

TADEU DE SOUZA OLIVEIRA

**APLICAÇÃO DO CADASTRO TÉCNICO
VISANDO A AVALIAÇÃO DE INUNDAÇÕES URBANAS**

FLORIANÓPOLIS, 2012



Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

TADEU DE SOUZA OLIVEIRA

**APLICAÇÃO DO CADASTRO TÉCNICO
VISANDO A AVALIAÇÃO DE INUNDAÇÕES URBANAS**

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Área de Concentração Cadastro Técnico Multifinalitário e Gestão Territorial, da Universidade Federal de Santa Catarina para obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. CARLOS LOCH

FLORIANÓPOLIS, 2012

Catálogo na fonte pela Biblioteca Universitária
da
Universidade Federal de Santa Catarina

O48a Oliveira, Tadeu de Souza
Aplicação do cadastro técnico visando a avaliação de
inundações urbanas [tese] / Tadeu de Souza Oliveira ;
orientador, Carlos Loch. - Florianópolis, SC, 2012.
355 p.: il., grafs., tabs., mapas

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina,
Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Civil.

Inclui referências

1. Engenharia civil. 2. Planejamento urbano. 3. Drenagem.
4. Inundações. 5. Hidrologia urbana. I. Loch, Carlos. II.
Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

CDU 624

**APLICAÇÃO DO CADASTRO TÉCNICO
VISANDO A AVALIAÇÃO DE INUNDAÇÕES URBANAS**

TADEU DE SOUZA OLIVEIRA

Tese julgada adequada para a obtenção do Título de DOUTOR em Engenharia Civil e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil- PPGEC da Universidade Federal de Santa Catarina- UFSC, em sessão pública realizada em 20/03/2012.

Florianópolis, 20 de março de 2012.

Prof. Roberto Caldas de Andrade Pinto, PhD.

Coordenador do Curso

Prof. Carlos Loch, Dr.- Orientador- PPGE/UFSC

Membros da Banca Examinadora:

Prof. Nilo de Oliveira Nascimento, Dr.- UFMG

Prof. Carla Bernadete Madureira Cruz, Dr^a. – UFRJ

Prof. Masato Kobiyama, Dr.- ENS/UFSC

Prof. Lia Caetano Bastos, Dr^a.- ECV/UFSC

Prof. Álvaro José Back, Dr. - UNESC/EPAGRI

DEDICO

Aos meus filhos Júlia e Danilo e aos meus
pais “in memoriam” Cecino e Otília.

AGRADECIMENTOS

À Deus que me deu saúde e me guiou pelos melhores caminhos.

A Mirtz, minha esposa e companheira de todas as horas, meu amor.

À minha irmã Melquiades Oliveira de Brum e sua família pelo incentivo, carinho e presença constante.

Aos meus pais Cecino de Oliveira “in memoriam” e Otilia de Souza Oliveira “in memoriam” pelo exemplo.

Ao prof. Carlos, pela orientação, pela sabedoria e pela amizade.

À Universidade Federal de Santa Catarina, e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil pela estrutura disponibilizada.

Ao LabFSG da Universidade Federal de Santa Catarina pelos materiais e equipamentos disponibilizados durante o período de realização da pesquisa.

Aos professores da Pós Graduação da Engenharia Civil-UFSC em especial Prof. Jurgen Philips.

Aos professores da Pós Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental –UFSC, Masato Kobiyama e Péricles de Medeiros.

Aos colegas do LabFSG principalmente: Priscila Krambeck Braun e Yuzi Zanardo.

Aos colegas de aula Elizangela Benedet, Renata Cavion e Cesar Monteiro.

Ao IPAT/UNESC pelo apoio e disponibilização de materiais e dados.

À Prefeitura Municipal de Criciúma por todo apoio e material cedido durante a pesquisa.

A TODOS, MINHA GRATIDÃO.

“Nem tudo que se enfrenta pode ser modificado, mas nada pode ser modificado até que seja enfrentado.”
“No meio da dificuldade encontra-se a oportunidade.”

(Albert Einstein)

RESUMO

Em Santa Catarina, assim como em todo o país, e mesmo a nível mundial tornou-se comum a ocorrência de inundações urbanas, estas de difícil controle e de consideráveis prejuízos materiais, danos ao meio ambiente e até com perdas de vidas humanas. Diante de milhares de pessoas que sofrem de forma recorrente com os problemas de inundações a cada período de chuvas, a gestão pública municipal e departamentos responsáveis pelos recursos hídricos têm uma missão desafiadora em apontar proposições para solução e melhorias do sistema de drenagem urbana para o município. O objetivo desta pesquisa é aplicar o cadastro técnico na avaliação e acompanhamento da expansão urbana, sua correlação com a drenagem urbana e ocorrências de inundações bruscas na bacia hidrográfica do Rio Criciúma. Para tal propósito, a metodologia utilizada, parte do método de caracterização e levantamento dos dados, método de análise e método de avaliação. Entre os resultados encontrados referentes a bacia hidrográfica do Rio Criciúma consta para cada resultado a análise e avaliação, assim é apresentada no capítulo 4, a Caracterização da evolução histórica da ocupação urbana, onde estão as análises dos Planos Diretores de 1957, 1973, 1984 e 1999, bem como, o avanço da expansão urbana e avaliação dos vôos fotogramétricos de 1956, 1978 e 2006. No capítulo 5 é apresentada a caracterização hidrológica e física, apresentando o levantamento de dados pluviométricos e equação de chuvas intensas, a configuração da bacia hidrográfica, a caracterização morfométrica e hidrograma unitário; no capítulo 6 é apresentada a mensuração do sistema de drenagem, onde consta o cadastro da macro drenagem, da rede hidrográfica, do Rio Criciúma, da micro drenagem, da produção de sedimentos e dos esgotos sanitários no sistema de drenagem; no capítulo 7 é apresentada a caracterização e quantificação da impermeabilização, onde consta a impermeabilização das vias públicas, dos lotes por pavimentação interna, das edificações, o solo exposto, do solo com vegetação, das área de rios e alagados, coeficientes médio e máximo de escoamento superficial e cálculos Curver Number – CN. Na ocupação do subsolo está a determinação do grupo hidrológico do solo e a geologia da bacia; no capítulo 8 é apresentada as discussões, onde fica evidenciado a avaliação dos resultados do grupo hidrológico C e D, a avaliação de um modelo de solução para reduzir o volume de água excedente dentro da sub bacia analisada, os dispositivos de retardo nos

lotes, os dispositivos de retardo em áreas públicas e APP's, as diretrizes básicas para implantação de políticas públicas. No capítulo 9, conclui-se que, as soluções técnicas e as políticas públicas adotadas no período estudado não foram satisfatórias, resultando em acúmulos de problemas ambientais e desastres naturais, principalmente as inundações bruscas urbanas; o município possui material cartográfico que oferece condições para elaboração de projetos bem estruturados, necessitando melhorar a qualidade e precisão da altimetria e também que a aplicação do cadastro técnico correlacionado à estudos hidrológicos e a aplicação conjunta de hidráulica produzem resultados seguros e portanto confiáveis para a solução dos problemas estudados.

Palavras-Chaves: Ocupação do território. Planejamento Urbano. Drenagem Urbana. Inundação brusca. Cadastro técnico. Estudos hidrológicos.

ABSTRACT

In Santa Catarina, as well as throughout the country, and even the world has become a common occurrence of urban flooding, they are difficult to control and considerable material damage, environmental damage and even loss of life. Faced with thousands of people suffering from a recurring basis with the problems of floods every rainy season, the public administration and municipal department responsible for water resources have a challenging mission to point out solutions and proposals for improvements to the urban drainage system for the city . The aim of this search is to apply the technical cadastre evaluation and monitoring of urban sprawl, its correlation with the urban drainage and occurrences of flash floods in the river basin Criciúma. For this purpose, the methodology used part of the method for characterization and data collection, analysis method and evaluation method. Among the findings related to river basin Criciúma listed for each outcome analysis and evaluation process, is presented in Chapter 4, the characterization of the historical evolution of urban occupation, where are the analysis of Master Plans 1957, 1973, 1984 and 1999, and the Advancement of urban expansion and evaluation of photogrammetric flights, 1956, 1978 and 2006. Chapter 5 presents the hydrological and physical characterization, presenting the survey data and equation of rainfall heavy rains, the configuration of the river basin, the unit hydrograph and morphometric characterization, in Chapter 6 presents the measurement of the drainage system, which consists the Register of macro drainage, river system, the Rio Criciúma, the Register of micro drainage, sediment production and sanitary sewers in the drainage system, in Chapter 7 presents the characterization and quantification of sealing, which sets forth the waterproofing public roads, by paving the lots internal to buildings, the soil above the soil with vegetation, rivers and wetlands area, average and maximum coefficients of runoff and calculations Curver Number - CN, in the occupation of the basement is the determination hydrologic soil group and the geology of the basin, is presented in chapter 8 the discussions, which evidenced the Evaluation of the results of hydrologic group C and D, Evaluation of a model solution to reduce the volume of excess water within the sub basin analyzed the devices in lots delay, the delay devices in public areas and APP, the Basic Guidelines for implementation of public policies and GUIDELINES. In chapter 9, it is concluded that the technical solutions

and policies adopted during the study period were not satisfactory, resulting in accumulation of environmental problems and natural disasters, especially urban flash floods, the city has to offer cartographic material conditions for the preparation project and structured, needing to improve the quality and accuracy of altimetry and also that the application of technical cadastre correlated with hydrological studies and joint implementation of hydraulics produce reliable results and therefore trusted to solve the problems studied.

Keywords: Occupation of the territory. Urban Planning. Urban Drainage. Sudden flooding. Registration desk. hydrological studies

LISTA DE SIGLAS

UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina

PPGEC – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

LBFSG – Laboratório de Fotogrametria , Sensoriamento remoto e Geoprocessamento

DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral

CPRM – Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense

IPAT – Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas

PMC – Prefeitura Municipal de Criciúma

EPAGRI – Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina

CTM – Cadastro Técnico Multifinalitário

UTM – Universal Transversa de Mercator

RCC – Resíduos da Construção Civil

APP – Área de Preservação Permanente

B.H – Bacia Hidrográfica

CN – Curve Number

SCS - Soil Conservation Service

NRCS - Natural Resources Conservations Service

HU – Hidrograma Unitário

MDT – Modelo Digital do terreno

AMREC – Associação dos Municípios da Região Carbonífera

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

SDR – Secretaria de Desenvolvimento Regional

PNC - Plano Nacional do Carvão

CEPCAN - Comissão Executiva do Plano Nacional do Carvão

ZDA – Zona de Densidade Alta

ZDM – Zona de Densidade Média

ZDB – Zona de Densidade Baixa

ZU – Zona Urbana

TO – Taxa de Ocupação

IA – Índice de Aproveitamento

TI – Taxa de Infiltração

ZR – Zona residencial;

ZM – Zona mista;

ZC – Zona comercial;

CAM – Centro administrativo municipal;

ZEP – Zona especial de preservação;

ADL – Área Degradada específica para Lazer.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: depósito de resíduos de construção civil – RCC.....	58
Figura 2: exposição de solo com lançamento de.....	59
Figura 3: degradação dos dispositivos de drenagem.....	59
Figura 4: boletim de sondagem com informações de tipos de solo.....	83
Figura 5: localização do município de criciúma e bacia hidrográfica em estudo.....	88
Figura 6: mapa da bacia do rio Araranguá.	89
Figura 7: bacia hidrográfica do Rio Criciúma com o modelo digital do terreno e hidrografia.....	91
Figura 8: processo de delimitação da bacia do Rio Criciúma em ambiente CAD.....	92
Figura 9: depósito de rejeitos resultante das atividades de mineração localizado na margem esquerda do rio Criciúma.....	93
Figura 10: inundação em área onde o rio Criciúma encontra-se sob as edificações.....	94
Figura 11: inundação em área afastada do Rio Criciúma.....	94
Figura 12: mapa do plano urbanístico de 1957 inserido na sistema viário atual.....	99
Figura 13: fotografia aérea da bacia do Rio Criciúma de 1956.....	100
Figura 14: base cartográfica Bacia Rio Criciúma - escala 1:10.000. Criciúma 1956.....	101
Figura 15: mapa da bacia do rio criciúma com o plano diretor de 1973.....	106

Figura 16: mapa da bacia do rio criciúma com o plano diretor de 1984.....	110
Figura 17: área nos morros casagrande e cechinel limitada pelas curvas de nível nas altitudes 140m 260m.....	114
Figura 18: bacia do rio criciúma com o plano diretor de 1999.	119
Figura 19: área de expansão urbana da bacia do rio criciúma em 956.....	123
Figura 20: sobreposição da hidrografia e foto aérea de 1956	124
Figura 21: foto aérea da bacia do rio criciúma em 1978.....	125
Figura 22: foto aérea da bacia do rio criciúma em 2009.....	126
Figura 23: mapa de evolução urbana 1956 a 2009.....	127
Figura 24: mapa do clima na região carbonífera – AMREC.	136
Figura 25: variação das temperaturas máxima, média e mínima	137
Figura 26: distribuição das temperaturas na região carbonífera.....	138
Figura 27: distribuição das precipitações na região carbonífera.....	140
Figura 28: variação da precipitação e evaporação (série 1924-2005).	143
Figura 29: bacia hidrográfica sobre a base cartográfica de 2001 atualizada para 2006.....	144
Figura 30: bacia hidrográfica do rio criciúma e hierarquia hidrográfica em 1956.....	146
Figura 31: fotos aéreas de 1956 com a malha urbana e o traçado da hidrografia.....	148
Figura 32: bacia do rio criciúma sobre a base cartográfica de 1956 com pontos canalizados.....	150
Figura 33: sobreposição da hidrografia do ano de 1956 sobre a área urbanizada no ano de 2006.....	152

Figura 34: malha viária dentro dos limites da bacia hidrográfica no ano de 2006.....	154
Figura 35: chuva efetiva nas condições de uso do solo para o ano de 2006grupo hidrológico D.....	159
Figura 36: hidrograma unitário nas condições de ocupação do solo para o ano de 2006. Grupo hidrológico D.....	162
Figura 37: chuva efetiva nas condições de uso do solo para o ano de 2006grupo hidrológico C.....	165
Figura 38: hidrograma unitário nas condições de ocupação do solo para o ano de 2006. Grupo hidrológico C.....	168
Figura 39: chuva efetiva nas condições de uso do solo para o ano de 1957grupo hidrológico D.....	171
Figura 40: hidrograma unitário nas condições de ocupação do solo para o ano de 1957. Grupo hidrológico D.....	175
Figura 41: chuva efetiva nas condições de uso do solo para o ano de 1957.grupo hidrológico C.....	178
Figura 42: hidrograma unitário nas condições de ocupação do solo para o ano de 1957. Grupo hidrológico C.....	182
Figura 43: hidrografia canalizada da bacia do Rio Criciúma.....	193
Figura 44: localização na ortofoto 2006.....	195
Figura 45: localização na base cartográfica 2001 atualizada para 2006.....	195
Figura 46: pequeno trecho do córrego ainda não canalizado na vertente do morro, no bairro Santo Antônio.....	196
Figura 47: início da canalização do córrego.....	196
Figura 48: sobreposição da rede hidrográfica natural com a rede de drenagem analisada.....	197

Figura 49: rio perene integrante da rede hidrográficacom escoamento a céu aberto.....	198
Figura 50: transição de um rio perene com escoamento a céu aberto para escoamento canalizado subterrâneo.....	199
Figura 51: ocupação de fundo de vale e caixa de transferência.....	200
Figura 52: caixa de transferência.....	200
Figura 53: localização ortofoto 2006.....	201
Figura 54: disposição de RCC as margens do canal na micro bacia 15.....	202
Figura 55: traçado do Rio Criciúma em 1957 entre a foz e a Rua Henrique Lage.....	203
Figura 56: traçado do Rio Criciúma em 2009 entre a foz e a Rua Henrique Lage.....	204
Figura 57: início da ocupação urbana as margens do Rio.	205
Figura 58: ocupação atual do Rio Criciúma.....	206
Figura 59: canalização do rio criciúma em pedra de alicerce.....	206
Figura 60: canalização do rio criciúma em 2011 sob passagem de rua.....	207
Figura 61: edificação sobre as paredes e sacadasobre o RioCriciúma.....	208
Figura 62: edificação sobre as paredes e laje de cobertura sobre o rio criciúma.....	208
Figura 63: edifício do shopping sobre o Rio Criciúma.....	209
Figura 64: garagem do shopping com a passagem.....	210
Figura 65: traçado do Rio no centro da cidade sobre a base.	211
Figura 66: traçado do Rio no centro da cidade, vista aérea de 1957...	211

Figura 67: traçado do Rio Criciúma no centro da cidade, com a identificação dos trechos canalizados sobre a base cartográfica.....	212
Figura 68: traçado do Rio Criciúma no centro da cidade, com a identificação dos trechos canalizados sobre a ortofoto.....	212
Figura 69: canalização do Rio Criciúma próximo a rua Felipe Schmidt.....	213
Figura 70: canalização sob edificações.....	214
Figura 71: passagem sobre edificações.....	214
Figura 72: trecho em transição com escoamento berto.....	215
Figura 73: ponte sob a rua Ângelo Peruchi	216
Figura 74: bueiro sob a Avenida Centenário.....	216
Figura 75: ponte sobre o Rio não canalizado.....	217
Figura 76: bacia do rio criciúma com a malha viária “hidrografia viária”.....	219
Figura 77: rede hidrográfica da bacia do rio criciúma com sobreposição com obras de drenagem.....	221
Figura 78: método de coleta de dados das caixas coletoras de guia....	222
Figura 79: método de coleta de dados das caixas coletoras de sarjeta com grelha.....	223
Figura 80: método de coleta de dados das alturas de meio fio e declividade sarjetas.....	224
Figura 81: coleta das dimensões de uma sarjeta para determinação da declividade transversal.....	225
Figura 82: caixa coletora em boas condições.....	227
Figura 83: caixa coletora com presença de sedimentos.....	228
Figura 84: caixa coletora inutilizada por vandalismo.....	228

Figura 85: caixa coletora inutilizada por falta de limpeza.....	229
Figura 86: argila carregada para a caixa coletora.....	230
Figura 87: depósito de areia e argamassa.....	231
Figura 88: depósito de brita sobre a calçada.....	231
Figura 89: depósito de material granular em caixa coletora.....	232
Figura 90: caixa coletora com grelha com sua capacidade reduzida	233
Figura 91: caixa coletora com grelha grande quantidade de sedimentos.....	233
Figura 92: grande quantidade de sedimentos depositados.....	234
Figura 93: despejo de esgoto industrial em caixa coletora de água pluvial.....	235
Figura 94: ligação de esgoto residencial em caixa coletora de água pluvial.....	235
Figura 95: caixa coletora de água pluvial com ligações de esgoto sanitário - A.....	236
Figura 96: caixa coletora de água pluvial com ligações de esgoto sanitário – B.....	236
Figura 97: gráfico das condições das caixas coletoras.....	238
Figura 98: bacia do rio criciúma com a especialização dos elementos coletados em campo.....	240
Figura 99: micro bacia número 15. Modelo para aplicação.....	241
Figura 100: subdivisão da microbacia número 15. Modelo para aplicação.....	242
Figura 101: detalhe da subdivisão da microbacia número 15.....	243
Figura 102: tela da planilha eletrônica com hiper link com a caixa C134.....	249

Figura 103: mapa de ocupação do solo da micro bacia 15.....	254
Figura 104:chuva efetiva micro bacia 15.....	261
Figura 105: hidrograma unitário bacia 15.....	261
Figura 106: ponto de encontro das canalizações de descarga da microbacia 15.	263
Figura 107: mapa da bacia do Rio CRICIÚMA e subdivisões para dimensionamento das seções.....	264
Figura 108: sub bacia 1.....	266
Figura 109: hidrograma unitário sub bacia 1.grupo hidrológico D.....	267
Figura 110: hidrograma unitário sub bacia 1. Grupo hidrológico C.	267
Figura 111: sub bacia 2.....	268
Figura 112: hidrograma unitário sub bacia 2. Grupo hidrológico D....	269
Figura 113: hidrograma unitário sub bacia 2. Grupo hidrológico C....	269
Figura 114: sub bacia 3.	270
Figura 115: hidrograma unitário sub bacia 3. Grupo hidrológico D...	271
Figura 116: hidrograma unitário sub bacia 3. Grupo hidrológico C....	271
Figura 117: sub bacia 4.....	272
Figura 118: hidrograma unitário sub bacia 4. Grupo hidrológico D...	273
Figura 119: hidrograma unitário sub bacia 4. Grupo hidrológico C...	273
Figura 120: sub bacia 5.....	274
Figura 121: hidrograma unitário sub bacia 5. Grupo hidrológico D...	275
Figura 122: hidrograma unitário sub bacia 5. Grupo hidrológico C....	275
Figura 123: sub bacia 6.....	276
Figura 124: hidrograma unitário sub bacia 6. Grupo hidrológico D...	277
Figura 125: hidrograma unitário sub bacia 6. Grupo hidrológico C...	277

Figura 126: sub bacia 7.	278
Figura 127: hidrograma unitário sub bacia 7. Grupo hidrológico D...	279
Figura 128: hidrograma unitário sub bacia 7. Grupo hidrológico C....	279
Figura 129: bacia completa.....	280
Figura 130: hidrograma unitário bacia completa. Grupo hidrológico D.....	281
Figura 131: hidrograma unitário bacia completa. Grupo hidrológico C.....	281
Figura 132: localização das áreas atingidas por alagamentos na bacia do Rio Criciúma.....	286
Figura 133: ampliação das áreas atingidas por alagamentos na bacia do Rio Criciúma.....	287
Figura 134: identificação do ponto sobre o eixo da rua.....	288
Figura 135: identificação do ponto sobre o muro.....	289
Figura 136: MDT. Perfil longitudinal completo. Sobreposição da linha de inundação com a linha do rua tomada com levantamento topográfico.....	290
Figura 137: MDT. Perfil longitudinal completo. Sobreposição da linha de inundação com a linha do rua tomada com levantamento topográfico.....	291
Figura 138: MDT. Ampliação do perfil longitudinal da figura 137....	292
Figura 139: MDT. Perfil longitudinal completo. Sobreposição da linha de inundação com a linha do rua tomada sobre base cartográfica.....	293
Figura 140: MDT. Ampliação do perfil longitudinal da figura 139....	294
Figura 141: tubulação com seção entupida por sedimentos.....	295
Figura 142: ilustração da determinação das áreas no software de geoprocessamento.....	299

