	754.41	755.34		0.00047	0.37	15.25	48.21	0.13
4986.22	22.43	573.76	3.19	754.15	755.32		0.00036	0.37	16.06	43.92	0.12
4963.79	21.94	595.70	3.19	754.26	755.31		0.00050	0.41	15.89	48.14	0.14
4941.85	25.77	621.47	3.19	754.11	755.30		0.00030	0.35	19.20	58.50	0.11
4916.08	35.11	656.58	3.19	754.33	755.30		0.00043	0.36	20.35	68.80	0.13
4880.97	44.36	700.94	3.19	754.21	755.29		0.00027	0.30	25.35	88.77	0.10
4836.61	21.32	722.26	3.19	753.64	755.28		0.00006	0.19	37.43	109.77	0.05
4815.29	18.04	740.30	3.19	753.93	755.28		0.00009	0.20	39.42	127.88	0.06
4797.25	16.10	756.40	3.19	753.73	755.27		0.00006	0.18	42.24	132.30	0.05
4781.15	23.37	779.77	3.19	753.53	755.27		0.00004	0.16	42.90	126.79	0.04
4757.78	25.27	805.04	3.19	753.79	755.27		0.00007	0.19	39.92	127.16	0.04
4732.52	22.73	827.77	3.19	753.50	755.27		0.00004	0.16	43.91	130.47	0.04
4709.79	20.73	848.50	3.19	754.19	755.27		0.00014	0.22	35.81	127.65	0.07
4689.06	23.01	871.51	3.19	753.12	755.27		0.00002	0.13	49.48	134.11	0.03
4666.05	28.60	900.11	3.19	753.86	755.27		0.00007	0.18	43.64	147.25	0.05
4637.45	14.72	914.83	6.72	753.90	755.25		0.00035	0.40	42.00	151.16	0.12
4622.73	22.07	936.90	6.72	753.64	755.24		0.00023	0.36	45.04	155.87	0.10
4600.66	15.20	952.10	6.72	753.00	755.24		0.00007	0.25	56.41	167.83	0.06
4585.46	13.80	965.90	6.72	753.73	755.23		0.00028	0.38	45.99	172.88	0.11
4571.67	15.85	981.75	6.72	754.05	755.23		0.00058	0.47	37.25	152.68	0.15
4555.82	16.03	997.78	6.72	753.71	755.22		0.00034	0.42	39.26	150.21	0.12
4539.79	19.73	1017.51	6.72	753.12	755.19		0.00094	0.56	31.84	151.44	0.19
4520.05	21.17	1038.68	6.72	753.70	755.17		0.00045	0.47	34.73	158.09	0.14
4498.89	25.51	1064.19	6.72	753.67	755.16		0.00046	0.48	33.18	158.33	0.14
4473.38	18.34	1082.53	6.72	753.07	755.16		0.00012	0.31	41.66	159.95	0.08
4455.04	22.17	1104.70	6.72	753.11	755.16		0.00014	0.33	38.98	153.05	0.08
4432.87	19.16	1123.86	6.72	753.79	755.14		0.00075	0.57	28.98	160.35	0.18
4413.71	20.55	1144.41	6.72	753.62	755.10		0.00071	0.59	24.64	162.63	0.17
4393.16	16.59	1161.00	6.72	753.43	755.09		0.00048	0.52	23.77	148.46	0.14
4376.57	20.43	1181.43	6.72	753.24	755.09		0.00030	0.44	24.75	135.85	0.12
4356.14	17.00	1198.43	6.72	753.41	755.07		0.00050	0.53	22.26	166.90	0.15
4339.14	20.93	1219.36	6.72	753.45	755.06		0.00061	0.57	20.05	163.75	0.16
4318.21	16.24	1235.60	6.72	753.89	754.95		0.00507	1.33	5.77	25.05	0.44
4301.97	15.26	1250.86	6.72	753.90	754.57	754.57	0.02849	2.39	2.82	4.96	1.01
4286.72	15.94	1266.80	6.72	753.60	754.13	754.21	0.03239	2.23	3.91	22.31	1.08
4270.78	19.00	1285.80	6.72	752.07	752.43	752.66	0.18506	4.08	1.65	5.78	2.44
4251.78	22.05	1307.85	6.72	751.71	752.32	752.32	0.02764	2.25	2.99	5.93	1.01
4229.74	19.62	1327.47	6.72	750.97	751.49	751.56	0.04361	2.54	2.65	6.30	1.25
4210.11	27.29	1354.76	6.72	750.45	751.03	751.03	0.02752	2.18	3.09	6.48	1.01
4182.82	27.01	1381.77	6.72	747.77	750.98	748.20	0.00001	0.14	48.11	17.25	0.03
4155.81	29.89	1411.66	9.00	749.69	750.60	750.60	0.02685	2.61	3.48	6.67	0.98
4125.91	25.90	1437.56	9.00	748.50	750.41	749.18	0.00045	0.57	25.71	52.30	0.14
4100.01	18.15	1455.71	9.00	748.23	750.41		0.00018	0.39	42.27	79.89	0.09
4081.86	17.88	1473.59	9.00	748.46	750.40		0.00019	0.38	53.01	113.76	0.10
4063.98	18.41	1492.00	9.00	748.60	750.40		0.00022	0.36	55.86	124.32	0.10
4045.57	16.89	1508.89	9.00	748.21	750.39		0.00011	0.31	64.05	133.42	0.07
4028.69	17.99	1526.88	9.00	748.25	750.39		0.00011	0.30	71.33	153.58	0.07
4010.70	16.29	1543.17	9.00	748.14	750.39		0.00008	0.27	78.45	167.63	0.06
3994.41	15.54	1558.71	9.00	748.28	750.39		0.00009	0.27	85.43	197.27	0.07
3978.86	19.10	1577.81	9.00	748.29	750.39		0.00008	0.25	96.14	223.12	0.06
3959.76	13.63	1591.44	9.00	748.61	750.39		0.00008	0.23	112.95	274.00	0.06
3946.13	15.19	1606.63	9.00	748.83	750.38		0.00012	0.25	98.12	243.56	0.07
3930.94	12.33	1618.96	9.00	748.25	750.38		0.00008	0.25	92.78	213.22	0.06
3918.61	19.54	1638.50	9.00	747.92	750.38		0.00006	0.24	91.43	196.35	0.05
3899.07	34.86	1673.36	9.00	748.39	750.37		0.00011	0.29	79.92	187.02	0.07
3864.22	39.11	1712.47	9.00	748.10	750.37		0.00009	0.28	77.12	170.33	0.06
3825.11	242.26	1954.73	9.00	748.16	750.36		0.00010	0.29	74.70	168.39	0.07
3808.59	26.45	1981.18	9.00	748.37	750.31		0.00018	0.36	62.44	166.56	0.09
3782.14	41.72	2022.90	9.00	747.61	750.31		0.00004	0.22	99.22	180.88	0.05
3740.42	19.99	2042.89	9.00	746.93	750.31		0.00000	0.08	263.10	214.91	0.01
3720.43	29.82	2072.71	9.00	746.43	750.31		0.00000	0.06	361.21	283.36	0.01
3690.61	32.63	2105.34	9.00	745.38	750.31		0.00000	0.05	455.44	360.60	0.01
3657.98	22.34	2127.68	9.00	746.46	750.31		0.00000	0.08	359.15	457.37	0.01
3635.64	21.74	2149.42	9.00	745.99	750.31		0.00000	0.09	322.93	499.55	0.01
3613.90	13.05	2162.47	9.00	746.99	750.31		0.00001	0.14	200.06	347.37	0.03
3600.85	1311.58	3474.05	9.00	747.51	750.31		0.00003	0.18	165.86	410.94	0.04
3582.82	37.06	3511.11	9.00	748.17	750.24		0.00009	0.27	116.49	404.71	0.07
3545.76	59.32	3570.43	9.00	748.55	750.23		0.00021	0.35	81.71	319.47	0.10
3486.44	68.91	3637.34	9.19	748.18	750.21		0.00019	0.37	64.74	244.77	0.09
3419.54	52.95	3690.30	9.19	747.96	750.20		0.00016	0.37	62.27	177.63	0.08
3366.59	58.33	3748.63	10.92	748.65	750.16	749.45	0.00132	0.82	34.22	169.77	0.24
3308.26	38.17	3786.80	10.92	748.74	749.70	749.56	0.01514	2.20	4.95	5.96	0.77
3270.09	42.66	3829.46	10.92	748.19	749.70		0.00162	0.96	11.32	8.63	0.27
3227.43	40.39	3869.85	10.92	748.47	749.25	749.23	0.02329	2.43	4.50	6.89	0.96
3187.04	52.83	3922.68	10.92	747.63	748.48		0.01739	2.21	4.94	6.92	0.83
3134.20	62.00	3984.68	10.92	746.38	747.23	747.23	0.02642	2.69	4.06	5.58	1.01
3072.20	36.28	4020.96	10.92	743.96	745.25	744.68	0.00317	1.22	8.94	8.10	0.37
3035.92	53.18	4074.14	10.92	743.29	745.25		0.00059	0.66	25.15	57.34	0.17
2982.74	56.41	4130.55	10.92	743.61	745.17		0.00018	0.60	17.80	60.02	0.29
2926.34	43.35	4173.90	10.92	743.11	745.14		0.00049	0.61	27.00	84.98	0.15

Cenário de 2011 - Tempo de Retorno - 2 anos											
XS	Distância	Dist. Acum.	Q (m³/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit. W.S. (m)	E. G. Slope (m/m)	V Chnl (m/s)	Flow area (m²)	Top Width (m)	Froude XS
5537.55	34.72	34.72	12.81	758.84	760.69	759.78	0.00	0.50	25.47	33.41	0.13
5502.83	37.42	72.14	12.81	759.25	760.66		0.00	0.67	22.20	34.20	0.19
5465.42	47.73	119.87	12.81	759.45	760.64		0.00	0.46	28.71	46.75	0.14
5417.69	45.05	164.92	12.81	757.69	760.63		0.00	0.31	45.25	72.52	0.09
5372.63	31.80	196.72	12.81	759.40	760.61		0.00	0.43	35.97	60.58	0.13
5340.83	32.83	229.55	12.81	759.85	760.60		0.00	0.46	38.04	64.65	0.14
5308.00	27.64	257.19	12.81	759.36	760.58		0.00	0.50	41.67	72.41	0.15
5280.36	18.48	275.67	11.70	759.13	760.12	760.12	0.01	1.65	14.50	83.12	0.58
5261.87	22.55	298.22	11.70	757.45	758.02	758.61	0.19	5.53	2.11	4.34	2.53
5239.33	26.75	324.97	11.70	756.31	757.20	757.34	0.04	3.18	4.35	15.84	1.16
5212.58	25.45	350.42	11.70	755.27	756.25	756.43	0.03	2.98	4.01	7.84	1.07
5187.12	23.26	373.68	11.70	754.76	756.30	755.76	0.00	1.24	11.64	21.38	0.34
5163.86	26.66	400.34	11.70	754.89	756.03	756.03	0.01	2.17	6.58	16.68	0.7
5137.20	30.95	431.29	11.70	753.92	755.89	754.72	0.00	0.81	16.59	21.61	0.2
5106.26	29.59	460.88	11.70	754.33	755.72		0.01	1.78	9.57	19.69	0.52
5076.67	26.76	487.64	11.70	754.10	755.65		0.00	1.28	14.63	24.64	0.35
5049.91	32.47	520.11	11.70	754.18	755.62		0.00	0.88	25.91	45.19	0.25
5017.44	31.22	551.33	11.70	754.41	755.59		0.00	0.42	28.79	59.79	0.13
4986.22	22.43	573.76	11.70	754.15	755.56		0.00	0.61	27.30	49.68	0.18
4963.79	21.94	595.70	11.70	754.26	755.52		0.00	0.76	26.82	54.45	0.23
4941.85	25.77	621.47	11.70	754.11	755.50		0.00	0.67	31.56	64.89	0.2
4916.08	35.11	656.58	11.70	754.33	755.48		0.00	0.69	33.96	79.75	0.22
4880.97	44.36	700.94	11.70	754.21	755.45		0.00	0.61	40.79	101.76	0.19
4836.61	21.32	722.26	11.70	753.64	755.44		0.00	0.26	55.36	115.05	0.07
4815.29	18.04	740.30	11.70	753.93	755.44		0.00	0.23	59.86	132.18	0.07
4797.25	16.10	756.40	11.70	753.73	755.43		0.00	0.23	62.81	136.92	0.06
4781.15	23.37	779.77	11.70	753.53	755.43		0.00	0.25	62.43	131.31	0.06
4757.78	26.27	806.04	11.70	753.59	755.42		0.00	0.24	59.19	131.37	0.07
4732.52	22.73	827.77	11.70	753.50	755.42		0.00	0.24	63.36	134.64	0.06
4709.79	20.73	848.50	11.70	754.19	755.41		0.00	0.23	54.50	132.45	0.07
4689.06	23.01	871.51	11.70	753.12	755.41		0.00	0.22	69.09	139.51	0.05
4666.05	28.60	900.11	11.70	753.86	755.41		0.00	0.20	65.00	151.64	0.05
4637.45	14.72	914.83	19.61	753.90	755.39		0.00	0.34	63.85	155.21	0.1
4622.73	22.07	936.90	19.61	753.64	755.39		0.00	0.34	67.81	160.06	0.09
4600.66	15.20	952.10	19.61	753.20	755.38		0.00	0.33	80.05	171.61	0.07
4585.46	13.80	965.90	19.61	753.73	755.37		0.00	0.33	70.29	179.27	0.09
4571.67	15.85	981.75	19.61	754.05	755.37		0.00	0.36	59.45	165.12	0.11
4555.82	16.03	997.78	19.61	753.71	755.36		0.00	0.38	60.92	153.46	0.1
4539.79	19.73	1017.51	19.61	754.12	755.34		0.00	0.37	55.04	154.97	0.12
4520.05	21.17	1038.68	19.61	753.70	755.33		0.00	0.40	60.24	161.43	0.11
4498.89	25.51	1064.19	19.61	753.67	755.33		0.00	0.41	59.42	162.31	0.11
4473.38	18.34	1082.53	19.61	753.07	755.32		0.00	0.40	67.79	163.69	0.09
4455.04	22.17	1104.70	19.61	753.12	755.32		0.00	0.42	63.73	166.22	0.1
4432.87	19.16	1123.86	19.61	753.79	755.30		0.00	0.44	54.68	162.97	0.13
4413.71	20.55	1144.41	19.61	753.62	755.25		0.00	0.55	49.00	164.50	0.15
4393.16	16.59	1161.00	19.61	753.43	755.23		0.00	0.64	44.05	150.64	0.17
4376.57	20.43	1181.43	19.61	753.24	755.21		0.00	0.67	41.88	137.85	0.17
4356.14	17.00	1198.43	19.61	753.41	755.19		0.00	0.71	41.45	160.72	0.19
4339.14	20.93	1219.36	19.61	753.45	755.17		0.00	0.79	38.54	167.78	0.21
4318.21	16.34	1235.60	19.61	753.89	755.09	755.09	0.01	1.37	24.41	188.42	0.45
4301.97	15.26	1250.86	19.61	753.90	754.96	754.89	0.01	1.93	14.83	98.49	0.88
4286.72	15.94	1266.80	19.61	753.60	754.27	754.38	0.04	2.77	7.92	35.75	1.18
4270.78	19.00	1285.80	19.61	752.07	752.92	753.17	0.06	4.20	4.67	6.46	1.58
4251.78	22.05	1307.85	19.61	751.71	752.85	752.85	0.03	3.13	6.27	6.35	1.01
4229.74	19.62	1327.47	19.61	750.97	751.89	752.06	0.05	3.74	5.24	6.72	1.35
4210.11	27.29	1354.76	19.61	750.45	751.53	751.53	0.02	3.04	6.46	6.95	-1
4182.82	27.01	1381.77	19.61	747.77	751.19	748.52	0.00	0.38	51.95	17.37	0.07
4155.81	29.85	1411.62	22.86	749.68	749.68	751.02	0.01	0.13	44.07	44.07	0.04
4125.91	25.90	1437.56	22.86	748.50	750.67	749.68	0.00	0.64	41.47	67.63	0.15
4100.01	18.15	1455.71	22.86	748.23	750.67		0.00	0.40	64.39	91.33	0.09
4081.86	17.88	1473.59	22.86	748.46	750.67		0.00	0.29	84.09	125.77	0.07
4063.98	18.41	1492.00	22.86	748.60	750.66		0.00	0.24	89.44	130.36	0.06
4045.57	16.89	1508.89	22.86	748.21	750.66		0.00	0.25	100.41	140.16	0.05
4028.69	17.99	1526.88	22.86	748.25	750.66		0.00	0.22	113.07	159.22	0.05
4010.70	16.29	1543.17	22.86	748.14	750.66		0.00	0.20	124.25	174.47	0.04
3994.41	15.54	1558.71	22.86	748.28	750.66		0.00	0.18	140.20	209.44	0.04
3978.86	19.10	1577.81	22.86	748.29	750.66		0.00	0.16	158.92	251.62	0.04
3959.76	13.63	1591.44	22.86	748.61	750.66		0.00	0.12	187.61	277.57	0.03
3946.13	15.19	1606.63	22.86	748.83	750.66		0.00	0.13	165.40	251.45	0.03
3930.94	12.33	1618.96	22.86	748.25	750.65		0.00	0.16	152.03	217.76	0.04
3918.61	19.54	1638.50	22.86	747.92	750.65		0.00	0.18	146.13	200.13	0.04
3899.07	34.95	1673.36	22.86	748.39	750.65		0.00	0.18	132.29	180.26	0.04
3884.22	39.11	1712.47	22.86	748.10	750.65		0.00	0.34	124.88	174.27	0.08
3825.11	242.26	1954.73	22.86	748.16	750.64		0.00	0.32	121.92	173.06	0.07
3808.59	26.45	1981.18	22.86	748.37	750.57		0.00	0.20	106.63	173.03	0.05
3782.14	41.72	2022.90	22.86	747.61	750.57		0.00	0.17	146.54	185.59	0.03
3740.42	19.99	2042.89	22.86	746.93	750.56		0.00	0.09	318.34	221.77	0.02
3720.43	29.82	2072.71	22.86	746.43	750.56		0.00	0.07	434.20	294.50	0.01
3690.61	32.63	2105.34	22.86	745.38	750.56		0.00	0.05	547.90	371.62	0.01
3657.98	22.34	2127.68	22.86	746.46	750.56		0.00	0.15	476.57	471.46	0.02
3635.64	21.74	2149.42	22.86	745.99	750.56		0.00	0.16	449.59	505.29	0.02
3613.90	13.05	2162.47	22.86	746.99	750.56		0.00	0.13	289.80	365.07	0.02
3600.85	1311.58	3474.05	22.86	747.51	750.56		0.00	0.15	271.12	423.88	0.03
3582.82	37.06	3511.11	22.86	748.17	750.42		0.00	0.39	189.13	408.37	0.09
3545.76	59.32	3570.43	22.86	748.55	750.41		0.00	0.21	140.42	322.76	0.05
3486.44	66.91	3637.34	30.44	748.18	750.40		0.00	0.41	111.18	247.37	0.1
3419.54	52.95	3690.29	30.44	747.96	750.38		0.00	0.35	104.43	180.20	0.04
3366.59	58.33	3748.63	33.55	748.65	750.34		0.00	0.79	65.05	172.32	0.21
3308.26	38.17	3786.80	33.55	748.74	750.24		0.00	0.77	60.51	223.75	0.22
3270.09	42.66	3829.46	33.55	748.19	750.22		0.00	0.61	89.80	350.78	0.15
3227.43	40.39	3869.85	33.55	748.47	750.15	750.12	0.00	1.14	51.16	282.06	0.31
3187.04	52.83	3922.68	33.55	747.63	749.10	749.10	0.02	3.56	9.41	7.35	1.01
3134.20	62.00	3984.68	33.55	746.38	747.74	748.05	0.04	4.18	8.29	19.82	1.35
3072.20	36.28	4020.96	33.55	743.96	745.13	745.35	0.00	1.45	8.02	8.01	1.33
3035.92	53.15	4074.14	33.55	743.29	745.68	744.68	0.00	0.70	12.93	75.04	0.16
2982.74	56.41	4130.55	33.55	743.61	745.64		0.00	0.70	50.09	75.04	0.17
2926.34	43.35	4173.90	33.55	743.11	745.63		0.00	0.52	71.60	96.01	0.11
2882.98	59.71	4233.61	33.55	743.47	745.62		0.00	0.44	79.3		

Cenário de 1962 - Tempo de Retorno - 5 anos										
	XS	Q (m³/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit. W.S. (m)	E. G. Slope (m/m)	V Chnl (m/s)	Flow area (m²)	Top Width (m)	Froude XS
	5537.55	5.34	758.84	760.53	759.41	0.000274	0.42	20.48	31.3	0.11
	5502.83	5.34	759.25	760.52		0.000708	0.56	17.43	32.33	0.17
	5465.42	5.34	759.45	760.5		0.000653	0.48	22.02	44.89	0.16
	5417.69	5.34	759.36	760.48		0.000281	0.33	34.34	70.81	0.11
	5372.63	5.34	759.4	760.46		0.000475	0.41	27.02	58.53	0.14
	5340.83	5.34	759.36	760.44		0.000437	0.4	28.25	62.5	0.13
	5308.00	5.34	759.36	760.43		0.000397	0.37	30.7	70.51	0.12
	5280.36	6.07	759.13	760.07	760.07	0.007206	1.42	10.03	82.27	0.51
	5261.87	6.07	757.45	757.77	758.12	0.464592	5.91	1.03	1.07	3.76
	5239.33	6.07	756.31	757.12	757.22	0.028887	2.6	3.17	12.43	1.01
	5212.58	6.07	755.27	755.81	755.95	0.063272	3.12	1.94	4.23	1.47
	5187.12	6.07	754.76	756.07	755.42	0.002128	0.97	7.56	15.05	0.3
	5163.86	6.07	754.89	755.68	755.68	0.027269	2.41	2.57	5.84	0.97
	5137.20	6.07	753.92	755.66	754.47	0.000429	0.53	12.3	15.13	0.14
	5106.26	6.07	754.33	755.58		0.002927	1.12	7.15	15.83	0.35
	5076.67	6.07	754.1	755.56		0.001052	0.75	12.49	22.57	0.21
	5049.91	6.07	754.18	755.54		0.000554	0.52	22.67	43.33	0.15
	5017.44	6.07	754.41	755.53		0.000456	0.42	24.87	56.76	0.13
	4986.22	6.07	754.15	755.5		0.00044	0.46	24.34	48.24	0.14
	4963.79	6.07	754.26	755.49		0.000555	0.49	24.87	53.37	0.15
	4941.85	6.07	754.11	755.48		0.000351	0.42	30	64.12	0.12
	4916.08	6.07	754.33	755.47		0.0004	0.39	33.28	79.15	0.13
	4880.97	6.07	754.21	755.46		0.000245	0.33	42.32	102.98	0.1
	4836.61	6.07	753.64	755.46		0.00008	0.24	57.26	115.6	0.06
	4815.29	6.07	753.93	755.45		0.000088	0.22	62.28	132.7	0.06
	4797.25	6.07	753.73	755.45		0.000068	0.21	65.77	137.58	0.06
	4781.15	6.07	753.53	755.45		0.000057	0.2	65.39	131.98	0.05
	4757.78	6.07	753.79	755.45		0.000079	0.22	62.38	131.98	0.06
	4732.52	6.07	753.5	755.44		0.000055	0.2	66.84	136.37	0.05
	4709.79	6.07	754.19	755.44		0.000121	0.23	58.28	133.4	0.07
	4689.06	6.07	753.12	755.44		0.000034	0.18	73.03	140.57	0.04
	4666.05	6.07	753.86	755.44		0.00007	0.2	69.36	152.52	0.06
	4637.45	11.75	753.9	755.42		0.00028	0.39	68.51	156.06	0.11
	4622.73	11.75	753.64	755.42		0.000216	0.38	72.39	160.9	0.1
	4600.66	11.75	753	755.41		0.000097	0.31	85.3	172.44	0.07
	4585.46	11.75	753.73	755.4		0.000232	0.38	76.08	180.52	0.1
	4571.67	11.75	754.05	755.4		0.000382	0.43	64.88	167.47	0.13
	4555.82	11.75	753.71	755.39		0.000284	0.42	65.67	154.17	0.11
	4539.79	11.75	754.12	755.37		0.000478	0.45	59.46	155.64	0.14
	4520.05	11.75	753.7	755.36		0.000305	0.43	64.35	161.96	0.12
	4498.89	11.75	753.67	755.35		0.000311	0.44	63.49	162.92	0.12
	4473.38	11.75	753.07	755.35		0.00014	0.35	71.91	164.27	0.08
	4455.04	11.75	753.11	755.34		0.000158	0.37	67.85	156.74	0.09
	4432.87	11.75	753.79	755.33		0.000394	0.46	59.99	163.51	0.13
	4413.71	11.75	753.62	755.3		0.000393	0.49	57.15	165.2	0.13
	4393.16	11.75	753.43	755.29		0.000366	0.5	53.34	151.63	0.13
	4376.57	11.75	753.24	755.28		0.000393	0.48	51.52	138.96	0.12
	4356.14	11.75	753.41	755.27		0.000358	0.5	54.27	163.32	0.13
	4339.14	11.75	753.45	755.27		0.000382	0.5	54.34	171.2	0.13
	4318.21	11.75	753.89	754.95	754.81	0.015628	2.33	5.73	24.6	0.77
	4301.97	11.75	753.9	754.88	754.88	0.008604	1.63	16.19	103.95	0.57
	4286.72	11.75	753.6	754.17	754.32	0.061109	3.23	5.07	27.28	1.5
	4270.78	11.75	752.07	752.65	752.89	0.089056	3.93	2.99	6.2	1.81
	4251.78	11.75	751.71	752.55	752.55	0.025973	2.67	4.4	6.14	1.01
	4229.74	11.75	750.97	751.66	751.78	0.045387	3.13	3.75	6.51	1.32
	4210.11	11.75	750.45	751.25	751.25	0.025829	2.6	4.53	6.72	1.01
	4182.82	11.75	751.21	751.21	748.34	0.000331	2.2	51.98	17.38	0.04
	4155.81	15.56	749.69	751	751	0.010731	2.23	13.01	41.96	0.67
	4125.91	15.56	748.5	750.63	749.44	0.00065	0.75	38.37	65.61	0.18
	4100.01	15.56	748.23	750.62		0.00026	0.51	60.09	89.02	0.11
	4081.86	15.56	748.46	750.61		0.000233	0.45	77.82	123.43	0.11
	4063.98	15.56	748.6	750.6		0.000236	0.41	82.17	129.08	0.11
	4045.57	15.56	748.21	750.6		0.000146	0.38	92.08	138.63	0.09
	4028.69	15.56	748.25	750.6		0.000128	0.35	103.37	157.93	0.08
	4010.70	15.56	748.14	750.6		0.000103	0.32	113.43	172.82	0.07
	3994.41	15.56	748.28	750.59		0.0001	0.31	126.98	206.78	0.07
	3978.86	15.56	748.29	750.59		0.000087	0.29	142.85	246.13	0.07
	3959.76	15.56	748.61	750.59		0.00007	0.24	169.44	276.7	0.06
	3946.13	15.56	748.83	750.59		0.000099	0.26	148.71	249.43	0.07
	3930.94	15.56	748.25	750.58		0.000085	0.29	136.84	216.61	0.07
	3918.61	15.56	747.92	750.58		0.000071	0.28	131.73	199.15	0.06
	3899.07	15.56	748.39	750.58		0.000118	0.32	118.07	189.38	0.08
	3864.22	15.56	748.1	750.57		0.000105	0.33	111.71	173.19	0.07
	3825.11	15.56	748.16	750.57		0.000116	0.34	108.8	171.77	0.08
	3808.59	15.56	748.37	750.49		0.000199	0.41	93.25	171.13	0.1
	3782.14	15.56	747.61	750.49		0.000063	0.29	132.2	184.18	0.06
	3740.42	15.56	746.93	750.49		0.00008	0.12	302.11	219.78	0.02
	3720.43	15.56	746.43	750.49		0.000004	0.09	412.77	291.36	0.02
	3690.61	15.56	745.38	750.49		0.000002	0.08	520.84	368.42	0.01
	3657.98	15.56	746.46	750.49		0.000005	0.11	442.11	468.12	0.02
	3635.64	15.56	745.99	750.49		0.000006	0.12	412.81	503.63	0.02
	3613.90	15.56	746.99	750.49		0.000018	0.18	263.32	359.66	0.03
	3600.85	15.56	747.51	750.49		0.000031	0.21	240.4	420.53	0.04
	3582.82	15.56	748.17	750.42		0.000074	0.27	188.16	408.32	0.06
	3545.76	15.56	748.55	750.41		0.000151	0.33	138.86	322.67	0.08
	3486.44	15.88	748.18	750.39		0.000181	0.4	108.57	247.23	0.09
	3419.54	15.88	747.96	750.37		0.000204	0.45	83.53	180.13	0.1
	3366.59	18.86	748.65	750.34		0.00091	0.75	66.08	172.4	0.2
	3308.26	18.86	748.74	750.19		0.002751	1.16	48.48	222.63	0.34
	3270.09	18.86	748.19	750.12		0.001273	0.94	54.73	347.37	0.24
	3227.43	18.86	748.47	749.53	749.52	0.023329	2.93	6.44	7.12	0.98
	3187.04	18.86	747.63	748.8		0.016681	2.62	7.19	7.17	0.84
	3134.20	18.86	746.38	747.6	747.6	0.024987	3.05	6.22	8.66	0.99
	3072.20	18.86	743.96	745.47	744.95	0.005402	1.75	10.78	8.24	0.49
	3035.92	18.86	743.29	745.51		0.00073	0.81	41.67	68.69	0.19
	2992.74	18.86	743.61	745.44		0.001587	1.04	10.57	68.56	0.27
	2926.34	18.86	743.11	745.4		0.000547	0.71	50.13	90.85	0.16
	2882.98	18.86	743.47	745.36		0.001006	0.85	49.7	112.89	0.22
	2823.27	18.86	743.41	745.29		0.000988	0.83	54.61	150.71	0.21
	2768.61	18.86	743.53	745.18		0.002484	1.2	38.61	160.86	0.33
	2710.78	19.67	743.01	745.07	743.95	0.001514	1.07	27.63	158.62	0.27
	2652.43	19.67	743.36	744.65		0.011051	2.28	8.64	7.77	0.69
	2610.37	19.67	742.71	743.77	743.77	0.024416	3.01	6.54	7.21	1.01
	2557.67	19.67	739.92	740.63	740.98	0.104501	4.83	4.07	6.94	2.01
	2501.18	19.67	737.97	740.85	739.22	0.000443	0.79	45.85	50.36	0.16
	2417.83	19.67	738.53	740.83		0.00029	0.53	78.98	102.37	0.12
	2333.61	19.67	738.4	740.81		0.000128	0.36	119.46	142	0.08
	2289.21	19.67	738.03	740.6		0.000179	0.44	96.94	134.63	0.1
	2248.77	19.67	737.86	740.4		0.000148	0.41	109.84	129.87	0.09
	2202.69	20.3	738.01	740.38		0.000213	0.47	99.08	133.24	0.1
	2154.32	20.3	738.62	740.33		0.001436	0.95	52.37	136.59	0.25
	2093.86	20.3	738.12	740.27		0.000871	0.85	49.77	132.67	0.2
	2032.61	20.3	738.24	740.18		0				