Figura 143: janela do software de geoprocessamento com a soma de todas as áreas de edificações.....	300
Figura 144: mapa de uso e ocupação do solo da bacia do Rio Criciúma com os tipos de impermeabilização do solo.....	305
Figura 145: Boletim de sondagem do furo SP 01.....	315
Figura 146: boletim de sondagem do furo SP 02.....	316
Figura 147: boletim de sondagem do furo SP 03.....	317
Figura 148: croquis de localização do imóvel e furos de sondagem...	321
Figura 149: mapa de solos do estado de Santa Catarina com destaque para a localização da bacia do Rio Criciúma.....	323
Figura 150: mapa geológico da bacia do Rio Criciúma.....	324
Figura 151: mapa de mineração do município de Criciúma com destaque para bacia em estudo.....	325
Figura 152: hidrograma unitário para o grupo hidrológico D.....	329
Figura 153: avenida centenário alagada.....	329
Figura 154: hidrograma unitário para o grupo hidrológico C.....	331
Figura 155: área com possibilidade de instalação de tanque de retardo -1.....	334
Figura 156: área com possibilidade de instalação de tanque de retardo -2.....	334
Figura 157: seção tipo para tanques de retardo às margens do rio criciúma.....	335

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: coeficiente de escoamento superficial.....	68
Tabela 2: valores de CN para uso e ocupação do solo na condição II (antecedentes de umidade do solo).....	69
Tabela 3: valores da relação $t/tp - q/qp$	71
Tabela 4: coeficiente de escoamento em superfícies (C_v).....	72
Tabela 5: velocidade média para o cálculo de t_c	75
Tabela 6: período de retorno para diferentes projetos.....	77
Tabela 7: conversão das curvas CN para as diferentes condições de umidade do solo.....	80
Tabela 8: zonas de uso e suas respectivas taxas.....	108
Tabela 9: equação de chuva intensa.....	141
Tabela 10: número mensal de dias de chuvas referente à estação meteorológica de Urussanga (série 1924 – 2009).....	142
Tabela 11: média da precipitação total mensal em mm (série 1924-2009).....	142
Tabela 12: determinação do CN médio para o solo do grupo hidrológico D.....	157
Tabela 13: determinação da chuva efetiva nas condições de uso do solo para o ano de 2006 grupo hidrológico D.....	158
Tabela 14: determinação do CN médio para o solo do grupo hidrológico C.....	163
Tabela 15: determinação da chuva efetiva nas condições de uso do solo para o grupo hidrológico C, ano de 2006.....	164

Tabela 16: determinação do cn médio para o solo do grupo hidrológico D.....	169
Tabela 17: determinação da chuva efetiva nas condições de uso do solo para grupo hidrológico D, o ano de 1956.....	170
Tabela 18: determinação do CN médio para o solo do grupo hidrológico C.....	176
Tabela 19: determinação da chuva efetiva nas condições de uso do solo para o ano de 1956 - grupo hidrológico C.....	177
Tabela 20: fatores de redução propostos pela CETESB, 1980.....	250
Tabela 21: fator de redução para sarjetas.....	258
Tabela 22: determinação do cn médio para a microbacia número 15.	262

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: danos das inundações dos anos (2009, 2010 e 2011).....	95
Quadro 2: zonas de densidades.....	104
Quadro 3: índices urbanísticos plano diretor 1999.....	120
Quadro 4: resumo das áreas urbanizadas por ano analisado.....	122
Quadro 5: resumo cronológico da legislação -1.....	128
Quadro 6: resumo cronológico da legislação - 2.....	129
Quadro 7: Valores característicos da bacia do rio Criciúma no ano de 1956.....	149
Quadro 8: Valores característicos da bacia do rio Criciúma em 2006 considerando a drenagem	155
Quadro 9: Determinação do hidrograma unitário nas condições de ocupação do solo para o ano de 2006 – Grupo hidrológico D.....	160
Quadro 10: Determinação do hidrograma unitário nas condições de ocupação do solo para o ano de 2006 – Grupo hidrológico C.....	166
Quadro 11: Determinação do hidrograma unitário nas condições de ocupação do solo para o ano de 1956 Grupo D.....	172
Quadro 12: determinação do hidrograma unitário nas condições de ocupação do solo para o ano de 1956 grupoC.....	179
Quadro 13: Relação meteorológica entre a estação de Urussanga e a bacia hidrográfica do Rio Criciúma.....	183
Quadro 14:Valores comparativos característicos da bacia do rio Criciúma 1956/2006.....	184

Quadro 15: Quando resumo dos resultados dos hidrograma unitários 1957/2006.....	185
Quadro 16: tempo de concentração por Kirpinch.....	187
Quadro 17: comparação de equações de tempo de concentração.....	187
Quadro 18: Planilha para levantamento em campo dos sistemas de drenagem.....	226
Quadro 19: condições de descargas das caixas coletoras em porcentagem e divisão por classe.....	238
Quadro 20: planilha cadastral da rua Noel Rosa, bairro Lote Seis.....	245
Quadro 21: informações da rua.....	247
Quadro 22: informações sobre as caixas coletoras.....	248
Quadro 23: Fator de redução por classe de caixa coletora.....	249
Quadro 24: informações da área de contribuição.....	251
Quadro 25: determinação do coeficiente de escoamento.....	255
Quadro 26: planilha eletrônica para dimensionamento das sarjetas.....	256
Quadro 27: planilha eletrônica para o balanço hídrico.....	258
Quadro 28: planilha eletrônica para dimensionamento.....	260
Quadro 29: distribuição dos mapas das bacias e seus respectivos hidrogramas unitários.....	265
Quadro 30: demonstrativo das vazões por grupo hidrológico do solo.....	282
Quadro 31: demonstrativo do dimensionamento para o grupo hidrológico D.....	283
Quadro 32: demonstrativo do dimensionamento para o grupo hidrológico C.....	284
Quadro 33: características e impermeabilização das vias públicas.....	307

Quadro 34: Determinação do coeficiente de escoamento superficial máximo $-(C_{\max})$	310
Quadro 35: determinação do coeficiente de escoamento superficial médio $-(C_{\text{méd}})$	311
Quadro 36: determinação do coeficiente de escoamento superficial mínimo $-(C_{\text{mín}})$	312
Quadro 37: resumo dos pontos coletados e caracterização do solo (1/3).....	318
Quadro 38: consistência do solo.....	327
Quadro 39: Capacidade de armazenamento dos dispositivos de drenagem instalados sob a área de alagamento.....	330
Quadro 40: Capacidade de armazenamento dos dispositivos de.....	332
Quadro 41: matriz para proposta reservatórios de retardo. (hipótese)	333

SUMÁRIO

Resumo.....	I
Abstract.....	II
Lista de Figuras.....	III
Lista de Tabelas.....	IV
Lista de quadros.....	V
1. INTRODUÇÃO.....	39
1.1. Formulação do problema.....	42
1.2. Análise crítica	43
1.3. Estratégia da proposta	43
1.4. Ineditismo da proposta	44
1.5. Contribuição científica.....	45
1.6. Relevância do trabalho.....	45
1.7. Justificativa	46
1.8. Objetivos	47
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	49
2.1. Cadastro técnico multifinalitário.....	49
2.2. Expansão urbana e a impermeabilização do solo.....	51
2.3. Inundações urbanas	55
2.4. Bacia hidrográfica	60

2.5. O potencial das Ortofocartas no cadastro de problemas hídricos .	65
2.6. Hidrologia urbana	66
2.7. Dispositivos para detenção e aproveitamento das águas pluviais .	81
2.8. Drenagem urbana.....	84
3. ÁREA DE ESTUDOS.....	87
3.1. Localização	87
3.2. Delimitação da bacia hidrográfica do Rio Criciúma.....	90
3.3. Método de delimitação.....	92
3.4. Caracterização da área de estudos.....	92
4. CARACTERIZAÇÃO DA EVOLUÇÃO HISTÓRICA DA OCUPAÇÃO E EXPANSÃO URBANA.....	97
4.1. Método de caracterização e levantamento dos dados	97
4.2. Método de análise	97
4.3. Método de avaliação	97
4.4. Plano Diretor de 1957	97
4.5. O Plano Diretor de 1973	103
4.6. O Plano Diretor de 1984	107
4.7. O Plano Diretor de 1999	118
4.7.1. Da Política Municipal do Meio Ambiente.....	121
4.8. O avanço da expansão urbana. Avaliação dos vôos fotogramétricos de 1956, 1978 e 2006.	122
4.9. Análise	128
4.10. Avaliação	130
5. CARACTERIZAÇÃO HDROLÓGICA E FÍSICA DA BACIA DO RIO CRICIÚMA.....	133

5.1. Método de caracterização e levantamento dos dados.....	133
5.2. Método de análise	133
5.3. Método de avaliação	134
5.4. Levantamento de dados pluviométricos e equação de chuvas intensas.....	134
5.5. Configuração da bacia hidrográfica do Rio Criciúma.....	143
5.5.1. Caracterização morfométrica.....	145
5.5.1.1. Características físico-topográfica de 1956.....	145
5.5.1.2. Caracterização hidrológica de 1956.....	147
5.5.1.3. Características físico-topográficas de 2006.....	151
5.5.1.4. Caracterização hidrológica de 2006.....	153
5.6. Hidrograma unitário	156
5.6.1. Hidrograma unitário da bacia em 2006	156
5.6.2. Hidrograma unitário da bacia em 1956	168
5.7. Análise	182
5.8. Avaliação	186
6. MENSURAÇÃO DO SISTEMA DE DRENAGEM DA BACIA DO RIO CRICIÚMA	189
6.1. Método de diagnóstico e levantamento dos dados	189
6.2. Método de análise	189
6.3. Método de avaliação	190
6.4. Cadastro da macro drenagem.....	191
6.4.1. Rede hidrográfica	194
6.4.2. Rio Criciúma	202
6.5. Cadastro da micro drenagem.....	217

6.6. Produção de sedimentos no sistema de drenagem	229
6.7. Esgotos sanitário no sistema de drenagem.....	234
6.8. Análise	237
6.8.1. Sistema de drenagem.....	237
6.8.2. Rio Criciúma	263
6.8.3. Áreas de alagamentos.....	285
6.9. Avaliação	295

7. CARACTERIZAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DA IMPERMEABILIZAÇÃO DA BACIA DO RIO CRICIÚMA..... 298

7.1. Método de caracterização e levantamento dos dados	298
7.2. Método de análise	301
7.3. Método de avaliação	302
7.4. Análise	302
7.5. Avaliação	306
7.5.1. Impermeabilização das vias públicas	306
7.5.2. Impermeabilização dos lotes por pavimentação interna.....	307
7.5.3. Impermeabilização pelas edificações	307
7.5.4. Solo exposto	307
7.5.5. Solo com vegetação.....	308
7.5.6. Áreas de rios e alagados	308
7.5.7. Coeficiente médio de escoamento superficial - C	308
7.5.8. Cálculo do coeficiente de escoamento superficial máximo... 309	
7.5.9. Coeficiente médio de escoamento superficial – Curver Number - CN313	
7.5.10. Determinação do grupo hidrológico do solo	313

7.5.11. Geologia da bacia do Rio Criciúma.....	322
8. RESULTADOS E DISCUSSÕES	328
8.1. Avaliação dos resultados do grupo hidrológico D	328
8.2. Avaliação dos resultados do grupo hidrológico C.....	330
8.2.1. Avaliação de um modelo de solução para reduzir o volume de água excedente dentro da sub bacia analisada.....	332
8.2.2. Diretrizes básicas para implantação de políticas públicas.	335
8.2.2.1. DIRETRIZES	335
9. CONCLUSÃO	338
9.1. Quanto à evolução histórica da ocupação e expansão urbana	339
9.1.1. Recomendações para a evolução histórica da ocupação e expansão urbana	340
9.2. Quanto à caracterização hidrológica e física da bacia do rio Criciúma.....	340
9.2.1. Recomendações para a caracterização hidrológica e física da bacia do rio Criciúma	341
9.3. Quanto à mensuração do sistema de drenagem da bacia do Rio Criciúma.....	341
9.3.1. Recomendações para a mensuração do sistema de drenagem da bacia do Rio Criciúma.....	342
9.4. Quanto à Caracterização e quantificação da impermeabilização da bacia do Rio Criciúma.....	342
9.4.1. Recomendações para Caracterização e quantificação da impermeabilização da bacia do Rio Criciúma.....	343
9.5. Modelo de solução para reduzir o volume de água excedente dentro da sub bacia analisada.	344

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 345

CAPÍTULO 1

1. INTRODUÇÃO

Em Santa Catarina, assim como em todo o país, e mesmo a nível mundial tornou-se comum a ocorrência de inundações urbanas, estas de difícil controle e de consideráveis prejuízos materiais, danos ao meio ambiente e até com perdas de vidas humanas.

Verifica-se que nestes eventos os centros urbanos são alagados sem que necessariamente ocorra o transbordamento do canal principal, responsável pela drenagem da bacia hidrográfica.

Inundações em centros urbanos em sua grande maioria estão ligadas a antropização desordenada, onde em áreas rurais se ocupa o solo de forma irracional, gerando grandes volumes de erosão, carreamento de sedimentos, assoreamentos dos rios, e nas áreas urbanas se impermeabiliza o solo aumentando o deflúvio, canalizam-se os rios, reduzindo sua capacidade de transportar as águas resultantes do escoamento superficial.

Em alguns exemplos a nível mundial, podemos citar aquelas cidades que conseguem amenizar os problemas de inundações com obras de grande porte, como é o caso de Kuala Lumpur na Malásia, com a construção do Smart Túnel, o qual possui 9,7km de extensão com raio de 13,6m (TAN, 2006). Nesta solução, o túnel além de servir para escoamento do trânsito da cidade, em dias de precipitações de alta intensidade, é fechado aos automóveis e disponibilizado para reservatório das águas pluviais, evitando assim inundar a cidade.

Como exemplo nacional, nossa maior cidade, São Paulo, vive a cada verão o drama das inundações aumentarem a frequência. Opostamente a Kuala Lumpur que resolveu seus problemas com o Smart Tunnel, as obras implantadas, como os “piscinões” não tem proporcionado melhorias e a população vê-se obrigado a viver sob tensão e prejuízos tanto de cunho material e até humano.

Os centros destas cidades possuem rios que cortam a cidade e servem de drenagem para a bacia hidrográfica e estão sujeitos a inundações. Contrário aos casos anteriores, observa-se cidades que não possuem rios, mas que também possuem alagamentos. Como exemplo a nível mundial cita-se Luanda, capital angolana que, apesar de estar situada

geograficamente em uma região de baixa frequência de precipitações, sofre da mesma forma com inundações catastróficas. As características da sub-bacia de Luanda são completamente diferentes de Kuala Lumpur e São Paulo, mas também enfrenta graves problemas e perdas em consequência de precipitações de alta intensidade.

Especificamente Criciúma, localizada ao sul do Estado de Santa Catarina, foco deste trabalho, dispõe de um rio que é responsável pela drenagem da sub-bacia do centro urbano. Por pressão da expansão urbana encontra-se canalizado em uma grande extensão, trecho que além de revestimentos laterais artificiais, possui também fechamento superior, com laje de concreto.

Esta inundação causada por alta intensidade pluviométrica é decorrência da forma inadequada do uso e ocupação do solo que, mesmo sob a ação de instrumentos legais de gestão, além de ignorados, são geralmente mal concebidos.

Segundo Carneiro et al. (2006),

Os instrumentos de controle do uso e ocupação do solo atualmente disponível e assegurado por lei são ferramentas fundamentais para o desenvolvimento urbano em bases sustentáveis e deveria ser utilizados de forma complementar aos instrumentos preconizados pelo Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. No entanto, não existe ainda uma avaliação clara de como os novos planos diretores estão tratando essa questão.

Com o acréscimo da população, e sem políticas públicas adequadas para ocupação do espaço urbano, os planos diretores permitem verticalizar as edificações e expandir a área urbana sem qualquer estudo da bacia hidrográfica.

Diante de muitas transformações, surgem os grandes problemas na infraestrutura dos centros urbanos, relacionados à energia elétrica, esgotos sanitários, abastecimento de água e a drenagem pluvial entre outros. Uma das consequências deste aumento de área ocupada por edificações é a significativa redução da área para infiltração das águas pluviais pelo aumento do coeficiente de escoamento superficial.

Conhecer as propriedades físicas do solo estabelecendo uma taxa de infiltração pode criar artifícios para reduzir os problemas que segundo Tucci, 2003, p.45, quando a precipitação é intensa e o solo não tem capacidade de infiltrar, grande parte escoar para o sistema de drenagem, superando sua capacidade natural de escoamento.

As cidades têm-se caracterizado pelo crescimento rápido dos centros urbanos e principalmente na ocupação de terrenos inclinados, ignorando a legislação específica próxima a encostas. No município de Criciúma tornou-se frequente a expansão urbana atingir áreas de encostas e margens de rios aumentando a impermeabilização e erosão do solo sem um controle adequado ou mesmo se um monitoramento por cadastramento destas transformações.

Segundo D'Almeida Júnior et al. (2004),

O cadastramento das transformações urbanas deve acompanhar o processo contínuo e urbanização das cidades. Baseado neste princípio o Cadastro Técnico Multifinalitário pode incluir dados e rotinas necessárias para suprir informações e indicadores, auxiliando no processo de tomada de decisões, seja para adotar medidas preventivas de enchentes, implementarem políticas de drenagem pluvial baseado na manutenção da cheia natural, regulamentar o uso e ocupação do solo, mapear áreas de riscos de enchentes entre outras ações.

As precipitações de alta intensidade e baixa duração tem tornado frequente nos últimos anos, os alagamentos em grande parte das ruas do centro da cidade de Criciúma. Como consequência surgem os prejuízos, desconfortos e riscos de doenças para a população.

A descarga causada pelas precipitações intensas tem superado as máximas consideradas para o dimensionamento dos sistemas de drenagem devido às alterações das características físicas da bacia hidrográfica como, impermeabilização do solo, responsável pelo aumento do escoamento superficial.

O plano diretor do município de Criciúma permitiu ao longo destes anos, a expansão da área urbana sem considerar as características principais da sub-bacia hidrográfica, seguindo o mesmo formato da grande maioria dos planos no Brasil.

Os planos diretores têm sido dimensionados de forma a permitir o aumento da população dentro da mesma sub-bacia, tanto expandindo a área urbanizada ou consentindo ampliação do gabarito, isto tem permitido aumento da população em progressão geométrica dentro de um mesmo lote.

Também não têm observado as características da sub-bacia, desde fatores especificamente técnicos até os de origem humana demandada pelos habitantes e usuários dos centros urbanos e suas infraestruturas.

Neste contexto, um plano diretor pode ser considerado um grande sistema em intenso movimento e transformação, dimensionado para ordenação e controle de um território inserido em uma sub-bacia hidrográfica também em intensa transformação.

São inúmeros os agentes intervenientes, e entre estes encontra-se uma série de variáveis em constante mudança. São dados importantes para dimensionamentos de trabalhos de engenharia, sem valores constantes como, a precipitação, escoamento superficial, tempo de concentração, taxa de infiltração, etc. Estes dados tipicamente hidrológicos precisam ser monitorados constantemente em função das alterações impostas ao meio ambiente pelas ações antrópicas.

Para Tucci (2005), em diferentes áreas técnicas, o homem dimensiona o seu sistema, especificando todos os seus condicionantes sobre o qual tem total controle, tais como a estrutura de um edifício ou um circuito elétrico. Um sistema como a bacia hidrográfica, não foi dimensionado, mas é resultado de processos naturais.

Estes processos naturais devem ser levados em consideração nos dimensionamentos dos planos diretores. Sendo base para o desenvolvimento sustentável da expansão urbana, deve conter em suas diretrizes formulações que garantam o seu objetivo principal, que é fazer com que a propriedade cumpra sua função social, de forma a garantir o acesso a terra urbanizada e regularizada, reconhecer a todos os cidadãos o direito à moradia e aos serviços urbanos. (BRASIL, 2001)

Segundo o inciso IV do Artigo 2 da Lei n. 10.257 (Estatuto da Cidade) uma das diretrizes é o planejamento do desenvolvimento das cidades, da distribuição espacial da população e das atividades econômicas do Município e do território sob sua área de influência, de modo a evitar e corrigir as distorções do crescimento urbano e seus efeitos negativos sobre o meio ambiente.

Neste contexto esta tese buscou nas bases do cadastro técnico multifinalitário e dos recursos hídricos, fundamentos para propor um modelo para auxiliar na gestão territorial no município de Criciúma.

1.1. Formulação do problema

A formulação do problema desta tese é resultado de uma análise crítica sobre repetidas inundações em centros urbanos do Brasil e mais especificamente Criciúma, em Santa Catarina, consequência do planejamento urbano deficiente e da legislação que rege a ocupação territorial e a função da propriedade.

1.2. Análise crítica

Ao analisar a frequência de ocorrências de inundações bruscas causadas por altas intensidades pluviométricas, pode nos levar a alguns questionamentos a serem analisados, que podem estar diretamente ligado a este problema, tais como:

a - há significativas alterações nas características hidrológicas das bacias hidrográficas causadas pelas ações antrópicas;

b - não há planejamento de ocupação do território focando também as prováveis alterações climáticas e hidrológicas das bacias hidrográficas;

c - os planos diretores contemplados para nortear a expansão urbana nas cidades brasileiras, geralmente não levam em consideração as características físicas das bacias hidrográficas, assim como a influência do comportamento humano;

d - as águas de abastecimento são importadas de áreas externas e distantes do local de consumo e que esta para ser eliminada, faz-se necessário o uso das características físico-morfológica das bacias hidrográficas;

e - as bacias hidrográficas são espaços territoriais com intensa energia e de frequentes alterações;

f - os recursos hídricos são geralmente elevados a segundo plano ou mesmo inexistente nos planejamentos urbanos;

g - que não existem métodos para determinação de taxa de ocupação do território e controle da expansão urbana baseada nas características físico-morfológica das bacias hidrográficas e sua interação com as características hidrológicas.

1.3. Estratégia da proposta

Para vencer todos os fatores adversos descritos acima, propõe-se adotar uma estratégia que permita uma interface entre os diversos elementos dos recursos hídricos, as dimensões do sistema de drenagem, as características físicas, o comportamento do usuário de uma bacia hidrográfica e o planejamento do espaço urbano tradicional.

Propõe-se uma metodologia para produção de dados representativo do processo de transformação do ambiente, causados pelas ações antrópicas. Estes dados referentes às características geomorfológica, hidrológica, climatológica e comportamental serão tratados como novos parâmetros cadastrais com vistas a contribuir no planejamento do espaço

e expansão urbana, focado na máxima capacidade que cada meio apresenta para sua ocupação.

Desta forma, pretende-se encontrar taxas de ocupação e uso do solo relacionada às características físicas e hidrológicas para avaliar-se as inundações urbanas e utilizar-se melhor os recursos hídricos.

1.4. Ineditismo da proposta

A análise conjunta e iterativa do cadastro técnico multifinalitário, expansão urbana e suas relações com a drenagem urbana não tem sido tema de estudos no meio científico brasileiro.

Autores como Tucci, Braga, Tomazzi, Carneiro & Cardoso & Azevedo, Fendrich entre outros, têm se dedicado ao estudo e avaliação da drenagem urbana e gerenciamento de recursos hídricos por métodos que não utilizam o cadastro técnico multifinalitário como ferramenta de avaliação das influências da expansão urbana na drenagem pluvial.

Os estudos encontrados na literatura não contemplam a integração do cadastro técnico multifinalitário como base para o gerenciamento de recursos hídricos, avaliando a expansão territorial e sua correlação com as drenagens urbanas.

Deste modo, aplicar o cadastro técnico multifinalitário na avaliação e acompanhamento da expansão urbana e sua correlação com a drenagem urbana e ocorrências de inundações, apresenta-se como nova metodologia de gerenciamento integrado do território.

Neste contexto, este trabalho propõe a utilização do cadastro técnico multifinalitário como ferramenta, para avaliar a expansão urbana e os resultados da interação com a drenagem urbana. Com estes resultados, apontar medidas para o controle de inundações urbanas e soluções para minimizar as já consolidadas que ultrapassaram a taxa de ocupação dos limites aceitáveis pela bacia em questão.

Outras contribuições surgirão ao apontar soluções para minimização das vazões máximas em áreas já consolidadas, além de mecanismos de diferenciação de impostos territoriais e valores de imóveis.

Assim o ineditismo da proposta está evidenciado quando se pretende fazer do cadastro técnico multifinalitário, ferramenta capaz de apontar medidas de controle de inundações fazendo interagir a expansão da ocupação territorial com a drenagem urbana.

1.5. Contribuição científica

Tomando como suporte uma metodologia para geração de dados a partir de estudos localizados sobre diversos fatores de ações antrópicas dentro de uma bacia hidrográfica, pretende-se apontar uma solução com fundamentação tecnológica ainda não proposta a níveis regional e nacional.

O modelo proposto pretende contribuir para uma nova forma de planejar o ambiente urbano, focado na capacidade máxima de ocupação territorial como fator principal para ocorrências de inundações urbanas.

A ocupação territorial causa degradação ambiental e dos recursos hídricos de uma bacia hidrográfica. As ações de desenvolvimento urbano impermeabilizam o solo e alteram suas características morfológicas, aumentando substancialmente os volumes de escoamento superficial, reduzindo a alimentação do lençol freático e transformando as características do solo. As formas de planejamento atual não têm contemplado inúmeras variáveis intervenientes no processo de expansão urbana, responsáveis pela perda de parte do poder de controle e ordenamento de um plano diretor.

É neste contexto que a metodologia proposta pretende analisar as variáveis aplicadas ao dimensionamento hidráulico de sistemas de coleta, transporte e uso de águas pluviais, com as inundações urbanas de forma a contribuir para a elaboração de planos diretores de drenagem e planejamento urbano.

1.6. Relevância do trabalho

No Brasil diferentemente da maioria dos países europeus, a população urbana cresce em demasia chegando a números atuais que ultrapassam os 81% (IBGE, 2011). Este aumento se dá geralmente sem um planejamento adequado do território, resultando em problemas causados pelo adensamento populacional, com a manutenção da infraestrutura anteriormente dimensionada para uma taxa de ocupação muito menor.

Estes problemas apresentam-se como irregularidade no abastecimento de água, coleta e tratamento de esgotos, drenagem pluvial urbana, energia elétrica, coleta de lixo entre outras. Sem hierarquizar estes serviços colocados a disposição da população, destaca-se neste trabalho a drenagem pluvial urbana, que geralmente não se expande com relações proporcionais diretas com a expansão urbana.

As consequências são geralmente desastrosas quando submetidas a fenômenos naturais como as altas intensidades pluviométricas. Se a taxa populacional crescesse seguindo planos estudados com critérios, certamente as ampliações das infraestruturas urbanas acompanhariam de modo integrado a expansão urbana. No entanto, como as demandas aumentam proporcionalmente ao acréscimo da população, e com o território ocupado por esta não recebe planejamento adequado, as infraestruturas existentes acabam sucumbindo aos dimensionamentos concebidos anteriormente com menores demandas.

Nestes casos, correções nas infraestruturas existentes tornam-se inviáveis, sendo necessários estudos tecnológicos mais detalhados que possam nortear um planejamento que proporcione maior sustentabilidade aos espaços ocupados pelos centros urbanos.

Com os resultados deste trabalho, pretende-se apontar novos elementos ou variáveis pertencentes aos territórios, espaços, bacias ou sub-bacia hidrográficas para assentamentos urbanos, que permitam atenuar problemas existentes pela sobrecarga das infraestruturas implantadas para escoamento superficial de águas pluviais. Ou, oferecer subsídios para melhorar os planejamentos e assim proporcionar melhor qualidade de vida à população assegurando também à valorização da parcela urbana destinada a habitação.

1.7. Justificativa

É inevitável o assentamento humano e a transformação do meio ambiente utilizado para suas atividades. A população aumenta em proporções em muitas vezes geométricas superando a capacidade do meio em absorver estas transformações. Como resposta deste meio anteriormente bem equilibrado, surgem à redução da qualidade de vida e em muitos casos os desastres naturais.

É neste contexto que a interdisciplinaridade pode contribuir para a melhoria da qualidade do ambiente transformado. Planejar a ocupação do território é promover a ocupação e atividades humanas interagindo com as características do meio.

O cadastro técnico multifinalitário aliado às ramificações dos recursos hídricos pode apresentar-se como ferramenta contendo estrutura própria para fornecimento de dados sólidos para o planejamento urbano. Esta estrutura será capaz de produzir novos dados cadastrais, uma vez que a bacia hidrográfica apresenta variáveis que podem ser identificadas e inseridas em modelos de planejamento do território.

Assim um plano diretor, responsável pela ordenação da ocupação e uso do território, poderá cumprir sua função considerando também as características físico-morfológicas da bacia, proporcionando a transformação do meio a níveis aceitáveis para qualidade de vida de seus moradores.

Nas áreas urbanizáveis deve-se prever taxas de ocupação do território de modo a evitar a completa impermeabilização do solo. Para a determinação de uma área mínima para infiltração de águas pluviais, é necessário que se estabeleçam dados que justifique tal valor especificado. Este parâmetro deve atender a fatores como o tipo de solo e capacidade de absorção, cobertura do terreno, e hidrologia local. As dimensões desses espaços não terão valor constante para toda a bacia, uma vez que esta possui área de abrangência consideravelmente grande e heterogênea.

As características do solo nessas áreas podem proporcionar deflúvios muito maiores que as infiltrações, elevando significativamente o valor do coeficiente de escoamento superficial. Isto se pode observar para solos pouco permeáveis onde a área destinada para infiltração deve ser diretamente proporcional a taxa absorção de água. Soma-se a esta questão, as áreas desprovidas de vegetação capaz de propiciar a retenção das águas, agora com impermeabilização total pelas edificações e pavimentações, fazendo com que uma maior porcentagem das águas precipitadas seja lançada no sistema de drenagem urbana.

Todos estes problemas sugerem estudos mais aprofundados no campo da ocupação e ordenamento territorial. Os dados encontrados devem levar a novos parâmetros para planejamento da ocupação do solo, paralelamente a sistemas mais eficientes de estruturas urbanas que possam evitar e mesmo minimizar as catástrofes naturais em decorrência de elevadas precipitações localizadas.

Neste contexto, esta pesquisa está voltada a estudar a forma de ocupação, de expansão, ordenamento territorial, e sua interação com a drenagem urbana e suas variáveis visando o controle de inundações.

1.8. Objetivos

1.8.1. Objetivo geral

Aplicar o cadastro técnico multifinalitário na avaliação e acompanhamento da expansão urbana, sua correlação com a drenagem urbana e ocorrências de inundações na bacia do Rio Criciúma.

1.8.2. Objetivos específicos

- a) Caracterizar a Evolução Histórica da ocupação e expansão urbana;
- b) Caracterizar Hidrológica e fisicamente a Bacia do Rio Criciúma;
- c) Mensurar do Sistema de Drenagem da Bacia do Rio Criciúma;
- d) Caracterizar e Quantificar a Impermeabilização da bacia do Rio criciúma.

CAPÍTULO 2

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Cadastro técnico multifinalitário

A organização do espaço é o reflexo das ações humanas através do trabalho. Portanto, pode ser vista como o resultado do conjunto de impactos positivos e negativos que a própria sociedade produz, representando, desta forma, um retrato claro das relações e conflitos sociais, econômicos e ambientais que ali ocorrem.

Neste sentido, o meio urbano necessita de observações e atuações constantes de profissionais das mais variadas áreas do conhecimento, utilizando-se de novas tecnologias que permitam o registro das transformações com precisão.

Neste aspecto Erba et al (2005) destaca:

O Cadastro Técnico representa um vasto campo de atuação profissional, abrangendo desde tecnologias para medições do imóvel, o mapeamento temático: fundiário, uso do solo, geologia, planialtimétrico, solo, rede viária, rede elétrica; a legislação que rege a ocupação territorial e, finalmente, a economia que se pode extrair da terra. O Cadastro Técnico, para ser Multifinalitário, deve atender ao maior número de usuários possíveis, o que exige que se criem produtos complexos e tecnologias que os tornem acessíveis para qualquer profissional que necessite de informações sobre propriedade.

As políticas para definição e organização do espaço urbano encontram-se a cargo dos municípios que se utilizam dos planos diretores para normalizar ações e diretrizes que norteiam o crescimento das cidades.

O espaço se define como um conjunto de formas representativas das relações sociais do passado e do presente e por uma estrutura representada por relações sociais que estão acontecendo, as quais se concretizam através de processos e funções.

Nota-se que os espaços urbanos são organizados de forma a obter maior aproveitamento dos investimentos em infraestrutura, atendendo desta forma o maior número de habitantes. Nesta linha de pensamento, Filho (1992) e Acioly (1998) enfatizam que altas densidades maximizam investimentos públicos, comparando áreas ocupadas por casas térreas

com edifícios de apartamentos que comportam um contingente maior de população.

A forma de ocupação do espaço urbano deve ser acompanhada com cadastros completos, abrangendo os mais variados aspectos do território e de sua população. Para isso o município, responsável por este desenrolar do crescimento, deve usar de ferramentas capazes de incorporar a maior gama de dados.

As transformações do espaço urbano passam pelo aumento significativo da população de modo geral e especificamente nos centros urbanos. Segundo o IBGE no censo de 2010, o Brasil chegava a 84% da população brasileira assentada nas zonas urbanas. Certamente a infraestrutura disposta nestas zonas não contempla este aumento demasiado, acarretando sub dimensionamento em alguns dos serviços implantados pela administração do município.

Considerando que o Brasil ainda tem altos índices de crescimento urbano, seja pelo aumento da natalidade, seja por causa dos processos migratórios, o poder público deve contar com o mapeamento para poder prever quanto precisa investir em infraestrutura para suprir as necessidades de cada zona urbana. (Erba et all, 2005).

Podemos elencar a rede de drenagem urbana como um desses serviços que mais causa transtornos, isto ocorre porque com o aumento da área urbanizada, novas redes são ligadas as antigas aumentando as vazões, colocando-as em condições subdimensionadas.

Um mapeamento adequado e preciso com informações de séries históricas pode contribuir para um planejamento de ocupação do solo e dimensionamento mais seguros.

Segundo D’Almeida Júnior et all. (2004):

O uso do Cadastro Técnico Multifinalitário (CTM) permite a realização de simulações para avaliar o comportamento do sistema de microdrenagem, com alterações dos coeficientes de escoamento, a partir de alterações no nível de impermeabilização de cada unidade imobiliária.

Loch (2005) relaciona os objetivos principais do cadastro urbano:

- a - coletar e armazenar informações descritivas do espaço urbano;
- b - manter atualizado o sistema descritivo das características das cidades;
- c - implantar e manter atualizado o sistema cartográfico;

- d - fornecer dados físicos para o planejamento urbano, informações que estão sempre amarradas ao sistema cartográfico, respeitando o nível de detalhamento da escala da carta;
- e - fazer com que o sistema cartográfico e o descritivo gerem as informações necessárias a execução de planos de desenvolvimento integrado da área urbana;
- f - tornar as transações imobiliárias mais confiáveis, através da definição dos diversos órgãos públicos envolvidos com a terra, sem esquecer o cidadão contribuinte;
- g - facilitar o acesso rápido e confiável aos dados gerados pelo cadastro a todos os usuários que precisam de informações.

Dentro destes objetivos citados por Loch (2005), insere-se dados essenciais para políticas de planejamento do espaço urbano, são aqueles relacionados aos recursos hídricos e tudo que envolve este tema fundamental para a manutenção do equilíbrio do meio ambiente e o bem estar dos usuários.

Também para Loch (2005), a rede de drenagem por ser um recurso natural, merece um cuidado especial nos projetos de cadastros por estar sendo agredida pela ocupação desordenada.

Para consolidar uma política de apoio às decisões atuais ou futuras é necessário dispor-se de dados cadastrais como, topográficos, hidráulicos e hidrológicos, uso e ocupação do solo, características do solo entre outros além de uma eficiente política de fiscalização.

2.2. Expansão urbana e a impermeabilização do solo

A preocupação com a expansão urbana não é assunto atual. Os ingleses em 1580, preocupados com a chegada de artesãos, restringiram o desenvolvimento na cidade de Londres, evitando a expansão urbana. (Angel et al, 2005).

Sem a mesma conotação enfatizada nesta pesquisa, esta citação indica a real possibilidade de inibir-se a expansão urbana, principalmente em tempos de grandes prejuízos e riscos para a população exposta a riscos de inundações.

Está nas mãos de portadores de cargos públicos com poder de decisão, garantir adequadas condições de crescimento populacional, para vias públicas, abastecimento de água, transporte eficiente e tratamento de esgotos adequados, sistemas de drenagem, etc.

Pesquisas sobre a evolução da mancha urbana nas diferentes regiões do planeta constataam que a humanidade, de modo geral, se comportou de forma negligente com relação aos impactos ambientais provocados. No caso específico do Brasil, grandes cidades, como São Paulo e Rio de Janeiro, entre outras de menor porte, cresceram de forma desordenada e contínua sobre sua periferia, esquecendo ou procurando ignorar por conveniência a dinâmica dos solos em áreas de risco, permitindo que assentamentos urbanos inadequados fossem assentados nessas áreas. (MEDEIROS e PETTA, 2005).

As decisões públicas devem estar baseadas em fatos e dados concretos obtidos dentro do espaço urbano que queremos estudar. Os fatos podem-se capturar na história que certamente fornecerá dados imprescindíveis ao planejamento.

Frequentemente, estes estudos mostram que o crescimento de cidades é um processo dinâmico, invadindo, constantemente, áreas que não são adequadas para usos do solo urbano, guiando o crescimento da mancha urbana que é usualmente não planejado (Nagarathinam et al., 1988).

Demais dados, os de ordem técnica, só podem ser gerados por pesquisas e análises a partir de técnicos especializados com conhecimentos específicos. Porém, não podemos desconsiderar que frequentemente estudos técnico-científicos chocam-se com interferências políticas que buscam interesses próprios e econômicos de uma parcela da sociedade, alheios as necessidades de atender as exigências impostas pela natureza. Para Maricato (2002):

não é a falta de Planos Urbanísticos que as cidades brasileiras apresentam problemas graves. Não é também, necessariamente, devido à má qualidade desses planos, mas porque seu crescimento se faz ao largo dos planos aprovados nas Câmaras Municipais, que seguem interesses tradicionais da política local e grupos específicos.

Para Nogueira et al 2007, referindo-se a cidade de Manaus – AM, o agravamento de problemas relacionados à ocupação desordenada do solo, destruição da cobertura vegetal, poluição dos corpos d'água e deficiência do saneamento básico na zona Leste e Norte, são oriundos da grande concentração populacional. Neste contexto é necessário inserir também a ocupação dos vales, que são as drenagens naturais das bacias hidrográficas.

Para Piuco, 2006, o homem utiliza e molda a cidade, mas, ao mesmo tempo, ocorre grande influência do meio urbano sobre os seus habitantes. Assim, especialmente nas grandes aglomerações urbanas, o planejamento organiza o espaço e as funções de modo que a relação homem-meio resulta na posição do habitante como usuário.

Um dos maiores problemas está exatamente na relação habitante meio ambiente. Agentes naturais reagem de forma inadequada a seu uso exatamente pela falta de estudos que apontem a melhor maneira de iteração entre usuário meio ambiente. Alguns fatos marcam este relacionamento, são os deslizamentos de encostas pela forma inadequada de ocupação destes espaços, transbordamento de rios e córregos pela obstrução de seus leitos e a inundações urbanas provocadas pelo excesso de impermeabilização e alterações das variáveis hidrológicas oriundas da ocupação indevida.

Experiências em países em desenvolvimento têm mostrado uma separação entre a urbanização e a já prevista transformação socioeconômica, aumento da pobreza urbana, problemas de saneamento ambiental, transportes, habitação e poluição.

Uma das coisas mais importantes no planejamento físico é a designação apropriada de lugares aptos para um apropriado uso do solo. A seleção de lugares aptos ao uso do solo específico deve estar baseada em um conjunto de critérios locais para assegurar que a taxa máxima de custo benefício seja obtida pela comunidade. (Hofstee and Brussel, 1999).

Ao utilizar lugares não apropriados, podem-se desencadear alguns problemas relacionados tanto diretamente ligados a degradação do ambiente, como aqueles tidos como resposta do uso indevido, como os deslizamentos e as inundações. Além destes há aqueles que não são observados diretamente, como as alterações de variáveis hidrológicas causadas pelas alterações do meio ambiente, como ciclo hidrológico, tempo de concentração, taxa de escoamento superficial entre outras.

O ciclo hidrológico sofre fortes alterações nas áreas urbanas devido, principalmente, à alteração da superfície, canalização do escoamento aumento de poluição devido à contaminação do ar, das superfícies urbanas e do material sólido disposto pela população. (TUCCI, 2002).

A relação deflúvio/infiltração, é um dado de suma importância na determinação da vazão de enchente ou de projeto. Fatores antrópicos relacionados à ocupação territorial incidem de forma quantitativa no aumento do escoamento superficial e na redução do tempo de

concentração. A impermeabilização do solo pelas edificações e pavimentações, aliada ao transporte de sedimentos são grandes responsáveis pelo aumento do escoamento superficial.

A ocupação territorial advinda da expansão urbana ocorre sempre à margem dos planos diretores, geralmente causando problemas de ordem estrutural.

Segundo Rômulo Krafta (2001):

O exemplo de Porto Alegre mostra que a expansão urbana desordenada se dá pelas ocupações e desenvolvimento urbano a margem da lei por setores populacionais fora do mercado imobiliário, e promotores imobiliários que usam as brechas e contradições das leis aliada a falta de fiscalização.

Destaca-se que a pressão econômica do mercado imobiliário, tem contribuído fortemente para um maior aproveitamento do solo urbano, proporcionando maiores taxas de ocupação e impermeabilização pelas edificações e pavimentações. Contribuem para as grandes aglomerações, que segundo Piucco 2006, apresentam diversidade de funções com complexidade proporcional à densidade demográfica, sendo que a maioria cresce sem qualquer planejamento e se avolumam em consequência da ocupação desordenada.

Para aumentar o número de usuários do mesmo espaço urbano, mantêm-se a taxa de ocupação do solo e aumenta-se o índice de aproveitamento, verticalizando-se as edificações e adensando-se a população a níveis críticos para a capacidade da infraestrutura já instalada.

Piucco 2006 destaca a verticalização como uma medida que visa a solução de problemas com a saturação da ocupação espacial, medida que modifica as relações do homem com o espaço urbano e com a sociedade.

O comportamento do escoamento superficial direto sofre alterações substanciais em decorrência do processo de urbanização de uma bacia, principalmente por consequência da impermeabilização da superfície, o que produz maiores picos e vazões.

Já na primeira fase de implantação de uma cidade, o desmatamento pode causar um aumento dos picos de volumes e, conseqüentemente a erosão do solo; se o desenvolvimento urbano posterior ocorrer de forma desordenada, estes resultados deploráveis podem ser agravados com o assoreamento em canais e galerias, diminuindo suas capacidades de condução do excesso de água.