Cenário de 2011 - Tempo de Retorno - 5 anos										
	XS	Q (m³/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit. W.S. (m)	E. G. Slope (m/m)	V Chnl (m/s)	Flow area (m²)	Top Width (m)	Froude XS
	5537.55	17.41	758.84	760.82	760.18	0.00	0.56	29.94	35.18	0.13
	5502.83	17.41	759.25	760.79		0.00	0.74	26.60	35.84	0.2
	5465.42	17.41	759.45	760.77		0.00	0.50	34.73	48.36	0.15
	5417.69	17.41	759.36	760.76		0.00	0.33	54.63	73.96	0.09
	5372.63	17.41	759.40	760.74		0.00	0.47	43.74	62.3	0.14
	5340.83	17.41	759.36	760.73		0.00	0.49	46.35	66.42	0.14
	5308.00	17.41	759.36	760.71		0.00	0.53	51.00	73.99	0.16
	5280.36	17.67	759.13	760.17	760.17	0.01	1.90	18.46	83.88	0.65
	5261.87	17.67	757.45	758.33	758.80	0.10	5.08	3.48	4.56	1.86
	5239.33	17.67	756.31	757.26	757.45	0.05	3.90	5.35	18.24	1.37
	5212.58	17.67	755.27	756.48	756.63	0.02	3.10	6.79	17.07	0.98
	5187.12	17.67	754.76	756.46	756.13	0.00	1.43	15.55	26.03	0.38
	5163.86	17.67	754.89	756.18	756.18	0.01	2.36	9.33	21.11	0.71
	5137.20	17.67	753.92	756.11	754.93	0.00	0.97	22.01	27.69	0.22
	5106.26	17.67	754.33	755.89		0.01	2.12	13.37	24.55	0.58
	5076.67	17.67	754.10	755.79		0.00	1.63	18.29	27.81	0.42
	5049.91	17.67	754.18	755.75		0.00	1.08	32.24	48.62	0.29
	5017.44	17.67	754.41	755.72		0.00	0.49	36.94	65.55	0.14
	4986.22	17.67	754.15	755.69		0.00	0.73	33.55	52.62	0.2
	4963.79	17.67	754.26	755.64		0.00	0.90	33.07	57.78	0.26
	4941.85	17.67	754.11	755.61		0.00	0.80	38.65	68.29	0.22
	4916.08	17.67	754.33	755.58		0.00	0.79	42.45	86.88	0.24
	4880.97	17.67	754.21	755.54		0.00	0.69	50.87	107.62	0.21
	4836.61	17.67	753.64	755.53		0.00	0.31	66.25	118.15	0.08
	4815.29	17.67	753.93	755.53		0.00	0.27	72.15	134.88	0.07
	4797.25	17.67	753.73	755.52		0.00	0.28	75.19	139.63	0.07
	4781.15	17.67	753.53	755.51		0.00	0.30	74.17	133.95	0.07
	4757.78	17.67	755.51	755.51		0.00	0.29	70.73	133.73	0.08
	4732.52	17.67	753.50	755.50		0.00	0.29	74.98	137.07	0.07
	4709.79	17.67	754.19	755.50		0.00	0.28	65.69	135.24	0.08
	4689.06	17.67	753.12	755.49		0.00	0.27	80.85	142.65	0.06
	4666.05	17.67	753.86	755.49		0.00	0.23	77.67	154.19	0.06
	4637.45	27.27	753.90	755.47		0.00	0.36	76.31	157.48	0.1
	4622.73	27.27	753.64	755.47		0.00	0.37	80.57	162.37	0.1
	4600.66	27.27	753.00	755.46		0.00	0.37	93.39	173.78	0.08
	4585.46	27.27	753.73	755.45		0.00	0.36	84.02	182.22	0.1
	4571.67	27.27	754.05	755.44		0.00	0.39	72.05	170.69	0.11
	4555.82	27.27	753.71	755.43		0.00	0.42	72.41	155.16	0.11
	4539.79	27.27	754.12	755.42		0.00	0.40	66.33	156.66	0.12
	4520.05	27.27	753.70	755.41		0.00	0.43	71.92	162.94	0.12
	4498.89	27.27	753.67	755.40		0.00	0.45	71.03	164.03	0.12
	4473.38	27.27	753.07	755.39		0.00	0.45	79.38	165.32	0.1
	4455.04	27.27	753.11	755.39		0.00	0.47	74.61	157.59	0.11
	4432.87	27.27	753.79	755.37		0.00	0.48	65.42	164.05	0.13
	4413.71	27.27	753.62	755.31		0.00	0.59	58.72	165.34	0.16
	4393.16	27.27	753.43	755.28		0.00	0.71	52.22	151.51	0.18
	4376.57	27.27	753.24	755.26		0.00	0.78	48.76	138.64	0.19
	4356.14	27.27	753.41	755.24		0.00	0.80	48.92	162.24	0.21
	4339.14	27.27	753.45	755.21		0.00	0.89	45.42	169.28	0.24
	4318.21	27.27	753.88	755.12	755.12	0.01	1.52	29.14	189.44	0.48
	4301.97	27.27	753.90	754.92	754.94	0.01	1.77	21.77	123.79	0.6
	4286.72	27.27	753.60	754.33	754.46	0.03	2.84	10.75	53.88	1.16
	4270.78	27.27	752.07	753.23	753.77	0.04	4.06	6.72	6.69	1.29
	4251.78	27.27	751.71	753.33	753.38	0.01	2.32	14.32	39.55	0.64
	4229.74	27.27	750.97	751.99	752.30	0.06	4.58	5.96	6.8	1.56
	4210.11	27.27	750.45	751.77	751.77	0.02	3.35	8.13	7.1	1
	4182.82	27.27	747.77	751.29	748.67	0.00	0.51	53.45	20.31	0.09
	4155.81	31.63	748.69	751.10	751.10	0.00	2.17	18.00	151.72	0.63
	4125.91	31.63	748.50	750.80	749.93	0.00	0.70	50.69	73.29	0.16
	4100.01	31.63	748.23	750.80		0.00	0.45	76.66	97.63	0.1
	4081.86	31.63	748.46	750.79		0.00	0.32	100.68	129.76	0.07
	4063.98	31.63	748.60	750.79		0.00	0.27	106.47	133.32	0.07
	4045.57	31.63	748.21	750.79		0.00	0.27	118.70	143.52	0.06
	4028.69	31.63	748.25	750.79		0.00	0.24	133.78	161.95	0.05
	4010.70	31.63	748.14	750.79		0.00	0.22	146.97	178.08	0.05
	3994.41	31.63	748.28	750.79		0.00	0.19	167.49	213.56	0.04
	3978.86	31.63	748.29	750.79		0.00	0.17	192.01	260.81	0.04
	3959.76	31.63	748.61	750.79		0.00	0.13	223.53	279.27	0.03
	3946.13	31.63	748.83	750.78		0.00	0.14	198.06	255.2	0.03
	3930.94	31.63	748.25	750.78		0.00	0.17	180.21	219.85	0.04
	3918.61	31.63	747.92	750.78		0.00	0.19	171.96	201.9	0.04
	3899.07	31.63	748.30	750.78		0.00	0.19	158.75	191.77	0.04
	3884.22	31.63	748.10	750.77		0.00	0.39	147.13	176.08	0.08
	3825.11	31.63	748.16	750.77		0.00	0.36	143.88	175.18	0.08
	3808.59	31.63	748.37	750.68		0.00	0.22	126.55	175.91	0.05
	3782.14	31.63	747.61	750.68		0.00	0.19	167.73	187.67	0.04
	3740.42	31.63	746.93	750.67		0.00	0.12	343.13	224.78	0.02
	3720.43	31.63	746.43	750.67		0.00	0.09	467.07	299.11	0.01
	3690.61	31.63	745.38	750.67		0.00	0.07	589.29	376.44	0.01
	3657.96	31.63	746.67	750.67		0.00	0.18	528.96	417.02	0.03
	3635.64	31.63	745.99	750.67		0.00	0.19	505.51	508.09	0.03
	3613.90	31.63	746.99	750.67		0.00	0.15	330.45	374.11	0.03
	3600.85	31.63	747.51	750.67		0.00	0.16	318.02	429	0.03
	3582.82	31.63	748.17	750.51		0.00	0.43	224.52	410.14	0.1
	3545.76	31.63	748.55	750.50		0.00	0.23	167.98	324.16	0.06
	3486.44	42.40	748.18	750.48		0.00	0.45	131.62	248.51	0.1
	3419.54	42.40	747.96	750.45		0.00	0.63	98.43	181.3	0.14
	3366.59	46.81	748.65	750.40		0.00	0.89	76.68	173.27	0.23
	3308.26	46.81	748.74	750.30		0.00	0.82	72.91	224.89	0.23
	3270.09	46.81	748.19	750.27		0.00	0.66	109.05	352.44	0.16
	3227.43	46.81	748.47	750.21		0.00	1.08	68.18	283.09	0.29
	3187.04	46.81	747.63	749.65	749.65	0.01	2.53	21.88	39.07	0.62
	3134.20	46.81	746.38	747.85	748.17	0.05	4.96	11.04	27.75	1.43
	3072.20	46.81	743.96	745.47	746.02	0.03	4.36	10.72	8.23	1.22
	3035.92	46.81	743.67	743.29	745.26	0.00	0.98	53.48	142.82	0.22
	2982.74	46.81	743.61	745.59		0.00	1.09	46.01	73.31	0.27
	2926.34	46.81	743.11	745.54		0.00	0.85	63.41	94.08	0.19
	2882.98	46.81	743.47	745.51		0.00	0.78	66.41	115.67	0.19
	2823.27	46.81	743.41	745.46		0.00	0.67	80.47	152.59	0.16
	2768.61	46.81	743.53	745.43		0.00	0.68	79.29	164.56	0.17
	2710.78	50.90	743.01	745.39		0.00	0.84	79.37	163.57	0.19
	2652.43	50.90	743.36	745.19	745.19	0.01	1.85	40.88	151.99	0.43
	2610.37	50.90	742.71	744.69	744.73	0.01	2.53	25.85	63.12	0.63
	2557.67	50.90	739.92	741.06	741.98	0.12	7.09	7.18	7.31	2.28
	2501.18	50.90	737.97	740.98	740.11	0.00	1.09	52.70	54.97	0.21
	2417.83	50.90	738.53	740.96		0.00	0.53	93.39	108.13	0.12
	2333.61	50.90	738.40	740.96		0.00	0.34	139.90	144.99	0.07
	2289.21	50.90	738.03	740.77		0.00	0.44	119.74	137.49	0.09
	2248.77	50.90	737.86	740.61		0.00	0.35	138.32	133.63	0.07
	2202.69	51.39	738.01	740.60		0.00	0.38	128.88	137.88	0.08
	2154.32	51.39	738.62	740.58		0.00	0.62	86.29	142.74	0.15
	2093.86	51.39	738.12	740.55		0.00	0.67	88.66	141.18	0.15
	2032.61	51.39	738.24	740.50		0.00	1.08	83.61	145.75	0.25
	1977.56	51.39	738.37	740.33		0.00	1.64	58.53	144.02	0.41
	1930.37	51.39	737.70	740.34		0.00	0.61	104.71	159.35	0.13
	1861.35	51.39	738.46							

Cenário de 1962 - Tempo de Retorno - 10 anos										
	XS	Q (m³/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit. W.S. (m)	E. G. Slope (m/m)	V Chnl (m/s)	Flow area (m²)	Top Width (m)	Froude XS
	5537.55	7.21	758.84	760.63	759.51	0.000356	0.5	23.65	32.66	0.13
	5502.83	7.21	759.25	760.61		0.000827	0.64	20.59	33.58	0.19
	5465.42	7.21	759.45	760.59		0.000703	0.53	26.3	46.09	0.17
	5417.69	7.21	759.36	760.57		0.000298	0.36	40.97	71.85	0.11
	5372.63	7.21	759.4	760.55		0.0005	0.45	32.44	59.78	0.14
	5340.83	7.21	759.36	760.54		0.000459	0.44	33.99	63.77	0.14
	5308.00	7.21	759.36	760.52		0.000407	0.4	37.11	71.63	0.13
	5280.36	8.19	759.13	760.11	760.11	0.008	1.54	13.25	82.89	0.56
	5261.87	8.19	757.45	757.86	758.25	0.303699	5.74	1.43	4.19	3.14
	5239.33	8.19	756.31	757.2	757.32	0.030309	2.88	4.36	15.85	1.05
	5212.58	8.19	755.27	755.95	756.08	0.052702	3.25	2.52	4.34	1.36
	5187.12	8.19	754.76	756.22	755.54	0.002287	1.1	10.04	19.15	0.31
	5163.86	8.19	754.89	755.88	755.88	0.01782	2.34	4.33	11.88	0.82
	5137.20	8.19	753.92	755.77	754.57	0.00059	0.66	14.23	18.33	0.16
	5106.26	8.19	754.33	755.67		0.003692	1.33	8.71	18.42	0.39
	5076.67	8.19	754.1	755.64		0.001405	0.91	14.46	24.48	0.25
	5049.91	8.19	754.18	755.63		0.000689	0.61	26.3	45.41	0.17
	5017.44	8.19	754.41	755.6		0.000626	0.48	28.43	60.27	0.15
	4986.22	8.19	754.15	755.58		0.000554	0.54	27.92	49.98	0.15
	4963.79	8.19	754.26	755.56		0.000688	0.57	28.59	55.41	0.17
	4941.85	8.19	754.11	755.55		0.000444	0.48	34.35	66.25	0.14
	4916.08	8.19	754.33	755.54		0.000483	0.45	38.56	83.69	0.14
	4880.97	8.19	754.21	755.53		0.000296	0.37	48.95	106.96	0.11
	4836.61	8.19	753.64	755.52		0.000108	0.28	64.39	117.63	0.07
	4815.29	8.19	753.93	755.51		0.000113	0.26	70.3	134.47	0.07
	4797.25	8.19	753.73	755.51		0.00009	0.25	73.83	139.34	0.06
	4781.15	8.19	753.53	755.51		0.000078	0.25	73.04	133.7	0.06
	4757.78	8.19	753.79	755.5		0.000104	0.26	68.93	133.57	0.07
	4732.52	8.19	753.5	755.5		0.000076	0.24	74.43	136.95	0.06
	4709.79	8.19	754.19	755.49		0.000154	0.27	65.63	135.23	0.08
	4689.06	8.19	753.12	755.49		0.000049	0.22	80.68	142.61	0.05
	4666.05	8.19	753.86	755.49		0.000092	0.24	77.58	154.17	0.06
	4637.45	15.4	753.9	755.47		0.000353	0.45	76.21	157.46	0.12
	4622.73	15.4	753.64	755.46		0.000281	0.44	80.06	162.28	0.11
	4600.66	15.4	753	755.45		0.000137	0.37	92.96	173.69	0.08
	4585.46	15.4	753.73	755.45		0.000305	0.44	83.8	182.18	0.12
	4571.67	15.4	754.05	755.44		0.000607	0.5	71.7	170.53	0.15
	4555.82	15.4	753.71	755.43		0.000385	0.5	71.53	155.03	0.13
	4539.79	15.4	754.12	755.4		0.000653	0.54	64.14	156.34	0.16
	4520.05	15.4	753.7	755.39		0.000443	0.52	68.45	162.49	0.14
	4498.89	15.4	753.67	755.37		0.000462	0.54	66.96	163.43	0.14
	4473.38	15.4	753.07	755.37		0.000219	0.45	74.95	164.7	0.1
	4455.04	15.4	753.11	755.36		0.00025	0.47	70.45	157.07	0.11
	4432.87	15.4	753.79	755.34		0.000629	0.59	61.56	163.66	0.17
	4413.71	15.4	753.62	755.28		0.000763	0.67	54.45	164.97	0.18
	4393.16	15.4	753.43	755.25		0.000776	0.72	48.48	151.11	0.19
	4376.57	15.4	753.24	755.24		0.000652	0.7	45.97	138.32	0.17
	4356.14	15.4	753.41	755.22		0.000875	0.76	45.95	161.84	0.2
	4339.14	15.4	753.45	755.2		0.001081	0.82	42.98	168.75	0.22
	4318.21	15.4	753.89	755.11	755.11	0.005158	1.41	28.42	189.28	0.45
	4301.97	15.4	753.9	754.9	754.92	0.010959	1.87	19.33	115.56	0.64
	4286.72	15.4	753.6	754.25	754.38	0.049674	3.15	7.26	32.6	1.37
	4270.78	15.4	752.07	752.77	753.03	0.076274	4.11	3.74	6.34	1.71
	4251.78	15.4	751.71	752.7	752.7	0.02544	2.91	5.3	6.25	1.01
	4229.74	15.4	750.97	751.77	751.92	0.045602	3.45	4.47	6.61	1.34
	4210.11	15.4	750.45	751.39	751.39	0.02502	2.82	5.46	6.84	1.01
	4182.82	15.4	751.31	747.71	748.43	0.000951	0.29	53.82	22.99	0.05
	4155.81	20.32	749.69	751.09	751.09	0.011103	2.36	17.31	50.49	0.69
	4125.91	20.32	748.5	750.75	749.6	0.000739	0.83	46.76	70.93	0.19
	4100.01	20.32	748.23	750.74		0.000307	0.57	71.18	94.86	0.13
	4081.86	20.32	748.46	750.73		0.000252	0.49	92.93	128	0.11
	4063.98	20.32	748.6	750.72		0.000248	0.44	97.66	131.8	0.11
	4045.57	20.32	748.21	750.72		0.000163	0.42	108.59	141.63	0.09
	4028.69	20.32	748.25	750.71		0.00014	0.38	122.1	160.42	0.08
	4010.70	20.32	748.14	750.71		0.000113	0.35	133.93	176.01	0.08
	3994.41	20.32	748.28	750.71		0.000105	0.33	151.56	211.34	0.07
	3978.86	20.32	748.29	750.71		0.00091	0.3	172.35	256.51	0.07
	3959.76	20.32	748.61	750.71		0.0007	0.25	202.02	278.25	0.06
	3946.13	20.32	748.83	750.71		0.000097	0.27	178.19	252.92	0.07
	3930.94	20.32	748.25	750.7		0.000089	0.31	162.3	218.53	0.07
	3918.61	20.32	747.92	750.7		0.00008	0.31	155.06	200.75	0.07
	3899.07	20.32	748.39	750.69		0.000124	0.34	140.1	190.74	0.08
	3864.22	20.32	748.1	750.69		0.000116	0.36	131.8	174.83	0.08
	3825.11	20.32	748.16	750.68		0.000127	0.37	128.66	173.71	0.08
	3808.59	20.32	748.37	750.6		0.000211	0.44	111.51	173.72	0.07
	3782.14	20.32	747.61	750.59		0.000076	0.32	151.61	186.09	0.06
	3740.42	20.32	746.93	750.59		0.00011	0.14	325.12	222.6	0.03
	3720.43	20.32	746.43	750.59		0.000005	0.11	443.29	295.82	0.02
	3690.61	20.32	745.38	750.59		0.000003	0.1	559.32	372.95	0.01
	3657.98	20.32	746.46	750.59		0.000007	0.13	490.95	473.21	0.02
	3635.64	20.32	745.99	750.59		0.000007	0.14	465.17	506.03	0.02
	3613.90	20.32	746.99	750.59		0.000022	0.21	300.99	367.23	0.04
	3600.85	20.32	747.51	750.59		0.000033	0.22	284.21	425.6	0.04
	3582.82	20.32	748.17	750.52		0.000071	0.27	229.77	410.4	0.06
	3545.76	20.32	748.55	750.51		0.000138	0.32	171.89	324.34	0.08
	3486.44	20.74	748.08	750.49		0.00018	0.41	133.97	248.84	0.09
	3419.54	20.74	747.96	750.47		0.000224	0.48	107.84	181.57	0.11
	3366.59	24.67	748.65	750.45		0.000819	0.74	83.95	173.86	0.19
	3308.26	24.67	748.74	750.35		0.001118	0.81	85.41	226.04	0.22
	3270.09	24.67	748.19	750.33		0.000406	0.58	129.55	354.38	0.14
	3227.43	24.67	748.47	749.8	749.7	0.018216	2.95	8.37	7.3	0.88
	3187.04	24.67	747.63	748.86	748.86	0.023867	3.23	7.64	7.21	1
	3134.20	24.67	746.38	747.84	747.95	0.017778	2.99	10.7	26.89	0.87
	3072.20	24.67	743.96	744.74	745.12	0.098628	5	4.94	7.65	1.99
	3035.92	24.67	743.29	745.64	744.44	0.00083	0.9	50.91	73.53	0.2
	2992.74	24.67	743.61	745.56		0.000164	1.11	44.25	72.55	0.28
	2926.34	24.67	743.11	745.52		0.000615	0.78	61.31	93.57	0.18
	2882.98	24.67	743.47	745.48		0.000949	0.86	63.77	115.23	0.21
	2823.27	24.67	743.41	745.43		0.000813	0.8	74.62	152.17	0.2
	2768.61	24.67	743.53	745.37		0.001187	0.9	69.03	163.64	0.23
	2710.78	25.75	743.01	745.31		0.000837	0.87	66.08	162.31	0.2
	2652.43	25.75	743.36	744.86		0.011144	2.49	10.33	7.91	0.7
	2610.37	25.75	742.71	743.95	743.95	0.023878	3.26	7.89	7.33	1
	2557.67	25.75	739.92	740.75	741.16	0.099324	5.22	4.93	7.06	1.99
	2501.18	25.75	737.97	741.01	739.45	0.000532	0.9	54.85	56.34	0.17
	2417.83	25.75	738.53	741		0.000296	0.57	96.91	109.49	0.12
	2333.61	25.75	738.4	740.98		0.00013	0.39	143.78	145.55	0.08
	2289.21	25.75	738.03	740.76		0.000181	0.47	119.21	137.43	0.1
	2248.77	25.75	737.86	740.55		0.000159	0.45	129.91	132.54	0.09
	2202.69	26.63	738.01	740.54		0.00022	0.5	119.64	136.46	0.11
	2154.32	26.63	738.62	740.5		0.000992	0.85	75.01	140.73	0.22
	2093.86	26.63	738.12	740.45		0.000678	0.8	74.14	138.14	0.18
	2032.61	26.63	738.24	740.4	739.44	0.				

Cenário de 2011 - Tempo de Retorno - 10 anos										
	XS	Q (m³/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit. W.S. (m)	E. G. Slope (m/m)	V Chnl (m/s)	Flow area (m²)	Top Width (m)	Froude XS
	5537.55	20.45	758.84	760.89	760.22	0.00	0.59	32.42	36.13	0.14
	5502.83	20.45	759.25	760.85		0.00	0.79	28.99	36.7	0.21
	5465.42	20.45	759.45	760.84		0.00	0.53	37.95	49.2	0.15
	5417.69	20.45	759.36	760.82		0.00	0.35	59.54	74.71	0.1
	5372.63	20.45	759.40	760.80		0.00	0.50	47.77	63.17	0.14
	5340.83	20.45	759.36	760.79		0.00	0.52	50.61	67.3	0.15
	5308.00	20.45	759.36	760.77		0.00	0.57	55.70	74.77	0.16
	5280.36	20.76	759.13	760.19	760.19	0.01	2.00	20.19	84.21	0.68
	5261.87	20.76	757.45	758.48	758.86	0.08	4.88	4.37	8.6	1.71
	5239.33	20.76	756.31	757.28	757.51	0.06	4.23	5.81	19.54	1.47
	5212.58	20.76	755.27	756.55	756.70	0.02	3.18	8.07	19.94	0.98
	5187.12	20.76	754.76	756.53	756.22	0.00	1.52	17.33	27.89	0.39
	5163.86	20.76	754.89	756.25	756.25	0.01	2.41	10.80	23.14	0.7
	5137.20	20.76	753.92	756.20	755.04	0.00	1.03	24.72	30.28	0.23
	5106.26	20.76	754.33	755.97		0.01	2.25	15.37	26.76	0.6
	5076.67	20.76	754.10	755.85		0.00	1.77	20.08	29.23	0.45
	5049.91	20.76	754.18	755.81		0.00	1.16	35.29	50.19	0.31
	5017.44	20.76	754.41	755.78		0.00	0.51	40.92	66.76	0.15
	4986.22	20.76	754.15	755.74		0.00	0.78	36.58	53.98	0.21
	4963.79	20.76	754.26	755.69		0.00	0.96	36.18	53.38	0.27
	4941.85	20.76	754.11	755.66		0.00	0.85	42.22	69.94	0.23
	4916.08	20.76	754.33	755.63		0.00	0.83	46.97	90.43	0.25
	4880.97	20.76	754.21	755.59		0.00	0.71	56.34	109.47	0.21
	4836.61	20.76	753.64	755.58		0.00	0.33	72.19	119.8	0.08
	4815.29	20.76	753.93	755.58		0.00	0.29	78.88	136.19	0.08
	4797.25	20.76	753.73	755.57		0.00	0.29	82.08	141.12	0.07
	4781.15	20.76	753.53	755.56		0.00	0.31	80.75	135.41	0.08
	4757.78	20.76	753.76	755.56		0.00	0.30	77.27	133.09	0.08
	4732.52	20.76	753.00	755.55		0.00	0.31	81.64	138.44	0.07
	4709.79	20.76	754.19	755.54		0.00	0.29	72.19	136.84	0.08
	4689.06	20.76	753.12	755.54		0.00	0.28	87.71	144.49	0.06
	4666.05	20.76	753.86	755.54		0.00	0.24	85.05	155.66	0.06
	4637.45	32.34	753.90	755.52		0.00	0.38	83.60	158.79	0.1
	4622.73	32.34	753.64	755.51		0.00	0.39	88.03	163.71	0.1
	4600.66	32.34	753.00	755.50		0.00	0.39	101.19	175.15	0.09
	4585.46	32.34	753.73	755.49		0.00	0.38	92.07	183.94	0.1
	4571.67	32.34	754.05	755.48		0.00	0.40	79.53	173.63	0.12
	4555.82	32.34	753.71	755.48		0.00	0.44	79.09	156.14	0.11
	4539.79	32.34	754.12	755.46		0.00	0.42	72.89	157.64	0.12
	4520.05	32.34	753.70	755.45		0.00	0.45	78.69	163.8	0.12
	4498.89	32.34	753.67	755.44		0.00	0.47	77.78	165.02	0.12
	4473.38	32.34	753.07	755.43		0.00	0.47	86.12	166.26	0.11
	4455.04	32.34	753.11	755.43		0.00	0.50	80.93	158.38	0.12
	4432.87	32.34	753.79	755.40		0.00	0.50	71.64	164.72	0.14
	4413.71	32.34	753.62	755.34		0.00	0.62	64.32	165.81	0.17
	4393.16	32.34	753.43	755.31		0.00	0.75	56.88	152	0.19
	4376.57	32.34	753.24	755.29		0.00	0.84	52.67	139.09	0.21
	4356.14	32.34	753.41	755.27		0.00	0.85	53.14	163.09	0.22
	4339.14	32.34	753.45	755.24		0.00	0.95	49.26	170.11	0.25
	4318.21	32.34	753.85	755.13	755.13	0.01	1.56	32.53	190.16	0.5
	4301.97	32.34	753.00	754.96	754.96	0.01	1.69	26.30	137.85	0.57
	4286.72	32.34	753.60	754.36	754.49	0.03	2.89	12.64	63.13	1.15
	4270.78	32.34	752.07	753.51	753.82	0.03	3.74	8.75	13.4	1.12
	4251.78	32.34	751.71	753.28	753.44	0.02	3.08	12.34	33.58	0.87
	4229.74	32.34	750.97	752.27	752.76	0.04	4.11	7.88	6.99	1.23
	4210.11	32.34	750.45	752.05	752.23	0.02	3.11	10.81	16.43	0.87
	4182.82	32.34	747.77	751.35	748.76	0.09	0.59	54.90	29.03	0.11
	4155.81	37.51	751.15	748.63	751.15	0.00	2.22	20.60	56.06	0.63
	4125.91	37.51	748.50	750.88	750.88	0.00	0.73	56.41	76.6	0.16
	4100.01	37.51	748.23	750.87	750.30	0.00	0.48	84.23	101.32	0.1
	4081.86	37.51	748.46	750.87		0.00	0.33	110.63	131.57	0.07
	4063.98	37.51	748.60	750.87		0.00	0.28	116.66	135.06	0.07
	4045.57	37.51	748.21	750.86		0.00	0.29	129.66	145.56	0.06
	4028.69	37.51	748.25	750.86		0.00	0.25	146.13	163.59	0.05
	4010.70	37.51	750.86	748.14		0.00	0.23	160.57	180.21	0.04
	3994.41	37.51	748.28	750.86		0.00	0.20	183.78	216.2	0.04
	3978.86	37.51	748.29	750.86		0.00	0.18	212.00	264.81	0.04
	3959.76	37.51	748.61	750.86		0.00	0.13	244.79	280.27	0.03
	3946.13	37.51	748.83	750.86		0.00	0.14	217.55	258.29	0.03
	3930.94	37.51	748.25	750.86		0.00	0.18	196.90	221.07	0.04
	3918.61	37.51	747.92	750.86		0.00	0.21	187.27	203.02	0.04
	3899.07	37.51	750.85	748.39		0.00	0.20	171.26	192.69	0.04
	3884.22	37.51	748.10	750.85		0.00	0.42	160.35	177.14	0.09
	3825.11	37.51	748.16	750.84		0.00	0.38	156.94	176.44	0.08
	3808.59	37.51	748.37	750.75		0.00	0.23	138.53	177.63	0.05
	3782.14	37.51	747.61	750.75		0.00	0.21	180.41	188.9	0.04
	3740.42	37.51	746.93	750.74		0.00	0.13	357.98	226.57	0.02
	3720.43	37.51	746.43	750.74		0.00	0.10	486.76	301.69	0.02
	3690.61	37.51	745.38	750.74		0.00	0.08	614.04	379.38	0.01
	3657.98	37.51	748.40	750.74		0.00	0.20	580.26	450.58	0.03
	3635.64	37.51	745.99	750.74		0.00	0.21	538.76	509.79	0.03
	3613.90	37.51	746.99	750.73		0.00	0.16	355.05	379.8	0.03
	3600.85	37.51	747.51	750.73		0.00	0.17	346.03	431.5	0.03
	3582.82	37.51	748.17	750.56		0.00	0.45	246.06	411.22	0.1
	3545.76	37.51	748.55	750.55		0.00	0.23	184.77	324.94	0.06
	3486.44	50.39	748.18	750.53		0.00	0.47	144.12	249.2	0.11
	3419.54	50.39	747.96	750.50		0.00	0.67	107.06	181.97	0.07
	3366.59	55.70	748.65	750.45		0.00	0.93	83.97	173.86	0.24
	3308.26	55.70	748.74	750.34		0.00	0.82	82.48	225.77	0.23
	3270.09	55.70	748.19	750.32		0.00	0.64	125.20	354.12	0.16
	3227.43	55.70	748.47	750.26		0.00	0.95	84.66	284.08	0.25
	3187.04	55.70	747.63	749.74	749.74	0.01	2.60	25.60	44.32	0.62
	3134.20	55.70	746.38	747.92	748.23	0.05	5.13	12.96	32.15	1.45
	3072.20	55.70	743.96	745.73	746.16	0.40	4.30	13.04	14.36	1.16
	3035.92	55.70	743.25	745.74	745.31	0.00	1.05	58.61	77.33	0.23
	2982.74	55.70	743.61	745.65		0.00	1.16	50.33	75.14	0.28
	2926.34	55.70	743.11	745.60		0.00	0.92	68.51	95.29	0.2
	2882.98	55.70	743.47	745.56		0.00	0.83	72.30	116.63	0.2
	2823.27	55.70	743.41	745.51		0.00	0.71	87.82	153.12	0.17
	2768.61	55.70	743.53	745.48		0.00	0.71	86.90	165.24	0.18
	2710.78	60.41	743.01	745.43		0.00	0.89	86.42	164.24	0.2
	2652.43	60.41	743.36	745.22	745.22	0.01	1.94	45.09	152.36	0.5
	2610.37	60.41	742.71	744.80	744.80	0.01	2.33	33.74	77.1	0.56
	2557.67	60.41	739.92	741.22	742.06	0.11	7.24	8.35	7.41	2.18
	2501.18	60.41	737.97	741.07	740.26	0.00	1.16	58.10	58.36	0.22
	2417.83	60.41	738.53	741.06		0.00	0.56	104.13	112.23	0.12
	2333.61	60.41	738.40	741.05		0.00	0.35	154.17	147.04	0.07
	2289.21	60.41	738.03	740.86		0.00	0.46	132.39	139.06	0.09
	2248.77	60.41	737.86	740.69		0.00	0.37	148.98	135	0.07
	2202.69	61.07	738.01	740.68		0.00	0.41	139.76	139.54	0.08
	2154.32	61.07	738.62	740.65		0.00	0.62	97.40	144.69	0.15
	2093.86	61.07	738.12	740.63		0.00	0.68	99.82	143.48	0.15
	2032.61	61.07	738.24	740.58		0.00	1.09	95.50	147.42	0.25
	1977.56	61.07	738.37	740.46		0.00	1.42	76.60	145.97	0.34
	1930.37	61								

Cenário de 1962 - Tempo de Retorno - 15 anos										
	XS	Q (m³/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit. W.S. (m)	E. G. Slope (m/m)	V Chnl (m/s)	Flow area (m²)	Top Width (m)	Froude XS
	5537.55	8.35	758.84	760.69	759.58	0.000403	0.54	25.37	33.37	0.14
	5502.83	8.35	759.25	760.66		0.000895	0.69	22.29	34.24	0.2
	5465.42	8.35	759.45	760.64		0.000736	0.56	28.59	46.72	0.17
	5417.69	8.35	759.36	760.62		0.000311	0.38	44.46	72.4	0.11
	5372.63	8.35	759.4	760.6		0.00052	0.47	35.3	60.43	0.15
	5340.83	8.35	759.36	760.58		0.000477	0.46	37	64.42	0.14
	5308.00	8.35	759.36	760.56		0.00042	0.42	40.43	72.2	0.13
	5280.36	9.45	759.13	760.13	760.13	0.008616	1.62	14.7	83.16	0.57
	5261.87	9.45	757.45	757.92	758.32	0.247417	5.65	1.67	4.26	2.88
	5239.33	9.45	756.31	757.24	757.37	0.031505	3.03	5	17.42	1.08
	5212.58	9.45	755.27	756.03	756.16	0.04713	3.29	2.88	4.39	1.3
	5187.12	9.45	754.76	756.29	755.61	0.002401	1.16	11.41	21.06	0.32
	5163.86	9.45	754.89	755.95	755.95	0.016088	2.36	5.36	14.28	0.79
	5137.20	9.45	753.92	755.84	754.62	0.000674	0.72	15.46	20.1	0.18
	5106.26	9.45	754.33	755.73		0.003989	1.42	9.73	19.92	0.41
	5076.67	9.45	754.1	755.69		0.001567	0.98	15.7	25.61	0.26
	5049.91	9.45	754.18	755.68		0.00074	0.65	28.57	46.66	0.18
	5017.44	9.45	754.41	755.65		0.000541	0.5	32.4	62.51	0.15
	4986.22	9.45	754.15	755.62		0.000591	0.57	30.28	51.11	0.16
	4963.79	9.45	754.26	755.6		0.000724	0.6	31.14	56.77	0.17
	4941.85	9.45	754.11	755.59		0.000471	0.51	37.34	67.68	0.14
	4916.08	9.45	754.33	755.58		0.000495	0.47	42.33	86.79	0.14
	4880.97	9.45	754.21	755.57		0.000301	0.39	53.69	108.58	0.11
	4836.61	9.45	753.64	755.56		0.000117	0.3	69.55	119.07	0.07
	4815.29	9.45	753.93	755.56		0.000119	0.27	76.14	135.66	0.07
	4797.25	9.45	753.73	755.55		0.000097	0.26	79.81	140.63	0.07
	4781.15	9.45	753.53	755.55		0.000085	0.26	78.76	134.97	0.06
	4757.78	9.45	753.79	755.54		0.000111	0.27	75.6	134.74	0.07
	4732.52	9.45	753.5	755.54		0.000083	0.26	80.21	138.15	0.06
	4709.79	9.45	754.19	755.54		0.000159	0.28	71.29	136.62	0.08
	4689.06	9.45	753.12	755.53		0.000055	0.23	86.63	144.2	0.05
	4666.05	9.45	753.86	755.53		0.000097	0.25	83.98	155.45	0.07
	4637.45	17.54	753.9	755.51		0.000361	0.47	82.61	158.61	0.13
	4622.73	17.54	753.64	755.5		0.000293	0.46	86.59	163.45	0.12
	4600.66	17.54	753	755.49		0.00015	0.39	99.76	174.93	0.09
	4585.46	17.54	753.73	755.49		0.000314	0.46	90.84	183.67	0.12
	4571.67	17.54	754.05	755.48		0.00051	0.51	78.28	173.16	0.15
	4555.82	17.54	753.71	755.47		0.0004	0.51	77.42	155.99	0.13
	4539.79	17.54	754.12	755.44		0.000651	0.55	69.93	157.2	0.16
	4520.05	17.54	753.7	755.42		0.000455	0.54	74.43	163.26	0.14
	4498.89	17.54	753.67	755.41		0.000475	0.56	72.92	164.31	0.15
	4473.38	17.54	753.07	755.4		0.000239	0.47	80.84	165.52	0.11
	4455.04	17.54	753.11	755.4		0.000273	0.5	75.98	157.76	0.12
	4432.87	17.54	753.79	755.38		0.00064	0.61	67.13	164.23	0.17
	4413.71	17.54	753.62	755.32		0.000788	0.69	59.52	165.41	0.19
	4393.16	17.54	753.43	755.28		0.000838	0.76	52.7	151.56	0.2
	4376.57	17.54	753.24	755.27		0.000733	0.75	49.5	138.73	0.19
	4356.14	17.54	753.41	755.25		0.000959	0.8	49.84	162.43	0.21
	4339.14	17.54	753.45	755.22		0.001188	0.87	46.65	169.54	0.23
	4318.21	17.54	753.89	755.12	755.12	0.006221	1.55	29.42	189.5	0.5
	4301.97	17.54	753.9	754.95	754.95	0.009323	1.76	24.4	132.15	0.59
	4286.72	17.54	753.6	754.27	754.41	0.051986	3.3	8.02	36.48	1.4
	4270.78	17.54	752.07	752.85	753.1	0.066717	4.12	4.26	6.41	1.61
	4251.78	17.54	751.71	752.78	752.78	0.025223	3.02	5.8	6.3	1.01
	4229.74	17.54	750.97	751.83	751.99	0.045597	3.61	4.86	6.67	1.35
	4210.11	17.54	750.45	751.46	751.47	0.024784	2.94	5.97	6.9	1.01
	4182.82	17.54	747.77	751.36	748.47	0.000066	0.32	55.11	29.96	0.06
	4155.81	23.11	749.69	751.14	751.14	0.010915	2.41	20.07	55.2	0.69
	4125.91	23.11	748.5	750.83	749.68	0.000753	0.86	52.32	74.25	0.19
	4100.01	23.11	748.23	750.82		0.000319	0.6	78.49	98.53	0.13
	4081.86	23.11	748.46	750.81		0.000249	0.5	102.7	130.13	0.11
	4063.98	23.11	748.6	750.8		0.000243	0.45	107.68	133.53	0.11
	4045.57	23.11	748.21	750.79		0.000164	0.43	119.35	143.64	0.09
	4028.69	23.11	748.25	750.79		0.000139	0.39	134.26	162.01	0.08
	4010.70	23.11	748.14	750.79		0.000114	0.36	147.29	178.13	0.08
	3994.41	23.11	748.28	750.79		0.000103	0.33	167.59	213.58	0.07
	3978.96	23.11	748.29	750.79		0.000087	0.31	191.88	260.78	0.07
	3959.76	23.11	748.61	750.78		0.000067	0.25	223.1	279.25	0.06
	3946.13	23.11	748.83	750.78		0.000092	0.27	197.39	255.1	0.07
	3930.94	23.11	748.25	750.78		0.000087	0.31	178.94	219.75	0.07
	3918.61	23.11	747.92	750.77		0.00008	0.32	170.31	201.78	0.07
	3899.07	23.11	748.39	750.77		0.000121	0.35	154.57	191.64	0.08
	3864.22	23.11	748.1	750.76		0.000116	0.37	145.08	175.91	0.08
	3825.11	23.11	748.16	750.76		0.000126	0.38	141.87	174.99	0.08
	3808.59	23.11	748.37	750.68		0.0002	0.44	124.83	175.66	0.1
	3782.14	23.11	747.61	750.67		0.000077	0.33	165.82	187.48	0.07
	3740.42	23.11	746.93	750.67		0.000012	0.15	342.03	224.65	0.03
	3720.43	23.11	746.43	750.67		0.000006	0.12	465.76	298.94	0.02
	3690.61	23.11	745.38	750.67		0.000003	0.11	587.64	376.25	0.02
	3657.98	23.11	746.46	750.67		0.000007	0.13	526.86	476.81	0.02
	3635.64	23.11	745.99	750.67		0.000007	0.14	503.47	507.99	0.02
	3613.90	23.11	746.99	750.67		0.000023	0.21	328.95	373.76	0.04
	3600.85	23.11	747.51	750.67		0.000032	0.22	316.49	428.86	0.04
	3582.82	23.11	748.17	750.6		0.000061	0.26	263.19	412.07	0.06
	3545.76	23.11	748.55	750.59		0.000115	0.31	198.76	325.6	0.07
	3486.44	23.58	748.18	750.57		0.000156	0.39	155.23	249.82	0.09
	3419.54	23.58	747.96	750.56		0.000204	0.47	117.69	182.79	0.1
	3366.59	28.08	748.65	750.54		0.000648	0.69	99.93	175.16	0.17
	3308.26	28.08	748.74	750.47		0.000652	0.65	112.84	228.54	0.17
	3270.09	28.08	748.19	750.46		0.000236	0.46	176.12	358.77	0.11
	3227.43	28.08	748.47	749.9	749.8	0.018156	3.07	9.15	7.37	0.88
	3187.04	28.08	747.63	748.96	748.96	0.023928	3.37	8.33	7.26	1.01
	3134.20	28.08	746.38	747.89	748.03	0.019218	3.19	12.08	30.21	0.91
	3072.20	28.08	743.96	744.83	745.21	0.085436	4.99	5.63	7.75	1.87
	3035.92	28.08	743.29	745.72	744.54	0.000842	0.93	57.06	76.58	0.21
	2982.74	28.08	743.61	745.65		0.001513	1.12	50.56	75.23	0.27
	2926.34	28.08	743.11	745.61		0.000603	0.8	69.43	95.5	0.18
	2882.98	28.08	743.47	745.57		0.000837	0.84	74.15	116.93	0.2
	2823.27	28.08	743.41	745.52		0.000853	0.74	89.76	153.26	0.18
	2768.61	28.08	743.53	745.49		0.000808	0.78	88.18	165.36	0.2
	2710.78	29.31	743.01	745.44		0.000592	0.77	88.27	164.	

Cenário de 2011 - Tempo de Retorno - 15 anos										
	XS	Q (m³/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit. W.S. (m)	E. G. Slope (m/m)	V Chnl (m/s)	Flow area (m²)	Top Width (m)	Froude XS
	5537.55	22.16	758.84	760.92	760.24	0.00	0.62	33.70	36.61	0.14
	5502.83	22.16	759.25	760.89		0.00	0.82	30.21	37.13	0.21
	5465.42	22.16	759.45	760.87		0.00	0.55	39.59	49.63	0.15
	5417.69	22.16	759.36	760.86		0.00	0.36	62.05	75.08	0.1
	5372.63	22.16	759.40	760.83		0.00	0.51	49.82	63.61	0.14
	5340.83	22.16	759.36	760.82		0.00	0.54	52.77	67.75	0.15
	5308.00	22.16	759.36	760.80		0.00	0.58	58.07	75.16	0.16
	5280.36	22.50	759.13	760.21	760.21	0.01	1.99	21.71	84.49	0.66
	5261.87	22.50	757.45	758.53	758.90	0.07	4.84	4.91	10.78	1.64
	5239.33	22.50	756.31	757.30	757.53	0.06	4.39	6.06	20.22	1.51
	5212.58	22.50	755.27	756.58	756.74	0.02	3.24	8.75	21.47	0.98
	5187.12	22.50	754.76	756.56	756.26	0.00	1.56	18.31	28.87	0.4
	5163.86	22.50	754.89	756.28	756.28	0.01	2.44	11.57	24.13	0.7
	5137.20	22.50	753.92	756.25	755.09	0.00	1.06	26.21	31.61	0.23
	5106.26	22.50	754.33	756.01		0.01	2.31	16.49	27.93	0.61
	5076.67	22.50	754.10	755.88		0.00	1.85	21.05	29.97	0.47
	5049.91	22.50	754.18	755.85		0.00	1.20	36.93	51.01	0.31
	5017.44	22.50	754.41	755.81		0.00	0.53	43.04	67.39	0.15
	4986.22	22.50	754.15	755.77		0.00	0.81	38.20	54.70	0.21
	4963.79	22.50	754.28	755.72		0.00	0.99	37.84	60.23	0.28
	4941.85	22.50	754.11	755.69		0.00	0.87	44.13	70.81	0.24
	4916.08	22.50	754.33	755.66		0.00	0.84	49.43	92.27	0.25
	4880.97	22.50	754.21	755.62		0.00	0.72	59.26	110.45	0.21
	4836.61	22.50	753.64	755.61		0.00	0.34	75.36	120.68	0.08
	4815.29	22.50	753.93	755.60		0.00	0.29	82.45	136.88	0.08
	4797.25	22.50	753.73	755.59		0.00	0.30	85.74	141.90	0.08
	4781.15	22.50	753.53	755.59		0.00	0.32	84.25	136.18	0.08
	4757.78	22.50	753.79	755.58		0.00	0.31	80.71	135.79	0.08
	4732.52	22.50	753.50	755.58		0.00	0.32	85.15	139.16	0.08
	4709.79	22.50	754.19	755.57		0.00	0.29	75.63	137.67	0.09
	4689.06	22.50	753.12	755.57		0.00	0.29	91.34	145.47	0.06
	4666.05	22.50	753.86	755.56		0.00	0.25	88.94	156.42	0.07
	4637.45	35.19	753.90	755.54		0.00	0.39	87.42	159.47	0.11
	4622.73	35.19	753.64	755.54		0.00	0.40	91.97	164.41	0.1
	4600.66	35.19	753.00	755.52		0.00	0.40	106.33	175.78	0.09
	4585.46	35.19	753.73	755.52		0.00	0.38	96.35	184.84	0.1
	4571.67	35.19	754.05	755.51		0.00	0.41	83.53	175.10	0.12
	4555.82	35.19	753.71	755.50		0.00	0.45	82.64	156.65	0.12
	4539.79	35.19	754.12	755.48		0.00	0.43	76.37	158.15	0.13
	4520.05	35.19	753.70	755.47		0.00	0.46	82.26	164.26	0.12
	4498.89	35.19	753.67	755.46		0.00	0.48	81.33	165.53	0.12
	4473.38	35.19	753.07	755.45		0.00	0.49	89.66	166.75	0.11
	4455.04	35.19	753.11	755.45		0.00	0.52	84.26	158.79	0.12
	4432.87	35.19	753.79	755.42		0.00	0.51	74.90	165.07	0.14
	4413.71	35.19	753.62	755.36		0.00	0.63	67.26	166.07	0.17
	4393.16	35.19	753.43	755.33		0.00	0.77	59.35	152.25	0.2
	4376.57	35.19	753.24	755.30		0.00	0.86	54.73	139.32	0.21
	4356.14	35.19	753.41	755.28		0.00	0.88	55.37	163.54	0.23
	4339.14	35.19	753.45	755.25		0.00	0.98	51.29	170.54	0.26
	4318.21	35.19	753.85	755.14	755.14	0.01	1.57	34.43	130.57	0.5
	4301.97	35.19	753.90	754.98	754.98	0.01	1.85	28.75	145.00	0.55
	4286.72	35.19	753.60	754.38	754.51	0.03	2.94	13.55	67.11	1.15
	4270.78	35.19	752.07	753.58	753.84	0.03	3.72	10.18	25.38	1.08
	4251.78	35.19	751.71	753.29	753.47	0.02	3.28	12.71	34.77	0.92
	4229.74	35.19	750.97	752.43	752.83	0.03	3.89	9.05	8.42	1.16
	4210.11	35.19	750.45	752.03	752.30	0.02	3.46	10.45	14.93	0.98
	4182.82	35.19	747.77	751.38	748.80	0.00	0.64	55.83	31.63	0.12
	4155.81	40.84	749.69	751.18	751.18	0.01	2.25	22.01	58.27	0.63
	4125.91	40.84	748.50	750.92	750.93	0.00	0.75	59.58	78.37	0.16
	4100.01	40.84	748.23	750.91		0.00	0.49	88.40	103.29	0.1
	4081.86	40.84	748.46	750.91		0.00	0.34	116.02	132.59	0.07
	4063.98	40.84	748.60	750.91		0.00	0.29	122.16	135.99	0.07
	4045.57	40.84	748.21	750.90		0.00	0.30	135.59	146.65	0.06
	4028.69	40.84	748.25	750.90		0.00	0.26	152.78	164.48	0.05
	4010.70	40.84	748.14	750.90		0.00	0.24	167.90	181.45	0.05
	3994.41	40.84	748.28	750.90		0.00	0.21	192.60	217.73	0.04
	3978.86	40.84	748.29	750.90		0.00	0.18	222.79	267.06	0.04
	3959.76	40.84	748.61	750.90		0.00	0.14	256.19	280.81	0.03
	3946.13	40.84	748.83	750.90		0.00	0.15	228.06	259.95	0.04
	3930.94	40.84	748.25	750.90		0.00	0.19	205.88	221.73	0.04
	3918.61	40.84	747.92	750.90		0.00	0.21	195.49	203.62	0.04
	3899.07	40.84	748.39	750.89		0.00	0.21	179.01	193.16	0.06
	3864.22	40.84	748.10	750.89		0.00	0.43	167.41	177.71	0.09
	3825.11	40.84	748.16	750.88		0.00	0.40	163.95	177.10	0.08
	3808.59	40.84	748.37	750.79		0.00	0.23	144.98	178.56	0.05
	3782.14	40.84	747.61	750.78		0.00	0.21	187.24	189.56	0.04
	3740.42	40.84	746.93	750.77		0.00	0.14	365.98	231.28	0.02
	3720.43	40.84	746.43	750.77		0.00	0.11	497.29	303.05	0.02
	3690.61	40.84	746.38	750.77		0.00	0.08	627.28	381.20	0.01
	3657.98	40.84	746.40	750.77		0.00	0.21	277.03	482.27	0.03
	3635.64	40.84	745.99	750.77		0.00	0.22	556.53	510.69	0.03
	3613.90	40.84	746.99	750.77		0.00	0.17	368.31	383.10	0.03
	3600.85	40.84	747.51	750.77		0.00	0.18	361.05	432.82	0.03
	3582.82	40.84	748.17	750.59		0.00	0.46	257.79	411.80	0.1
	3545.76	40.84	748.55	750.58		0.00	0.24	193.91	325.37	0.06
	3486.44	54.91	748.18	750.56		0.00	0.48	150.92	249.58	0.11
	3419.54	54.91	747.96	750.57		0.00	0.59	111.78	182.34	0.15
	3366.59	60.74	748.65	750.47		0.00	0.95	88.00	174.19	0.25
	3308.26	60.74	748.74	750.37		0.00	0.81	88.10	226.29	0.22
	3270.09	60.74	748.19	750.34		0.00	0.63	134.75	354.69	0.15
	3227.43	60.74	748.47	750.30		0.00	0.89	93.73	284.62	0.23
	3187.04	60.74	747.63	749.78	749.78	0.01	2.65	27.39	46.64	0.63
	3134.20	60.74	746.38	747.95	748.27	0.05	5.20	14.07	34.44	1.45
	3072.20	60.74	743.96	745.81	746.20	0.03	4.38	14.36	18.77	1.15
	3035.92	60.74	743.23	745.77	745.33	0.09	1.09	61.24	78.59	0.24
	2982.74	60.74	743.61	745.67		0.00	1.20	52.42	76.01	0.29
	2926.34	60.74	743.11	745.62		0.00	0.96	70.87	95.84	0.21
	2882.98	60.74	743.47	745.58		0.00	0.86	74.90	117.05	0.21
	2823.27	60.74	743.41	745.53		0.00	0.74	90.77	153.34	0.18
	2768.61	60.74	743.53	745.49		0.00	0.74	89.68	165.49	0.18
	2710.78	64.74	743.01	745.45		0.00	0.92	88.83	164.46	0.21
	2652.43	64.74	743.36	745.25		0.00	0.85	48.46	100.75	0.18
	2610.37	64.74	742.71	744.82	744.82	0.01	2.38	38.46	79.83	0.57
	2557.67	64.74	739.92	741.32	742.10	0.10	7.16	9.05	7.47	2.08
	2501.18	64.74	737.97	741.11	740.32	0.00	1.19	60.54	59.82	0.22
	2417.83									