A ocupação e urbanização da bacia têm vários efeitos sobre o ciclo hidrológico, que segundo Tucci (2005), apresentam-se com o aumento do escoamento superficial, redução da evaporação e do escoamento subterrâneo, aumento da produção de sedimentos entre outros.

As diretrizes de ordenamento da ocupação territorial estão sob a responsabilidade dos municípios, que priorizam o fator econômico deixando as questões ambientais de sustentabilidade em segundo plano. A legislação para estes aspectos deveria ser concebida com maior rigor que a estaduais e federais, superiores as municipais.

O planejamento urbano possui variáveis de ordenamento conhecidas como o índice de aproveitamento e índice de ocupação. Com o aumento da ocupação territorial, podendo-se utilizar o índice de ocupação como medição do grau de impermeabilização do solo. Dentro deste contexto, TUCCI (2005), sugere converter densidade habitacional em áreas impermeáveis, de forma a transferir estes índices para modelos hidrológicos e permitir estimativas de vazões em diferentes cenários.

Nota-se que a expansão e ocupação desordenada do território levam às alterações com remodelamentos topográficos desnecessários, também responsáveis por geração de grandes quantidades de sedimentos que são transportados e depositados nos sistemas de drenagem pluvial.

Os problemas derivados de sedimentos se avolumam à medida que há maior desenvolvimento e ocupação do espaço geográfico, tanto do ponto de vista da remoção como do ponto de vista da sedimentação (SILVA et al, 2003). Este contexto nos leva a necessidade de um gerenciamento dos recursos hídricos, voltados a bacias hidrográficas, no sentido de controle de enchentes.

Planejar a ocupação territorial de uma bacia ou sub-bacia hidrográfica sem planejar seus recursos hídricos deixa extremamente vulnerável à ocorrência de inundações bruscas.

São características de expansões urbanas sem considerar que todo espaço ou paisagem possuem seus limites de ocupação. Uma taxa limite de ocupação territorial deve considerar que todo organismo vivo é limitado. Uma bacia ou sub-bacia hidrográfica, mesmo transformada em território urbanizado antropizado, é uma paisagem em constante transformação, é um ecossistema, portanto um organismo vivo.

2.3. Inundações urbanas

A conjugação de relevos acentuados com áreas planas nos centros urbanos aliados a obstrução ou confinamento da drenagem principal da

bacia hidrográfica pode apresentar-se como cenário adequado para ocorrência de inundações bruscas.

O problema de enchentes é muito antigo, segundo Baptista (2005) desde a idade média as aglomerações humanas aconteciam junto aos cursos d'água por facilitar entre outras situações, a evacuação dos esgotos, com isso periodicamente havia inundações. Hoje, porém, agrava-se e ocorre com mais frequência pelo aumento acelerado da ocupação humana, principalmente a urbanização indiscriminada em planícies de inundações, criando situações extremamente perigosas. (Pedrollo, 2000).

Para Bez et al (1999) referenciando-se à bacia do Itacorubi:

As enchentes são fenômenos naturais que podem ser agravados ou minimizados pela ação humana. Uma análise conjugada de todos estes fatores, leva à resposta da questão “Por que as enchentes ocorrem?”.

Podem ocorrer basicamente por quatro motivos:

- a) Ocorrência de chuvas intensas;
- b) Redução de tempos de concentração em decorrência da impermeabilização do solo e da configuração geográfica da bacia;
- c) O sistema de drenagem urbana existente é obsoleto, subdimensionado e de manutenção deficiente ou inexistente;
- d) Os cursos d'água encontram-se assoreados devido à erosão e disposição inadequada do lixo, implicando em diminuição de suas capacidades de descarga.

O conceito de drenagem utilizado nos projetos ainda hoje segue os critérios de eliminar as águas das áreas urbanas conduzindo-as via canalizações para descargas a jusante, condição que com a evolução da ocupação do solo acaba não suportando as novas vazões, levando as inundações urbanas. É o mesmo conceito higienista do século XIX citado por SILVEIRA, 2000.

Para Tucci (1995):

As inundações podem ocorrer das seguintes formas:

- a) enchentes em áreas ribeirinhas: os rios geralmente possuem dois leitos, o leito menor onde a água escoar na maioria do tempo e o leito maior, que é inundado em média a cada dois anos. O impacto devido à inundação ocorre quando a população ocupa o leito maior do rio, ficando sujeita a inundação;

Este tipo de inundação é um processo natural, os prejuízos sobre a população ocorrem principalmente

devido a ocupação do vale de inundação em períodos de estiagem ou de sequência de anos secos.

b) enchentes devido à urbanização: as enchentes aumentam a sua frequência e magnitude devido a ocupação do solo com superfícies impermeáveis e rede de condutos de escoamentos. O desenvolvimento urbano pode também produzir obstruções ao escoamento como aterros e pontes, drenagens inadequadas e obstruções ao escoamento junto a condutos e assoreamento.

A alta intensidade de chuvas cada vez mais frequente não somente no município de Criciúma, como em qualquer parte do país, não é a única preocupação. Outros fatores contribuem muito para a ocorrência de inundações bruscas, praticamente todos relacionados com o comportamento humano dentro das áreas urbanizadas. São a impermeabilização do solo, as erosões, a disposição de lixo nas sarjetas, a falta de manutenção do sistema de drenagem, seja de responsabilidade do usuário ou do poder público.

Para Valério Filho et al (2005):

A inundação tem sido um problema frequente nos períodos de chuvas tanto nas áreas mais antigas e consolidadas da cidade, como nas áreas de expansão urbana, agravado pela impermeabilização do solo, ocupação das várzeas e retirada das matas ciliares, dificultando-se assim, a infiltração das águas das chuvas.

A forma de urbanização proporciona impactos em uma bacia, sendo as inundações uma das mais problemáticas, podendo causar perdas materiais e até vidas humanas. Devemos encontrar soluções que permitam a manutenção da vazão de pico em níveis relacionados a uma bacia pré-urbanizada. São medidas para controlarem-se as vazões de pico como se a bacia não estivesse ocupação do solo avançada. É um controle para a preservação do ciclo hidrológico com as características de um território ainda não urbanizado.

As cheias ocorrem como consequência de precipitações intensas, fenômeno com forte componente aleatória sobre o qual o Homem não tem controle. No entanto, o uso e ocupação da bacia hidrográfica pelo Homem é um fator que pode influenciar muito nas consequências desses eventos. (LANÇA,2000)

O comportamento da população ou do usuário do sistema de drenagem tem influenciado fortemente para o aumento do escoamento superficial. São questões relacionadas à impermeabilização do solo, com a expansão urbana, ocupação de áreas de encostas, depósito e acúmulo de lixos em sarjetas, e caixas coletoras (figuras 1,2 e 3).



Figura 1: depósito de resíduos de construção civil - RCC



Figura 2: exposição de solo com lançamento de sedimentos no sistema de drenagem



Figura 3: degradação dos dispositivos de drenagem

Para COSTA (2005):

Regiões que praticam a ocupação do solo de forma indiscriminada pagaram ou pagam alto custo por esta forma de exploração. Intensos processos de erosão, inundações e assoreamentos de reservatórios e cursos d'água, são exemplos de algumas consequências desse mau uso.

Segundo Choudury et al (2004), as inundações podem ser classificadas em fluvial, brusca e costeira. A inundação fluvial ocorre quando o fluxo de água ultrapassa as margens de um rio. A inundação brusca ocorre com eventos de chuvas intensas e concentradas com rápida elevação do nível da água. A inundação costeira ocorre com a elevação do nível do mar.

Para Marecelino et al (2004)

as inundações bruscas destacam-se dos demais fenômenos em virtude de seu potencial destrutivo e da elevada frequência de ocorrências. São popularmente conhecidas como enxuradas, sendo gradualmente desencadeadas por chuvas convectivas intensas e concentradas, que ocorrem em curto espaço de tempo.

2.4. Bacia hidrográfica

Segundo Villela & Matos (1975), a bacia hidrográfica é uma área definida topograficamente, drenada por um curso d'água ou um sistema conectado de cursos d'água tal que toda vazão efluente seja descarregada através de simples saída.

Para Silveira (2004), bacia hidrográfica é uma área de captação natural da água de precipitação que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída, seu exutório.

A bacia hidrográfica é uma parcela do território que deve possuir um ecossistema equilibrado de forma a proporcionar-lhe um grau satisfatório de auto sustentabilidade. Deve compor uma paisagem onde todas as atividades urbanas se integrem de forma harmoniosa. Para tanto é necessário conhecê-la profundamente de forma que a ocupação territorial aconteça respeitando todas as suas características sem deixar de considerar o comportamento do ser humano usuário deste complexo ecossistema.

Segundo Dolfuss (1972) a paisagem se define, isto é, descreve-se e explica-se a partir das formas, de sua “morfologia” (no sentido mais amplo da palavra). As formas decorrem de dados do meio ambiente natural ou são conseqüências da intervenção humana que imprime seu selo no espaço.

Para Loch (2000) a paisagem é tudo aquilo que está no domínio do visível, não somente o volume, mas as cores, os movimentos e a cultura. Conjugada com o espaço expressa a dinâmica da sociedade, de modo funcional e unitário, representada por um mosaico de relações, formas, funções e sentidos.

Segundo Dollfus (1982)

As paisagens que são reflexos dos espaços podem ser classificadas em três grandes famílias, em função das modalidades de intervenção humana.

Paisagem Natural – esta paisagem constitui a expressão de um meio visível que não sofreu a ação do homem. Geralmente por questões climáticas ou do tipo de solo, são regiões inadequadas para desenvolver a agricultura ou a criação de gado.

Paisagem modificada – São as paisagens que sofreram ação antrópica. Estas ações se foram feitas de forma desorganizada resultam em sérios danos ao meio ambiente. Normalmente esta etapa constitui uma transição para as paisagens organizadas.

Paisagens Organizadas – Representam o resultado de uma ação meditada, combinada e contínua sobre o meio natural.

Segundo Tucci (2000)

A ocupação de bacias urbanas, se não for precedida de um trabalho de planejamento prévio adequado, fato este que, por inúmeras razões, normalmente não costuma acontecer, implicará, fatalmente, um processo de erosão superficial, acompanhado do assoreamento dos corpos d'água receptores em particular do sistema de macro drenagem de terrenos aluvionares de baixa declividade.(Tucci et al, 2000).

O constatado crescimento físico e desordenado das cidades trouxe desequilíbrios ambientais, cada vez mais evidentes e de difícil recuperação, o que levou os cientistas, políticos e administradores a pensar nas políticas e instrumentos de planejamento do meio

físico e de ordenamento do território urbano. (Souza et al, 2005).

A gestão urbana regional possui diversas interfaces com o gerenciamento de recursos hídricos, especialmente quando se adota a bacia hidrográfica como unidade físico-territorial de planejamento e gerenciamento. (BRAGA, 2003).

Para Cunha & Guerra (1999) citado por Braga (2003), as bacias hidrográficas permitem uma visão conjunta do comportamento das condições naturais e das atividades humanas nelas desenvolvidas. Considerar uma bacia hidrográfica como uma unidade de gestão, portanto, impõe abordar todos seus elementos (água, solo, flora, fauna, uso e ocupação do solo, etc.) e compreendê-la como uma totalidade composta por elementos naturais e sociais, inter-relacionados e dinâmicos.

A gestão dos recursos hídricos de uma bacia hidrográfica deve deparar-se com projetos de drenagens urbanas autossustentáveis. Para tanto é necessário proporcionar ao meio, condições para que seja como um ecossistema equilibrado.

Segundo Tucci (2004)

as medidas de controle podem ser classificadas de acordo com o componente da drenagem em medidas:

- na fonte: que envolve o controle em nível de lote ou qualquer área primária de desenvolvimento;
- na microdrenagem: medidas adotadas em nível de loteamento
- na macrodrenagem: soluções de controle nos principais rios urbanos.

Para Tucci (2002), este controle sustentável deve ser implementado através de um plano diretor de drenagem urbana, onde este deve ser desenvolvido utilizando medidas não estruturais (legislação) e estruturais por sub-bacia urbana.

O modelo a ser proposto, deve considerar fundamentalmente as características físicas e geomorfológicas da bacia do rio Criciúma, hábitos da população, forma de ocupação territorial e fazer com que o planejamento urbano leve em conta a capacidade máxima de ocupação e a capacidade de drenagem da sub-bacia.

As características físicas da bacia interferem diretamente no comportamento da parcela das águas precipitadas que não infiltram e que não são interceptadas pela cobertura vegetal. A declividade e a impermeabilização do solo são fatores determinantes no comportamento do escoamento superficial, tendo interferência direta também no tempo de concentração.

As principais características morfométricas são dispostas a seguir baseadas em autores como Vilela e Matos (1975) e Horton (1945).

a) **Coefficiente de Compacidade ou de Gravelius (Kc)**, que é a relação entre o perímetro P da bacia e a circunferência de um círculo de área igual a da bacia, é dado pela equação

$$Kc = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}}, \text{ onde "Kc" é o coeficiente de compacidade, "P" é o}$$

perímetro da bacia em Km e "A" a área da bacia em Km². Quanto mais próximo a unidade, maior a probabilidade de cheias.

b) **Fator de Forma ou índice de conformação (Kf)**, é a relação entre a largura média e o comprimento axial da bacia. O comprimento axial para este caso foi definido com a distância em linha reta, medida entre a foz da bacia e o ponto de cota mais alta no perímetro, com altitude de

272,90m. É dado pela equação $Kf = \frac{A}{Lx^2}$, onde "Kf" é o fator de

forma, "A" é a área da bacia hidrográfica em Km² e "Lx" o comprimento axial da bacia em Km. Uma bacia com um fator de forma baixo é menos sujeita a cheias que outras de mesmo tamanho.

c) **Densidade Hidrográfica (Dh)**, relação entre o número de rios e a área da bacia hidrográfica, dada pela equação $Dh = \frac{N}{A}$, onde "Dh" é a

densidade hidrográfica, "N" o número de canais (hidrografia) e "A" a área da bacia hidrográfica em Km².

d) **Densidade de Drenagem (Dd)**, é a relação entre a soma total de todos os canais (hidrografia) e a área da bacia, dada pela equação

$$Dd = \frac{\sum L}{A}, \text{ onde "Dd" é a densidade de drenagem em Km/Km}^2,$$

"L" é a soma total dos comprimentos dos canais em Km e "A" é a área da bacia hidrográfica em Km².

e) **Amplitude Altimétrica da bacia hidrográfica (Aa)**, que é a diferença de altitude entre a foz e um ponto qualquer com a maior altitude dentro do limite da bacia, dado pela equação $Aa = Ap - Af$, onde “Aa” é a amplitude altimétrica, “Ap” é a altitude do um ponto mais alto da bacia em metros, e “Af” é a altitude da foz do rio principal expressa em metros.

f) **Relação de Relevo (Rr)**, que é o quociente entre a amplitude altimétrica máxima da bacia e seu comprimento, ou o comprimento axial, expresso entre a foz e o ponto mais alto, dado pela equação

$$Rr = \frac{Aa}{Lx}, \text{ onde “Rr” é a relação do relevo, “Aa” é a amplitude}$$

altimétrica máxima em metros e “Lx” é o comprimento axial da bacia em metros.

g) **Índice de Rugosidade (Ir)**, número adimensional resultante do produto entre a amplitude altimétrica “Aa” e a densidade de drenagem “Dd”. Mostra a relação da declividade com os comprimentos dos canais, sendo que quanto maior for o índice implica em relevo mais colinoso e dissecado (maiores declividades) e canais mais entalhados. É dado pela equação $Ir = Aa \cdot Dd$, onde “Ir” é o índice de rugosidade, “Aa” é a amplitude altimétrica e “Dd” é a densidade de drenagem.

h) **Índice de circularidade (Ic)**, é um número adimensional resultante da relação da área da bacia e do perímetro indicando sua maior ou menor proximidade da forma circular. Calculado pela equação

$$Ic = \frac{12,57 \cdot A}{P^2}, \text{ onde “Ic” é o índice de circularidade, “A”, é a área da}$$

bacia em Km^2 e “P” é o perímetro da bacia em Km.

Semelhante ao coeficiente de compacidade, tende para a unidade a medida que a bacia se aproxima da forma circular. Em bacias de forma circular há maiores probabilidades de chuvas intensas ocorrerem em toda extensão simultaneamente, concentrando seu volume no tributário principal.

A bacia hidrográfica tem sido utilizada como uma unidade geomorfológica fundamental, porque suas características governam, no seu interior, todo o fluxo superficial da água. Assim, vem sendo considerada uma unidade territorial ideal para o planejamento

integrado do manejo dos recursos naturais (Christofoletti, 1978; Politano, 1992; Pissarra, 1998). Apud Pissarra et al (2004).

Neste é importante entender a bacia hidrográfica como ambiente em transformação de modo a proporcionar um planejamento eficiente e sustentável.

Para Tonello et al (2006):

as características físicas e bióticas de uma bacia possuem importante papel nos processos do ciclo hidrológico, influenciando, dentre outros, a infiltração, a quantidade de água produzida como deflúvio, a evapotranspiração e os escoamentos superficial e sub-superficial.

O estudo das feições de uma bacia hidrográfica evidencia sua importância para o estudo da evolução do modelo de sua superfície e transformações pelo uso e ocupação do solo.

2.5. O potencial das Ortofocartas no cadastro de problemas hídricos

Podemos definir Ortofotocarta como uma imagem fotográfica onde as feições nela contidas são apresentadas em suas verdadeiras posições, sendo desta forma, geometricamente equivalente a um mapa de linhas e de símbolos, onde podem ser realizadas diretamente medidas de posição, distâncias, ângulos horizontais e áreas. (Silva, 2002).

Produto de fotografias aéreas ortoretificadas e associada a cartografia (mapa vetorizado), a ortofotocarta permite um cadastro moderno, pois ao integrar-se com a base cartográfica georreferenciada, pode oportunizar registros de dados importantes como infraestruturas, impermeabilização do solo, drenagens e todos os problemas hídricos resultantes do uso do solo.

Como se originam de fotografias, as ortofotos têm uma linguagem de comunicação que melhor se aproxima da realidade representada, além de apresentarem também características de um mapa. Trata-se de um produto que já sofreu um tratamento de ortoretificação, o que lhe confere correta projeção, escala e coordenadas cartográficas. (Ramos et al, 2005)

Através da interpretação de imagens podem-se monitorar as constantes alterações cadastrais impostas pelas ações de uso e ocupação do solo. É neste sentido que:

O cadastro técnico é uma atividade dinâmica, em razão do ambiente construído está em constante processo de mutação. Deste modo, além de termos de caracterizar bem as edificações, é necessário que se tenha uma estrutura que estimule o estreito acompanhamento deste dinamismo. (Silva e Loch, 2006)

Dentro do contexto descrito por Silva e Loch (2006), as mutações também atingem drasticamente a morfologia local, declividades são alteradas e cursos naturais de drenagem como a rede hidrográfica, são deslocados de sua trajetória natural.

A rede de drenagem de uma região geográfica define os caminhos de escoamento de líquidos, normalmente água de chuva, de acordo com o relevo da região. A informação por ela gerada é usada em atividades diversas, tais como: estudo de relevo, determinação de áreas com risco de erosão do solo, transporte de poluentes, delimitação de áreas inundadas e estudo de bacias hidrográficas (Rosim e Pellegrino, 1999).

Para Silva (2008), o ser humano ao implantar seus empreendimentos de modo indiscriminado, pavimentam extensas áreas, obstruem o escoamento das linhas de drenagem naturais, impedem a infiltração natural das águas, empobrecem os solos, aceleram a erosão e assoreamento dos rios.

A dinâmica do ambiente urbano torna mais premente a necessidade de atualização das cartas cadastrais. A crescente pressão pela ocupação do solo, com as consequentes exigências de investimentos em infraestrutura, gestão ambiental e outras funções dos setores público e privado, aumentam a complexidade e a urgência das informações necessárias. (Carneiro e Paulino, 2005).

2.6. Hidrologia urbana

As ações antrópicas causam alterações impactantes no ciclo hidrológico, com as consequências da impermeabilização do solo, mudanças na rede hidrográfica, principalmente sobre os recursos hídricos.

Para Silveira (2000), o conceito atual de hidrologia urbana não pode mais estar baseado numa visão mecanicista da circulação das águas e esgotos no espaço urbano. E que a ótica estabelecida pelos países europeus é conhecer e controlar os efeitos da urbanização nos diversos componentes do ciclo hidrológico.

Para quantificar estes impactos e adequar a bacia a estas alterações, utilizam-se modelos hidrológicos apropriados que se utilizam da precipitação de projeto, características físicas da bacia e condições de urbanização (Campana e Tucci, 2000).

Com a urbanização, verificam-se alterações na rede de drenagem natural, que é substituída por estruturas artificiais, aumento nas extensões nas áreas impermeáveis e mudanças de microclima local (Tucci, Villaneuva e Cruz, 2000).

Um dos fatores mais afetados do ciclo hidrológico é o coeficiente de escoamento superficial (C), e o Curve Number (CN) por estarem ligados diretamente às características do solo. Estes são demasiadamente alterado pelas edificações e pavimentações que impermeabilizam o solo.

Tucci (2001) analisa o coeficiente de escoamento superficial da seguinte forma:

O coeficiente de escoamento (C) de uma bacia representa a quantidade de água de escoamento gerada por uma bacia em eventos chuvosos. O coeficiente de escoamento médio anual (C_a) representa a parcela total em relação a precipitação anual total. Estes coeficientes mudam a medida que a bacia se urbaniza. A tendência é que C_a seja maior que C devido às pequenas precipitações de grande frequência. Esta diferença diminui a medida que a bacia se impermeabiliza.

Para Franco (2004), o coeficiente de escoamento superficial, representa a parcela da chuva total que se transforma em escoamento superficial, podendo considerar ou não os efeitos de amortecimento na bacia. Também definido como deflúvio, esta parcela que não infiltra depende da natureza das superfícies. A tabela 1, apresenta uma relação de superfícies e seus respectivos coeficientes de escoamento superficial, parâmetros aplicados usualmente no método racional para determinação das vazões.