Cenário de 1962 - Tempo de Retorno - 20 anos										
	XS	Q (m³/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit. W.S. (m)	E. G. Slope (m/m)	V Chnl (m/s)	Flow area (m²)	Top Width (m)	Froude XS
	5537.55	9.16	758.84	760.72	759.61	0.000434	0.57	26.55	33.84	0.14
	5502.83	9.16	759.25	760.7		0.000937	0.72	23.46	34.68	0.2
	5465.42	9.16	759.45	760.67		0.000756	0.58	30.15	47.14	0.18
	5417.69	9.16	759.36	760.65		0.000319	0.39	46.84	72.77	0.12
	5372.63	9.16	759.4	760.63		0.000531	0.49	37.25	60.86	0.15
	5340.83	9.16	759.36	760.61		0.000487	0.47	39.05	64.87	0.14
	5308.00	9.16	759.36	760.59		0.000428	0.43	42.7	72.59	0.13
	5280.36	10.34	759.13	760.14	760.14	0.00195	1.69	15.51	83.32	0.59
	5261.87	10.34	757.45	757.96	758.4	0.217358	5.59	1.85	4.29	2.72
	5239.33	10.34	756.31	757.26	757.4	0.032437	3.14	5.42	18.45	1.1
	5212.58	10.34	755.27	756.09	756.24	0.043515	3.29	3.14	4.42	1.25
	5187.12	10.34	754.76	756.33	755.66	0.002484	1.21	12.32	22.26	0.33
	5163.86	10.34	754.89	756	756	0.015393	2.39	6.06	15.71	0.78
	5137.20	10.34	753.92	755.88	755.66	0.000731	0.76	16.32	21.26	0.19
	5106.26	10.34	754.33	755.76		0.004171	1.48	10.45	20.92	0.42
	5076.67	10.34	754.1	755.72		0.001674	1.03	16.55	26.36	0.27
	5049.91	10.34	754.18	755.71		0.000774	0.67	30.1	47.49	0.18
	5017.44	10.34	754.41	755.68		0.000551	0.51	34.41	64.03	0.15
	4986.22	10.34	754.15	755.65		0.000617	0.59	31.86	51.84	0.16
	4963.79	10.34	754.26	755.63		0.000747	0.62	32.84	57.66	0.18
	4941.85	10.34	754.11	755.62		0.000488	0.53	39.35	68.62	0.15
	4916.08	10.34	754.33	755.61		0.000503	0.48	44.91	88.84	0.14
	4880.97	10.34	754.21	755.6		0.000305	0.39	56.87	109.65	0.11
	4836.61	10.34	753.64	755.59		0.000123	0.31	72.98	120.02	0.08
	4815.29	10.34	753.93	755.59		0.000123	0.28	80.03	136.41	0.07
	4797.25	10.34	753.73	755.58		0.000101	0.27	83.79	141.48	0.07
	4781.15	10.34	753.53	755.58		0.000089	0.27	82.56	135.81	0.07
	4757.78	10.34	753.79	755.57		0.000116	0.28	79.37	135.52	0.07
	4732.52	10.34	753.5	755.57		0.000088	0.27	84.04	138.93	0.06
	4709.79	10.34	754.19	755.56		0.000163	0.29	75.06	137.54	0.08
	4689.06	10.34	753.12	755.56		0.000059	0.24	90.57	145.27	0.05
	4666.05	10.34	753.86	755.56		0.0001	0.25	88.23	156.28	0.07
	4637.45	19.07	753.9	755.54		0.000368	0.48	86.83	159.36	0.13
	4622.73	19.07	753.64	755.53		0.000302	0.47	90.92	164.22	0.12
	4600.66	19.07	753	755.52		0.00016	0.41	104.25	175.61	0.09
	4585.46	19.07	753.73	755.51		0.000322	0.47	95.5	184.66	0.12
	4571.67	19.07	754.05	755.5		0.000515	0.52	82.66	174.78	0.15
	4555.82	19.07	753.71	755.49		0.000411	0.53	81.32	156.46	0.14
	4539.79	19.07	754.12	755.46		0.000655	0.56	73.73	157.76	0.17
	4520.05	19.07	753.7	755.45		0.000465	0.55	78.33	163.76	0.15
	4498.89	19.07	753.67	755.43		0.000486	0.57	76.79	164.87	0.15
	4473.38	19.07	753.07	755.42		0.000254	0.49	84.62	166.05	0.11
	4455.04	19.07	753.11	755.42		0.00029	0.52	79.51	158.2	0.12
	4432.87	19.07	753.79	755.4		0.000654	0.62	70.63	164.61	0.17
	4413.71	19.07	753.62	755.33		0.000818	0.71	62.55	165.66	0.19
	4393.16	19.07	753.43	755.3		0.000894	0.79	55.11	151.81	0.2
	4376.57	19.07	753.24	755.28		0.000893	0.79	51.41	138.94	0.19
	4356.14	19.07	753.41	755.26		0.001043	0.84	51.8	162.82	0.22
	4339.14	19.07	753.45	755.23		0.001312	0.92	48.18	169.87	0.24
	4318.21	19.07	753.89	755.14		0.005513	1.48	33.52	190.38	0.47
	4301.97	19.07	753.9	754.95	754.95	0.010451	1.86	25.1	134.26	0.63
	4286.72	19.07	753.6	754.3	754.43	0.045902	3.19	9.29	45.43	1.33
	4270.78	19.07	752.07	752.9	753.16	0.062997	4.16	4.58	6.45	1.58
	4251.78	19.07	751.71	752.83	752.83	0.025134	3.1	6.14	6.34	1.01
	4229.74	19.07	750.97	751.87	752.04	0.045524	3.71	5.14	6.7	1.35
	4210.11	19.07	750.45	751.52	751.52	0.024465	3.01	6.34	6.94	
	4182.82	19.07	751.4	747.7	748.51	0.000074	0.34	56.28	32.54	0.6
	4155.81	25.54	749.69	751.19	751.19	0.010654	2.44	22.53	58.93	0.68
	4125.91	25.54	748.5	750.85	749.76	0.000855	0.93	54.09	75.27	0.21
	4100.01	25.54	748.23	750.84		0.000366	0.65	80.66	99.59	0.14
	4081.86	25.54	748.46	750.83		0.000284	0.54	105.44	130.63	0.12
	4063.98	25.54	748.6	750.82		0.000277	0.49	110.27	133.97	0.12
	4045.57	25.54	748.21	750.81		0.00019	0.46	121.99	144.13	0.1
	4028.69	25.54	748.25	750.81		0.00016	0.42	137.19	162.4	0.09
	4010.70	25.54	748.14	750.81		0.000131	0.39	150.46	178.63	0.08
	3994.41	25.54	748.28	750.8		0.000118	0.36	171.33	214.08	0.08
	3978.86	25.54	748.29	750.8		0.000133	0.33	196.39	261.85	0.07
	3959.76	25.54	748.61	750.8		0.00076	0.27	227.86	279.47	0.06
	3946.13	25.54	748.83	750.8		0.000105	0.29	201.69	255.78	0.07
	3930.94	25.54	748.25	750.79		0.000101	0.33	182.47	220.01	0.07
	3918.61	25.54	747.92	750.79		0.000093	0.34	173.42	202.01	0.07
	3899.07	25.54	748.39	750.78		0.00014	0.38	157.32	191.81	0.08
	3864.22	25.54	748.1	750.77		0.000135	0.4	147.43	176.1	0.08
	3825.11	25.54	748.16	750.77		0.000147	0.41	144.02	175.2	0.09
	3808.59	25.54	748.37	750.67		0.000248	0.49	124.06	175.55	0.11
	3782.14	25.54	747.61	750.67		0.000096	0.37	164.78	187.38	0.07
	3740.42	25.54	746.93	750.66		0.000014	0.17	340.64	224.48	0.03
	3720.43	25.54	746.43	750.66		0.000008	0.13	463.91	298.7	0.02
	3690.61	25.54	745.38	750.66		0.000004	0.12	585.26	375.98	0.02
	3657.98	25.54	746.46	750.66		0.000009	0.15	523.81	476.51	0.02
	3635.64	25.54	745.99	750.66		0.000009	0.16	500.22	507.82	0.02
	3613.90	25.54	746.99	750.66		0.000028	0.24	326.48	373.18	0.04
	3600.85	25.54	747.51	750.66		0.00004	0.25	313.65	428.61	0.05
	3582.82	25.54	748.17	750.58		0.000085	0.3	252.4	411.53	0.07
	3545.76	25.54	748.55	750.56		0.000163	0.36	189.05	325.15	0.09
	3486.44	25.61	748.18	750.54		0.000218	0.46	146.02	249.31	0.1
	3419.54	25.61	747.96	750.52		0.000285	0.55	109.86	182.19	0.12
	3366.59	30.53	748.65	750.48		0.001017	0.84	90.48	174.39	0.22
	3308.26	30.53	748.74	750.35		0.001723	1	85.21	226.02	0.28
	3270.09	30.53	748.19	750.31		0.000705	0.76	123.17	354	0.18
	3227.43	30.53	748.47	750.15	749.86	0.005151	1.73	51.9	282.1	0.48
	3187.04	30.53	747.63	749.02	749.02	0.024139	3.48	8.79	7.3	1.01
	3134.20	30.53	746.38	747.92	748.08	0.0201	3.32	13.1	32.45	0.93
	3072.20	30.53	743.96	744.89	745.28	0.078269	4.99	6.11	7.81	1.8
	3035.92	30.53	743.29	745.74	744.6	0.000926	0.99	58.98	77.57	0.22
	2992.74	30.53	743.61	745.67		0.001683	1.18	51.84	75.77	0.21
	2926.34	30.53	743.11	745.62		0.000689	0.85	70.43	95.74	0.19
	2882.98	30.53	743.47	745.58		0.000967	0.9	74.8	117.03	0.22
	2823.27	30.53	743.41	745.52		0.000784	0.81	89.21	153.22	0.19
	2768.61	30.53	743.53	745.47		0.001025	0.88	85.91	165.15	0.22
	2710.78	31.85	743.01	745.41		0.000788	0.88	83.65	163.98	0.2
	2652.43	31.85	743.36	745.14	744.73	0.006752	2.06	32.02	151.19	0.55
	2610.37	31.85	742.71	744.12	744.12	0.02355	3.48	9.15	7.44	1
	2557.67	31.85	739.92	740.87	741.33	0.095248	5.54	5.75	7.16	1.97
	2501.18	31.85	737.97	741.15	739.67	0.000621	1.01	62.58	61.02	0.19
	2417.83	31.85	738.53	741.13		0.000315	0.61	111.67	115.02	0.13
	2333.61	31.85	738.4	741.11		0.000139	0.42	162.96	148.29	0.09
	2289.21	31.85	738.03	740.87		0.000201	0.51	134.37	139.31	0.1
	2248.77	31.85	737.86	740.62		0.000199	0.51	139.19	133.74	0.1
	2202.69	33	738.01	740.6		0.000275	0.57	128.76	137.86	0.12
	2154.32	33	738.62	740.56		0.001145	0.93	83.34	142.21	0.23
	2093.86	33	738.12	740.5		0.000858	0.91	80.74	139.53	0.21

Cenário de 2011 - Tempo de Retorno - 20 anos										
	XS	Q (m³/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit. W.S. (m)	E. G. Slope (m/m)	V Chnl (m/s)	Flow area (m²)	Top Width (m)	Froude XS
	5537.55	23.36	758.84	760.95	760.25	0.00	0.63	34.65	36.36	0.15
	5502.83	23.36	759.25	760.91		0.00	0.83	31.13	37.45	0.22
	5465.42	23.36	759.45	760.89		0.00	0.56	40.82	49.94	0.16
	5417.69	23.36	759.36	760.88		0.00	0.37	63.90	75.36	0.1
	5372.63	23.36	759.40	760.86		0.00	0.52	51.35	63.94	0.14
	5340.83	23.36	759.36	760.85		0.00	0.55	54.40	68.08	0.15
	5308.00	23.36	759.36	760.83		0.00	0.59	59.87	75.46	0.16
	5280.36	23.72	759.13	760.21	760.21	0.01	2.08	21.84	84.52	0.69
	5261.87	23.72	757.45	758.57	758.92	0.07	4.79	5.34	12.23	1.59
	5239.33	23.72	756.31	757.31	757.55	0.06	4.49	6.24	20.71	1.54
	5212.58	23.72	755.27	756.60	756.77	0.02	3.28	9.21	22.41	0.98
	5187.12	23.72	754.76	756.59	756.29	0.00	1.59	18.99	29.52	0.4
	5163.86	23.72	754.89	756.30	756.30	0.01	2.46	12.10	24.78	0.7
	5137.20	23.72	753.92	756.28	755.13	0.00	1.08	27.24	32.50	0.24
	5106.26	23.72	754.33	756.04		0.01	2.36	17.28	28.71	0.61
	5076.67	23.72	754.10	755.90		0.00	1.90	21.72	30.47	0.48
	5049.91	23.72	754.18	755.87		0.00	1.22	38.05	51.57	0.32
	5017.44	23.72	754.41	755.84		0.00	0.54	44.46	67.82	0.15
	4986.22	23.72	754.15	755.79		0.00	0.82	39.30	55.18	0.22
	4963.79	23.72	754.26	755.74		0.00	1.00	38.97	60.80	0.28
	4941.85	23.72	754.11	755.71		0.00	0.89	45.43	71.38	0.24
	4916.08	23.72	754.33	755.68		0.00	0.85	51.10	93.52	0.25
	4880.97	23.72	754.21	755.64		0.00	0.73	61.24	111.10	0.21
	4836.61	23.72	753.64	755.63		0.00	0.34	77.51	121.26	0.08
	4815.29	23.72	753.93	755.62		0.00	0.30	84.86	137.34	0.08
	4797.25	23.72	753.73	755.61		0.00	0.30	88.22	142.43	0.08
	4781.15	23.72	753.53	755.61		0.00	0.33	86.61	136.70	0.08
	4757.78	23.72	753.78	755.60		0.00	0.32	83.05	138.27	0.08
	4732.52	23.72	753.00	755.59		0.00	0.32	87.52	139.64	0.08
	4709.79	23.72	754.19	755.58		0.00	0.30	77.96	138.24	0.09
	4689.06	23.72	753.12	755.58		0.00	0.29	93.81	146.14	0.07
	4666.05	23.72	753.86	755.58		0.00	0.25	91.60	156.95	0.07
	4637.45	37.19	753.90	755.56		0.00	0.40	90.04	159.93	0.11
	4622.73	37.19	753.64	755.55		0.00	0.41	94.65	164.88	0.1
	4600.66	37.19	753.00	755.54		0.00	0.41	108.11	176.20	0.08
	4585.46	37.19	753.73	755.53		0.00	0.39	99.22	185.44	0.1
	4571.67	37.19	754.05	755.52		0.00	0.42	86.22	176.08	0.12
	4555.82	37.19	753.71	755.52		0.00	0.46	85.01	157.00	0.12
	4539.79	37.19	754.12	755.49		0.00	0.43	78.70	158.49	0.13
	4520.05	37.19	753.70	755.48		0.00	0.47	84.68	164.57	0.12
	4498.89	37.19	753.67	755.48		0.00	0.48	83.73	165.88	0.13
	4473.38	37.19	753.07	755.47		0.00	0.50	92.06	167.09	0.11
	4455.04	37.19	753.11	755.46		0.00	0.53	96.50	159.07	0.12
	4432.87	37.19	753.79	755.44		0.00	0.52	77.14	165.31	0.14
	4413.71	37.19	753.62	755.37		0.00	0.64	69.27	166.24	0.17
	4393.16	37.19	753.43	755.34		0.00	0.78	61.05	152.43	0.2
	4376.57	37.19	753.24	755.31		0.00	0.88	56.16	139.49	0.22
	4356.14	37.19	753.41	755.29		0.00	0.89	56.92	163.85	0.23
	4339.14	37.19	753.45	755.26		0.00	1.00	52.74	170.85	0.26
	4318.21	37.19	753.85	755.15	755.14	0.01	1.59	35.48	190.80	0.5
	4301.97	37.19	753.00	754.99	754.99	0.01	1.58	30.69	150.64	0.54
	4286.72	37.19	753.60	754.39	754.52	0.03	2.96	14.25	70.02	1.15
	4270.78	37.19	752.07	753.61	753.85	0.03	3.74	11.16	33.87	1.07
	4251.78	37.19	751.71	753.30	753.48	0.02	3.35	13.29	36.56	0.94
	4229.74	37.19	750.97	752.51	752.86	0.03	3.84	9.82	11.49	1.1
	4210.11	37.19	750.45	752.02	752.33	0.03	3.69	10.32	14.34	1.05
	4182.82	37.19	747.77	751.40	748.84	0.00	0.67	56.48	32.93	0.13
	4155.81	43.19	748.63	751.19	751.19	0.01	2.27	22.92	59.38	0.63
	4125.91	43.19	748.50	750.95	750.95	0.00	0.76	61.75	79.56	0.17
	4100.01	43.19	748.23	750.94	750.94	0.00	0.50	91.25	104.62	0.1
	4081.86	43.19	748.46	750.94	750.94	0.00	0.34	119.67	133.29	0.07
	4063.98	43.19	748.60	750.93	750.93	0.00	0.30	125.90	136.62	0.07
	4045.57	43.19	748.21	750.93	750.93	0.00	0.30	139.60	147.39	0.06
	4028.69	43.19	748.25	750.93	750.93	0.00	0.26	157.29	165.07	0.06
	4010.70	43.19	750.93	748.14	748.14	0.00	0.24	172.90	182.32	0.05
	3994.41	43.19	748.28	750.93	750.93	0.00	0.21	198.61	218.76	0.04
	3978.86	43.19	748.29	750.93	750.93	0.00	0.19	230.16	268.46	0.04
	3959.76	43.19	748.61	750.93	750.93	0.00	0.14	263.92	281.17	0.03
	3946.13	43.19	748.83	750.93	750.93	0.00	0.15	235.23	261.07	0.04
	3930.94	43.19	748.25	750.93	750.93	0.00	0.19	211.97	222.17	0.04
	3918.61	43.19	747.92	750.92	750.92	0.00	0.21	201.07	204.03	0.04
	3899.07	43.19	750.92	748.30	748.30	0.00	0.21	194.30	193.48	0.05
	3864.22	43.19	748.10	750.91	750.91	0.00	0.44	172.24	178.09	0.09
	3825.11	43.19	748.16	750.91	750.91	0.00	0.40	168.72	177.56	0.08
	3808.59	43.19	748.37	750.81	750.81	0.00	0.23	149.40	179.19	0.05
	3782.14	43.19	747.61	750.81	750.81	0.00	0.22	191.90	190.00	0.04
	3740.42	43.19	746.93	750.80	750.80	0.00	0.14	371.54	233.83	0.02
	3720.43	43.19	746.43	750.80	750.80	0.00	0.11	504.50	303.99	0.02
	3690.61	43.19	745.38	750.80	750.80	0.00	0.09	636.35	382.54	0.01
	3657.96	43.19	746.80	750.80	750.80	0.00	0.22	588.49	432.39	0.03
	3635.64	43.19	745.99	750.79	750.79	0.00	0.23	568.58	511.30	0.03
	3613.90	43.19	746.99	750.79	750.79	0.00	0.17	377.37	385.44	0.03
	3600.85	43.19	747.51	750.79	750.79	0.00	0.18	371.21	433.71	0.03
	3582.82	43.19	748.17	750.61	750.61	0.00	0.47	265.73	412.19	0.1
	3545.76	43.19	748.55	750.60	750.60	0.00	0.24	200.12	325.66	0.06
	3486.44	58.08	748.18	750.58	750.58	0.00	0.49	155.54	249.83	0.1
	3419.54	58.08	747.96	750.54	750.54	0.00	0.71	115.00	182.58	0.14
	3366.59	64.28	748.65	750.49	750.49	0.00	0.97	90.75	174.41	0.25
	3308.26	64.28	748.74	750.38	750.38	0.00	0.81	91.91	226.64	0.22
	3270.09	64.28	748.19	750.36	750.36	0.00	0.62	141.19	355.07	0.15
	3227.43	64.28	748.47	750.32	750.32	0.00	0.87	99.60	284.97	0.22
	3187.04	64.28	747.63	749.82	749.82	0.01	2.62	29.41	49.13	0.61
	3134.20	64.28	746.38	747.97	748.29	0.05	5.31	14.61	35.49	1.47
	3072.20	64.28	743.96	745.86	746.24	0.00	4.42	15.37	21.53	1.14
	3035.92	64.28	743.29	745.80	745.35	0.00	1.11	63.21	76.52	0.24
	2982.74	64.28	743.61	745.70		0.00	1.22	54.11	76.70	0.29
	2926.34	64.28	743.11	745.64		0.00	0.98	72.89	96.32	0.21
	2882.98	64.28	743.47	745.60		0.00	0.87	77.29	117.44	0.21
	2823.27	64.28	743.41	745.55		0.00	0.74	93.89	153.56	0.18
	2768.61	64.28	743.53	745.52		0.00	0.75	93.07	165.79	0.18
	2710.78	69.58	743.01	745.46		0.00	0.94	91.87	164.75	0.21
	2652.43	69.58	743.36	745.28		0.00	1.77	54.00	153.16	0.45
	2610.37	69.58	742.71	744.84	744.84	0.01	2.45	37.01	82.21	0.58
	2557.67	69.58	739.92	741.43	742.11	0.09	7.05	9.87	7.54	1.97
	2501.18	69.58	737.97	741.15	740.37	0.00	1.23	63.00	61.28	0.23
	2417.83	69.58	738.53	741.14		0.00	0.58	113.69	115.76	0.12
	2333.61	69.58	738.40	741.14		0.00	0.37	166.60	148.81	0.08
	2289.21	69.58	738.03	740.93		0.00	0.48	143.01	140.36	0.1
	2248.77	69.58	737.86	740.75		0.00	0.40	157.34	136.07	0.08
	2202.69	70.40	738.01	740.74		0.00	0.44	148.29	140.82	0.09
	2154.32	70.40	738.62	740.71		0.00	0.64	105.94	146.17	0.15
	2093.86	70.40	738.12	740.69		0.00	0.71	108.24	145.19	0.15
	2032.61	70.40	738.24	740.64		0.00	1.14	103.93	148.60	0.26
	1									

Cenário de 1962 - Tempo de Retorno - 25 anos										
	XS	Q (m³/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit. W.S. (m)	E. G. Slope (m/m)	V Chnl (m/s)	Flow area (m²)	Top Width (m)	Froude XS
	5537.55	9.8	758.84	760.75	759.65	0.000458	0.59	27.45	34.2	0.15
	5502.83	9.8	759.25	760.72		0.00097	0.74	24.35	35.01	0.21
	5465.42	9.8	759.45	760.7		0.000771	0.6	31.33	47.46	0.18
	5417.69	9.8	759.36	760.68		0.000325	0.4	48.64	73.04	0.12
	5372.63	9.8	759.4	760.66		0.00054	0.5	38.74	61.2	0.15
	5340.83	9.8	759.36	760.64		0.000495	0.48	40.61	65.2	0.14
	5308.00	9.8	759.36	760.62		0.000433	0.44	44.43	72.88	0.13
	5280.36	11.04	759.13	760.15	760.15	0.000406	1.72	16.29	83.47	0.6
	5261.87	11.04	757.45	758	758.45	0.196193	5.53	2	4.32	2.6
	5239.33	11.04	756.31	757.28	757.42	0.033218	3.22	5.76	19.4	1.12
	5212.58	11.04	755.27	756.14	756.31	0.041043	3.3	3.35	4.45	1.21
	5187.12	11.04	754.76	756.36	755.7	0.002547	1.24	13.03	23.13	0.34
	5163.86	11.04	754.89	756.03	756.03	0.015045	2.41	6.59	16.7	0.77
	5137.20	11.04	753.92	755.91	754.69	0.000774	0.79	17	22.12	0.19
	5106.26	11.04	754.33	755.79		0.004299	1.52	11.01	21.67	0.43
	5076.67	11.04	754.1	755.75		0.001754	1.07	17.2	26.91	0.28
	5049.91	11.04	754.18	755.73		0.000798	0.69	31.27	46.11	0.19
	5017.44	11.04	754.41	755.71		0.000559	0.52	35.95	66.17	0.15
	4986.22	11.04	754.15	755.68		0.000635	0.61	33.06	52.4	0.17
	4963.79	11.04	754.26	755.65		0.000765	0.63	34.14	58.34	0.18
	4941.85	11.04	754.11	755.64		0.000501	0.54	40.87	69.32	0.15
	4916.08	11.04	754.33	755.63		0.000508	0.49	46.87	90.36	0.15
	4880.97	11.04	754.21	755.62		0.000308	0.4	59.27	110.45	0.11
	4836.61	11.04	753.64	755.61		0.000127	0.32	75.58	120.74	0.08
	4815.29	11.04	753.93	755.61		0.000127	0.28	82.95	136.97	0.08
	4797.25	11.04	753.73	755.6		0.000104	0.28	86.8	142.13	0.07
	4781.15	11.04	753.53	755.6		0.000093	0.28	85.43	136.44	0.07
	4757.78	11.04	753.79	755.59		0.000119	0.29	82.21	136.1	0.07
	4732.52	11.04	753.5	755.59		0.000091	0.28	86.93	139.52	0.07
	4709.79	11.04	754.19	755.58		0.000166	0.29	77.9	138.22	0.08
	4689.06	11.04	753.12	755.58		0.000062	0.25	93.56	146.07	0.06
	4666.05	11.04	753.86	755.58		0.000103	0.26	91.43	156.91	0.07
	4637.45	20.25	753.9	755.56		0.000373	0.48	90	159.93	0.13
	4622.73	20.25	753.64	755.55		0.000308	0.48	94.15	164.79	0.12
	4600.66	20.25	753	755.54		0.000167	0.42	107.6	176.12	0.09
	4585.46	20.25	753.73	755.53		0.000328	0.48	98.98	185.39	0.12
	4571.67	20.25	754.05	755.52		0.000519	0.53	85.93	175.97	0.15
	4555.82	20.25	753.71	755.51		0.000418	0.54	84.21	156.88	0.14
	4539.79	20.25	754.12	755.48		0.000657	0.56	76.56	158.18	0.17
	4520.05	20.25	753.7	755.46		0.000473	0.56	81.23	164.13	0.15
	4498.89	20.25	753.67	755.45		0.000495	0.58	79.68	165.29	0.15
	4473.38	20.25	753.07	755.44		0.000265	0.5	87.47	166.45	0.12
	4455.04	20.25	753.11	755.43		0.000302	0.53	82.2	158.54	0.12
	4432.87	20.25	753.79	755.41		0.000663	0.63	73.29	164.89	0.17
	4413.71	20.25	753.62	755.35		0.000835	0.73	64.92	165.87	0.19
	4393.16	20.25	753.43	755.31		0.00093	0.81	57.04	152.02	0.21
	4376.57	20.25	753.24	755.29		0.000851	0.81	52.89	139.13	0.2
	4356.14	20.25	753.41	755.27		0.001096	0.87	53.51	163.17	0.22
	4339.14	20.25	753.45	755.24		0.001386	0.95	49.67	170.19	0.25
	4318.21	20.25	753.89	755.15		0.005412	1.48	35.58	190.82	0.47
	4301.97	20.25	753.9	754.96	754.96	0.010317	1.86	26.9	139.6	0.62
	4286.72	20.25	753.6	754.31	754.44	0.049615	3.33	9.5	46.74	1.38
	4270.78	20.25	752.07	752.95	753.2	0.058208	4.14	4.89	6.49	1.52
	4251.78	20.25	751.71	752.88	752.88	0.024766	3.15	6.43	6.37	1
	4229.74	20.25	750.97	751.9	752.08	0.045784	3.79	5.34	6.73	1.36
	4210.11	20.25	750.45	751.56	751.56	0.024402	3.07	6.61	6.96	1
	4182.82	20.25	747.17	751.41	748.53	0.00082	0.36	58.3	33.56	0.07
	4155.81	26.65	749.69	751.2	751.2	0.010758	2.47	23.37	59.9	0.69
	4125.91	26.65	748.5	750.87	749.79	0.000869	0.94	55.82	76.26	0.21
	4100.01	26.65	748.23	750.86		0.000375	0.66	82.9	100.68	0.14
	4081.86	26.65	748.46	750.85		0.000287	0.54	108.35	131.16	0.12
	4063.98	26.65	748.6	750.84		0.00028	0.49	113.23	134.47	0.12
	4045.57	26.65	748.21	750.83		0.000193	0.47	125.15	144.72	0.1
	4028.69	26.65	748.25	750.83		0.000163	0.43	140.74	162.88	0.09
	4010.70	26.65	748.14	750.83		0.000133	0.4	154.38	179.24	0.08
	3994.41	26.65	748.28	750.83		0.000119	0.36	176.04	214.85	0.08
	3978.86	26.65	748.58	750.82		0.0001	0.33	202.15	268.85	0.07
	3959.76	26.65	748.61	750.82		0.000077	0.27	233.98	279.76	0.06
	3946.13	26.65	748.83	750.82		0.000105	0.29	207.28	256.67	0.07
	3930.94	26.65	748.25	750.82		0.000102	0.34	187.27	220.36	0.07
	3918.61	26.65	747.92	750.81		0.000095	0.35	177.8	202.33	0.07
	3899.07	26.65	748.39	750.8		0.000141	0.38	161.48	192.07	0.08
	3864.22	26.65	748.1	750.8		0.000137	0.4	151.23	176.41	0.08
	3825.11	26.65	748.16	750.79		0.000149	0.41	147.79	175.56	0.09
	3808.59	26.65	748.37	750.69		0.00025	0.49	127.55	176.05	0.11
	3782.14	26.65	747.61	750.68		0.000098	0.38	168.48	187.74	0.07
	3740.42	26.65	748.93	750.68		0.00015	0.19	345.02	225.01	0.03
	3720.43	26.65	746.43	750.68		0.000008	0.14	469.7	299.46	0.02
	3690.61	26.65	745.38	750.68		0.000004	0.12	582.54	376.82	0.02
	3657.98	26.65	746.46	750.68		0.000009	0.15	533.04	477.43	0.02
	3635.64	26.65	745.99	750.68		0.00001	0.16	510.01	508.32	0.02
	3613.90	26.65	746.99	750.68		0.000029	0.24	333.68	374.86	0.04
	3600.85	26.65	747.51	750.68		0.00004	0.25	321.88	429.35	0.05
	3582.82	26.65	748.17	750.59		0.000084	0.3	260.18	411.92	0.07
	3545.76	26.65	748.55	750.58		0.000161	0.36	195.2	325.43	0.09
	3486.44	27.19	748.18	750.56		0.000226	0.47	150.56	249.56	0.11
	3419.54	27.19	747.96	750.53		0.0003	0.57	113	182.43	0.12
	3368.59	32.43	748.65	750.5		0.001054	0.86	93.26	174.62	0.22
	3308.26	32.43	748.74	750.36		0.001811	1.03	87.41	226.22	0.28
	3270.09	32.43	748.19	750.32		0.000759	0.79	125.55	354.14	0.19
	3227.43	32.43	748.47	750.19	749.91	0.003898	1.54	63.73	282.82	0.42
	3187.04	32.43	747.63	749.07	749.07	0.023866	3.53	9.19	7.33	1.01
	3134.20	32.43	746.38	747.95	748.13	0.020675	3.41	13.91	34.13	0.95
	3072.20	32.43	743.96	744.94	745.32	0.07375	5	6.48	7.85	1.76
	3035.92	32.43	743.29	745.77	744.65	0.00097	1.02	61	78.48	0.22
	2982.74	32.43	743.61	745.69		0.001755	1.22	53.55	76.47	0.29
	2925.34	32.43	743.11	745.64		0.000732	0.89	72.28	96.17	0.19
	2882.98	32.43	743.47	745.6		0.001017	0.93	76.83	117.36	0.22
	2823.27	32.43	743.41	745.53		0.000832	0.84	91.28	153.37	0.2
	2768.61	32.43	743.53	745.48		0.001097	0.91	87.62	165.31	0.23
	2710.78	33.83	743.01	745.42		0.000874	0.92	84.33	164.04	0.21
	2652.43	33.83	743.36	745.2	744.78	0.00508	1.84	41.72	152.06	0.48
	2610.37	33.83	742.71	744.18	744.18	0.023496	3.55	9.54	7.47	1
	2557.67	33.83	739.92	740.9	741.38	0.08345	5.62	6.02	7.19	1.96
	2501.18	33.83	737.97	741.19	739.73	0.000647	1.04	65.09	62.6	0.19
	2417.83	33.83	738.53	741.17		0.00032	0.62	116.36	116.73	0.13
	2333.61	33.83	738.4	741.15		0.000142	0.42	168.94	149.14	0.09
	2289.21	33.83	738.03	740.91		0.000206	0.52	139.25	139.91	0.11
	2248.77	33.83	737.86	740.64		0.00021	0.53	142.48	134.17	0.11
	2202.69	35.08	738.01	740.63		0.00029	0.59	132.04	138.37	0.12
	2154.32	35.08	738.62	740.58		0.001168	0.95	86.5	142.77	0.24
	2093.86	35.08	738.12	740.52		0.000896	0.94	83.55	140.12	0.21
	203									

Cenário de 2011 - Tempo de Retorno - 25 anos										
	XS	Q (m³/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit. W.S. (m)	E. G. Slope (m/m)	V Chnl (m/s)	Flow area (m²)	Top Width (m)	Froude XS
	5537.55	24.28	758.84	760.97	760.26	0.00	0.64	35.30	37.20	0.15
	5502.83	24.28	759.25	760.93		0.00	0.85	31.75	37.66	0.22
	5465.42	24.28	759.45	760.91		0.00	0.57	41.64	50.15	0.16
	5417.69	24.28	759.36	760.90		0.00	0.37	65.15	65.15	0.1
	5372.63	24.28	759.40	760.87		0.00	0.53	52.37	52.37	0.15
	5340.83	24.28	759.36	760.86		0.00	0.56	55.48	68.30	0.15
	5308.00	24.28	759.36	760.84		0.00	0.60	61.04	75.65	0.17
	5280.36	24.66	759.13	760.22	760.22	0.01	2.11	22.27	84.60	0.7
	5261.87	24.66	757.45	758.59	758.94	0.06	4.79	5.61	13.09	1.58
	5239.33	24.66	756.31	757.31	757.56	0.06	4.55	6.41	21.13	1.55
	5212.58	24.66	755.27	756.62	756.78	0.02	3.30	9.57	23.31	0.98
	5187.12	24.66	754.76	756.60	756.31	0.00	1.61	19.50	30.01	0.4
	5163.86	24.66	754.89	756.32	756.32	0.01	2.47	12.49	25.26	0.7
	5137.20	24.66	753.92	756.31	755.15	0.00	1.09	28.02	33.16	0.24
	5106.26	24.66	754.33	756.06		0.01	2.38	17.89	29.30	0.61
	5076.67	24.66	754.10	755.92		0.00	1.93	22.23	30.85	0.48
	5049.91	24.66	754.18	755.88		0.00	1.25	38.90	51.99	0.32
	5017.44	24.66	754.41	755.85		0.00	0.54	45.55	68.14	0.15
	4986.22	24.66	754.15	755.81		0.00	0.84	40.12	55.54	0.22
	4963.79	24.66	754.26	755.75		0.00	1.02	39.82	61.22	0.28
	4941.85	24.66	754.11	755.72		0.00	0.90	46.40	71.82	0.24
	4916.08	24.66	754.33	755.69		0.00	0.86	52.37	94.45	0.25
	4880.97	24.66	754.21	755.65		0.00	0.74	62.71	111.59	0.21
	4836.61	24.66	753.64	755.64		0.00	0.35	79.10	121.70	0.09
	4815.29	24.66	753.93	755.63		0.00	0.30	86.66	137.68	0.08
	4797.25	24.66	753.73	755.62		0.00	0.31	90.05	142.82	0.08
	4781.15	24.66	753.53	755.62		0.00	0.33	93.87	167.33	0.08
	4757.78	24.66	753.79	755.61		0.00	0.32	84.79	136.63	0.08
	4732.52	24.66	753.50	755.61		0.00	0.32	89.30	140.00	0.08
	4709.79	24.66	754.19	755.60		0.00	0.30	79.71	138.66	0.09
	4689.06	24.66	753.12	755.60		0.00	0.30	95.66	146.63	0.07
	4666.05	24.66	753.86	755.59		0.00	0.25	93.57	157.33	0.07
	4637.45	38.72	753.90	755.57		0.00	0.40	91.99	160.28	0.11
	4622.73	38.72	753.64	755.57		0.00	0.41	96.65	165.23	0.1
	4600.66	38.72	753.70	755.55		0.00	0.42	110.21	176.52	0.09
	4585.46	38.72	753.73	755.54		0.00	0.39	101.40	185.90	0.1
	4571.67	38.72	754.05	755.53		0.00	0.42	88.27	176.82	0.12
	4555.82	38.72	753.71	755.53		0.00	0.46	86.82	157.26	0.12
	4539.79	38.72	754.12	755.50		0.00	0.44	80.47	158.76	0.13
	4520.05	38.72	753.70	755.50		0.00	0.47	86.49	164.80	0.12
	4498.89	38.72	753.67	755.49		0.00	0.49	85.54	166.15	0.13
	4473.38	38.72	753.07	755.48		0.00	0.50	93.87	167.33	0.11
	4455.04	38.72	753.11	755.47		0.00	0.54	88.18	159.28	0.12
	4432.87	38.72	753.79	755.45		0.00	0.52	78.77	165.48	0.14
	4413.71	38.72	753.62	755.38		0.00	0.65	70.76	166.36	0.17
	4393.16	38.72	753.43	755.35		0.00	0.79	62.29	152.55	0.2
	4376.57	38.72	753.24	755.32		0.00	0.90	57.20	139.61	0.22
	4356.14	38.72	753.41	755.30		0.00	0.90	58.07	164.08	0.23
	4339.14	38.72	753.45	755.26		0.00	1.01	53.78	171.08	0.27
	4318.21	38.72	753.38	755.15	755.15	0.00	1.60	36.37	190.89	0.51
	4301.97	38.72	753.90	755.00	755.00	0.01	1.55	32.11	154.47	0.53
	4286.72	38.72	753.60	754.39	754.53	0.03	2.98	14.70	71.85	1.16
	4270.78	38.72	752.07	753.63	753.86	0.03	3.76	11.85	38.26	1.07
	4251.78	38.72	751.71	753.32	753.49	0.02	3.39	13.81	38.09	0.94
	4229.74	38.72	750.97	752.56	752.89	0.03	3.81	10.45	13.53	1.07
	4210.11	38.72	750.45	752.03	752.36	0.03	3.82	10.40	14.73	1.09
	4182.82	38.72	747.77	751.42	748.86	0.00	0.69	59.98	33.90	0.13
	4155.81	45.00	749.69	751.20	751.20	0.01	2.29	23.61	101.17	0.64
	4125.91	45.00	748.50	750.97	750.96	0.00	0.77	63.40	80.45	0.17
	4100.01	45.00	748.23	750.96		0.00	0.51	93.42	105.62	0.11
	4081.86	45.00	748.46	750.96		0.00	0.35	122.43	133.81	0.08
	4063.98	45.00	748.60	750.95		0.00	0.30	128.72	137.09	0.07
	4045.57	45.00	748.21	750.95		0.00	0.31	142.65	147.94	0.06
	4028.69	45.00	748.25	750.95		0.00	0.27	160.69	165.52	0.06
	4010.70	45.00	748.14	750.95		0.00	0.25	175.65	185.05	0.05
	3994.41	45.00	748.28	750.95		0.00	0.21	203.09	219.53	0.04
	3978.86	45.00	748.29	750.95		0.00	0.19	235.68	269.49	0.04
	3959.76	45.00	748.61	750.95		0.00	0.14	269.70	281.44	0.03
	3946.13	45.00	748.83	750.95		0.00	0.15	240.60	261.90	0.04
	3930.94	45.00	748.25	750.95		0.00	0.19	216.52	222.50	0.04
	3918.61	45.00	747.92	750.95		0.00	0.22	205.25	204.34	0.04
	3899.07	45.00	748.39	750.94		0.00	0.22	188.25	171.71	0.04
	3864.22	45.00	748.10	750.93		0.00	0.44	175.84	178.38	0.09
	3825.11	45.00	748.16	750.93		0.00	0.41	172.30	177.90	0.08
	3808.59	45.00	748.37	750.83		0.00	0.24	152.71	179.66	0.05
	3782.14	45.00	747.61	750.83		0.00	0.22	195.39	190.34	0.04
	3740.42	45.00	746.93	750.82		0.00	0.15	375.72	234.59	0.03
	3720.43	45.00	746.43	750.81		0.00	0.12	509.93	304.69	0.02
	3690.61	45.00	745.38	750.81		0.00	0.09	643.13	383.53	0.01
	3657.98	45.00	746.46	750.81		0.00	0.08	597.06	351.08	0.03
	3635.64	45.00	745.99	750.81		0.00	0.23	577.68	511.76	0.04
	3613.90	45.00	746.99	750.81		0.00	0.18	384.22	387.25	0.03
	3600.85	45.00	747.51	750.81		0.00	0.18	378.93	434.38	0.03
	3582.82	45.00	748.17	750.62		0.00	0.47	271.78	412.49	0.1
	3545.76	45.00	748.55	750.61		0.00	0.24	204.84	325.88	0.06
	3486.44	60.52	748.18	750.59		0.00	0.49	159.08	250.03	0.11
	3418.54	60.52	747.95	750.56		0.00	0.71	117.45	171.45	0.16
	3366.59	67.00	748.65	750.50		0.00	0.98	92.84	174.58	0.25
	3308.26	67.00	748.74	750.40		0.00	0.80	94.91	226.91	0.22
	3270.09	67.00	748.19	750.38		0.00	0.62	146.24	355.37	0.15
	3227.43	67.00	748.47	750.33		0.00	0.85	104.17	285.25	0.22
	3187.04	67.00	747.63	749.84	749.84	0.01	2.67	30.08	49.93	0.62
	3134.20	67.00	746.38	747.98	748.31	0.05	5.32	15.25	36.72	1.46
	3072.20	67.00	743.96	745.89	746.27	0.03	4.46	16.06	23.24	1.14
	3035.92	67.00	743.29	745.81	745.37	0.00	1.13	64.44	80.13	0.25
	2982.74	67.00	743.61	745.71		0.00	1.25	54.97	77.05	0.3
	2926.34	67.00	743.11	745.65		0.00	1.00	73.74	96.51	0.22
	2882.98	67.00	743.47	745.61		0.00	0.90	78.06	117.56	0.21
	2823.27	67.00	743.41	745.56		0.00	0.77	94.46	153.60	0.18
	2768.61	67.00	743.53	745.52		0.00	0.78	93.19	165.80	0.19
	2710.78	69.87	743.01	745.47		0.00	0.94	92.05	164.76	0.21
	2652.43	69.87	743.36	745.28		0.00	1.76	54.25	153.18	0.45
	2610.37	69.87	742.71	744.85	744.85	0.01	2.46	37.11	82.36	0.58
	2557.67	69.87	739.92	741.43	742.11	0.09	7.04	9.92	7.54	1.96
	2501.18	69.87	737.97	741.16	740.37					

Cenário de 1962 - Tempo de Retorno - 50 anos										
	XS	Q (m³/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit. W.S. (m)	E. G. Slope (m/m)	V Chnl (m/s)	Flow area (m²)	Top Width (m)	Froude XS
	5537.55	11.8	758.84	760.82	759.74	0.000529	0.66	30.1	35.25	0.16
	5502.83	11.8	759.25	760.8		0.001064	0.8	26.96	35.97	0.22
	5465.42	11.8	759.45	760.77		0.000818	0.64	34.79	48.38	0.19
	5417.69	11.8	759.36	760.75		0.000344	0.43	53.87	73.85	0.12
	5372.63	11.8	759.4	760.73		0.000569	0.53	43.05	62.15	0.16
	5340.83	11.8	759.36	760.71		0.000522	0.51	45.14	66.16	0.15
	5308.00	11.8	759.36	760.69		0.000453	0.47	49.4	73.72	0.14
	5280.36	13.24	759.13	760.17	760.17	0.010389	1.84	18.29	83.85	0.63
	5261.87	13.24	757.45	758.1	758.62	0.148733	5.37	2.47	4.41	2.29
	5239.33	13.24	756.31	757.33	757.49	0.03628	3.48	6.69	21.83	1.18
	5212.58	13.24	755.27	756.28	756.47	0.035438	3.25	4.25	9.01	1.15
	5187.12	13.24	754.76	756.45	755.86	0.002739	1.34	15.15	25.59	0.35
	5163.86	13.24	754.89	756.12	756.12	0.014356	2.5	8.19	19.4	0.77
	5137.20	13.24	753.92	756	754.78	0.000903	0.89	19.1	24.61	0.21
	5106.26	13.24	754.33	755.86		0.004636	1.65	12.77	23.85	0.45
	5076.67	13.24	754.1	755.82		0.001987	1.17	19.18	28.52	0.3
	5049.91	13.24	754.18	755.8		0.000871	0.75	34.76	49.92	0.2
	5017.44	13.24	754.41	755.78		0.000573	0.55	40.56	66.65	0.16
	4986.22	13.24	754.15	755.74		0.000688	0.65	36.66	54.02	0.18
	4963.79	13.24	754.26	755.72		0.000814	0.67	38.03	60.32	0.19
	4941.85	13.24	754.11	755.71		0.000537	0.58	45.45	71.4	0.16
	4916.08	13.24	754.33	755.7		0.000523	0.52	52.85	94.8	0.15
	4880.97	13.24	754.21	755.68		0.000316	0.42	66.44	112.8	0.12
	4836.61	13.24	753.64	755.68		0.00014	0.34	83.33	122.85	0.08
	4815.29	13.24	753.93	755.67		0.000135	0.3	91.67	138.64	0.08
	4797.25	13.24	753.73	755.66		0.000113	0.3	95.73	144.01	0.07
	4781.15	13.24	753.53	755.66		0.000103	0.3	93.97	138.32	0.07
	4757.78	13.24	753.79	755.66		0.000128	0.31	90.68	137.82	0.08
	4732.52	13.24	753.5	755.65		0.000101	0.3	95.55	141.26	0.07
	4709.79	13.24	754.19	755.65		0.000174	0.31	86.39	130.26	0.09
	4689.06	13.24	753.12	755.64		0.000071	0.27	102.49	148.45	0.06
	4666.05	13.24	753.86	755.64		0.00011	0.28	100.98	158.77	0.07
	4637.45	23.98	753.9	755.62		0.000387	0.51	99.49	161.6	0.13
	4622.73	23.98	753.64	755.61		0.000326	0.5	103.87	166.5	0.12
	4600.66	23.98	753	755.59		0.000186	0.45	117.66	177.64	0.1
	4585.46	23.98	753.73	755.59		0.000344	0.5	109.46	187.58	0.13
	4571.67	23.98	754.05	755.58		0.000529	0.55	95.84	179.53	0.15
	4555.82	23.98	753.71	755.57		0.000443	0.56	92.9	158.14	0.14
	4539.79	23.98	754.12	755.53		0.000666	0.58	85.07	159.43	0.17
	4520.05	23.98	753.7	755.52		0.000494	0.59	89.97	165.24	0.15
	4498.89	23.98	753.67	755.5		0.000516	0.6	88.4	166.56	0.15
	4473.38	23.98	753.07	755.49		0.000295	0.54	96.05	167.64	0.12
	4455.04	23.98	753.11	755.49		0.000337	0.57	90.24	159.54	0.13
	4432.87	23.98	753.79	755.46		0.000688	0.65	81.29	165.75	0.18
	4413.71	23.98	753.62	755.39		0.00088	0.76	72.13	166.48	0.2
	4393.16	23.98	753.43	755.35		0.001026	0.86	63.02	152.63	0.22
	4376.57	23.98	753.24	755.33		0.000988	0.89	57.9	139.69	0.22
	4356.14	23.98	753.41	755.3		0.001238	0.93	58.86	164.24	0.24
	4339.14	23.98	753.45	755.27		0.001581	1.03	54.37	171.2	0.27
	4318.21	23.98	753.89	755.19		0.004884	1.44	42.57	192.31	0.45
	4301.97	23.98	753.9	754.99	754.99	0.011861	1.95	30.19	149.19	0.67
	4286.72	23.98	753.6	754.36	754.48	0.04056	3.17	12.72	63.47	1.26
	4270.78	23.98	752.07	753.09	753.32	0.048408	4.12	5.82	6.6	1.4
	4251.78	23.98	751.71	753.03	753.03	0.024884	3.25	7.38	6.92	1
	4229.74	23.98	750.97	752	752.2	0.045063	3.99	6	6.81	1.36
	4210.11	23.98	750.45	751.67	751.67	0.024203	3.23	7.42	7.04	
	4182.82	31.51	749.69	751.48	748.61	0.00107	0.42	58.12	37.75	0.08
	4155.81	31.51	748.69	751.25	751.25	0.01147	2.61	26.6	63.47	0.71
	4125.91	31.51	748.5	750.96	749.93	0.00094	1.01	62.69	80.06	0.22
	4100.01	31.51	748.23	750.95		0.000415	0.71	91.72	104.84	0.15
	4081.86	31.51	748.46	750.94		0.000305	0.58	119.64	133.28	0.13
	4063.98	31.51	748.6	750.92		0.000297	0.52	124.64	136.4	0.12
	4045.57	31.51	748.21	750.92		0.00021	0.5	137.32	146.97	0.11
	4028.69	31.51	748.25	750.91		0.000175	0.46	154.38	164.69	0.1
	4010.70	31.51	748.14	750.91		0.000144	0.42	169.38	181.71	0.09
	3994.41	31.51	748.28	750.91		0.000126	0.38	193.97	217.96	0.08
	3978.86	31.51	748.29	750.91		0.000105	0.35	224.12	267.34	0.07
	3959.76	31.51	748.61	750.91		0.00008	0.28	257.17	280.85	0.06
	3946.13	31.51	748.83	750.9		0.000109	0.31	228.66	260.04	0.07
	3930.94	31.51	748.25	750.9		0.000108	0.36	205.46	221.7	0.08
	3918.61	31.51	747.92	750.89		0.000103	0.37	194.43	203.55	0.07
	3899.07	31.51	748.39	750.88		0.00015	0.4	177.11	193.05	0.09
	3864.22	31.51	748.1	750.88		0.000149	0.43	165.48	177.55	0.09
	3825.11	31.51	748.16	750.87		0.000161	0.44	161.88	176.91	0.09
	3808.59	31.51	748.37	750.76		0.00027	0.52	139.97	177.84	0.12
	3782.14	31.51	747.61	750.75		0.000112	0.41	181.53	189.01	0.08
	3740.42	31.51	746.93	750.75		0.000019	0.2	380.43	227.88	0.03
	3720.43	31.51	746.43	750.75		0.00001	0.16	490.18	302.13	0.02
	3690.61	31.51	745.38	750.75		0.000005	0.14	618.28	379.89	0.02
	3657.98	31.51	746.46	750.75		0.000011	0.17	565.63	481.26	0.03
	3635.64	31.51	745.99	750.75		0.000011	0.17	544.6	510.09	0.03
	3613.90	31.51	746.99	750.75		0.000033	0.26	359.3	380.84	0.04
	3600.85	31.51	747.51	750.75		0.000044	0.27	351.11	431.94	0.05
	3582.82	31.51	748.17	750.66		0.000089	0.32	285.57	413.18	0.07
	3545.76	31.51	748.55	750.64		0.000168	0.38	214.99	326.44	0.09
	3486.44	32.15	748.18	750.61		0.000243	0.5	165.28	250.37	0.11
	3419.54	32.15	747.96	750.59		0.000338	0.61	123.32	183.23	0.13
	3366.59	38.4	748.65	750.55		0.001123	0.91	102.63	175.38	0.23
	3308.26	38.4	748.74	750.41		0.001831	1.06	98.09	227.2	0.29
	3270.09	38.4	748.19	750.36		0.000783	0.82	141.83	355.11	0.19
	3227.43	38.4	748.47	750.27		0.002724	1.34	86.54	284.19	0.35
	3187.04	38.4	747.63	749.42	749.42	0.014727	3.1	14.54	25.7	0.82
	3134.20	38.4	746.38	747.91	748.22	0.03274	4.22	12.85	31.91	1.19
	3072.20	38.4	743.96	745.17	745.46	0.04905	4.63	8.29	8.04	1.46
	3035.92	38.4	743.29	745.96	744.79	0.001068	1.1	67.96	81.71	0.24
	2992.74	38.4	743.61	745.77		0.001874	1.3	59.82	79	0.3
	2926.34	38.4	743.11	745.71		0.000822	0.98	79.44	97.83	0.21
	2882.98	38.4	743.47	745.67		0.001083	0.99	85.16	118.7	0.23
	2823.27	38.4	743.41	745.6		0.000872	0.88	101.59	154.11	0.21
	2768.61	38.4	743.53	745.55		0.00111	0.94	98.6	166.29	0.23
	2710.78	40.04	743.01	745.48		0.000941	0.98	94.63	165.01	0.22
	2652.43	40.04	743.36	745.22	745.22	0.006314	2.07	44.64	152.32	0.54
	2610.37	40.04	742.71	744.62	744.64	0.010242	2.73	21.97	54.96	0.69
	2557.67	40.04	739.92	740.86	741.82	0.155825	7.05	5.68	7.15	2.52
	2501.18	40.04	737.97	741.31	739.9	0.000717	1.12	72.98	67.35	0.2
	2417.83	40.04	738.53	741.29		0.00033	0.65	130.85	121.84	0.13
	2333.61	40.04	738.4	741.27		0.000147	0.45	187.14	151.68	0.08
	2289.21	40.04	738.03	741.01		0.000217	0.55	154.44	141.76	0.11
	2248.77	40.04	737.86	740.73		0.000237	0.57	153.63	135.6	0.11
	2202.69	41.58	738.01	740.71		0.000323	0.63	143.27	140.07	0.13
	2154.32	41.58	738.62	740.66		0.001167	0.98	97.77	144.75	0.24
	2093.86	41.58	738.12	740.59		0.000941	0.99	94.39	142.37	0.22