Tabela 1: coeficiente de escoamento superficial

Natureza da superfície	Valor de C
Telhados perfeitos sem fuga	0,70 a 0,95
Superfícies asfaltadas em bom estado.	0,85 a 0,90
Pavimentos de paralelepípedos, ladrilhos ou blocos de madeira com juntas bem tomadas.	0,75 a 0,85
Para as superfícies anteriores sem juntas tomadas.	0,50 a 0,70
Pavimentação de blocos inferiores sem juntas tomadas.	0,40 a 0,50
Estacas macadamizadas.	0,25 a 0,60
Estradas de passeios de pedregulhos.	0,15 a 0,30
Superfícies não revestidas, pátios de estradas de ferro e terrenos descampados.	0,10 a 0,30
Parques, jardins, gramados e campinas, dependendo da declividade do solo e da natureza do subsolo.	0,01 a 0,20

Fonte: VILLELA & MATTOS, 1975.

A tabela 2 apresenta os valores de CN (Curver Number) utilizados para a determinação de

Tabela 2: valores de CN para uso e ocupação do solo na condição II
(antecedentes de umidade do solo)

Uso/Cobertura do Solo	Tipos de solo			
	A	B	C	D
Zonas cultivadas				
Sem conservação do solo	72	81	88	91
Com conservação do solo	62	71	78	81
Pastagens ou terrenos baldios				
Em más condições	68	79	86	89
Em boas condições	39	61	74	80
Bosques ou zonas florestais				
Má cobertura	45	66	77	83
Boa cobertura	25	55	70	77
Espaços abertos, relvados, parques, campos de golfe, cemitérios				
(em boas condições)				
Com relva em mais de 75% da área	39	61	74	80
Com relva em 50% a 75% da área	49	69	79	84
Áreas comerciais e de escritórios				
	89	92	94	95
Distritos industriais				
	81	88	91	93
Áreas residenciais				
Tamanho do lote% impermeável				
Até 500m ²65%	77	85	90	92
500 a 1000m ²38%	61	75	83	87
1000 a 1300m ²30%	57	72	81	86
1300 a 2000m ²25%	54	70	80	85
2000 a 4000m ²20%	51	68	79	84
Estacionamentos pavimentados, viadutos, telhados, etc.				
	98	98	98	98
Ruas e estradas				
Asfaltadas, com drenagem de águas pluviais	98	98	98	98
Pavimentadas com paralelepípedos	76	85	89	91
De terra	72	82	87	89

Ver fonte DEP/DOP, 2005

2.6.1. Hidrograma unitário

O hidrograma Unitário é um método para determinação de vazão de projetos de drenagem largamente utilizado. Foi desenvolvido nos Estados Unidos a partir de observações de formação de dados em diversas bacias, as quais possuíam registros de vazão e de chuvas para então ser utilizado em bacias com carência destes dados.

A estimativa de vazão de projetos para drenagem urbana se baseia em modelos de transformação chuva-vazão que são aplicáveis a determinados valores de áreas contribuintes. Para áreas contribuintes menores que 2 km² ou 200 ha aplica-se o Método Racional, método bastante difundido e utilizado mundialmente. Já para áreas maiores que 2 km², pode-se adotar para estimativa da vazão o Método do Hidrograma Unitário do NRCS (Natural Resources Conservation Service). (Menezes Filho e Costa, 2007).

O hidrograma unitário proposto pelo Soil Conservation Service (SCS) dos Estados Unidos da América, atual Natural Resources Conservations Service (NRCS), é considerado um triângulo, sendo sua área igual ao volume precipitado.

Para a determinação do HU, é necessário determinar outros elementos tais como a vazão de pico (Q_p) e o tempo de pico (t_p) pelas equações:

$$Q_p = \frac{2,08 \times A}{t_p} \quad \text{EQ. 1}$$

Onde:

Q_p – Vazão de pico (m³/s)

t_p – Tempo de pico (horas), e;

$$t_p = \left(\frac{t_r}{2} \right) + 0,6 * t_c \quad \text{EQ. 2}$$

Em que: t_p = tempo de pico (horas); t_r = duração da precipitação (horas); t_c = tempo de concentração da bacia (horas).

A tabela 3 apresenta as relações t/t_p e q/q_p , necessários a interpolação e determinação do hidrograma unitário.

Segundo (TUCCI, 2002), o tempo de concentração pode ser medido observando-se o intervalo entre o fim da precipitação e o ponto do

hidrograma na seção de controle, correspondente ao fim do escoamento superficial.

Tabela 3: valores da relação $t/tp - q/qp$

t/tp	q/qp	t/tp	q/qp	t/tp	q/qp	t/tp	q/qp
-	0	0,700	0,770	1,400	0,750	2,600	0,130
0,10	0,015	0,800	0,890	1,500	0,660	2,800	0,098
0,20	0,075	0,900	0,970	1,600	0,560	3,000	0,075
0,30	0,160	1,000	1,000	1,800	0,420	3,500	0,036
0,40	0,280	1,100	0,980	2,000	0,320	4,000	0,018
0,50	0,430	1,200	0,920	2,200	0,240	4,500	0,009
0,60	0,600	1,300	0,840	2,400	0,180	5,000	0,004

Tempo de concentração é o tempo necessário para a água precipitada no ponto mais distante da bacia deslocar-se até a seção principal. Esse tempo é definido também como o tempo entre o fim da precipitação e o ponto de inflexão do hidrograma. É influenciada diretamente pela forma da bacia, declividade média, cobertura do solo, comprimento do curso principal e afluente, distância horizontal entre o ponto mais afastado da bacia e sua saída e as condições do solo em que a bacia se encontra no início da chuva.

Segundo Braga (2003):

O processo de urbanização e as alterações decorrentes do uso do solo, como a retirada da vegetação e impermeabilização do solo, causam um dos impactos humanos mais significativos no ciclo hidrológico, principalmente sobre os processos de infiltração, armazenagem nos corpos d'água e fluxo fluvial: aumento do escoamento superficial.

Com este desequilíbrio nos processos de drenagem natural da bacia, apresenta como resultado as inundações urbanas, cada vez mais comuns.

Sendo o escoamento superficial a parcela responsável pela formação da vazão, esta também depende do tempo de concentração de uma bacia, o qual pode ser considerado igual a duração da chuva quando utilizado o

método racional. Para determinação do tempo de concentração cita-se alguns métodos ou autores e suas respectivas equações, tais como:

2.6.2. Método Cinemático

O método cinemático consiste em dividir a bacia hidrográfica em trechos homogêneos e calcular a velocidade do escoamento em cada um deles. O tempo de concentração será dado pelo somatório dos tempos de percurso por todos os trechos que compõe o caminho percorrido ao longo do talvegue principal:

$$tc = \left(\frac{1}{60} \right) x \sum \frac{L}{v} \quad \text{EQ. 3}$$

Onde:

tc= tempo de concentração, em minutos;

L= comprimento de cada trecho, em metros;

v= velocidade de escoamento no trecho, em m/s.

sendo a velocidade definida por:

$$v = Cv * Si$$

Onde:

V= velocidade de escoamento no trecho, em m/s;

Si= declividade média do trecho, em porcentagem;

Cv= coeficiente de escoamento em superfícies e em calhas, apresentado na tabela 4

Tabela 4: coeficiente de escoamento em superfícies (Cv)

(CV) Ocupação do solo	Cv
Florestas densas	0,075
Campos naturais pouco cultivados	0,135
Gramas ou pastos ralos	0,210
Solos quase nus	0,300
Canais gramados	0,450
Escoamento em lâmina sobre pavimentos ou em sarjetas e calhas rasas	0,600

(FONTE: TUCCI, 1995)

2.6.3. Fórmula de Kirpich ou Califórnia Culverts Praticce (E.U.A.)

É uma fórmula empírica muito usada, desenvolvida em 1940, com dados de sete pequenas bacias rurais do Tennessee, com declividades de 3% a 10% e áreas de, no máximo 0,50 km². (FRANCO, 2004).

$$tc = 57 \times \frac{(L^3)^{0,385}}{H} \quad \text{EQ. 4}$$

Onde:

tc = tempo de concentração, em minutos;

L = comprimento do talvegue, em km;

H = declividade do talvegue, em m/m.

Retrata o escoamento em superfícies e canais, representados pelas variáveis L e H. Quando L > 10km a fórmula tende a subestimar o valor de tc. Também no caso de bacias urbanas deve ser usada com cautela, pois superestima o valor de tc. Há a recomendação (CHOW et al., 1988), em reduzir o tempo de concentração em 40% no caso de bacias urbanas, quando se utiliza a Fórmula de Kirpich. (FRANCO, 2004).

2.6.4. Fórmula de Kirpich modificada por DER/SP.

Segundo o DER/SP apud Franco (2004), para áreas de drenagem superiores a 1 km², o tempo de concentração poderá ser calculado pela fórmula de KIRPICH modificada, expressa por:

$$tc = 85,2 \times \frac{(L^3)^{0,385}}{H} \quad \text{EQ. 5}$$

2.6.5. Fórmula de Vem Te Chow.

Utilizada para bacias hidrológicas grandes superior a 1Km².

$$tc = 52,64 \times \left(\frac{L}{\sqrt{S}} \right)^{0,64} \quad \text{EQ. 6}$$

Onde:

L – Comprimento do rio principal (km);

s – Declividade média da bacia (m /km).

2.6.6. Fórmula do Soil Conservation Service – SCS (E.U.A.)

Foi deduzida para bacias rurais com áreas de drenagem de até 8 km², apresentada em 1975 (CHOW et al. 1988) apud Franco (2004), representa o escoamento em superfícies:

$$tc = 342 \times L^{0,8} \times \left[\left(\frac{1000}{CN} \right) - 9 \right]^{0,7} \times S^{-0,5} \quad \text{EQ. 7}$$

Onde:

tc = tempo de concentração, em min;

L = comprimento do talvegue, em km;

S = declividade do talvegue, em m/m;

CN = número da curva, pelo método do SCS.

2.6.7. Método Cinemático do Soil Conservation Service – SCS (E.U.A.)

Apresentado em 1975 estabelece o tempo de concentração como a somatória dos tempos de trânsito dos diversos trechos que compõem o talvegue (FRANCO, 2004):

$$tc = \left(\frac{1000}{60} \right) \times \sum \frac{L}{V} \quad \text{EQ. 8}$$

Onde:

tc = tempo de concentração, em min;

L = comprimento do talvegue, em km;

V = velocidade de escoamento, em m/s.

A velocidade de escoamento é apresentada na tabela 5 para escoamento em superfície e canais mal definido em função da superfície e da declividade longitudinal.

Tabela 5: velocidade média para o cálculo de t_c .

Método cinemático SCS – E.U.A

Descrição do escoamento	Declividade em %			
	0 a 3	4 a 7	8 a 11	> 12
Em superfície de:				
Florestas	0 a 0,5	0,5 a 0,8	0,8 a 1,0	> 1,0
Pastos	0 a 0,8	0,8 a 1,1	1,1 a 1,3	> 1,3
Áreas cultivadas	0 a 0,9	0,9 a 1,4	1,4 a 1,7	> 1,7
Pavimentos	0 a 2,6	2,6 a 4,0	4,0 a 5,2	> 5,2
Em canais				
Mal definidos	0 a 0,6	0,6 a 1,2	1,2 a 2,1	
Bem definidos	Usar fórmula de Manning			

(Fonte: TUCCI, 1995)

2.6.8. Fórmula de Bransby-Willians

$$t_c = 14,6 \times L \times A^{-0,1} \times S^{-0,2} \quad \text{EQ. 9}$$

Onde:

 t_c = tempo de concentração em minutos;

L = comprimento do talvegue em Km;

A = área da bacia em Km²;

S = declividade média do talvegue em m/km

A transformação das bacias hidrográficas apresentam grande impacto sobre o tempo de concentração, considerando a impermeabilização que reduz consideravelmente este tempo.

2.6.9. Precipitação

Segundo Back (2002), o termo precipitação engloba todas as formas de água proveniente da atmosfera que atinge a superfície terrestre, incluindo neve, granizo, chuva, orvalho, neblina entre outras formas.

BACK, 2002 a partir de observações de pluviógrafos com durações de 5, 10, 15, 25, 30, 45, 60, 75, 90 e 120 minutos descreveu a equação de chuvas intensas para o Estado de Santa Catarina como sendo:

$$i = \frac{K \times T^m}{(t + b)^n} \quad \text{EQ. 10}$$

Onde:

K, m, b e n são coeficientes ou parâmetros os locais para ajuste da equação, determinados para cada cidade ou região. T é o período de retorno e t o tempo de duração.

2.6.10. Período de retorno

O período de retorno relaciona-se com o risco de ocorrer uma precipitação maior que a utilizada no dimensionamento de uma obra ou dispositivo de drenagem. Segundo Back (2002), a precipitação mais intensa é a menos freqüente. Quanto maior for a chuva de projeto, maior o custo do projeto e, conseqüentemente, menor o risco de a obra falhar.

Período de retorno é o inverso da freqüência, sendo este o intervalo médio em anos em que um determinado evento hidrológico. A tabela 6 apresenta valores para períodos de retorno correlacionando com o tipo de obra e tipos de ocupação do solo, sendo dado pela expressão:

$$T = \frac{1}{F} \quad \text{EQ. 11}$$

Tabela 6: período de retorno para diferentes projetos.

Tipo de Obra	Tipos de ocupação do solo	T (anos)
Microdrenagem	Residencial	2
	Comercial	5
	Áreas com edificações de serviços ao público	5
	Aeroportos	2-5
Macro-drenagem	Áreas comerciais e artérias de tráfego	5-10
	Áreas comerciais e residenciais	50-100
	Áreas de importância específica	500

(Fonte: Tucci, 1995)

2.6.11. Volume de Escoamento *Vesd* ou chuva excedente

O volume de água que esco superficialmente pode ser definido pela equação:

$$Vesd = AD \times hexc \quad \text{EQ. 12}$$

Onde:

Vesd = volume de escoamento

AD = área de drenagem

hexc = lâmina de chuva excedente

Pelo Método de Soil Conservation Service (SCS)

$$hexc = \left(\frac{P - 0,2S}{P + 0,8S} \right)^2 \rightarrow P > 0,2S \quad \text{EQ. 13}$$

Onde:

P = precipitação (mm)

S= retenção do solo (mm)

Ou

$$CN = \frac{1000}{10 + \frac{S}{25,4}}$$

EQ. 14

Onde:

CN = número de curva (0 e 100), esse parâmetro depende do tipo de solo, condições de uso e ocupação do solo e da unidade antecedente.

O parâmetro CN (capacidade máxima da camada superior do solo) depende de fatores como: tipo de solo, condições de uso e ocupação do solo e umidade antecedente do solo.

a) Tipos de solo

Grupo A - Solos arenosos com baixo teor de argila total, inferior a uns 8%, não há rocha nem camadas argilosas e nem mesmo densificadas até a profundidade de 1,5 m. O teor de húmus é muito baixo, não atingindo 1%.

Grupo B - Solos arenosos menos profundos que os do Grupo A e com menor teor de argila total, porém ainda inferior a 15%. No caso de terras roxas este limite pode subir a 20% graças à maior porosidade. Os dois teores de húmus podem subir, respectivamente, a 1,2 e 1,5%. Não pode haver pedras nem camadas argilosas até 1,5m mas é quase sempre presente camada mais densificada que a camada superficial.

Grupo C - Solos barrentos com teor total de argila de 20 a 30% mas sem camadas argilosas impermeáveis ou contendo pedras até profundidades de 1,2m. No caso de terras roxas, estes dois limites máximos podem ser de 40% e 1,5m. Nota-se, a cerca de 60 cm de profundidade, camada mais densificada que no Grupo B mas ainda longe das condições de impermeabilidade.

Grupo D - Solos argilosos (30 - 40% de argila total) e ainda com camada densificada a uns 50cm de profundidade. Ou solos arenosos

como B mas com camada argilosa quase impermeável ou horizonte de seixos rolados.

b) Classificação pelas condições de umidade do solo

A classificação também se dá pelas condições antecedentes de umidade do solo. As condições de umidade antecedente do solo pelo método do SCS distingue 3 condições de umidade antecedente do solo.

I - Condição I - solos secos - as chuvas nos últimos 5 dias não ultrapassaram 15mm.

II - Condição II - situação média na época de cheias - as chuvas nos últimos 5 dias totalizaram entre 15 e 40mm.

III - Condição III - solo úmido (próximo da saturação) - as chuvas nos últimos 5 dias foram superiores a 40mm e as condições meteorológicas foram desfavoráveis a altas taxas de evaporação.

Os de CN da tabela 2 atendem a condição II de umidade antecedente do solo, e quando for necessário classificar nas condições I e II, deve-se proceder a conversão do valor de CN. A tabela 7 permite converter o valor de CN para condição I ou III, dependendo da situação que se desejar representar.

Tabela 7: conversão das curvas *CN* para as diferentes condições de umidade do solo.

Condições de umidade		
I	II	III
100	100	100
87	95	99
78	90	98
70	85	97
63	80	94
57	75	91
51	70	87
45	65	83
40	60	79
35	55	75
31	50	70
27	45	65
23	40	60
19	35	55
15	30	50

Fonte: Tucci, 1998

2.6.12. O método dos blocos alternados

Para a determinação da chuva efetiva ou o escamento excedente, é necessário realizar os arranjos das precipitação para cada intervalo de tempo utilizando-se o método dos blocos alternados.

O hietograma de projeto é uma seqüência de precipitações responsável em ocasionar a cheia de projeto para qual determinada obra deve ser projetada. Sua obtenção baseada nas equações de curvas *i-d-f*, utilizada para construção do hidrograma unitário do NRCS, baseia-se no Método do Bureau of Reclamation ou Método dos Blocos Alternados e consiste em três etapas:

1) discretizar o tempo de concentração em intervalos de tempo iguais e para cada

intervalo calcular a precipitação correspondente através das equações i-d-f;

2) determinar os incrementos de chuva correspondentes a cada incremento de duração;

3) rearranjar os incrementos da chuva do seguinte modo: 5-3-1-2-4-6.

Para esta última etapa há referências como Tucci (1993) e também no Caderno de Encargos da Prefeitura Municipal de Porto Alegre (DEP/DOP,2005) para uma alteração da posição da maior precipitação do terceiro para o quarto intervalo de tempo ficando a seqüência mencionada acima da seguinte maneira 6-4-3-1-2-5.

A equação utilizada no método proposto pelo Soil Conservation Service é representada pela Equação 9, tendo validade quando $P > 0,2 S$, do contrário, a precipitação efetiva é nula.

Segundo Tucci (2005), escoamento superficial é a parte do ciclo hidrológico em que a água se desloca na superfície da bacia até encontrar uma calha definida, sendo que em áreas urbanas é regido pela interferência do homem através de superfícies impermeáveis e sistemas de esgotos pluviais.

2.7. Dispositivos para detenção e aproveitamento das águas pluviais

A retenção das águas pluviais pode melhorar a eficiência dos sistemas de drenagem principalmente em áreas urbanas consolidadas. As técnicas variam desde grandes tanques de retenção até pequenos dispositivos individualizados. A vantagem nestes dispositivos, além da já mencionada melhoria na eficiência do sistema de drenagem, pode estar também na melhoria das águas pluviais a distribuir-se pelo solo ao infiltrar-se.

Para BAPTISTA et all (2005) a infiltração das águas pluviais no solo contribuem para alimentação da vegetação circundante e do lençol freático, além de reduzirem as descargas nas redes de drenagens.

À medida que o centro urbano se desenvolve faz necessário um remodelamento do sistema de drenagem para adaptá-lo a uma nova situação com hidrogramas de cheias mais rápidos e mais críticos (Souza e Goldenfum, 2001).

Observa-se que nos centros urbanos, os dimensionamentos dos sistemas de drenagem não têm considerado a expansão urbana, diante deste cenário encontramos canalizações subdimensionadas para atender a nova realidade, com escoamentos superficiais muito superiores àqueles utilizados para os cálculos.

Neste sentido autores como Souza e Goldenfum (2001), Baptista et all (2005), Araújo et all (2000), Cruz et all (2000) e Tucci (2000), apresentam estudos com trincheiras para infiltração, pavimentos permeáveis, detenção em lotes urbanos, bacias de decantação entres outros.

Estas soluções além de poderem contribuir para a redução dos escoamentos superficiais poderão ser úteis para a realimentação do lençol freático, melhoria da qualidade do solo e até o aproveitamento para outras finalidades. Para implantação destes dispositivos necessita-se de uma análise de viabilidade conhecendo-se as características do solo da bacia, como declividades e principalmente capacidade de infiltração.

Para BAPTISTA et all (2005), um estudo de viabilidade preliminar pode-se consultar mapas, sondagens para estimar a condutividade hidráulica do solo em função da natureza. Cita que solos com condutividades hidráulicas entre 10^{-3} e 10^{-6} m/s podem admitir técnicas de infiltração.

Entre os aspectos físicos devemos avaliar a topografia local, a existência de exutório permanente, capacidade de infiltração do solo, nível da água subterrânea entre outras.

Nestes aspectos o cadastro técnico multifinalitário apresenta-se com importante papel a desempenhar no cadastramento das características físicas, de evolução da expansão urbana, das áreas impermeabilizadas e do tipo de solo.

Para o cadastramento e mapeamento dos tipos de solos, as sondagens geotécnicas praticadas por empresas locais são importantes dados disponíveis, pois estas são executadas com pontos georreferenciados contendo níveis dos diversos tipos de solos e do lençol freático. A figura 4 mostra como são realizadas a sondagens geotécnicas SPT.