Cenário de 2011 - Tempo de Retorno - 50 anos									
XS	Q (m³/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit. W.S. (m)	E. G. Slope (m/m)	V Chnl (m/s)	Flow area (m²)	Top Width (m)	Froude XS
5537.55	27.12	758.84	761.02	760.29	0.00	0.67	37.35	37.35	0.15
5502.83	27.12	759.25	760.98		0.00	0.89	33.71	38.34	0.23
5465.42	27.12	759.45	760.96		0.00	0.59	44.27	50.81	0.16
5417.69	27.12	759.36	760.95		0.00	0.39	69.13	76.14	0.1
5372.63	27.12	760.92	760.92		0.00	0.55	55.66	64.85	0.15
5340.83	27.12	759.36	760.91		0.00	0.58	58.95	69.01	0.16
5308.00	27.12	759.36	760.89		0.00	0.63	64.85	76.27	0.17
5280.36	27.54	759.13	760.23	760.23	0.01	2.21	23.51	84.83	0.73
5261.87	27.54	757.45	758.65	758.98	0.06	4.83	6.38	15.21	1.54
5239.33	27.54	756.31	757.34	757.60	0.07	4.70	6.92	22.41	1.58
5212.58	27.54	755.27	756.66	756.82	0.02	3.39	10.64	25.73	0.99
5187.12	27.54	754.76	756.65	756.36	0.00	1.67	21.08	31.45	0.41
5163.86	27.54	754.89	756.36	756.36	0.01	2.53	13.63	26.60	0.7
5137.20	27.54	753.92	756.38	755.24	0.00	1.13	30.37	35.07	0.24
5106.26	27.54	754.33	756.12		0.01	2.47	19.73	31.03	0.62
5076.67	27.54	754.10	755.97		0.01	2.04	23.75	31.94	0.5
5049.91	27.54	754.18	755.93		0.00	1.31	41.42	53.21	0.33
5017.44	27.54	754.41	755.90		0.00	0.57	48.75	69.08	0.15
4986.22	27.54	754.15	755.85		0.00	0.87	42.59	56.60	0.23
4963.79	27.54	754.26	755.79		0.00	1.06	42.35	62.48	0.29
4941.85	27.54	754.11	755.76		0.00	0.94	49.30	73.11	0.25
4916.08	27.54	754.33	755.73		0.00	0.88	56.18	97.19	0.25
4880.97	27.54	754.21	755.69		0.00	0.75	67.12	112.99	0.21
4836.61	27.54	753.64	755.68		0.00	0.36	83.89	123.00	0.09
4815.29	27.54	753.93	755.67		0.00	0.31	92.04	138.71	0.08
4797.25	27.54	753.73	755.66		0.00	0.32	95.58	143.98	0.08
4781.15	27.54	753.53	755.66		0.00	0.34	93.63	138.24	0.08
4757.78	27.54	753.09	755.65		0.00	0.33	89.99	137.68	0.08
4732.52	27.54	753.00	755.64		0.00	0.34	94.60	141.07	0.08
4709.79	27.54	754.19	755.63		0.00	0.31	84.89	139.90	0.09
4689.06	27.54	753.12	755.63		0.00	0.31	101.14	148.09	0.07
4666.05	27.54	753.86	755.63		0.00	0.26	99.44	158.47	0.07
4637.45	43.45	753.90	755.61		0.00	0.42	97.73	161.29	0.11
4622.73	43.45	753.64	755.60		0.00	0.43	102.54	166.27	0.11
4600.66	43.45	753.00	755.59		0.00	0.44	116.38	177.44	0.14
4585.46	43.45	753.73	755.58		0.00	0.41	107.79	187.23	0.1
4571.67	43.45	754.05	755.57		0.00	0.44	94.29	178.98	0.12
4555.82	43.45	753.71	755.56		0.00	0.48	92.09	158.02	0.12
4539.79	43.45	754.12	755.54		0.00	0.45	85.64	159.51	0.13
4520.05	43.45	753.70	755.53		0.00	0.49	91.81	165.47	0.13
4498.89	43.45	753.67	755.52		0.00	0.50	90.85	166.91	0.13
4473.38	43.45	753.07	755.51		0.00	0.53	99.17	168.07	0.12
4455.04	43.45	753.11	755.50		0.00	0.56	93.16	159.90	0.14
4432.87	43.45	753.79	755.48		0.00	0.54	83.68	166.00	0.14
4413.71	43.45	753.62	755.41		0.00	0.67	75.18	166.74	0.17
4393.16	43.45	753.43	755.37		0.00	0.82	66.01	152.94	0.21
4376.57	43.45	753.24	755.34		0.00	0.94	60.34	139.97	0.23
4356.14	43.45	753.41	755.32		0.00	0.94	61.51	164.76	0.24
4339.14	43.45	753.45	755.28		0.00	1.05	56.96	171.76	0.27
4318.21	43.45	753.85	755.17	755.15	0.01	1.64	38.86	181.52	0.51
4301.97	43.45	753.00	755.02	755.02	0.01	1.59	38.27	250.92	0.54
4286.72	43.45	753.60	754.43	754.55	0.03	2.85	17.34	81.65	1.08
4270.78	43.45	752.07	753.68	753.89	0.03	3.81	13.95	49.24	1.06
4251.78	43.45	751.71	753.36	753.54	0.02	3.45	15.55	42.82	0.94
4229.74	43.45	750.97	752.67	752.96	0.02	3.78	12.40	21.13	1.02
4210.11	43.45	750.45	752.10	752.41	0.03	3.95	11.70	19.68	1.09
4182.82	43.45	747.77	751.46	748.93	0.07	0.76	58.51	36.68	0.14
4155.81	50.57	751.24	748.61	751.24	0.01	2.29	26.11	62.94	0.63
4125.91	50.57	748.50	751.03	750.41	0.00	0.79	68.44	83.13	0.17
4100.01	50.57	748.23	751.02		0.00	0.53	100.01	108.60	0.11
4081.86	50.57	748.46	751.02		0.00	0.36	130.71	135.37	0.08
4063.98	50.57	748.60	751.02		0.00	0.31	137.17	138.49	0.07
4045.57	50.57	748.21	751.01		0.00	0.32	151.77	149.59	0.07
4028.69	50.57	748.25	751.01		0.00	0.28	170.89	166.85	0.06
4010.70	50.57	751.01	748.14		0.00	0.26	187.94	184.89	0.05
3994.41	50.57	748.28	751.01		0.00	0.22	216.67	221.84	0.05
3978.86	50.57	748.29	751.01		0.00	0.19	252.38	273.09	0.04
3959.76	50.57	748.61	751.01		0.00	0.15	287.03	282.25	0.03
3946.13	50.57	748.83	751.01		0.00	0.16	256.74	263.70	0.04
3930.94	50.57	748.25	751.01		0.00	0.20	230.21	223.49	0.04
3918.61	50.57	747.92	751.01		0.00	0.23	217.79	205.25	0.04
3899.07	50.57	751.00	748.39		0.00	0.22	200.08	194.41	0.05
3884.22	50.57	748.10	751.00		0.00	0.46	186.69	179.24	0.09
3825.11	50.57	748.16	750.99		0.00	0.43	183.03	178.97	0.09
3808.59	50.57	748.37	750.89		0.00	0.25	162.73	181.07	0.05
3782.14	50.57	747.61	750.88		0.00	0.23	205.95	191.35	0.04
3740.42	50.57	746.93	750.87		0.00	0.16	388.46	237.31	0.03
3720.43	50.57	746.43	750.87		0.00	0.12	526.34	307.14	0.02
3690.61	50.57	745.38	750.87		0.00	0.10	663.82	398.26	0.01
3657.98	50.57	750.87	748.40		0.00	0.23	623.09	486.33	0.04
3635.64	50.57	745.99	750.87		0.00	0.25	605.10	513.15	0.04
3613.90	50.57	746.99	750.86		0.00	0.19	405.02	392.98	0.03
3600.85	50.57	747.51	750.86		0.00	0.19	402.13	436.85	0.03
3582.82	50.57	748.17	750.67		0.00	0.49	290.37	413.42	0.11
3545.76	50.57	748.55	750.66		0.00	0.25	219.41	326.69	0.06
3486.44	68.04	748.18	750.63		0.00	0.50	170.01	250.63	0.11
3419.54	68.04	747.96	750.60		0.00	0.74	125.14	193.37	0.16
3366.59	75.41	748.65	750.54		0.00	1.00	99.59	175.13	0.25
3308.26	75.41	748.74	750.44		0.00	0.78	105.25	227.85	0.21
3270.09	75.41	748.19	750.43		0.00	0.59	163.69	367.90	0.14
3227.43	75.41	748.47	750.39		0.00	0.78	119.90	286.19	0.2
3187.04	75.41	747.63	749.86	749.86	0.01	2.86	31.57	51.66	0.66
3134.20	75.41	746.38	748.04	748.36	0.05	5.28	17.35	40.44	1.42
3072.20	75.41	743.96	745.97	746.36	0.17	4.60	18.17	29.34	1.15
3035.92	75.41	743.29	745.87	745.41	0.00	1.17	68.96	82.17	0.25
2982.74	75.41	743.61	745.76		0.00	1.29	58.85	78.62	0.3
2926.34	75.41	743.11	745.70		0.00	1.04	78.44	97.60	0.22
2882.98	75.41	743.47	745.65		0.00	0.92	83.68	118.46	0.22
2823.27	75.41	743.41	745.60		0.00	0.78	101.90	154.14	0.18
2768.61	75.41	743.53	745.57		0.00	0.78	101.46	166.54	0.19
2710.78	81.50	743.01	745.51		0.00	0.98	99.73	165.48	0.22
2652.43	81.50	743.36	745.34		0.00	1.68	62.85	153.94	0.42
2610.37	81.50	742.71	744.90	744.90	0.01	2.54	41.88	89.47	0.59
2557.67	81.50	739.92	741.62	742.17	0.08	6.97	12.36	21.60	1.9
2501.18	81.50	737.97	741.26	740.48	0.00	1.29	69.84	65.50	0.24
2417.83	81.50	738.53	741.26		0.00	0.60	126.77	120.42	0.12
2333.61	81.50	738.40	741.25		0.00	0.38	183.27	151.14	0.08
2289.21	81.50	738.03	741.04		0.00	0.49	158.56	142.24	0.1
2248.07	81.50	737.86	740.86		0.00	0.42	172.01	137.92	0.08
2202.69	82.52	738.01	740.85		0.00	0.45	163.44	143.08	0.08
2154.32	82.52	738.62	740.82		0.00	0.62	121.91	148.93	0.14
2093.86	82.52	738.12	740.80		0.00	0.69	124.55	148.45	0.15
2032.61	82.52	738.24	740.76		0.00	1.10	121.72	151.04	0.24
1977.56	82.52	738.37	740.67		0.00	1.26	107.35	149.23	0.29
1930.37	82.52	737.70	740.66		0.00	0.57	156.54	163.92	0.11
1861.35	82.52	736.46	740.67		0.00	0.30	319.80	200.63	0.05
1801.66	82.52	736.98	740.66		0.00	0.24	629.79	221.48	0.04
1752.36	82.52	738.11	740.65		0.00	0.62	179.78	227.03	0.13
1706.72	82.52	737.65	740.65</						

Cenário de 1962 - Tempo de Retorno - 100 anos										
	XS	Q (m³/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit. W.S. (m)	E. G. Slope (m/m)	V Chnl (m/s)	Flow area (m²)	Top Width (m)	Froude XS
	5537.55	13.85	758.84	760.89	759.83	0.000598	0.72	32.59	36.2	0.17
	5502.83	13.85	759.25	760.86		0.001155	0.86	29.4	36.84	0.23
	5465.42	13.85	759.45	760.84		0.000866	0.68	38.01	49.22	0.19
	5417.69	13.85	759.36	760.81		0.000364	0.45	58.68	74.58	0.13
	5372.63	13.85	759.4	760.79		0.000601	0.57	47.01	63.01	0.16
	5340.83	13.85	759.36	760.77		0.000551	0.55	49.3	67.03	0.15
	5308.00	13.85	759.36	760.75		0.000477	0.5	53.94	74.48	0.14
	5280.36	15.46	760.19	760.19	760.19	0.011316	1.96	20.06	84.18	0.66
	5261.87	15.46	757.45	758.22	758.74	0.116274	5.2	2.97	4.48	2.04
	5239.33	15.46	756.31	757.36	757.54	0.040446	3.77	7.44	23.63	1.25
	5212.58	15.46	755.27	756.38	756.57	0.031524	3.31	5.35	13.12	1.11
	5187.12	15.46	754.76	756.52	755.99	0.002924	1.43	17.16	27.72	0.37
	5163.86	15.46	754.89	756.2	756.2	0.014002	2.58	9.74	21.69	0.77
	5137.20	15.46	753.92	756.08	754.86	0.001022	0.97	21.17	26.84	0.22
	5106.26	15.46	754.33	755.94		0.004889	1.75	14.53	25.86	0.47
	5076.67	15.46	754.1	755.88		0.002195	1.27	21.09	30	0.32
	5049.91	15.46	754.18	755.67		0.000934	0.8	38.07	51.58	0.21
	5017.44	15.46	754.41	755.84		0.000586	0.57	44.88	67.94	0.16
	4986.22	15.46	754.15	755.81		0.000735	0.69	40.07	55.51	0.18
	4963.79	15.46	754.26	755.78		0.000856	0.71	41.74	62.18	0.19
	4941.85	15.46	754.11	755.77		0.000569	0.61	49.78	73.33	0.16
	4916.08	15.46	754.33	755.76		0.000533	0.54	58.63	98.92	0.15
	4880.97	15.46	754.21	755.74		0.000323	0.44	73.19	114.74	0.12
	4836.61	15.46	753.64	755.73		0.000151	0.36	90.61	124.79	0.09
	4815.29	15.46	753.93	755.73		0.000143	0.32	99.8	140.17	0.08
	4797.25	15.46	753.73	755.72		0.000121	0.31	104.09	145.76	0.08
	4781.15	15.46	753.53	755.72		0.000111	0.32	101.96	140.07	0.07
	4757.78	15.46	753.79	755.71		0.000158	0.33	98.59	139.41	0.08
	4732.52	15.46	753.5	755.71		0.00011	0.32	103.59	142.87	0.07
	4709.79	15.46	754.19	755.7		0.000182	0.32	94.33	142.14	0.09
	4689.06	15.46	753.12	755.7		0.000079	0.3	110.86	150.65	0.06
	4666.05	15.46	753.86	755.7		0.000117	0.29	109.89	160.49	0.07
	4637.45	27.75	753.9	755.67		0.000401	0.53	108.33	163.15	0.14
	4622.73	27.75	753.64	755.66		0.000343	0.53	112.91	168.07	0.13
	4600.66	27.75	753	755.65		0.000205	0.48	127.02	179.04	0.1
	4585.46	27.75	753.73	755.64		0.000358	0.52	119.23	189.59	0.13
	4571.67	27.75	754.05	755.63		0.000399	0.57	105.14	182.38	0.16
	4555.82	27.75	753.71	755.62		0.000464	0.59	100.97	159.3	0.15
	4539.79	27.75	754.12	755.58		0.000678	0.61	92.95	160.58	0.17
	4520.05	27.75	753.7	755.57		0.000514	0.61	98.03	166.26	0.15
	4498.89	27.75	753.67	755.55		0.000538	0.63	96.43	167.72	0.16
	4473.38	27.75	753.07	755.54		0.000323	0.58	103.97	168.73	0.13
	4455.04	27.75	753.11	755.53		0.00037	0.61	97.65	160.45	0.14
	4432.87	27.75	753.79	755.51		0.000713	0.68	88.66	166.53	0.18
	4413.71	27.75	753.62	755.43		0.000922	0.79	78.77	167.04	0.21
	4393.16	27.75	753.43	755.39		0.001114	0.91	68.53	153.19	0.23
	4376.57	27.75	753.24	755.36		0.001118	0.96	62.42	140.2	0.23
	4356.14	27.75	753.41	755.33		0.001373	1	63.74	165.21	0.25
	4339.14	27.75	753.45	755.29		0.001785	1.1	58.7	172.13	0.29
	4318.21	27.75	753.89	755.2		0.005516	1.54	45.48	192.92	0.48
	4301.97	27.75	753.9	755.04	755.04	0.009391	1.77	42.53	251.79	0.6
	4286.72	27.75	753.6	754.41	754.51	0.03504	3.06	16.13	77.34	1.17
	4270.78	27.75	752.07	753.26	753.48	0.03876	4.01	6.91	6.7	1.26
	4251.78	27.75	751.71	753.39	753.39	0.009795	2.44	16.73	45.76	0.66
	4229.74	27.75	750.97	751.98	752.32	0.064893	4.73	5.86	6.79	1.63
	4210.11	27.75	750.45	751.78	751.78	0.024235	3.39	8.18	7.11	1.01
	4182.82	27.75	751.54	748.68		0.000153	0.47	61.48	41.57	0.09
	4155.81	36.44	749.69	751.3	751.3	0.01226	2.76	29.52	66.52	0.74
	4125.91	36.44	748.5	751.04	750.31	0.000997	1.06	69.45	83.66	0.23
	4100.01	36.44	748.23	751.03		0.00045	0.76	100.35	108.76	0.16
	4081.86	36.44	748.46	751.02		0.000321	0.61	130.43	135.32	0.13
	4063.98	36.44	748.6	751		0.000311	0.55	135.53	138.22	0.13
	4045.57	36.44	748.21	750.99		0.000225	0.53	148.98	149.09	0.11
	4028.69	36.44	748.25	750.99		0.000187	0.48	167.38	166.39	0.1
	4010.70	36.44	748.14	750.99		0.000154	0.45	183.72	184.17	0.09
	3994.41	36.44	748.28	750.99		0.000133	0.4	211.17	220.91	0.08
	3978.86	36.44	748.29	750.99		0.000108	0.36	245.21	271.57	0.08
	3959.76	36.44	748.61	750.98		0.000082	0.29	279.2	281.89	0.06
	3946.13	36.44	748.83	750.98		0.000112	0.32	249.09	262.92	0.07
	3930.94	36.44	748.25	750.98		0.000114	0.37	222.79	222.96	0.08
	3918.61	36.44	747.92	750.97		0.000111	0.39	210.24	204.7	0.08
	3899.07	36.44	748.39	750.96		0.000157	0.42	191.99	193.93	0.09
	3864.22	36.44	748.1	750.95		0.000159	0.45	179.09	178.64	0.09
	3825.11	36.44	748.16	750.95		0.000172	0.46	175.36	178.21	0.1
	3808.59	36.44	748.37	750.83		0.000286	0.55	152.03	179.56	0.12
	3782.14	36.44	747.61	750.82		0.000125	0.44	194.16	190.22	0.08
	3740.42	36.44	748.91	750.81		0.000023	0.22	375.5	234.55	0.04
	3720.43	36.44	748.43	750.81		0.000012	0.17	510	304.7	0.03
	3690.61	36.44	745.38	750.81		0.000007	0.15	643.22	383.55	0.02
	3657.98	36.44	746.46	750.81		0.000013	0.18	597.09	484.06	0.03
	3635.64	36.44	745.99	750.81		0.000013	0.19	577.87	511.77	0.03
	3613.90	36.44	746.99	750.81		0.000037	0.28	384.24	387.26	0.05
	3600.85	36.44	747.51	750.81		0.000047	0.28	379.22	434.41	0.05
	3582.82	36.44	748.17	750.72		0.000092	0.33	310.33	414.4	0.07
	3545.76	36.44	748.55	750.7		0.000172	0.39	234.33	327.55	0.09
	3486.44	37.17	748.18	750.67		0.000266	0.52	179.8	251.17	0.11
	3419.54	37.17	747.96	750.65		0.000388	0.65	133.59	184.02	0.14
	3366.59	44.47	748.65	750.61		0.001164	0.95	112.17	176.14	0.23
	3308.26	44.47	748.74	750.46		0.001744	1.06	110.39	228.32	0.28
	3270.09	44.47	748.19	750.42		0.000743	0.81	161.91	357.78	0.19
	3227.43	44.47	748.47	750.35		0.002057	1.2	108.26	285.49	0.31
	3187.04	44.47	747.63	749.61	749.61	0.011785	3	20.3	36.59	0.75
	3134.20	44.47	746.38	747.95	748.3	0.038063	4.64	14.11	34.51	1.29
	3072.20	44.47	743.96	745.33	745.6	0.042726	4.64	9.58	8.15	1.37
	3035.92	44.47	743.29	745.93	745.27	0.001166	1.17	74.4	84.6	0.25
	2992.74	44.47	743.61	745.94		0.002035	1.38	65.48	81.23	0.32
	2926.34	44.47	743.11	745.77		0.000917	1.03	85.69	99.26	0.22
	2882.98	44.47	743.47	745.73		0.001167	1.05	92.32	119.84	0.24
	2823.27	44.47	743.41	745.66		0.000937	0.93	110.02	154.72	0.22
	2768.61	44.47	743.53	745.6		0.001179	0.99	107.12	167.04	0.24
	2710.78	46.34	743.01	745.52		0.001058	1.05	101.85	165.68	0.23
	2652.43	46.34	743.36	745.29		0.005365	1.97	56.22	153.35	0.5
	2610.37	46.34	742.71	744.76	744.76	0.008752	2.66	30.35	71.44	0.65
	2557.67	46.34	739.92	740.96	741.96	0.146626	7.26	6.39	7.23	2.47
	2501.18	46.34	737.97	741.42	740.04	0.000776	1.19	80.77	71.74	0.21
	2417.83	46.34	738.53	741.4		0.000399	0.68	144.81	126.57	0.14
	2333.61	46.34	738.4	741.39		0.000153	0.47	204.26	154.03	0.09
	2289.21	46.34	738.03	741.11		0.000228	0.57	168.67	143.43	0.11
	2248.77	46.34	737.86	740.8		0.000263	0.62	164.04	136.92	0.12
	2202.69	48.18	738.01	740.78		0.000355	0.68	153.77	141.65	0.14
	2154.32	48.18	738.62	740.73		0.001173	1.01	108.32	146.58	0.24
	2093.86	48.18	738.12	740.67		0.00098	1			

Cenário de 2011 - Tempo de Retorno - 100 anos									
XS	Q (m³/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit. W.S. (m)	E. G. Slope (m/m)	V Chnl (m/s)	Flow area (m²)	Top Width (m)	Froude XS
5537.55	29.93	758.84	761.07	760.32	0.00	0.70	39.27	38.63	0.16
5502.83	29.93	759.25	761.02		0.00	0.92	35.53	38.95	0.23
5465.42	29.93	759.45	761.01		0.00	0.62	46.68	51.42	0.16
5417.69	29.93	759.36	761.00		0.00	0.41	72.77	76.67	0.11
5372.63	29.93	760.97	760.97		0.00	0.57	56.66	65.48	0.15
5340.83	29.93	759.36	760.96		0.00	0.60	62.12	69.64	0.16
5308.00	29.93	759.36	760.94		0.00	0.65	68.31	76.83	0.17
5280.36	30.40	759.13	760.25	760.25	0.01	2.26	24.99	85.10	0.74
5261.87	30.40	757.45	758.70	759.01	0.05	4.79	7.24	17.27	1.49
5239.33	30.40	756.31	757.36	757.63	0.07	4.84	7.42	23.58	1.61
5212.58	30.40	755.27	756.70	756.85	0.02	3.48	11.63	27.95	1
5187.12	30.40	754.76	756.70	756.41	0.00	1.72	22.55	32.75	0.42
5163.86	30.40	754.89	756.40	756.40	0.01	2.57	14.82	27.92	0.7
5137.20	30.40	753.92	756.44	755.32	0.00	1.17	32.65	36.82	0.25
5106.26	30.40	754.33	756.17		0.01	2.54	21.54	32.64	0.63
5076.67	30.40	754.10	756.01		0.01	2.15	25.19	32.94	0.52
5049.91	30.40	754.18	755.98		0.00	1.36	43.82	54.34	0.34
5017.44	30.40	754.41	755.94		0.00	0.59	51.76	69.95	0.16
4986.22	30.40	754.15	755.89		0.00	0.91	44.92	57.57	0.23
4963.79	30.40	754.26	755.83		0.00	1.10	44.76	63.85	0.29
4941.85	30.40	754.11	755.80		0.00	0.97	52.05	74.39	0.25
4916.08	30.40	754.33	755.77		0.00	0.90	59.84	99.76	0.25
4880.97	30.40	754.21	755.73		0.00	0.77	71.29	114.19	0.21
4836.61	30.40	753.64	755.72		0.00	0.37	88.38	124.20	0.09
4815.29	30.40	753.93	755.71		0.00	0.32	97.07	139.66	0.08
4797.25	30.40	753.73	755.70		0.00	0.33	100.74	145.06	0.08
4781.15	30.40	753.53	755.69		0.00	0.35	98.57	139.33	0.08
4757.78	30.40	755.69	755.69		0.00	0.34	94.87	138.66	0.08
4732.52	30.40	753.00	755.68		0.00	0.35	99.56	142.07	0.08
4709.79	30.40	754.19	755.67		0.00	0.32	89.77	141.06	0.09
4689.06	30.40	753.12	755.67		0.00	0.32	106.31	149.46	0.07
4666.05	30.40	753.86	755.67		0.00	0.27	104.95	159.54	0.07
4637.45	48.12	753.90	755.64		0.00	0.43	103.14	162.24	0.11
4622.73	48.12	753.64	755.63		0.00	0.44	108.08	167.24	0.11
4600.66	48.12	753.00	755.62		0.00	0.45	122.14	178.31	0.1
4585.46	48.12	753.73	755.61		0.00	0.42	113.81	188.48	0.11
4571.67	48.12	754.05	755.60		0.00	0.45	100.00	180.98	0.12
4555.82	48.12	753.71	755.59		0.00	0.49	97.04	158.73	0.12
4539.79	48.12	754.12	755.57		0.00	0.46	90.50	160.22	0.13
4520.05	48.12	753.70	755.56		0.00	0.50	96.82	166.10	0.13
4498.89	48.12	753.67	755.55		0.00	0.52	95.85	167.63	0.13
4473.38	48.12	753.07	755.54		0.00	0.54	104.14	168.75	0.12
4455.04	48.12	753.11	755.53		0.00	0.58	97.81	160.47	0.13
4432.87	48.12	753.79	755.50		0.00	0.56	88.25	166.49	0.15
4413.71	48.12	753.62	755.43		0.00	0.69	79.30	167.09	0.18
4393.16	48.12	753.43	755.39		0.00	0.85	69.47	153.29	0.21
4376.57	48.12	753.24	755.36		0.00	0.98	63.24	140.29	0.24
4356.14	48.12	753.41	755.34		0.00	0.97	64.66	165.39	0.25
4339.14	48.12	753.45	755.30		0.00	1.09	59.87	172.38	0.28
4318.21	48.12	753.86	755.18	755.16	0.01	1.85	41.67	182.12	0.51
4301.97	48.12	753.90	755.03	755.03	0.01	1.64	40.64	251.40	0.56
4286.72	48.12	753.60	754.45	754.57	0.03	2.89	18.90	86.97	1.08
4270.78	48.12	752.07	753.71	753.91	0.03	3.88	15.76	57.03	1.07
4251.78	48.12	751.71	753.40	753.57	0.02	3.48	17.34	47.20	0.94
4229.74	48.12	750.97	752.75	753.01	0.02	3.78	14.23	26.33	1
4210.11	48.12	750.45	752.17	752.47	0.03	4.02	13.14	24.03	1.08
4182.82	48.12	747.77	751.50	749.00	0.00	0.83	60.13	39.43	0.01
4155.91	56.10	751.27	748.63	751.27	0.00	2.37	27.62	64.55	0.64
4125.91	56.10	748.50	751.09	750.45	0.00	0.81	73.31	85.65	0.17
4100.01	56.10	748.23	751.08		0.00	0.54	106.37	111.45	0.11
4081.86	56.10	748.46	751.08		0.00	0.37	138.58	136.84	0.08
4063.98	56.10	748.60	751.07		0.00	0.32	145.19	139.81	0.07
4045.57	56.10	748.21	751.07		0.00	0.33	160.43	151.14	0.07
4028.69	56.10	748.25	751.07		0.00	0.28	180.55	168.10	0.06
4010.70	56.10	751.07	748.14		0.00	0.27	198.66	170.70	0.05
3994.41	56.10	748.28	751.07		0.00	0.23	229.53	224.01	0.05
3978.86	56.10	748.29	751.07		0.00	0.20	268.22	275.50	0.04
3959.76	56.10	748.61	751.07		0.00	0.15	303.35	283.01	0.03
3946.13	56.10	748.83	751.07		0.00	0.16	272.03	265.25	0.04
3930.94	56.10	748.25	751.07		0.00	0.21	243.11	224.42	0.04
3918.61	56.10	747.92	751.06		0.00	0.23	229.62	206.10	0.05
3899.07	56.10	751.06	748.38		0.00	0.23	211.27	195.07	0.05
3884.22	56.10	748.10	751.05		0.00	0.48	196.87	180.11	0.1
3825.11	56.10	748.16	751.05		0.00	0.44	193.17	179.97	0.09
3808.59	56.10	748.37	750.94		0.00	0.25	172.23	182.41	0.05
3782.14	56.10	747.61	750.93		0.00	0.24	215.92	192.30	0.05
3740.42	56.10	746.93	750.92		0.00	0.17	400.56	240.03	0.03
3720.43	56.10	746.43	750.92		0.00	0.13	541.89	309.01	0.02
3690.61	56.10	745.38	750.92		0.00	0.10	683.48	391.00	0.01
3657.98	56.10	750.92	746.40		0.00	0.25	647.68	488.48	0.04
3635.64	56.10	745.99	750.92		0.00	0.26	630.98	514.46	0.04
3613.90	56.10	746.99	750.91		0.00	0.20	424.97	399.79	0.03
3600.85	56.10	747.51	750.91		0.00	0.20	424.13	438.97	0.04
3582.82	56.10	748.17	750.71		0.00	0.50	308.29	414.30	0.11
3545.76	56.10	748.55	750.70		0.00	0.25	233.46	327.50	0.06
3486.44	75.51	748.18	750.68		0.00	0.51	180.56	251.21	0.01
3419.54	75.51	737.96	750.64		0.00	0.76	132.60	193.94	0.16
3366.59	83.78	748.65	750.57		0.00	1.02	106.25	175.67	0.25
3308.26	83.78	748.74	750.49		0.00	0.76	115.34	228.77	0.2
3270.09	83.78	748.19	750.47		0.00	0.57	180.55	369.08	0.13
3227.43	83.78	748.47	750.44		0.00	0.73	134.53	287.07	0.18
3187.04	83.78	747.63	749.90	749.90	0.01	2.99	33.54	53.85	0.68
3134.20	83.78	746.38	748.08		0.04	5.29	19.25	43.55	1.4
3072.20	83.78	743.96	746.03	746.40	0.00	4.72	20.10	32.66	1.15
3035.92	83.78	743.29	743.29	745.45	0.00	1.21	73.10	82.02	0.28
2982.74	83.78	743.61	745.80		0.00	1.34	62.25	79.97	0.31
2926.34	83.78	743.11	745.74		0.00	1.09	82.40	98.51	0.23
2882.98	83.78	743.47	745.69		0.00	0.95	88.26	119.19	0.22
2823.27	83.78	743.41	745.64		0.00	0.80	107.68	154.55	0.19
2768.61	83.78	743.53	745.60		0.00	0.80	107.58	167.08	0.19
2710.78	90.45	743.01	745.55		0.00	1.01	105.58	166.03	0.22
2652.43	90.45	743.36	745.38		0.00	1.64	69.00	154.48	0.41
2610.37	90.45	742.71	744.94	744.94	0.01	2.60	45.22	94.40	0.6
2557.67	90.45	739.92	741.69	742.20	0.08	7.04	14.24	28.73	1.88
2501.18	90.45	737.97	741.34	740.56	0.00	1.32	75.34	68.71	0.24
2417.83	90.45	738.53	741.34		0.00	0.60	137.08	123.97	0.12
2333.61	90.45	738.40	741.33		0.00	0.39	196.16	152.92	0.08
2289.21	90.45	738.03	741.13		0.00	0.49	171.17	143.73	0.1
2248.77	90.45	737.86	740.95		0.00	0.42	184.94	139.55	0.08
2202.69	91.63	738.01	740.94		0.00	0.45	176.92	145.06	0.08
2154.32	91.63	738.62	740.92		0.00	0.60	136.31	151.38	0.14
2093.86	91.63	738.12	740.90		0.00	0.66	139.32	151.34	0.14
2032.61	91.63	738.24	740.86		0.00	1.05	137.75	153.21	0.22
1977.56	91.63	738.37	740.79		0.00	1.14	126.15	151.19	0.25
1930.37	91.63	737.70	740.79		0.00	0.53	177.21	165.73	0.1
1861.35	91.63	738.46	740.79		0.00	0.30	345.08	203.39	0.05
1801.66	91.63	736.98	740.79		0.00	0.24	367.71	224.07	0.04
1752.36	91.63	738.11	740.77		0.00	0.56	208.91	229.97	0.12
1706.72	91.63	737.65	740.78						

Cenário de 1962 - Tempo de Retorno - 200 anos									
XS	Q (m³/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit. W.S. (m)	E. G. Slope (m/m)	V Chnl (m/s)	Flow area (m²)	Top Width (m)	Froude XS
5537.55	15.92	758.84	760.96	759.92	0.000682	0.77	34.99	37.09	0.18
5502.83	15.92	759.25	760.93		0.001236	0.92	31.75	37.67	0.24
5465.42	15.92	759.45	760.9		0.000908	0.72	41.08	50.01	0.2
5417.69	15.92	759.36	760.87		0.000381	0.48	63.26	75.26	0.13
5372.63	15.92	759.4	760.85		0.000627	0.6	50.82	63.83	0.17
5340.83	15.92	759.36	760.83		0.000675	0.58	53.28	67.85	0.16
5308.00	15.92	759.36	760.8		0.000496	0.53	58.29	75.2	0.15
5280.36	17.72	759.13	760.21	760.21	0.000496	0.53	58.29	75.2	0.15
5261.87	17.72	757.45	758.34	758.83	0.092884	5.04	3.51	4.56	1.83
5239.33	17.72	756.31	757.38	757.58	0.045868	4.08	8.04	24.96	1.34
5212.58	17.72	755.27	756.47	756.65	0.028613	3.35	6.64	16.71	1.07
5187.12	17.72	754.76	756.59	756.1	0.003109	1.52	19.08	29.61	0.38
5163.86	17.72	754.89	756.27	756.27	0.013666	2.65	11.31	23.79	0.76
5137.20	17.72	753.92	756.15	754.94	0.001133	1.05	23.24	28.89	0.24
5106.26	17.72	754.33	756		0.005082	1.84	16.32	27.74	0.48
5076.67	17.72	754.1	755.94		0.002383	1.35	22.96	31.38	0.34
5049.91	17.72	754.18	755.93		0.000992	0.84	41.26	53.13	0.21
5017.44	17.72	754.41	755.9		0.0006	0.6	49	69.15	0.16
4986.22	17.72	754.15	755.86		0.000778	0.73	43.33	56.91	0.19
4963.79	17.72	754.26	755.84		0.000894	0.75	45.3	63.91	0.2
4941.85	17.72	754.11	755.82		0.000598	0.64	53.94	75.26	0.17
4916.08	17.72	754.33	755.81		0.000543	0.56	64.24	102.73	0.15
4880.97	17.72	754.21	755.8		0.00033	0.45	79.59	116.55	0.12
4836.61	17.72	753.64	755.79		0.000162	0.38	97.49	126.61	0.09
4815.29	17.72	753.93	755.78		0.00015	0.33	107.46	141.6	0.08
4797.25	17.72	753.73	755.77		0.000128	0.33	111.97	147.39	0.08
4781.15	17.72	753.53	755.77		0.00012	0.34	109.5	141.7	0.08
4757.78	17.72	753.79	755.77		0.000146	0.34	106.05	140.89	0.08
4732.52	17.72	753.5	755.76		0.000118	0.34	111.17	144.37	0.08
4709.79	17.72	754.19	755.75		0.000189	0.34	101.84	143.89	0.09
4689.06	17.72	753.12	755.75		0.000087	0.31	118.78	152.7	0.07
4666.05	17.72	753.86	755.75		0.000123	0.31	118.3	162.1	0.08
4637.45	31.57	753.9	755.72		0.000415	0.55	116.67	164.6	0.14
4622.73	31.57	753.64	755.71		0.000358	0.55	121.44	169.55	0.13
4600.66	31.57	753	755.7		0.000222	0.51	135.85	180.35	0.11
4585.46	31.57	753.73	755.69		0.000373	0.54	128.47	191.48	0.13
4571.67	31.57	754.05	755.68		0.000549	0.59	113.99	184.78	0.16
4555.82	31.57	753.71	755.66		0.000485	0.52	108.61	160.39	0.15
4539.79	31.57	754.12	755.63		0.00069	0.63	100.42	161.66	0.17
4520.05	31.57	753.7	755.61		0.000533	0.63	105.69	167.22	0.16
4498.89	31.57	753.67	755.6		0.000558	0.65	104.06	168.81	0.16
4473.38	31.57	753.07	755.58		0.000349	0.61	111.5	169.76	0.13
4455.04	31.57	753.11	755.58		0.000399	0.64	104.72	161.44	0.14
4432.87	31.57	753.79	755.55		0.000735	0.7	95.66	167.27	0.18
4413.71	31.57	753.62	755.47		0.000957	0.82	85.13	167.58	0.21
4393.16	31.57	753.43	755.42		0.001188	0.95	73.89	153.74	0.24
4376.57	31.57	753.24	755.39		0.001236	1.02	66.83	140.7	0.24
4356.14	31.57	753.41	755.36		0.001488	1.05	66.56	166.16	0.26
4339.14	31.57	753.45	755.32		0.001951	1.16	63	173.04	0.3
4318.21	31.57	753.89	755.23		0.005322	1.54	50.81	194.05	0.47
4301.97	31.57	753.9	755.05	755.05	0.01078	1.91	44.75	252.24	0.64
4286.72	31.57	753.6	754.43	754.54	0.03867	3.26	17.57	82.46	1.23
4270.78	31.57	752.07	753.49	753.86	0.029834	3.7	8.57	11.01	1.11
4251.78	31.57	751.71	753.39	753.47	0.012613	2.77	16.79	45.9	0.75
4229.74	31.57	750.97	752.15	752.47	0.048889	4.5	7.02	6.91	1.42
4210.11	31.57	750.45	751.92	751.92	0.024286	3.42	9.22	8	1.01
4182.82	31.57	749.71	751.59	748.74	0.000161	0.53	63.8	45.01	0.1
4155.81	41.43	749.69	751.35	751.35	0.012557	2.86	32.82	69.82	0.75
4125.91	41.43	748.5	751.12	750.39	0.001043	1.11	76.14	87.08	0.23
4100.01	41.43	748.23	751.1		0.00048	0.8	108.83	112.6	0.16
4081.86	41.43	748.46	751.1		0.000335	0.63	140.82	137.25	0.13
4063.98	41.43	748.6	751.08		0.000324	0.58	146	139.95	0.13
4045.57	41.43	748.21	751.07		0.000238	0.56	160.19	151.1	0.11
4028.69	41.43	748.25	751.07		0.000196	0.5	179.87	168.02	0.1
4010.70	41.43	748.14	751.06		0.000162	0.47	197.54	186.52	0.09
3994.41	41.43	748.28	751.06		0.000138	0.42	227.71	223.7	0.09
3978.96	41.43	748.23	751.06		0.00011	0.37	265.58	275.12	0.08
3959.76	41.43	748.61	751.06		0.000085	0.3	300.21	282.87	0.07
3946.13	41.43	748.83	751.06		0.000114	0.33	268.71	264.92	0.08
3930.94	41.43	748.25	751.05		0.000119	0.39	239.34	224.15	0.08
3918.61	41.43	747.92	751.04		0.000117	0.41	225.36	205.79	0.08
3899.07	41.43	748.39	751.03		0.000164	0.44	206.19	194.77	0.09
3864.22	41.43	748.1	751.03		0.000168	0.48	192.09	179.67	0.1
3825.11	41.43	748.16	751.02		0.000181	0.49	188.26	179.49	0.1
3808.59	41.43	748.37	750.89		0.000299	0.58	163.7	181.21	0.12
3782.14	41.43	747.61	750.88		0.000137	0.47	206.36	191.39	0.09
3740.42	41.43	746.93	750.88		0.00026	0.68	390.46	237.77	0.04
3720.43	41.43	746.43	750.88		0.000014	0.19	529.2	307.48	0.03
3690.61	41.43	745.38	750.88		0.000008	0.16	667.41	388.76	0.02
3657.98	41.43	746.46	750.88		0.000014	0.19	627.47	486.71	0.03
3635.64	41.43	745.99	750.87		0.000014	0.2	609.91	513.4	0.03
3613.90	41.43	746.99	750.87		0.000041	0.3	408.63	394.38	0.05
3600.85	41.43	747.51	750.87		0.00005	0.29	406.39	437.32	0.05
3582.82	41.43	748.17	750.77		0.000094	0.34	334.51	415.59	0.07
3545.76	41.43	748.55	750.76		0.000175	0.4	253.3	328.63	0.09
3486.44	42.25	748.18	750.73		0.000266	0.54	194.06	251.95	0.12
3419.54	42.25	747.96	750.7		0.000392	0.68	143.77	184.79	0.14
3366.59	50.61	748.65	750.66		0.001187	0.98	121.59	176.9	0.24
3308.26	50.61	748.74	750.52		0.001626	1.05	123.41	229.5	0.27
3270.09	50.61	748.19	750.48		0.000683	0.8	183.57	359.29	0.18
3227.43	50.61	748.47	750.42		0.001642	1.11	129.21	286.75	0.28
3187.04	50.61	747.63	749.73	749.73	0.010784	3.01	25.24	43.84	0.72
3134.20	50.61	746.38	748.01	748.36	0.040108	4.89	16.08	38.24	1.33
3072.20	50.61	743.96	745.47	745.92	0.039218	4.71	10.75	8.24	1.31
3035.92	50.61	743.29	746.01	745.34	0.001249	1.24	80.74	87.34	0.26
2982.74	50.61	743.61	745.91		0.00211	1.45	71.07	80.36	0.33
2926.34	50.61	743.11	745.83		0.001001	1.1	91.87	100.65	0.23
2882.98	50.61	743.47	745.79		0.001233	1.1	99.4	120.94	0.25
2823.27	50.61	743.41	745.71		0.000983	0.97	118.54	155.32	0.22
2768.61	50.61	743.53	745.65		0.001215	1.02	116.01	167.83	0.24
2710.78	52.81	743.01	745.57		0.001142	1.11	109.86	166.42	0.24
2652.43	52.81	743.36	745.36		0.004753	1.91	66.75	154.28	0.47
2610.37	52.81	742.71	744.86	744.86	0.08056	2.65	38.02	83.71	0.63
2557.67	52.81	739.92	741.07	742.11	0.132735	7.34	7.2	7.31	2.36
2501.18	52.81	737.97	741.53	740.24	0.00827	1.26	88.66	75.91	0.22
2417.83	52.81	738.53	741.51		0.000347	0.71	158.57	131.06	0.14
2333.61	52.81	738.4	741.49		0.000159	0.49	220.75	156.26	0.09
2289.21	52.81	738.03	741.21		0.000238	0.6	182.37	145.03	0.12
2248.77	52.81	737.86	740.88		0.000287	0.66	174.17	138.2	0.13
2202.69	54.88	738.01	740.85		0.000383	0.72	164	143.16	0.14
2154.32	54.88	738.62	740.8		0.001173	1.04	118.63	148.37	0.24
2093.86	54.88	738.12	740.74		0.001006	1.07	114.66	146.48	0.23
2032.61	54.88	738.24	740.67		0.001285	1.15	108.83	149.27	0.26
1977.56	54.88	738.37	740.56		0.002257	1.41	90.72	147.48	0.33
1930.37	54.88	737.7	740.52		0.000694	0.93	133	161.86	0.19
1861.35	54.88	736.48	740.52		0.00068	0.93	290.55	197.38	0.07
180									

Cenario de 2011 - Tempo de Retorno - 200 anos									
XS	Q (m³/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit. W.S. (m)	E. G. Slope (m/m)	V Chnl (m/s)	Flow area (m²)	Top Width (m)	Froude XS
5537.55	32.73	758.84	761.12	760.35	0.00	0.72	41.14	39.28	0.16
5502.83	32.73	759.25	761.07		0.00	0.96	37.29	39.54	0.24
5465.42	32.73	759.45	761.05		0.00	0.64	49.02	51.99	0.17
5417.69	32.73	759.36	761.04		0.00	0.42	76.28	77.19	0.11
5372.63	32.73	758.40	761.01		0.00	0.59	61.56	66.08	0.16
5340.83	32.73	759.36	761.00		0.00	0.62	70.25	70.25	0.18
5308.00	32.73	759.36	760.98		0.00	0.67	71.66	77.37	0.18
5280.36	33.24	759.13	760.26	760.26	0.01	2.32	26.25	85.34	0.75
5261.87	33.24	757.45	758.74	759.04	0.05	4.80	8.01	18.94	1.47
5239.33	33.24	756.31	757.38	757.66	0.07	4.95	7.93	24.71	1.63
5212.58	33.24	755.27	756.73	756.89	0.02	3.56	12.58	29.94	1.01
5187.12	33.24	754.76	756.74	756.45	0.00	1.77	24.01	33.98	0.42
5163.86	33.24	754.89	756.44	756.44	0.01	2.61	15.89	23.07	0.71
5137.20	33.24	753.92	756.50	755.43	0.00	1.20	34.85	38.44	0.25
5106.26	33.24	754.33	756.23		0.01	2.61	23.33	34.16	0.64
5076.67	33.24	754.10	756.06		0.01	2.24	26.60	33.89	0.54
5049.91	33.24	754.18	756.02		0.00	1.42	46.13	56.41	0.35
5017.44	33.24	754.41	755.98		0.00	0.61	54.64	70.78	0.16
4986.22	33.24	754.15	755.93		0.00	0.94	47.15	58.50	0.24
4963.79	33.24	754.28	755.86		0.00	1.13	47.06	64.74	0.3
4941.05	33.24	754.11	755.83		0.00	1.00	54.87	75.59	0.26
4916.08	33.24	754.33	755.80		0.00	0.92	63.36	102.15	0.25
4880.97	33.24	754.21	755.76		0.00	0.78	75.25	115.32	0.21
4836.61	33.24	753.64	755.75		0.00	0.38	92.66	125.34	0.09
4815.29	33.24	753.93	755.74		0.00	0.33	101.85	140.56	0.08
4797.25	33.24	753.73	755.73		0.00	0.33	105.65	146.08	0.08
4781.15	33.24	753.53	755.73		0.00	0.36	103.25	140.35	0.08
4757.78	33.24	753.79	755.72		0.00	0.35	99.49	132.58	0.08
4732.52	33.24	753.50	755.71		0.00	0.36	104.26	143.00	0.08
4709.79	33.24	754.19	755.70		0.00	0.33	94.39	142.15	0.09
4689.06	33.24	753.12	755.70		0.00	0.33	111.23	150.74	0.07
4666.05	33.24	753.86	755.70		0.00	0.27	110.19	160.55	0.07
4637.45	52.77	753.90	755.67		0.00	0.44	108.26	163.14	0.11
4622.73	52.77	753.64	755.67		0.00	0.46	113.33	168.15	0.11
4600.66	52.77	753.00	755.65		0.00	0.47	127.62	179.13	0.1
4585.46	52.77	753.73	755.64		0.00	0.43	119.52	188.65	0.11
4571.67	52.77	754.05	755.63		0.00	0.46	105.42	182.46	0.12
4555.82	52.77	753.71	755.62		0.00	0.51	101.70	159.40	0.13
4539.79	52.77	754.12	755.60		0.00	0.48	95.08	160.89	0.13
4520.05	52.77	753.70	755.59		0.00	0.52	101.53	166.70	0.13
4498.89	52.77	753.67	755.58		0.00	0.53	100.55	168.31	0.13
4473.38	52.77	753.07	755.57		0.00	0.56	108.84	169.39	0.12
4455.04	52.77	753.11	755.56		0.00	0.60	102.21	161.01	0.13
4432.87	52.77	753.79	755.53		0.00	0.57	92.59	166.95	0.15
4413.71	52.77	753.62	755.46		0.00	0.70	83.21	167.42	0.18
4393.16	52.77	753.43	755.41		0.00	0.87	72.75	153.62	0.22
4376.57	52.77	753.24	755.38		0.00	1.01	66.01	140.61	0.24
4356.14	52.77	753.41	755.35		0.00	1.00	67.75	166.00	0.25
4339.14	52.77	753.45	755.31		0.00	1.12	62.77	172.99	0.29
4318.21	52.77	753.49	755.19	755.18	0.01	0.56	43.76	132.56	0.52
4301.97	52.77	753.90	755.05	755.05	0.01	1.64	43.73	252.03	0.55
4286.72	52.77	753.60	754.47	754.59	0.03	2.88	20.75	92.84	1.07
4270.78	52.77	752.07	753.74	753.93	0.03	3.95	17.45	63.45	1.08
4251.78	52.77	751.71	753.44	753.60	0.02	3.50	19.09	51.13	0.93
4229.74	52.77	750.97	752.81	753.05	0.02	3.79	15.98	30.49	0.98
4210.11	52.77	750.45	752.22	752.51	0.03	4.08	14.57	27.74	1.08
4182.82	52.77	747.77	751.54	749.07	0.00	0.89	61.74	41.97	0.16
4155.61	61.61	748.69	751.23	751.23	0.00	2.43	29.35	66.35	0.65
4125.91	61.61	748.50	751.14	750.49	0.00	0.82	78.07	88.04	0.17
4100.01	61.61	748.23	751.14		0.00	0.56	112.57	114.31	0.11
4081.86	61.61	748.46	751.13		0.00	0.38	146.16	138.24	0.08
4063.98	61.61	748.60	751.13		0.00	0.33	152.91	141.07	0.07
4045.57	61.61	748.21	751.13		0.00	0.34	168.78	152.62	0.07
4028.69	61.61	748.25	751.13		0.00	0.29	189.82	169.30	0.06
4010.70	61.61	748.14	751.12		0.00	0.28	208.20	199.19	0.06
3994.41	61.61	748.28	751.12		0.00	0.23	241.90	226.07	0.05
3978.86	61.61	748.29	751.12		0.00	0.20	283.43	277.83	0.04
3959.76	61.61	748.61	751.12		0.00	0.16	318.93	283.74	0.03
3946.13	61.61	748.83	751.12		0.00	0.17	286.61	266.38	0.04
3930.94	61.61	748.25	751.12		0.00	0.21	255.43	225.31	0.04
3918.61	61.61	747.92	751.12		0.00	0.24	240.91	206.91	0.05
3899.07	61.61	748.39	751.12		0.00	0.24	221.92	195.69	0.05
3864.22	61.61	748.10	751.11		0.00	0.50	206.61	181.02	0.1
3825.11	61.61	748.16	751.10		0.00	0.46	202.85	180.93	0.09
3808.59	61.61	748.37	750.99		0.00	0.26	181.41	183.54	0.05
3782.14	61.61	747.61	750.98		0.00	0.25	225.55	193.21	0.05
3740.42	61.61	746.93	750.97		0.00	0.18	412.28	241.96	0.03
3720.43	61.61	746.43	750.97		0.00	0.14	556.90	310.80	0.02
3690.91	61.61	746.38	750.97		0.00	0.11	702.49	353.62	0.02
3657.98	61.61	746.46	750.97		0.00	0.26	671.38	480.49	0.04
3635.64	61.61	745.99	750.96		0.00	0.27	655.86	515.71	0.04
3613.90	61.61	746.99	750.96		0.00	0.20	444.34	406.32	0.03
3600.85	61.61	747.51	750.96		0.00	0.20	445.29	441.61	0.04
3582.82	61.61	748.17	750.75		0.00	0.51	325.61	415.14	0.11
3545.76	61.61	748.55	750.74		0.00	0.26	247.05	328.27	0.06
3486.44	82.94	748.18	750.72		0.00	0.52	190.76	251.77	0.11
3419.54	82.94	747.96	750.68		0.00	0.78	138.48	184.48	0.16
3366.59	92.11	748.65	750.61		0.00	1.03	112.73	176.19	0.26
3308.26	92.11	748.74	750.53		0.00	0.75	125.17	229.66	0.19
3270.09	92.11	748.19	750.52		0.00	0.56	196.77	360.21	0.13
3227.43	92.11	748.47	750.49		0.00	0.70	148.33	287.91	0.17
3187.04	92.11	747.63	749.94	749.94	0.01	3.08	35.77	56.25	0.7
3134.20	92.11	746.38	748.12		0.04	5.33	21.00	46.23	1.39
3072.20	92.11	743.96	748.09	746.45	0.03	4.82	22.10	37.33	0.16
3035.92	92.11	743.29	745.97	745.48	0.00	1.25	77.11	85.78	0.26
2982.74	92.11	743.61	745.84		0.00	1.39	65.52	81.24	0.32
2926.34	92.11	743.11	745.78		0.00	1.13	86.21	99.37	0.24
2882.98	92.11	743.47	745.73		0.00	0.98	92.67	119.89	0.23
2823.27	92.11	743.41	745.68		0.00	0.82	113.27	154.95	0.19
2768.61	92.11	743.53	745.64		0.00	0.81	113.54	167.61	0.19
2710.78	99.38	743.01	745.58		0.00	1.03	111.30	166.56	0.22
2652.43	99.38	743.36	745.42		0.00	1.62	74.76	154.99	0.39
2610.37	99.38	742.71	744.97	744.97	0.01	2.66	48.44	98.80	0.61
2557.67	99.38	739.92	741.75	742.24	0.08	7.14	15.96	34.03	1.87
2501.18	99.38	737.97	741.38	740.63	0.00	1.40	78.05	70.23	0.25
2417.83	99.38	738.53	741.38		0.00	0.64	142.06	125.65	0.13
2333.61	99.38	738.40	741.37		0.00	0.41	202.21	153.75	0.08
2289.21	99.38	738.03	741.15		0.00	0.53	173.03	143.94	0.1
2248.77	99.38	737.86	740.92		0.00	0.48	180.88	139.04	0.09
2202.69	100.71	738.01	740.91		0.00	0.51	172.27	144.38	0.1
2154.32	100.71	738.62	740.88		0.00	0.70	129.98	150.31	0.16
2093.86	100.71	738.12	740.85		0.00	0.78	131.94	149.90	0.16
2032.61	100.71	738.24	740.79		0.00	1.27	127.24	151.79	0.27
1977.56	100.71	738.37	740.66		0.00	1.57	106.03	149.09	0.36
1930.37	100.71	737.70	740.65		0.00	0.70	154.75	163.77	0.14
1861.35	100.71	736.46	740.66		0.00	0.37	317.85	200.41	0.06
1801.66	100.71	736.96	740.65		0.00	0.29	327.48	221.26	0.05
1752.36	100.71	738.11	740.63		0.00	0.78	175.12	226.55	0.17
1706.72	100.71

Legenda

- Bairros
- Cota
- Curva de nível
- Hidrografia
- Corpo d'água
- Bacia hidrográfica
- Inundações de 1962
- Inundações de 2011

Apêndice H: Comparação entre as simulações de 1962 e 2011

Projeção: Universal Transversa de Mercator
Referência horizontal: South American Datum, 1969
Referência vertical: Marégrafo de Imbituba, SC.
Fuso: 23 sul
Meridiano Central: -45,00

05001000

metros

1:50.000

N

W

E

S

Fonte: Cartas topográficas 1:10.000 da Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano (EMPLASA). Folhas: Jardim São Miguel (SF-23-Y-D-IV-I-NO-B), 1996; Poá (SF-23-Y-D-IV-I-NE-A), 1996; São Miguel Paulista (SF-32-Y-D-I-3-SO-F), 1993; Itaquaquetuba (SF-23-Y-D-I-3-SE-E), 1997. Fotografias aéreas 1:25.000 de 1962 produzidas pelo IAC (Instituto Agrônomo de Campinas) e disponibilizado pelo AFA do Laboratório de Aerofotogeografia e Sensoriamento Remoto, DG/FLCH/USP. Imagem de Satélite de Alta Resolução WorldView-2, 2011, acervo de imagens do Laboratório de Geomorfologia, DG/FLCH/USP.

Legenda

- Bairros
- Cota
- Curva de nível
- Hidrografia
- Corpo d'água
- Bacia hidrográfica
- Inundações de 1962

Morfologias fluviais

- Backswamp
- Meandro colmatado
- Planície
- Terraço

Apêndice I: Comparação MO e simulações de 1962

Projeção: Universal Transversa de Mercator
Referência horizontal: *South American Datum*, 1969
Referência vertical: Marégrafo de Imbituba, SC.
Fuso: 23 sul
Meridiano Central: -45,00

05001,000

metros

1:50.000

N

W

E

S

Fonte: Cartas topográficas 1:10.000 da Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano (EMPLASA). Folhas: Jardim São Miguel (SF-23-Y-D-IV-I-NO-B), 1996; Poá (SF-23-Y-D-IV-I-NE-A), 1996; São Miguel Paulista (SF-32-Y-D-I-3-SO-F), 1993; Itaquaquecetuba (SF-23-Y-D-I-3-SE-E), 1997. Fotografias aéreas 1:25.000 de 1962, produzidas pelo IAC (Instituto Agrônomo de Campinas) e disponibilizado pelo AFA do Laboratório de Aerofotografia e Sensoriamento Remoto, DG/FFLCH/USP.