<h1>SAVI - Fundações e Sondagens LTDA.</h1>										
Cliente: CONSTRUTORA EXPANSÃO						Ref: 032/2008/SC				
Local: ORLEANS										
Escala: 1/100		Data: 18/03/2008		Desenhista: JAIR		Eng: JAIR PAULO SAVI		Des. N: 109/2008		
SONDAGEM: SP 03			COTA: V.L.A.			REVESTIMENTO (m) 0,00 A 2,00				
Cota em relação ao R.N.	Amostra	Profundidade da camada (m)	PERCUSSÃO				Revestimento \varnothing			
			Penetração (golpes/30cm)		Gráfico		Amostrador			
			1° e 2° penetrações		10 20 30 40		Amostrador	66,5 mm		
			2° e 3° penetrações				Amostrador	34,9 mm		
							Peso 65 Kg - Altura de queda: 75cm	50,8 mm		
Nível d'água	\varnothing Da coroa		N° de Golpes		Gráfico		CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL			
			1° e 2°	2° e 3°	10	20	30	40		
1	①	1,60	7	9					Areia grossa argilosa, cor marrom, pouco compacto	
2	②		8	11					Areia grossa argilosa, cor de rosa, medianamente compacto à compacto	
3	③		7	11						
4	④		9	11						
5	⑤		10	12						
6	⑥		11	14						
7	⑦		18	24						
8	⑧	11,30	14	20					Impenetrável à percussão OBS.: V.L.A. = Vcr levantamento altimétrico	
8	⑧		24	30						
9	⑨		30	38						
10	⑩		33	41						
11	⑪		48/15	56/15						
12										
13										
14										
15										
16										
17										
18										
19										
20										
Profundidade do nível d'água			80	60	40	20				
MEDIDO EM DIA CHUVOSO			Recuperação (%)		ENSAIO DE L.T.		TEMPO MINUTO	AVANÇO cm	PERFURAÇÃO (m)	TRADO
() SIM (X) NÃO			Fragmentos/m(N)		10		10			
Inclat:	2,10 m	14/03/2008	Recup. nulo		10		10		CIRCULAÇÃO DE ÁGUA	
Final:	2,50 m	17/03/2008	ROTATIVA						-1,45_ A -11,30_	

Figura 4: boletim de sondagem com informações de tipos de solo e nível do lençol freático. Fonte SAVI Fundações e Sondagens Ltda.

Os dados do solo e lençol freático fornecidos pelos boletins de sondagens podem ser utilizados para dimensionamentos de estruturas compensatórios, variando as dimensões de acordo com a capacidade de infiltração do solo e em nível da água presente no solo.

Para Baptista (2005), um lençol pouco profundo pode reduzir os volumes de armazenamento quando este se eleva junto a uma estrutura de armazenamento.

A classificação do solo permite caracterizar e classificar os tipos de solos por camadas. Para Oliveira e Brito (1998), as descrições realizadas em cortes ou sondagens, aliadas a ensaios expeditos e de laboratório, permitem elaborar de forma bastante completa, mapas e seções apresentando os grupos de solos classificados quanto à gênese e ao comportamento geotécnico esperado.

Com os dados fornecidos nos boletins de sondagens, pretende-se caracterizar o solo de forma a subsidiar o dimensionamento de artifícios de retenção no tocante a capacidade de infiltração.

2.8. Drenagem urbana

A maioria dos modelos de dimensionamentos atuais converge para o simples transporte das águas pluviais para pontos a jusante. Considerando esta drenagem em centros urbanizados, a descarga acontece em rios ou córregos responsáveis pela drenagem da bacia hidrográfica. Desta forma, problemas com inundações são frequentes, podendo ser correlacionados com os métodos de dimensionamentos serem realizados em regime permanente desconsiderando os efeitos de jusante sobre o escoamento de montante.

Esta prática está evidenciada para JUSTINO, 2004 quando cita:

A função da drenagem urbana é possibilitar o escoamento adequado das águas pluviais excessivas, evitando as inundações, o acúmulo de água parada e o escoamento com velocidade excessiva, reduzindo, assim, os prejuízos sociais, econômicos e sanitários causados pelas inundações.

Esta metodologia, além de exigir grandes obras, proporcionam maiores riscos de inundações por acumular grande volume em um mesmo ponto de deságue. Cruz et al. (1998) criticam a prática atual de projetos de drenagem pluvial, que é de transportar para jusante todo o excesso de água gerado pela impermeabilização.

Sendo o sistema de drenagem urbana parte obrigatória da infraestrutura de uma cidade, deve ser considerada item obrigatório em todos os seus aspectos contido no plano diretor, talvez melhor um plano exclusivo para os escoamentos das águas pluviais.

Para Guimarães e Penha (2009):

Nos últimos anos, o processo de urbanização foi acompanhado por profundas alterações no uso e ocupação do solo, que resultou em impactos ambientais nas bacias hidrográficas. As

transformações sofridas pelas bacias em fase de urbanização podem ocorrer muito rapidamente, gerando transformações na qualidade da paisagem, degradação ambiental, ocupação irregular e falta de planejamento na gestão urbana.

Fatores esquecidos no planejamento da ocupação do solo, refletem drasticamente no sistema de drenagem urbana de uma bacia hidrográfica ocupada pela expansão urbana. Neste contexto Pompêo (2000) descreve:

As enchentes provocadas pela urbanização devem-se a diversos fatores, dentre os quais destacamos o excessivo parcelamento do solo e a consequente impermeabilização das grandes superfícies, ocupação de áreas ribeirinhas, áreas de inundação frequente, obstrução de canalização e obras de drenagem inadequadas.

Este aumento pode estar associado com o crescimento populacional, concentração da população nos centros urbanos e com o mau planejamento e utilização das bacias hidrográficas pelo homem (Kobiyama et al., 2006).

O planejamento urbano pode levar fatores que contribuem para que eventos como altas precipitações provoquem inundações urbanas. Tais fatores podem ser provocados por ações impostas à planos sem o devido conhecimento das características da bacia hidrográfica. Sendo assim, um planejamento para proporcionar melhores resultados, deve ser elaborado por equipes técnicas multidisciplinar. Neste sentido TUCCI (1997) assinala que:

O planejamento urbano, embora envolva fundamentos interdisciplinares, na prática é realizado dentro de um âmbito mais restrito do conhecimento. O desenvolvimento urbano brasileiro tem produzido aumento significativo na frequência das inundações, na produção de sedimentos e na deterioração da qualidade da água.

Para Baptista & Nascimento (2002):

Do ponto de vista institucional, a drenagem pluvial urbana é historicamente serviço de competência do poder municipal. Em razão das características do serviço, sua gestão é efetuada por uma estrutura técnica e administrativa de competência e responsabilidade do poder executivo municipal.

O planejamento da expansão dos espaços urbanos, além de uma necessidade, tornou-se atualmente

exigência legal através da obrigatoriedade da elaboração de planos diretores. Contudo, faz-se necessário que tais planos sejam constantemente atualizados e, em muitas situações, revistos, principalmente, no que tange as possibilidades de uso e expansão urbana. (MORUZZI et al, 2008).

CAPÍTULO 3

3. ÁREA DE ESTUDOS

A caracterização da área de estudos leva em conta além de sua posição geográfica, tópicos da economia e principalmente características urbanísticas ligadas ao foco desta pesquisa, as inundações bruscas.

As atividades antrópicas, desenvolvidas ao longo dos anos na área compreendida, proporcionaram um significativo crescimento econômico para o município. Contudo, são responsáveis, também, por graves impactos sobre esse território, com maior ênfase no meio urbano, com consequências negativas sobre a qualidade da água e a vida da população e do meio ambiente como um todo.

3.1. Localização

A área de estudo está situada no município de Criciúma, sul de Santa Catarina, entre as latitudes 28°37'00'' e 28°52' 30'' Sul, e entre as longitudes 49°10'00'' e 49°30'00'' Oeste (figura 5). É município sede da AMREC – Associação dos Municípios da Região Carbonífera, distante 200 km da capital do estado de Santa Catarina, Florianópolis.

Seus limites são: ao norte com os municípios de Siderópolis, Cocal do Sul e Morro da Fumaça. Ao sul com os municípios de Araranguá e Maracajá. Limita-se a leste com o município de Içara e a oeste com Nova Veneza e Forquilha.

O município está situado sobre as bacias hidrográficas do rio Urussanga e do rio Araranguá, sendo a sub bacia do rio Criciúma pertencente a última. O rio Criciúma possui sua foz no rio Sangão, este deságua no rio Mãe Luzia que por sua vez deságua no rio Araranguá, e daí ao oceano Atlântico (Figura 6).

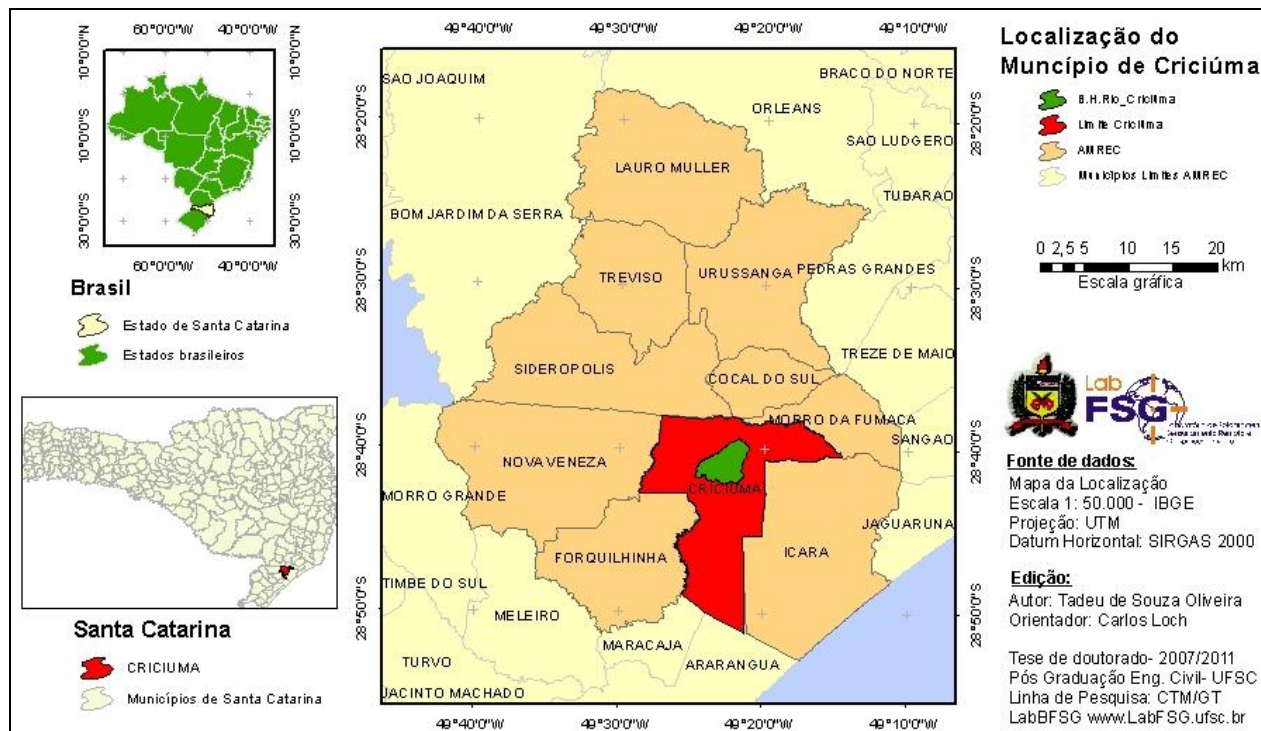


Figura 5: localização do município de criciúma e bacia hidrográfica em estudo.

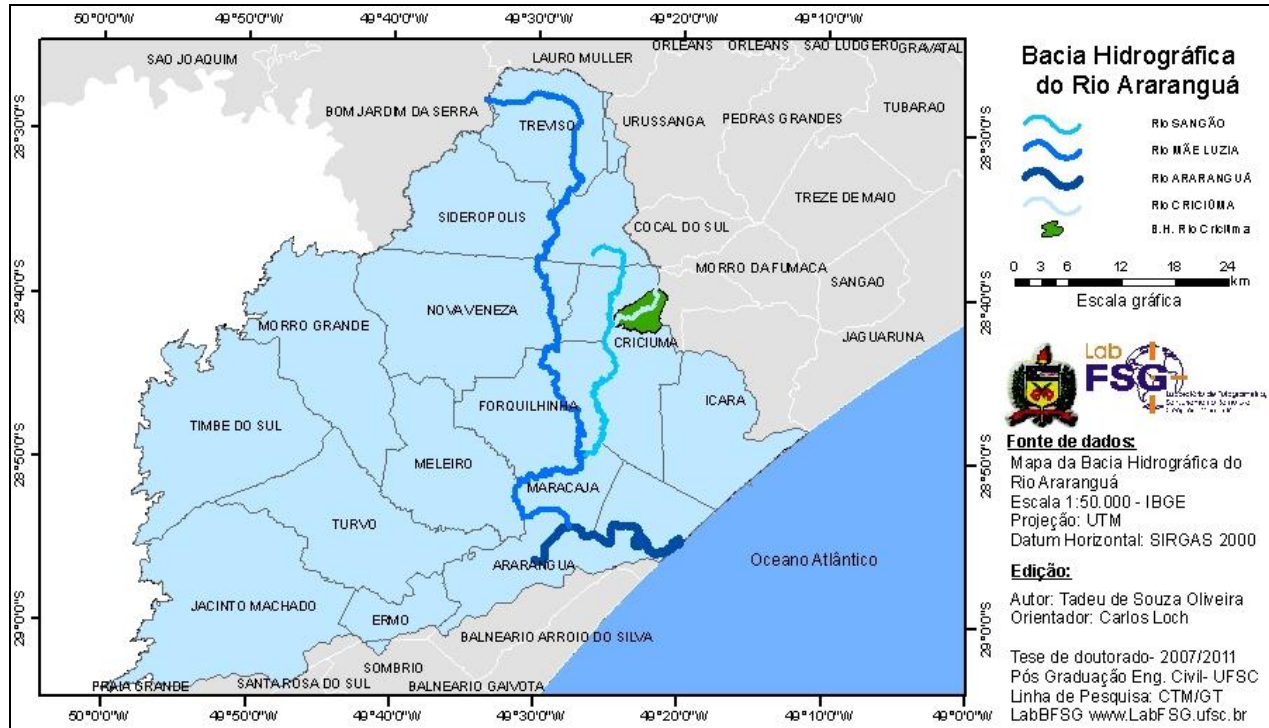


Figura 6: mapa da bacia do rio Araranguá

Criciúma, que anteriormente possuía a denominação de Cresciúma, foi elevado à categoria de município em 04/11/1925 e em 30/12/1948 passou a denominar-se Criciúma (Oliveira, 2011).

3.2. Delimitação da bacia hidrográfica do Rio Criciúma

Os eventos de inundações bruscas ocorrem no município dentro da principal bacia, a do Rio Criciúma, neste contexto esta pesquisa tem como foco somente nesta área, a qual é uma subdivisão da bacia do Rio Sangão. A figura 7 ilustra os limites da bacia hidrográfica com modelo digital do terreno.

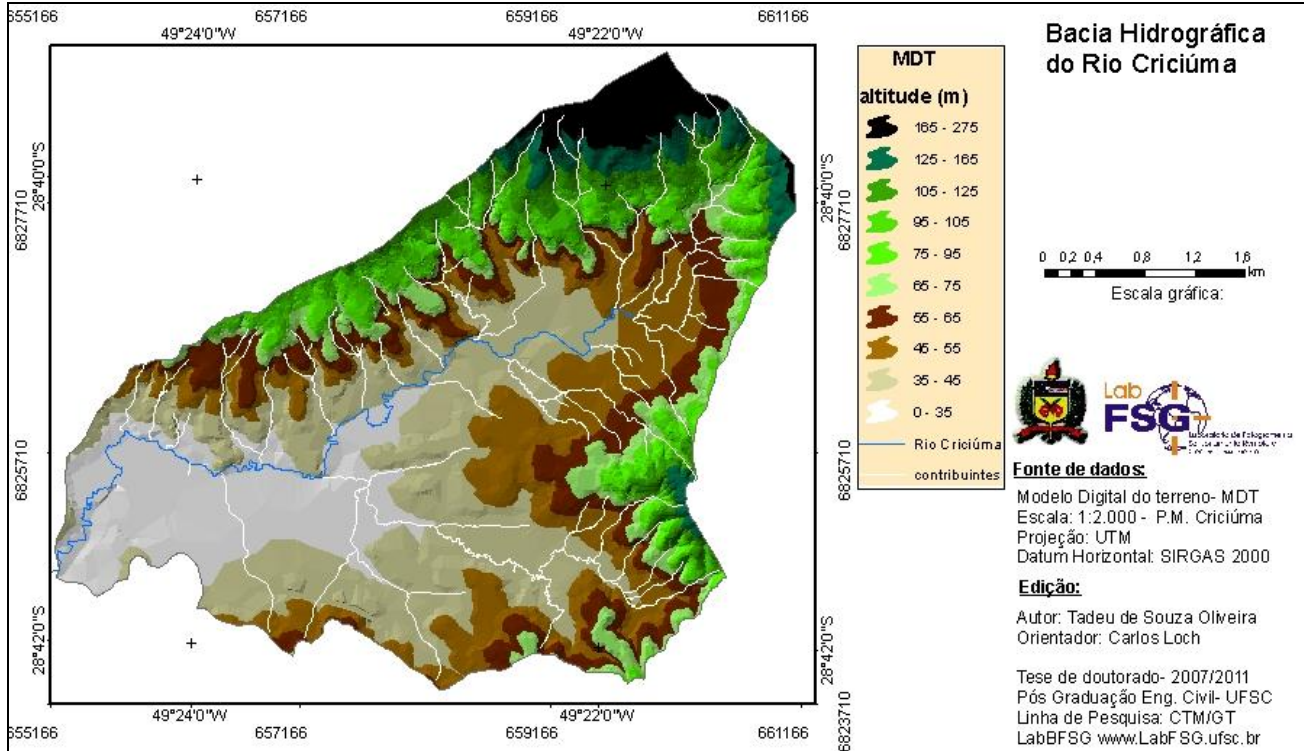


Figura 7: bacia hidrográfica do Rio Criciúma com o modelo digital do terreno e hidrografia.

3.3. Método de delimitação

A delimitação da área foi elaborada em software CAD sobre a base cartográfica do município de Criciúma na escala 1:2.000, unindo-se os pontos de máxima cota, os quais compõem o divisor de águas, (figura 8) observando e obedecendo as curvas de níveis.

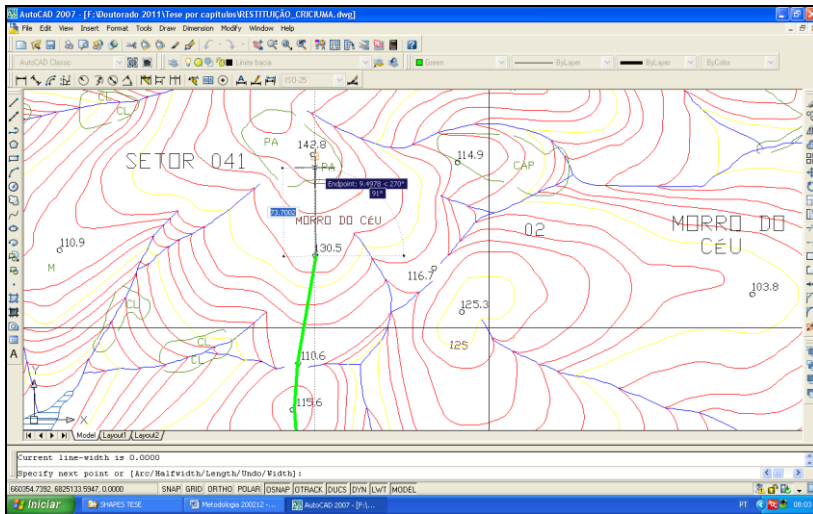


Figura 8: processo de delimitação da bacia do Rio Criciúma em ambiente CAD.

3.4. Caracterização da área de estudos

Segundo o IBGE, o município de Criciúma, possui uma população de 192.236 habitantes no censo de 2010, em uma área de 236 km².

Na economia, destaca-se pela produção de cerâmica tanto a nível nacional como internacional. Além deste importante setor, possui grande produção também no setor metal-mecânico e na moda e vestuário. (SDR, 2003). Já foi considerada a capital nacional do carvão mineral, no entanto, atualmente não possui mais nenhuma atividade mineradora.

Da exploração e beneficiamento do carvão mineral possui inúmeras áreas degradadas por depósitos de rejeitos, sendo que as margens do rio Sangão é a maior receptora destes depósitos (figura 9).



Figura 9: depósito de rejeitos resultante das atividades de mineração localizado na margem esquerda do rio Criciúma. Coordenadas: P1(6.825.803;655.823) – P2(6.826.031m; 656.126m).

Seu clima é o subtropical mesotérmico úmido com verão quente, temperatura média anual entre 19 e 20°C. A precipitação média anual é de 1.400mm com máxima em 24h de 160mm. (SDR, 2003).

O centro urbano do município é cortado pelo rio Criciúma o qual se encontra canalizado com redução significativa se sua capacidade de descarga. Tornou-se frequente as inundações bruscas (figuras 10 e 11) em pontos críticos, principalmente onde o rio está sob as edificações.

Para Marcelino et al (2004) a inundação brusca está associada as chuvas intensas e concentradas que resultam numa rápida elevação do nível da água.



Figura 10: inundação em área onde o rio Criciúma encontra-se sob as edificações.
(P: N=6.826.924m; E=659.734m)



Figura 11: inundação em área afastada do Rio Criciúma.
(P: N=6.826.584m; E=659.518m)

Quanto à urbanização, caracteriza-se pelo aumento da densidade demográfica na porção central do município, que se encontra aproximadamente no terço a norte dentro da bacia do Rio Criciúma. As vertentes mais altas encontram-se muito próximas ao centro da cidade com variação de altitude que chega a 237m entre o ponto mais alto e os pontos críticos de alagamentos.

Nos últimos anos os eventos de inundações urbanas tem aumentado de frequência proporcionando grandes prejuízos financeiros. O quadro 1 apresenta dados dos últimos três anos e os respectivos prejuízos, segundo a Defesa Civil do Município de Criciúma.