Legenda

Bairros

Cota

Bacia hidrográfica

Corpo d'água

Curva de nível

Hidrografia

Inundações de 2011

Vulnerabilidade à inundação

Muito baixa

Baixa

Média

Alta

Muito alta

Mineração

Apêndice J: Vulnerabilidade e simulações de 2011

Projeção: Universal Transversa de Mercator

Referência horizontal: South American Datum, 1969

Referência vertical: Marégrafo de Imbituba, SC.

Fuso: 23 sul

Meridiano Central: -45,00

0

500

1,000

metros

1:50.000

N

E

S

W

Fonte: Cartas topográficas 1:10.000 da Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano (EMPLASA). Folhas: Jardim São Miguel (SF-23-Y-D-IV-I-NO-B), 1996; Poá (SF-23-Y-D-IV-I-NE-A), 1996; São Miguel Paulista (SF-32-Y-D-I-3-SO-F), 1993; Itaquaquecetuba (SF-23-Y-D-I-3-SE-E), 1997. Fotografias aéreas 1:25.000, de 1962 produzidas pelo IAC (Instituto Agrônomo de Campinas) e disponibilizado pelo AFA do Laboratório de Aerofotogrametria e Sensoriamento Remoto, DG/FFLCH/USP. Imagem de Satélite de Alta Resolução WorldView-2, acervo de imagens do Laboratório de Geomorfologia, DG/FFLCH/USP.

359000

360000

361000

- Fotos
- Checagem do mapeamento
- Checagem da simulação
- Bairros
- Curva de nível
- Hidrografia
- Intermitente
- Perene
- Limite de município
- Bacia do córrego Três Pontes
- Simulação - Tr 100 anos 2011
- Planície fotointerpretada
- Corpos d'água

Apêndice K: Pontos de checagem em campo

Projeção: Universal Transversa de Mercator
Referência horizontal: South American Datum, 1969
Referência vertical: Marégrafo de Imbituba, SC.
Fuso: 23 sul
Meridiano Central: -45,00

0 150 300 450 600 750
metros
1:15.000

*A abordagem da geomorfologia antropogênica e do modelo hidrológico Ven te Chow na bacia do córrego
Três Pontes (SP) para determinação de picos de vazão e da vulnerabilidade a inundações*
Roteiro de entrevistas para Controle de Campo

Roteiro de entrevista para controle de campo

Entrevistado: _____ Idade: _____

Endereço: _____

Ocorre Alagamento ou Enxurrada? Sim () Não () Qual? Alagamento () Enxurrada () Ambos ()

Rua da enxurrada: _____

Até onde costuma chegar a água de enchente nesta rua (bairro, quarteirão)?

Referência: _____ GPS: _____ Fotos _____

Qual é o nível normal (mais comum) que a água de enchente atinge nesta rua (bairro, quarteirão)? Altura frequente (magnitude)?

Referência: _____ GPS: _____ Fotos _____

Qual é a local máximo que você viu alagar? (Até onde?)

Referência: _____ GPS: _____ Fotos _____

Qual é a altura máxima que você viu alagar? (linha d'água?)

Referência/Distância do chão: _____ Altitude: _____ Fotos _____

Todo ano alaga? Sim () Não (). Observações: _____

Qual a frequência de alagamentos? _____

Qual o período do ano que é mais comum alagar? _____

Houve um dia específico em que você se lembra? _____

Liberação para uso em pesquisa científica:

Ass/visto do entrevistado: _____ X _____

Data: _____

Entrevistado: _____ Idade: _____

Endereço: _____

Ocorre Alagamento ou Enxurrada? Sim () Não () Qual? Alagamento () Enxurrada () Ambos ()

Rua da enxurrada: _____

Até onde costuma chegar a água de enchente nesta rua (bairro, quarteirão)?

Referência: _____ GPS: _____ Fotos _____

Qual é o nível normal (mais comum) que a água de enchente atinge nesta rua (bairro, quarteirão)? Altura frequente (magnitude)?

Referência: _____ GPS: _____ Fotos _____

Qual é a local máximo que você viu alagar? (Até onde?)

Referência: _____ GPS: _____ Fotos _____

Qual é a altura máxima que você viu alagar? (linha d'água?)

Referência/Distância do chão: _____ Altitude: _____ Fotos _____

Todo ano alaga? Sim () Não (). Observações: _____

Qual a frequência de alagamentos? _____

Qual o período do ano que é mais comum alagar? _____

Houve um dia específico em que você se lembra? _____

Liberação para uso em pesquisa científica:

Ass/visto do entrevistado: _____ X _____

Data: _____

A abordagem da geomorfologia antropogênica e do modelo hidrológico Ven te Chow na bacia do córrego Três Pontes (SP) para determinação de picos de vazão e da vulnerabilidade a inundações
Roteiro de entrevistas para Controle de Campo

Paul, 23.

ba há 2 anos

Entrevistado: Renato

Idade: 48

Endereço: Av. Tito, 8254.

Ocorre Alagamento ou Enxurrada? Sim (✓) Não () Qual? Alagamento () Enxurrada () Ambos ()

Rua da enxurrada: _____

Até onde costuma chegar a água de enchente nesta rua (bairro, quarteirão)?

Referência: 1 m (há 2 anos era de 2 m) GPS: _____ Fotos _____

Qual é o nível normal (mais comum) que a água de enchente atinge nesta rua (bairro, quarteirão)? Altura frequente (magnitude)?

Referência: 1 m GPS: _____ Fotos _____

Qual é a local máximo que você viu alagar? (Até onde?)

Referência: 2 m GPS: _____ Fotos _____

Qual é a altura máxima que você viu alagar? (linha d'água?)

Referência/Distância do chão: _____ Altitude: _____ Fotos _____

Todo ano alaga? Sim (✓) Não (). Observações: + de 3x ao ano → normalmente

Qual a frequência de alagamentos? ~~1 a 5~~ 4 a 6 anos

Qual o período do ano que é mais comum alagar? Verão

Houve um dia específico em que você se lembra? _____

Liberação para uso em pesquisa científica:

Ass/visto do entrevistado: X _____

Data: _____

Entrevistado: Vera Lucia Oliveira Idade: _____

Endereço: Rua Carmine Monet

Ocorre Alagamento ou Enxurrada? Sim (✓) Não (✓) Qual? Alagamento () Enxurrada () Ambos ()

Rua da enxurrada: Sim → não há beirada há algum tempo → 4 meses / 3 m

Até onde costuma chegar a água de enchente nesta rua (bairro, quarteirão)?

Referência: no calçamento → a 20 cm da rua GPS: _____ Fotos _____

Qual é o nível normal (mais comum) que a água de enchente atinge nesta rua (bairro, quarteirão)? Altura frequente (magnitude)?

Referência: hoje alaga, mas só a margem do canal GPS: _____ Fotos _____

Qual é a local máximo que você viu alagar? (Até onde?)

Referência: no calçamento / no esgoto GPS: _____ Fotos _____

Qual é a altura máxima que você viu alagar? (linha d'água?)

Referência/Distância do chão: _____ Altitude: _____ Fotos _____

Todo ano alaga? Sim () Não (✓). Observações: 2 x em 17 anos de 2001 a 2011 → 2004 e 2008

Qual a frequência de alagamentos? _____

Qual o período do ano que é mais comum alagar? Verão

Houve um dia específico em que você se lembra? _____

Liberação para uso em pesquisa científica:

Ass/visto do entrevistado: X _____

Data: _____

geraldolenes@globomail.com.

Yuri Veneziani

ROTEIRO DE ENTREVISTA - Controle de campo

Entrevistado: Geraldo Lenes Pinto Idade: _____

Endereço: Usiminas - Rua Colônia Assunção

Ocorre Alagamento ou Enxurrada? Sim (☒) Não (☐) Qual? Alagamento (☐) Enxurrada (☒) Ambos (☐)

Rua da enxurrada: Cobruja Assunção - Nas Pontes

Até onde costuma chegar a água de enchente nesta rua (bairro, quarteirão)?

Referência: 20 cm GPS: 9/10 Fotos: SL

Qual é o nível normal (mais comum) que a água de enchente atinge nesta rua (bairro, quarteirão)? Altura frequente (magnitude)?

Referência: _____ GPS: _____ Fotos: _____

Qual é a local máximo que você viu alagar? (Até onde?)

Referência: _____ GPS: _____ Fotos: _____

Qual é a altura máxima que você viu alagar? (linha d'água?)

Referência/Distância do chão: _____ Altitude: _____ Fotos: _____

Todo ano alaga? Sim (☒) Não (☐). Observações: Toda chuva forte -> 12/04

Qual a frequência de alagamentos? Por m toda chuva forte (final de tarde)

Qual o período do ano que é mais comum alagar? Verão

Houve um dia específico em que você se lembra? _____

Liberação para uso em pesquisa científica:

Ass/visto do entrevistado: _____

X _____
Data: 13.04.2014

Entrevistado: Jacqueline e Wellington Idade: _____

Endereço: R Marechal Tito - dentro do condomínio

Ocorre Alagamento ou Enxurrada? Sim (☒) Não (☐) Qual? Alagamento (☐) Enxurrada (☐) Ambos (☒)

Rua da enxurrada: 2ª rua do condomínio

Até onde costuma chegar a água de enchente nesta rua (bairro, quarteirão)?

Referência: até a altura da sarjeta GPS: 11/12 Fotos: _____

Qual é o nível normal (mais comum) que a água de enchente atinge nesta rua (bairro, quarteirão)? Altura frequente (magnitude)?

Referência: _____ GPS: _____ Fotos: _____

Qual é a local máximo que você viu alagar? (Até onde?)

Referência: _____ GPS: _____ Fotos: _____

Qual é a altura máxima que você viu alagar? (linha d'água?)

Referência/Distância do chão: _____ Altitude: _____ Fotos: _____

Todo ano alaga? Sim (☒) Não (☐). Observações: _____

Qual a frequência de alagamentos? chuva de ontem 12/04

Qual o período do ano que é mais comum alagar? _____

Houve um dia específico em que você se lembra? _____

Liberação para uso em pesquisa científica:

Ass/visto do entrevistado: _____

X _____
Data: _____

A abordagem da geomorfologia antropogênica e do modelo hidrológico Ven te Chow na bacia do córrego
Três Pontes (SP) para determinação de picos de vazão e da vulnerabilidade a inundações
Roteiro de entrevistas para Controle de Campo

Vila Zagra@hotmail.com

Yuri Veneziani

ROTEIRO DE ENTREVISTA - Controle de campo

Entrevistado: Vila Zagra - P14 Idade: _____

Endereço: Waldomiro Gonzaga Silva, 79

Ocorre Alagamento ou Enxurrada? Sim (☒) Não (☐) Qual? Alagamento (☐) Enxurrada (☒) Ambos (☐)

Rua da enxurrada: Waldomiro

Até onde costuma chegar a água de enchente nesta rua (bairro, quarteirão)?

Referência: 10cm GPS: _____ Fotos _____

Qual é o nível normal (mais comum) que a água de enchente atinge nesta rua (bairro, quarteirão)? Altura frequente (magnitude)?

Referência: _____ GPS: _____ Fotos _____

Qual é a local máximo que você viu alagar? (Até onde?)

Referência: Um pouco mais q normal GPS: _____ Fotos _____

Qual é a altura máxima que você viu alagar? (linha d'água?)

Referência/Distância do chão: um pouco Altitude: _____ Fotos _____

Todo ano alaga? Sim (☒) Não (☐). Observações: 20 minutos

Qual a frequência de alagamentos? A chuva de ontem já foi suficiente

Qual o período do ano que é mais comum alagar? verão

Houve um dia específico em que você se lembra?

Liberação para uso em pesquisa científica:

Ass/visto do entrevistado: x Vilamar Alves Aguiar de Almeida

Data: _____

Entrevistado: Aleir - P15/P16 Idade: _____

Endereço: Orlando Moraes Teles

Ocorre Alagamento ou Enxurrada? Sim (☐) Não (☒) Qual? Alagamento (☐) Enxurrada (☐) Ambos (☐)

Rua da enxurrada: Já não tem + 10 anos +

Até onde costuma chegar a água de enchente nesta rua (bairro, quarteirão)?

Referência: _____ GPS: _____ Fotos _____

Qual é o nível normal (mais comum) que a água de enchente atinge nesta rua (bairro, quarteirão)? Altura frequente (magnitude)?

Referência: _____ GPS: _____ Fotos _____

Qual é a local máximo que você viu alagar? (Até onde?)

Referência: _____ GPS: _____ Fotos _____

Qual é a altura máxima que você viu alagar? (linha d'água?)

Referência/Distância do chão: _____ Altitude: _____ Fotos _____

Todo ano alaga? Sim (☐) Não (☒). Observações: Já não alaga +, antes da obra de melhorando do c

Qual a frequência de alagamentos?

Qual o período do ano que é mais comum alagar?

Houve um dia específico em que você se lembra? + 10 anos 1m 1/2

Liberação para uso em pesquisa científica:

Ass/visto do entrevistado: x Aleir Silva

Data: _____

A abordagem da geomorfologia antropogênica e do modelo hidrológico Ven te Chow na bacia do córrego
Três Pontes (SP) para determinação de picos de vazão e da vulnerabilidade a inundações
Roteiro de entrevistas para Controle de Campo

Yuri Veneziani

PI7

ROTEIRO DE ENTREVISTA - Controle de campo

Entrevistado: Márcia da Glória Idade: _____
Endereço: Rua Valdomiro ~~da~~ Gonzaga Filho
Ocorre Alagamento ou Enxurrada? Sim (☒) Não (☐) Qual? Alagamento (☒) Enxurrada (☐) Ambos (☐)
Rua da enxurrada: to aqui nunca alagou. to mas pouco.
Até onde costuma chegar a água de enchente nesta rua (bairro, quarteirão)?
Referência: foi 10 m alagava a rua de baixo mas agora não mais. GPS: _____ Fotos _____
Qual é o nível normal (mais comum) que a água de enchente atinge nesta rua (bairro, quarteirão)? Altura frequente (magnitude)?
Referência: _____ GPS: _____ Fotos _____
Qual é a local máximo que você viu alagar? (Até onde?)
Referência: _____ GPS: _____ Fotos _____
Qual é a altura máxima que você viu alagar? (linha d'água?)
Referência/Distância do chão: _____ Altitude: _____ Fotos _____
Todo ano alaga? Sim (☐) Não (☒). Observações: _____
Qual a frequência de alagamentos? _____
Qual o período do ano que é mais comum alagar? _____
Houve um dia específico em que você se lembra? _____
Liberação para uso em pesquisa científica: _____
Ass/visto do entrevistado: x/ingap
Data: _____

Entrevistado: Orlando - [redacted] - Cidade kernel Idade: _____
Endereço: Rua Desembargador Adenito Pereira da Silva, 1B
Ocorre Alagamento ou Enxurrada? Sim (☒) Não (☐) Qual? Alagamento (☐) Enxurrada (☐) Ambos (☐)
Rua da enxurrada: _____
Até onde costuma chegar a água de enchente nesta rua (bairro, quarteirão)?
Referência: _____ GPS: _____ Fotos _____
Qual é o nível normal (mais comum) que a água de enchente atinge nesta rua (bairro, quarteirão)? Altura frequente (magnitude)?
Referência: 1m - 3m pl baixar ± GPS: _____ Fotos _____
Qual é a local máximo que você viu alagar? (Até onde?)
Referência: Rua toda - GPS: _____ Fotos _____
Qual é a altura máxima que você viu alagar? (linha d'água?)
Referência/Distância do chão: _____ Altitude: _____ Fotos _____
Todo ano alaga? Sim (☒) Não (☐). Observações: + de 1 vez ao ano - a chuva de ontem alagou
Qual a frequência de alagamentos? 3X / td chuva
Qual o período do ano que é mais comum alagar? _____
Houve um dia específico em que você se lembra? 1m 40 cm - 2010 Jan - 4h de chuva / 5guz chegou
Liberação para uso em pesquisa científica: comporta de 1m 1/2 aplicar alta - na metade
Ass/visto do entrevistado: x/Orlando Pereira da Silva
Data: _____

↳ PIB Dna. Gisa - alaga tmb, mas + por conta do terreno

A abordagem da geomorfologia antropogênica e do modelo hidrológico Ven te Chow na bacia do córrego
Três Pontes (SP) para determinação de picos de vazão e da vulnerabilidade a inundações
Roteiro de entrevistas para Controle de Campo

Yuri Veneziani

ROTEIRO DE ENTREVISTA - Controle de campo

Entrevistado: Antonio Alves Ribeiro Idade: _____

Endereço: Rua Ademar Pereira da Silva

Ocorre Alagamento ou Enxurrada? Sim (✓) Não () Qual? Alagamento () Enxurrada () Ambos (✓)

Rua da enxurrada: _____

Até onde costuma chegar a água de enchente nesta rua (bairro, quarteirão)?

Referência: _____ GPS: _____ Fotos _____

Qual é o nível normal (mais comum) que a água de enchente atinge nesta rua (bairro, quarteirão)? Altura frequente (magnitude)?

Referência: _____ GPS: _____ Fotos _____

Qual é a local máximo que você viu alagar? (Até onde?)

Referência: _____ GPS: _____ Fotos _____

Qual é a altura máxima que você viu alagar? (linha d'água?)

Referência/Distância do chão: 1,10 Altitude: _____ Fotos _____

Todo ano alaga? Sim (X) Não (). Observações: _____

Qual a frequência de alagamentos? 3 x ao mês -> sempre q. chove.

Qual o período do ano que é mais comum alagar? verão

Houve um dia específico em que você se lembra? Diminuiu - ALVES 2013 (2) - BOL

Liberação para uso em pesquisa científica: _____

Ass/visto do entrevistado: X Antonio Alves Ribeiro

Data: _____

Entrevistado: Edilson Sposito PROS GPS 28, 29 e 30 Idade: _____

Endereço: R. Valdemar Faveira dos Santos, 46

Ocorre Alagamento ou Enxurrada? Sim (X) Não () Qual? Alagamento () Enxurrada () Ambos ()

Rua da enxurrada: 0,5 na parede (1 m da rua)

Até onde costuma chegar a água de enchente nesta rua (bairro, quarteirão)?

Referência: _____ GPS: 28, 29, 30 Fotos _____

Qual é o nível normal (mais comum) que a água de enchente atinge nesta rua (bairro, quarteirão)? Altura frequente (magnitude)?

Referência: 0,5 GPS: _____ Fotos _____

Qual é a local máximo que você viu alagar? (Até onde?)

Referência: _____ GPS: _____ Fotos _____

Qual é a altura máxima que você viu alagar? (linha d'água?)

Referência/Distância do chão: 1 m Altitude: _____ Fotos _____

Todo ano alaga? Sim (✓) Não (). Observações: _____

Qual a frequência de alagamentos? se chover alaga

Qual o período do ano que é mais comum alagar? _____

Houve um dia específico em que você se lembra? _____

Liberação para uso em pesquisa científica: _____

Ass/visto do entrevistado: X Edilson Sposito

Data: _____

358318849

A abordagem da geomorfologia antropogênica e do modelo hidrológico Ven te Chow na bacia do córrego
Três Pontes (SP) para determinação de picos de vazão e da vulnerabilidade a inundações
Roteiro de entrevistas para Controle de Campo

Yuri Veneziani

ROTEIRO DE ENTREVISTA - Controle de campo

PTO 30 GPS

Entrevistado: Seu Pedro Nunes de Souza e seu Everaldo Idade: _____

Endereço: Av. Nilroí 618

Ocorre Alagamento ou Enxurrada? Sim ☒ Não () Qual? Alagamento () Enxurrada () Ambos ☒

Rua da enxurrada: Av. Nilroí e Av. Kemal

Até onde costuma chegar a água de enchente nesta rua (bairro, quarteirão)?

Referência: Até a metade da rua GPS: P30 Fotos _____

Qual é o nível normal (mais comum) que a água de enchente atinge nesta rua (bairro, quarteirão)? Altura frequente (magnitude)?

Referência: _____ GPS: _____ Fotos _____

Qual é a local máximo que você viu alagar? (Até onde?)

Referência: _____ GPS: _____ Fotos _____

Qual é a altura máxima que você viu alagar? (linha d'água?)

Referência/Distância do chão: _____ Altitude: _____ Fotos _____

Todo ano alaga? Sim ☒ Não (). Observações: _____

Qual a frequência de alagamentos? Só dar um chuveiro e já alaga - conclusão do PTO:

Qual o período do ano que é mais comum alagar? Sempre ALAGAVA O NOMEINHO TINT

Houve um dia específico em que você se lembra? _____ PROBLEMAS DE DRENAGEM.

Liberação para uso em pesquisa científica: _____ ATERRO NA AC

Ass/visto do entrevistado: X Batista Nunes de Souza TDO

Data: 90337 2954 - 27/04/14 TERM

Entrevistado: Elaine de Souza Idade: _____

Endereço: Av. 3 Pontes 75A

Ocorre Alagamento ou Enxurrada? Sim ☒ Não (X) Qual? Alagamento (X) Enxurrada () Ambos () Possibilidade de fo

Rua da enxurrada: Av. 3 Pontes enxurradas mto gd

Até onde costuma chegar a água de enchente nesta rua (bairro, quarteirão)?

Referência: Próxima ao canal, do outro lado da ver GPS: P31 Fotos _____

Qual é o nível normal (mais comum) que a água de enchente atinge nesta rua (bairro, quarteirão)? Altura frequente (magnitude)?

Referência: _____ GPS: _____ Fotos _____

Qual é a local máximo que você viu alagar? (Até onde?)

Referência: _____ GPS: _____ Fotos _____

Qual é a altura máxima que você viu alagar? (linha d'água?)

Referência/Distância do chão: _____ Altitude: _____ Fotos _____

Todo ano alaga? Sim ☒ Não (). Observações: Todo ano com enxurrada forte

Qual a frequência de alagamentos? Ex chuveiro

Qual o período do ano que é mais comum alagar? _____

Houve um dia específico em que você se lembra? 40 dias atrás p.ex, encheu bastante, mas pass

Liberação para uso em pesquisa científica: 5m. e já baixou

Ass/visto do entrevistado: X Elaine

Data: 27/04/14

Elaine 1070 @hot mail.com

A abordagem da geomorfologia antropogênica e do modelo hidrológico Ven te Chow na bacia do córrego
Três Pontes (SP) para determinação de picos de vazão e da vulnerabilidade a inundações
Roteiro de entrevistas para Controle de Campo

Yuri Veneziani

ROTEIRO DE ENTREVISTA - Controle de campo

Entrevistado: Ana cláudia Souza dos Santos P83 Idade: _____
Endereço: Rua Aríal, 671 Vila Arizona - Itaquá
Ocorre Alagamento ou Enxurrada? Sim ☒ Não () Qual? Alagamento ☒ Enxurrada () Ambos () Porém n ocorre alag
Rua da enxurrada: _____ Não - só próximo a
Até onde costuma chegar a água de enchente nesta rua (bairro, quarteirão)?
Referência: _____ GPS: _____ Fotos _____
Qual é o nível normal (mais comum) que a água de enchente atinge nesta rua (bairro, quarteirão)? Altura frequente (magnitude)?
Referência: _____ GPS: _____ Fotos _____
Qual é a local máximo que você viu alagar? (Até onde?)
Referência: _____ GPS: _____ Fotos _____
Qual é a altura máxima que você viu alagar? (linha d'água?)
Referência/Distância do chão: _____ Altitude: _____ Fotos _____
Todo ano alaga? Sim () Não (). Observações: _____
Qual a frequência de alagamentos? _____
Qual o período do ano que é mais comum alagar? _____
Houve um dia específico em que você se lembra? _____
Liberação para uso em pesquisa científica:
Ass/visto do entrevistado: x Ana cláudia
Data: _____

Entrevistado: _____ Idade: _____
Endereço: _____
Ocorre Alagamento ou Enxurrada? Sim () Não () Qual? Alagamento () Enxurrada () Ambos ()
Rua da enxurrada: _____
Até onde costuma chegar a água de enchente nesta rua (bairro, quarteirão)?
Referência: _____ GPS: _____ Fotos _____
Qual é o nível normal (mais comum) que a água de enchente atinge nesta rua (bairro, quarteirão)? Altura frequente (magnitude)?
Referência: _____ GPS: _____ Fotos _____
Qual é a local máximo que você viu alagar? (Até onde?)
Referência: _____ GPS: _____ Fotos _____
Qual é a altura máxima que você viu alagar? (linha d'água?)
Referência/Distância do chão: _____ Altitude: _____ Fotos _____
Todo ano alaga? Sim () Não (). Observações: _____
Qual a frequência de alagamentos? _____
Qual o período do ano que é mais comum alagar? _____
Houve um dia específico em que você se lembra? _____
Liberação para uso em pesquisa científica:
Ass/visto do entrevistado: x
Data: _____

A abordagem da geomorfologia antropogênica e do modelo hidrológico Ven te Chow na bacia do córrego Três Pontes (SP) para determinação de picos de vazão e da vulnerabilidade a inundações

Roteiro de entrevistas para Controle de Campo

Entrevistado: Seu Manoel e família P34 mora aqui desde 1990 Idade: _____

Endereço: Rua Rebasão / próx à Luz Marcelina

Ocorre Alagamento ou Enxurrada? Sim (☒) Não () Qual? Alagamento () Enxurrada () Ambos (☒) mas dps d

Rua da enxurrada: _____ subir há

Até onde costuma chegar a água de enchente nesta rua (bairro, quarteirão)? anos atrás

Referência: _____ GPS: _____ Fotos _____ passou d

Qual é o nível normal (mais comum) que a água de enchente atinge nesta rua (bairro, quarteirão)? Altura frequente (magnitude)?

Referência: _____ GPS: _____ Fotos _____

Qual é a local máximo que você viu alagar? (Até onde?)

Referência: _____ GPS: _____ Fotos _____

Qual é a altura máxima que você viu alagar? (linha d'água?) Em uma gde enchente

Referência/Distância do chão: 1m 1/2 mais ou menos Altitude: _____ Fotos _____

Todo ano alaga? Sim () Não (☒) Observações: Desde a obra para de alagar, mas chegou

Qual a frequência de alagamentos? Não alaga +

Qual o período do ano que é mais comum alagar? _____

Houve um dia específico em que você se lembra? _____

Liberação para uso em pesquisa científica:

Ass/visto do entrevistado: _____ X _____

Data: _____

Entrevistado: Edvaldo / Seu Roberto P35 Idade: _____

Endereço: Rua Jundiaí, 08577-320 nº 670

Ocorre Alagamento ou Enxurrada? Sim (☒) Não () Qual? Alagamento () Enxurrada () Ambos (☒)

Rua da enxurrada: _____

Até onde costuma chegar a água de enchente nesta rua (bairro, quarteirão)?

Referência: _____ GPS: _____ Fotos _____

Qual é o nível normal (mais comum) que a água de enchente atinge nesta rua (bairro, quarteirão)? Altura frequente (magnitude)?

Referência: _____ GPS: _____ Fotos _____

Qual é a local máximo que você viu alagar? (Até onde?)

Referência: _____ GPS: _____ Fotos _____

Qual é a altura máxima que você viu alagar? (linha d'água?)

Referência/Distância do chão: _____ Altitude: _____ Fotos _____

Todo ano alaga? Sim () Não (). Observações: _____

Qual a frequência de alagamentos? _____

Qual o período do ano que é mais comum alagar? _____

Houve um dia específico em que você se lembra? 11 fevereiro de 83 anos atrás alagou que n de

Liberação para uso em pesquisa científica:

Ass/visto do entrevistado: Edvaldo Laraine de Sá

Data: _____