Quadro 1: danos das inundações dos anos (2009, 2010 e 2011) – (1/2)

DATA	CAUSAS DO DESASTRE	BAIRROS AFETADOS	QUANTIDADE DE PESSOAS AFETADAS	TOTAL DE DANOS MATERIAIS
01/01/2009	Enxurradas localizadas, provocadas por alto índice pluviométrico em curto espaço de tempo, com muita intensidade, atingindo índice de 271 mm de chuva, conforme laudo meteorológico da Epagri, causando o transbordamento dos rios: Sangão, Criciúma e Mãe Luzia.	4ª Linha, Verdinho, Sangão, Santo André, Progresso, Vila Zuleima, Monte Castelo, Vila Francesa, São Francisco, Imperatriz, Rio Maina, Ceará, Mãe Luzia, São Simão, Comerciário, Recanto Verde e Wosocris.	2230 pessoas	R\$ 4.691.000,00

Fonte: Defesa Civil/Criciúma

Quadro 1: Danos das inundações dos anos (2009, 2010 e 2011) – (2/2).

DATA	CAUSAS DO DESASTRE	BAIRROS AFETADOS	QUANTIDADE DE PESSOAS AFETADAS	TOTAL DE DANOS MATERIAIS
18/02/2009	Enxurradas localizadas, provocadas por alto índice pluviométrico em curto espaço de tempo, com muita intensidade, atingindo índice de 96 mm de chuva. Laudo meteorológico da Epagri.	Universitário, Santo Antônio, Paraíso, Tereza Cristina, Renacer, São Sebastião, São Luiz, Vida Nova, Cristo Redentor, Vila Zuleima, Pio Correa, Centro, Santa Bárbara, Vila Manaus e Pinheirinho.	1685 pessoas	R\$ 1.575.000,00
12/05/2010	Auto índice pluviométrico, ocasionando enxurrada com inundações bruscas conforme laudo da EPAGRI/CIRAM.	Toda cidade de Criciúma	188.2333 pessoas	R\$ 3.660.000,00
18/01/2011	Conforme laudo meteorológico da Epagri/Ciram.	Toda cidade de Criciúma	192.234 pessoas	R\$ 9.377.000,00

Fonte: Defesa Civil/Criciúma

CAPÍTULO 4

4. CARACTERIZAÇÃO DA EVOLUÇÃO HISTÓRICA DA OCUPAÇÃO E EXPANSÃO URBANA

4.1. Método de caracterização e levantamento dos dados

Para caracterizar a evolução histórica da ocupação e a expansão urbana dentro dos limites da bacia hidrográfica Rio Criciúma, foi realizada pesquisa documental das legislações desde o primeiro plano diretor, bases cartográficas e fotografias aéreas desde a década de 1950 até 2006. A pesquisa das legislações refere-se às ações do legislativo municipal com interferência nas questões ambientais e de planejamento urbano. A coleta de dados foi realizada diretamente na Câmara de Vereadores de Criciúma e na página da internet, <http://camara.virtualiza.net/pesquisa.php>.

A pesquisa utilizando as fotografias aéreas de 1956, 1978 e 2006 foi realizada por interpretação de imagens quantificando a ocupação da bacia hidrográfica quanto ao uso e ocupação do solo.

4.2. Método de análise

Para analisar a forma de ocupação e uso do solo, verifica-se temporalmente as mudanças das legislações e suas interfaces com as alterações do meio físico ligado ao sistema de drenagem da bacia hidrográfica.

4.3. Método de avaliação

As avaliações partem da comparação dos aspectos de cada lei, suas mudanças e benefícios ao planejamento urbano e interferência no sistema de drenagem. Com as fotografias aéreas, verificaram-se os avanços da urbanização com a proximidade ou mesmo supressão da drenagem natural da bacia.

4.4. Plano Diretor de 1957

Os primeiros passos para um ordenamento territorial do município de Criciúma são dados com estudos para a elaboração do Plano Diretor em julho de 1953, com lei 107 de 22 de setembro de 1953 autorizando a

elaboração onde contava uma medida importante para os dias atuais. Entre as medidas encontrava-se a implantação de ruas paralelas ao Rio Criciúma, o que seria a Avenida Beira Rio. Esta ação se concretizou com o lançamento pela gestão municipal, de um edital de concorrência pública para contratação de profissionais habilitados a elaborarem um plano urbanístico. Neste sentido, era elaborado o primeiro documento legal, a Lei n. 111 de 7 de dezembro de 1953 a qual pretendia dividir a área urbana em três zonas distritais para efeito de cobrança do Imposto Territorial Urbano – ITU. No entanto, esta divisão foi imposta por outra lei, a de número 163 de 30 de novembro de 1955 a qual com a seguinte orientação:

“Enquanto o Plano Diretor da Cidade não tiver sua aprovação final, ficam os perímetros urbano e suburbano, declarados na Lei número 111, de 7 de dezembro de 1953, divididos em três zonas distritais, para efeito de lançamento e cobrança do Imposto territorial Urbano”.

Em 1956 a Lei 183 de 22 de setembro aprova o primeiro plano rodoviário do município de Criciúma paralelamente a elaboração e tramitação do Plano Urbanístico.

Após quatro anos de estudos, no dia 03 de julho de 1957 é sancionada a Lei 208 que aprovou o primeiro plano diretor do município de Criciúma. Este plano, chamado à época de Plano Urbanístico (figura 12), fazia parte de uma série de ações da Comissão Executiva do Plano Nacional do Carvão (CEPCAN) constituída em 1953 para incentivar a extração do carvão nacional.

Entre os objetivos deste plano, a CEPCAN almejava modificações no comportamento da sociedade, adequando-as as normas de higiene e saúde pública. Para a elaboração do Plano Urbanístico foram utilizadas as fotos aéreas na escala 1: 30.000 do voo de 1956 (figura 13) bem como a base cadastral confeccionada em 1957 (figura 14) elaborada dentro das ações do Plano Nacional do Carvão (PNC).

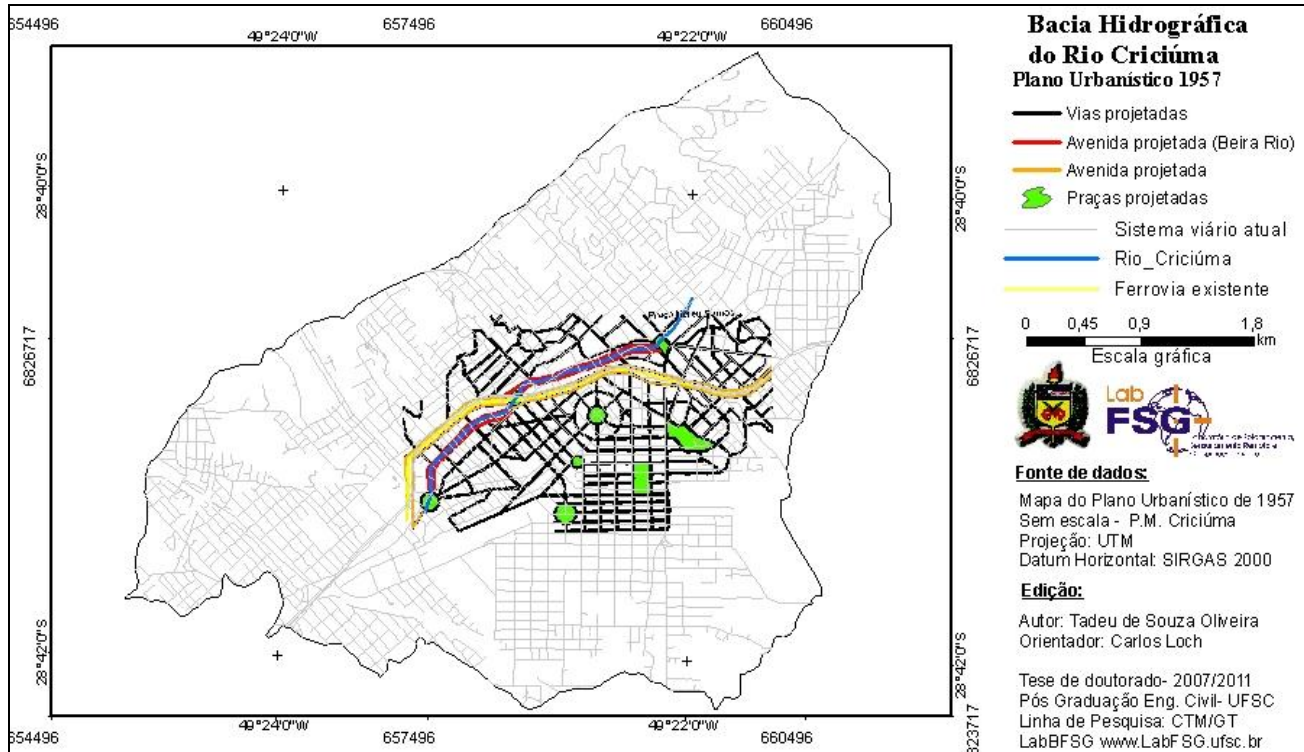


Figura 12: mapa do plano urbanístico de 1957 inserido na sistema viário atual.

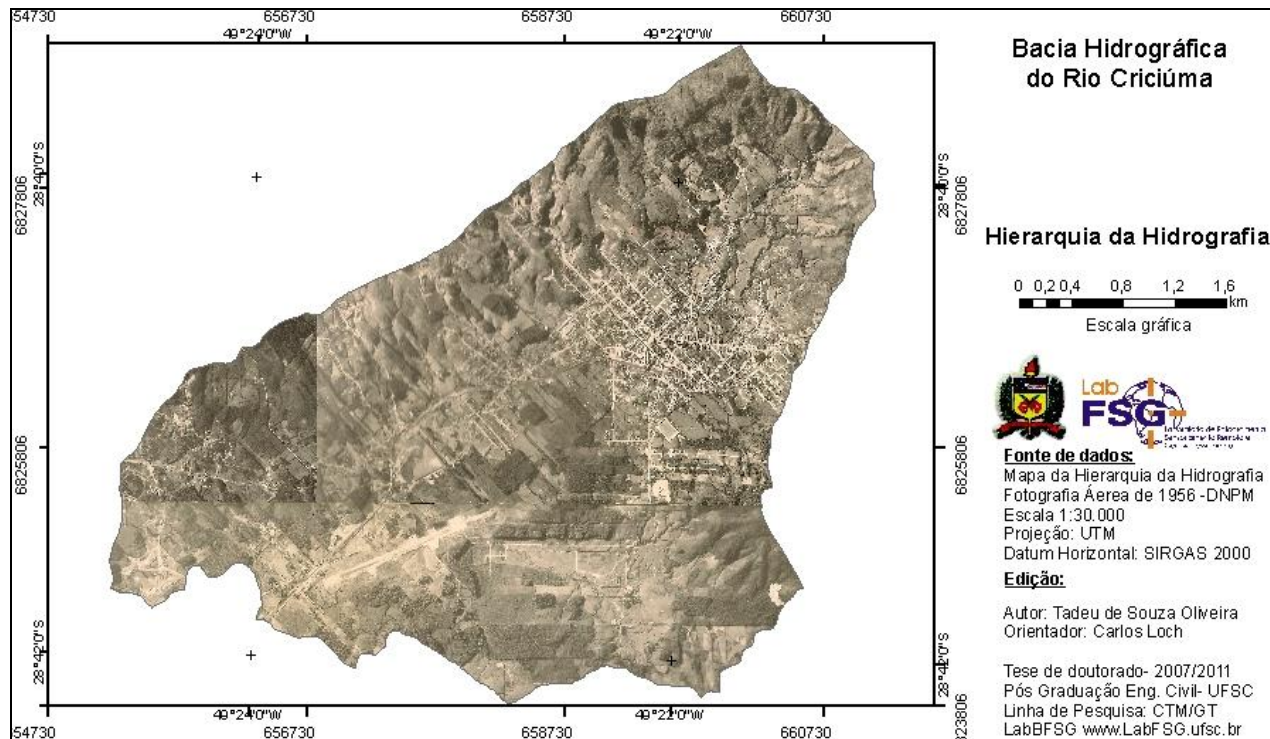


Figura 13: fotografia aérea da bacia do Rio Criciúma de 1956

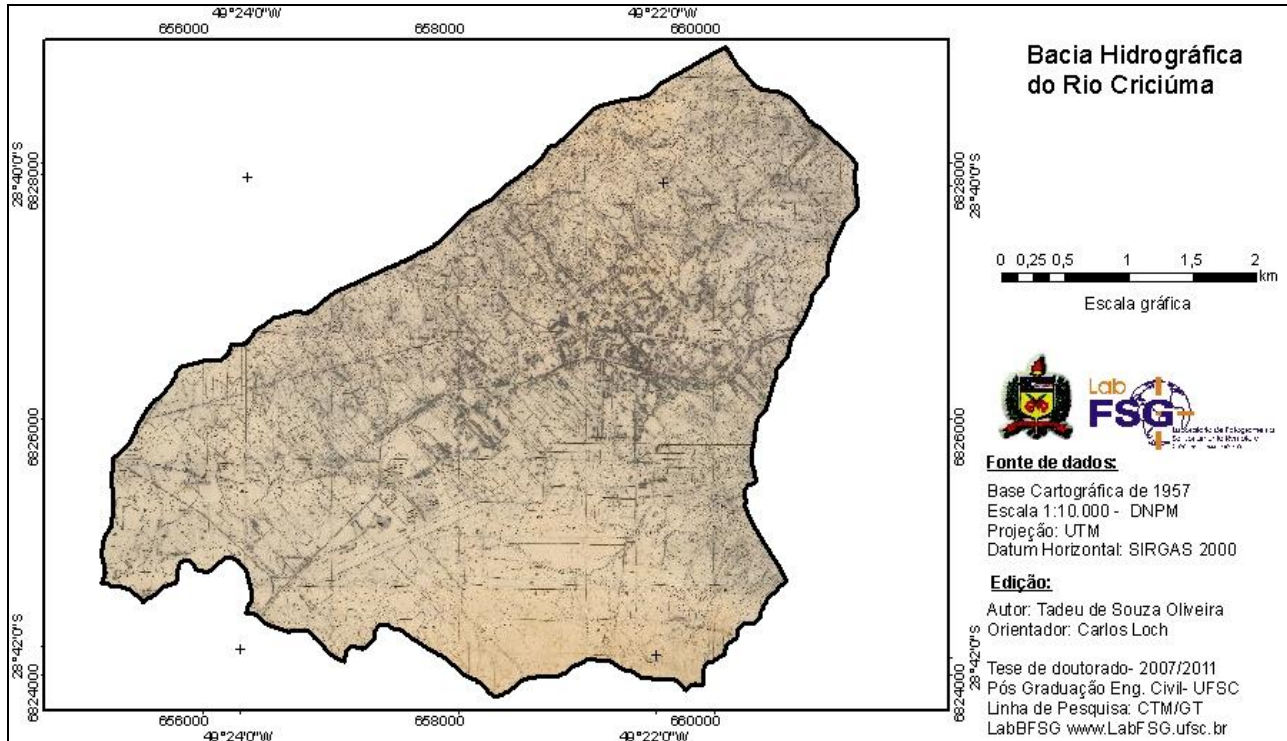


Figura 14: base cartográfica Bacia Rio Criciúma - escala 1:10.000. Criciúma 1956

Atendendo ao Plano Nacional do Carvão, a Lei 208/1957 suprimiu algumas especificações contantes na Lei 107/1953. Dentre as restrições, estão aquelas relacionadas diretamente aos problemas atuais de inundações e drenagem da bacia do rio Criciúma. O Plano Urbanístico previa uma avenida beira rio, ladeando o Rio Criciúma que é a drenagem principal da bacia, esta configuração não permitiria o avanço das edificações sobre o leito. O artigo 1º em sua alínea “a” indica a supressão de um trecho, exatamente na parte central da cidade, e o parágrafo único do mesmo artigo, indica que também fazia parte do mesmo projeto a canalização do rio.

Lei número 208 de 3 de julho de 1957.

Art 1o – Fica aprovado o plano urbanístico de Criciúma, autorizado pela Lei nr. 107, de 22 de setembro de 1953, com todas as especificações constantes da respectiva planta, exceto as seguintes:

- a) Avenida paralela ao Rio Criciúma, no trecho compreendido entre as ruas Marechal Deodoro e Henrique Lage;
- b) Áreas verdes compreendidas nos espaços laterais à Igreja Matriz, em terrenos pertencentes à Mitra Arquidiocesana.

§ único – A supressão do trecho indicado na alínea “ a “ deste artigo não prejudicará a canalização do Rio Criciúma, cujo traçado previsto no plano não sofrerá modificação.

Em 12 de julho de 1960 a prefeitura aprova legislação para incentivar a construção de edifícios mais altos com gabarito de 10 pavimentos isentando-os de impostos. É a Lei 305 com seus artigos 1º e 2º com as seguintes redações:

Art. 1º - Fica isento do Imposto Predial pelo prazo de dez anos, prédios de alvenaria construídos no município, desde que o mesmo tenha, no mínimo, inclusive o térreo dez pavimentos e que as demais características se harmonizem com o Código de Posturas Municipais.

Art. 2º - Expirado o prazo de que trata o artigo anterior, o prédio gozará, ainda de uma isenção, no mesmo título, por mais cinco anos, na base de cinquenta por cento do que, efetivamente, deveria ser tributado ou lançado.

Também no ano de 1960, a 27 de dezembro, é a provada a Lei 316 implantando um novo perímetro urbano, alterando o anterior aprovado pela Lei 111 de 7 de dezembro de 1953. O artigo primeiro da nova lei trata dos novos limites indicados de norte a sul e leste a oeste. O artigo 2º revoga a lei 111 de 7 de dezembro de 1953, que tratava da implantação do perímetro urbano anterior.

A 6 de setembro de 1967, é sancionada a Lei 680 para regulamentar a área mínima de um lote edificável dentro do perímetro urbano.

Nota-se que até o ano de 1967 não há regulamentação quanto a taxa máxima de ocupação territorial, área de edificação, entre outros quesitos que ordenem a construções de edificações. Encontra-se apenas incentivo à verticalização com o conseqüente adensamento e definição da área mínima do lote urbano. Estes procedimentos já demonstram a fragilidade na normalização permitindo que a expansão urbana leve consigo para os anos posteriores, problemas oriundo de uma ocupação sem regras definidas sobre uma base de dados inconsistente. Apesar de ordenada pelas leis existentes, mostrava-se frágil por ignorar questões importantes como à taxa de ocupação, tendo esta relação direta com a impermeabilização do solo.

Segundo Porto (2008), muitas normas e orientações do plano não foram praticadas por pressão dos proprietários que teriam terras a serem desapropriadas. Neste sentido, não houve aplicação prática do plano diretor ou urbanístico sancionado no ano de 1953, sendo então, o primeiro plano aprovado e colocado em prática, somente em 1973.

As demais instruções da lei 208/1957, referem-se apenas às alterações e traçados de ruas, indicando ser um plano focado no traçado viário.

4.5. O Plano Diretor de 1973

Em 11 de abril de 1973, somente 16 anos após a promulgação do primeiro plano diretor ou do Plano Urbanístico de 1957, é aprovado pela Lei 947 o segundo Plano Diretor do município de Criciúma (figura 15), sendo o primeiro a ser realmente consolidado.

Nesta lei encontra-se no artigo 7º a expressa permissão para suprimir ou canalizar córregos intermitentes ou perenes, como segue: “Em terrenos alagadiços só será permitida a construção se tiverem sido executadas as necessárias obras de saneamento”.

Quanto a taxas de ocupação e índices de aproveitamento estão estabelecidos nos seguintes artigos:

a) Art.15. A área urbana fica dividida em três zonas de densidades de conformidade com os limites indicados nas plantas do Plano Diretor Urbano. Alta (ZDA), média (ZDM) e baixa (ZDB).

b) Art.16. A relação entre o total das áreas de construção de uma edificação, incluindo os pavimentos altos quando existentes, e a área total do terreno, relação denominada “índice de aproveitamento “será para cada zona de densidade constante do quadro 2:

Quadro 2: zonas de densidades

Zona de densidade	Índice de aproveitamento
ZDA	3, 4 e 5
ZDM	1,5
ZDB	0,75

c) Art.20. O índice de aproveitamento (ZDA-3), estabelecido por esta lei será duplicado para as edificações novas nas zonas de uso denominada (ZU1)(CENTRO), desde que a construção a ser feita e o terreno atendam às seguintes condições, sem prejuízo das demais exigências legais e regulamentares cabíveis:

- I. O terreno terá a área mínima de 600,00 m² e uma frente de 15,00(quinze) metros;
- II. A construção será formada de blocos com pavimentos de iguais dimensões externas;
- III. Não haverá mais de um bloco para cada 600,00 m² de terreno;
- IV. A parte do terreno deixada sem construção será de 70% da área total;

d) Art.21. Não serão computados como área de construção para ampliação do Índice de Aproveitamento os espaços correspondentes a reservatórios de água, câmara de transformadores, casas de máquinas, playgrounds, garagens e abrigos nos edifícios de apartamento.

Em 1975, a 01 de outubro, é instituído pela Lei 1.193, o primeiro código de posturas onde se pode extrair algumas medidas relacionada com as questões de uso e tratamento de obras públicas referente a drenagem urbana. Neste cita-se os artigos relacionados diretamente com as questões que influem na relação expansão urbana/drenagem urbana, são eles:

Artigo 26 – É proibido a preparação de argamassa nos passeios ou nas faixas de rolamento das vias públicas.

Art. 32 - O proprietário que danificar o calçamento ou passeios, ficará obrigado a efetuar o reparo nas condições anteriores, sob pena de ser executado no valor do mesmo.

Art. 43 -Nas estradas municipais, sob pena de multa e obrigação de ressarcir o dano causado, sem prejuízo das penalidades impostas por leis ou regulamentos federais e estaduais, ninguém poderá.

a) danificar a pista de rodagem, as obras de arte ou as plantas a ela pertencente;

b) fazer derivações ou alterar seu traçado;

c) impedir o livre escoamento das águas para as valetas ou obstruir os escoamentos.

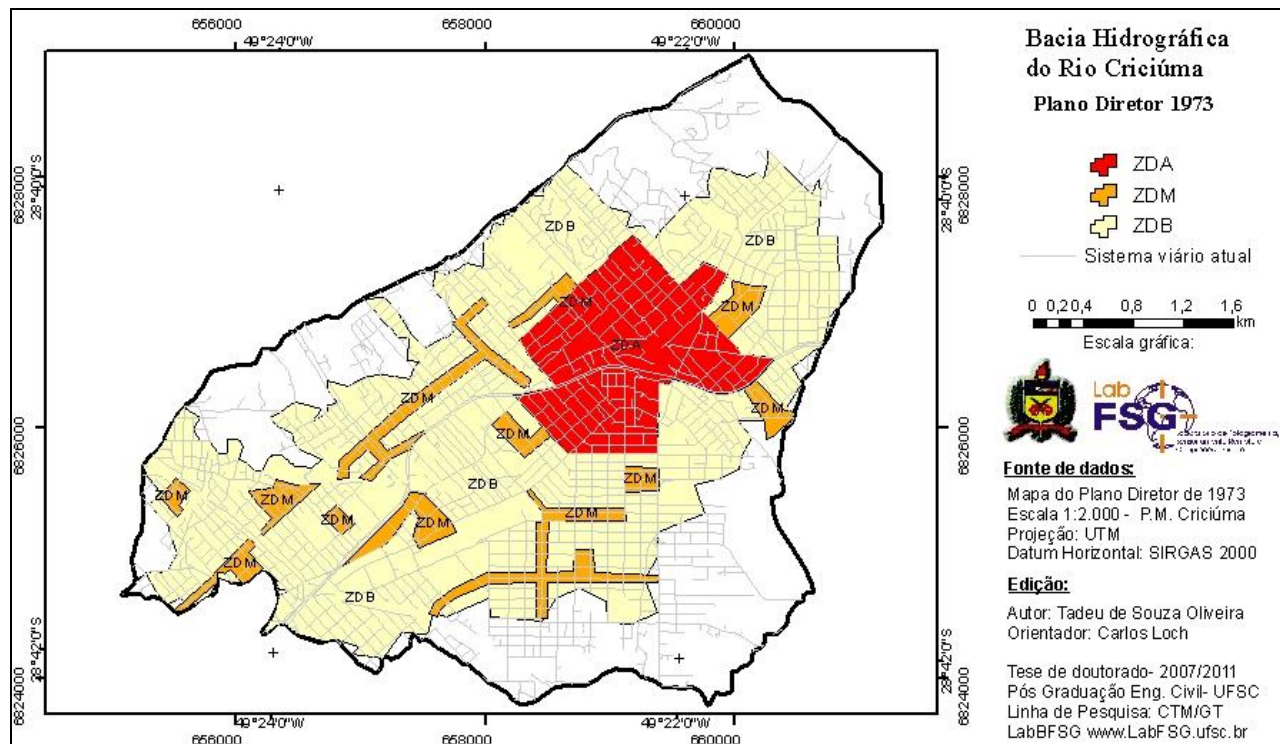


Figura 15: mapa da bacia do rio criciúma com o plano diretor de 1973

O plano diretor aprovado em 1973 tem sua primeira alteração em 13 de julho de 1984 com a Lei 1.977 que alterou a forma de ocupação no que se refere ao índice de aproveitamento, potencializando o aumento da densidade habitacional em 100%, passando de 0,75 para 1,5, as instruções foram assim descritas no artigo primeiro:

“O quadrilátero medindo 1.050 m² (um mil, e cinquenta metros quadrados), situado na esquina das Ruas n^os 260 e 224, com as quais confrontam em 30,00m e 35,00m respectivamente, fica enquadrado na Zona de Densidade Média como Local (ZU3), constante do Plano Diretor Urbano, mudando-se, por conseguinte o índice de aproveitamento de 0,75 para 1,5.”

4.6. O Plano Diretor de 1984

Com a introdução de diversas alterações para adequações, seguido também pela desobediência ao plano de 1973, quando já estava completamente alterado da proposta original, a exemplo das áreas verdes pública, alargamento de ruas e edificações fora dos padrões, é instituído em 29 de novembro de 1984 o terceiro Plano Diretor de Criciúma (figura 16) com aprovação do conjunto das seguintes leis:

- a) Lei 2.038 reguladora do desenvolvimento físico-espacial do Município;
- b) Lei 2.039 reguladora do Zoneamento do Uso e dá outras providências;
- c) Lei 2.040 reguladora do parcelamento do solo urbano e dá outras providências.

Com relação a Lei 2.039/84, dispõe-se os artigos que relacionam-se com a expansão urbana e de alguma maneira possa interagir com as questões da drenagem urbana, pode-se citar as taxas de ocupação do solo, fator que incidirá diretamente no aumento da impermeabilização.

- a) Art. 4^o As diferentes Zonas de Uso caracterizadas se constituem em modelos, concebidos a partir da análise da realidade local e das diretrizes de estruturação territorial, estabelecidas no Plano do Desenvolvimento Físico-Espacial.
- b) Art. 5^o A ocupação e o aproveitamento máximo admitidos para os lotes serão determinados pelos respectivos índices urbanísticos assim definidos, a saber: taxa de ocupação e índice de aproveitamento (tabela 8).

Tabela 8: zonas de uso e suas respectivas taxas de ocupação (TO).

Zona de uso	TO (%)
Exclusivamente residencial	40 a 60
Predominantemente residencial	60
Mista Central	60
Mista diversificada	60 a 70
Industrial	60

c) Art. 32. O percentual de terreno excedente à taxa de ocupação deve ser tratado como área verde, não pavimentada em no mínimo 50% (cinquenta por cento), sendo permitido nos 50% (cinquenta por cento) restantes a realização de pavimentos internos.

d) Art. 49. Áreas de Interesse Especial e Áreas de Proteção Especial demarcadas pelo órgão municipal competente, para as quais ainda não foram estabelecidas normas específicas por esta Lei, são denominadas Áreas sujeitas a estudos posteriores sendo para elas vetado:

I- qualquer mudança de uso;

II- execução de edificações;

III- reforma e ampliação das edificações existentes;

IV- desmatamento;

V- movimento de terra;

VI- qualquer outra mudança ou modificação física e jurídica.

Parágrafo único. As normas específicas a que se refere este artigo deverão ser estabelecidas num prazo de um ano, da data da aprovação desta Lei como sendo de Interesse ou de Proteção Especial, podendo haver prorrogação para mais um ano.

O estabelecido no artigo 32 resulta em uma preservação de no mínimo 20% da área do terreno sem edificação ou pavimentação, com a finalidade de oportunizar a infiltração das águas no solo. Porém, não há nenhuma relação entre a área a não ser impermeabilizada com a capacidade de infiltração do solo.

O Plano Diretor de 1984 apresentou normas que apontavam para cuidados com a proteção de áreas fundamentais ao equilíbrio da bacia hidrográfica no que se refere a recursos hídricos. O artigo 51 apresenta estas normas tratando como áreas de proteção especial.

Art. 51 Constituem áreas de proteção especial, conforme definição do artigo 12, §2º desta Lei, as que seguem:

- I- áreas de preservação do patrimônio paisagístico natural;
- II- áreas de preservação dos recursos hídricos.

§1º Áreas de preservação do patrimônio paisagístico natural, são as áreas necessárias para assegurar o equilíbrio ecológico, tais como áreas de formação geológica especial, comunidades bióticas, trechos escarpados e vertentes, além de divisores de água e áreas de interesse para lazer e recreação.

§2º Áreas de preservação dos recursos hídricos, são as áreas adjacentes às águas públicas destinadas à captação de águas, ao lazer e necessárias à manutenção do equilíbrio hidrográfico, que devem ser protegidos com a finalidade de manter a função benéfica destas águas.

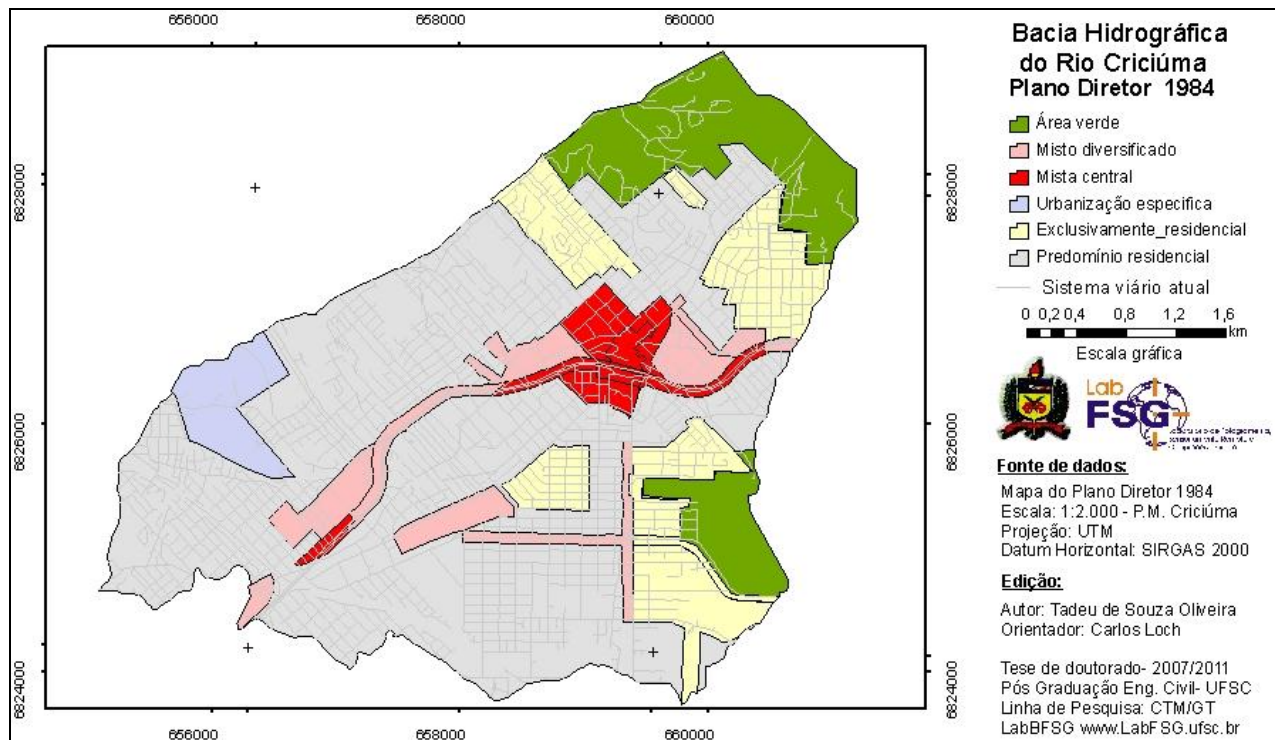


Figura 16: mapa da bacia do rio criciúma com o plano diretor de 1984

Em 31 de agosto de 1988, entra em vigor a Lei 2.314 alterando os dispositivos da Lei 2.039 e mapa de zoneamento de uso do solo, conforme redação a seguir:

Art. 1o. No mapa de zoneamento do uso do solo, a zona residencial exclusiva e predominante do Bairro São Luiz, passa a ser definida pelo perímetro formado por uma linha imaginária, que partindo do ponto da rua João Caetano a 30m (trinta metros) ao Sul da Avenida Santos Dumont, seguindo no sentido Leste, paralela a esta Avenida chega-se a 30m (trinta metros) da rodovia Luiz Rosso. Deste ponto segue-se no sentido Sul paralelo a esta Rodovia, cruzando a rua domingos Rodovia Luiz Rosso sentido Oeste, paralela a esta rua com afastamento de 30m (trinta metros), chega-se a rua Raymundo Pucher, percorrendo-a até 30m (trinta metros) da rua Júlio de Castilhos, seguindo no sentido oeste paralela a esta rua, chega-se a 30m (trinta metros) da rua Nilo Peçanha, deste ponto segue-se no sentido desta, paralela a esta rua, cruzando a Rua Domingos Netto, seguindo no sentido oeste, paralela a esta rua com afastamento de 30m (trinta metros) cruzando a Rua Artur Bernardes até o ponto afastado desta 30m (trinta metros), onde segue no sentido Norte paralela a esta via até 30m (trinta metros) da rua campos novos, seguindo paralela a esta rua no sentido Oeste até cruzar a rua João Caetano, seguindo paralela a esta com afastamento de 30m (trinta metros) no sentido norte, até encontrar a Rua Júlio de Castilhos, percorrendo-a no sentido leste, até encontrar a rua João Caetano, seguindo por esta via até o ponto inicial da descrição deste perímetro e ficando estabelecidos os seguintes parâmetros urbanísticos:

- a) zona de uso - residencial predominante;
- b) número de pavimentos - 4(quatro);
- c) taxa de ocupação - 60%(sessenta por cento).

A 30 de dezembro de 1988 entra vigor uma legislação específica para regulamentar as áreas verdes designadas no plano diretor de 1984, como segue a redação da Lei 2.376 que disciplina o uso e ocupação do solo nos morros cechinel e casagrande, e dá outras providências.

Art. 1º. O Morro Cechinel e o Morro Casagrande, denominados como Áreas Verdes Florestais(V.V) no Mapa de Zoneamento do Uso, que faz parte integrante da Lei 2.039/84, terão seu uso e ocupação regidos pela presente lei;

Art. 2º. As áreas Verdes Florestais (V.V) dos Morros Cechinel e Casagrande serão divididas para seu Uso e Ocupação em áreas de

Preservação Permanente (P.P), Áreas de Preservação com Uso Limitado(P.L) e áreas Residenciais com Restrições;

Art. 3º. As áreas de Preservação Permanente (P.P), são áreas “Non Aedificandi”, ressalvados os usos públicos necessários sendo nelas vedada a supressão da floresta e das demais formas de vegetação, a exploração mineral, bem como o depósito de resíduos sólidos;

Art. 4º. As P.P. compreendem o topo do Morro Cechinel a partir da cota de altitude 260m (duzentos e sessenta metros) e o topo do Morro Casa Grande a partir da cota de altitude 140m (figura 17) e as áreas de mais de 3000 m²(três mil metros quadrados) com declividade acima de 46%;

Art. 5º. As áreas de Preservação com Uso Limitado - P.L. são áreas onde não é permitido o parcelamento do solo, a abertura ou prolongamento de vias de circulação de veículos, salvo as obras de melhorias dos acessos públicos oficiais existentes e a implantação dos acessos privativos às edificações residenciais quando permitidas;

Art. 6º. As P.L., compreendem as áreas de mais de 5.000 m²(cinco mil metros quadrados) com declividade entre 30%(trinta por cento) e 46%(quarenta e seis por cento);

Art. 7º. Nas P.L., permitir-se-á uso de residências unifamiliares, e equipamentos públicos essenciais.

Parágrafo único. Os limites de ocupação para as P.L. será regido pelos seguintes parâmetros:

I- Índice de aproveitamento IA = 0,1(zero vírgula um)

II- Taxa de Ocupação TO = 10%(dez por cento)

III- Número de Pavimentos N^o = 2(dois)

Art. 8o. As áreas não inseridas nas PP e PL são Áreas Residenciais com Restrições - R.R. e seu uso é destinado a residências unifamiliares, sendo seu parcelamento permitido em lotes nas dimensões discriminadas nos parágrafos 1º e 2º deste artigo.

§ 1o. Lotes com área mínima de 750 m² (setecentos e cinquenta metros quadrados), quando toda sua área tiver inclinação inferior a 30%(trinta por cento); seus limites de ocupação serão regidos pelos seguintes parâmetros:

I- Índice de aproveitamento IA = 0,3(zero vírgula três)

II- Taxa de Ocupação TO = 30%(trinta por cento)

III -Número de Pavimentos N^o de PAV = 2(dois)

2o. Lotes com área mínima de 1.500 m²(um mil e quinhentos metros quadrados), quando no máximo metade de sua área tiver inclinação igual ou superior a 30%(trinta por cento). Seu limite de Ocupação será regido pelos seguintes parâmetros:

I- Índice de aproveitamento IA = 0,25;

II- Taxa de Ocupação TO = 25%;

III- Número de Pavimentos N° de PAV = 2

Art. 9o. Nas áreas residenciais com restrições deverá ser mantida a cobertura vegetal existente, sendo permitido o corte de árvores indispensáveis à implantação das edificações, quando permitidas, vedada à exploração mineral;

Art. 10. Para efeito dos cortes de árvores, considera-se superfície indispensável à implantação das edificações até 10%(dez por cento) acima das taxas de ocupação permitida para a construção, respeitada a Legislação específica, e, especialmente, as disposições da Lei nº 2.332, de 26.09.88 e das demais normas regulamentadoras.

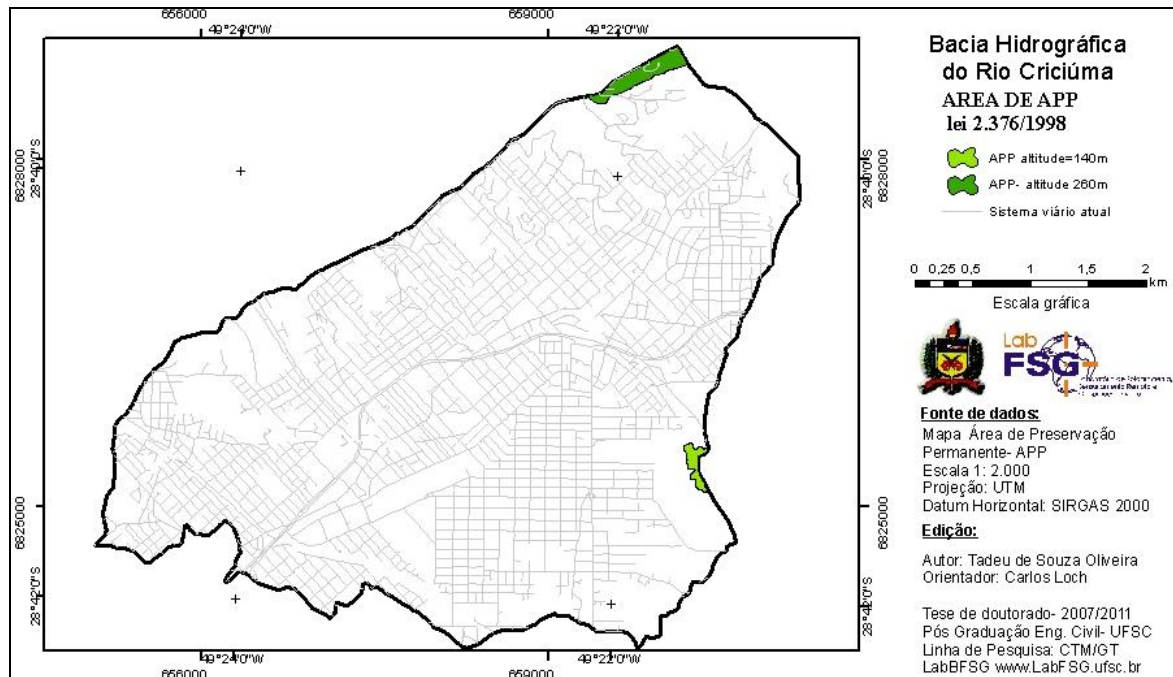


Figura 17: área nos morros Casagrande e Cechinel limitada pelas curvas de nível nas altitudes 140m e 260m

Esta medida resultou em uma área de preservação de 0,0495Km² ou 49,50ha, representando apenas 0,26% da área total da bacia hidrográfica do rio Criciúma.

Somente em 1992, a 4 de março surge uma nova medida regulamentando questões relativas ao plano diretor de 1984 com interferência direta nas questões do centro urbano de Criciúma, é a Lei 2.666 que “estabelece normas para regulamentação das obras construídas em desacordo com o plano diretor urbano”

Art. 1º “as obras concluídas e iniciadas até esta data, que se encontram em desacordo com o Plano Diretor Urbano, poderão estar livres de ação judicial demolitória, desde que seus proprietários não tenham cometido irregularidades que venham a comprometer a segurança dos moradores e transeuntes e que não sejam reincidente”.

Nota-se nesta normativa a simples intensão de regularizar burocraticamente as edificações fora dos padrões do plano diretor, o qual estava em vigência desde 1984, porém sem a obrigatoriedade de ajustar às regras vigentes.

Percebe-se também uma incoerência nesta lei, na redação do parágrafo único do Art. 4º, “ os proprietários que não procederem à regularização, sofrerão a partir desta data, as penalidades previstas no art. 36º, do plano diretor urbano (Lei nº 947, de 17/04/73)” referindo-se ao plano diretor de 1973 já revogado, enquanto o que estava em vigência era o de 1984.

As zonas de uso estabelecidas em 1984 pela Lei 2.039 são alteradas pela Lei 2.845 de 24 de maio de 1993 e traz a seguinte redação:

Art. 1º. Fica fazendo parte integrante da presente Lei, o Mapa de Zoneamento do Uso do Solo, escala 1/10.000, que modifica as Zonas de Uso RE (Exclusivamente Residencial), RP (Predominantemente Residencial) e MD (Misto Diversificado) do Mapa de Zoneamento de Uso do Solo, integrante da Lei nº 2.039, de 29.11.84.

Art. 2º. No Mapa de Zoneamento do Uso do Solo, os terrenos com frente para a Rua Esteves Júnior, Rua nº260 e travessa sem denominação, defronte ao Hospital São João Batista, entre as Ruas Esteves Júnior e Dep. Guglielmi Sobrinho e o terreno do Hospital São João Batista, passam a integrar Zona de Uso Predominantemente Residencial - RP, com os seguintes parâmetros urbanísticos:

- Número de pavimentos: 2,0(dois)
- Índice de aproveitamento: 0,75(zero vírgula setenta e cinco)
- Taxa de ocupação: 60%(sessenta por cento)

Art. 4º. No Mapa de Zoneamento do Uso do Solo, os terrenos com frente para a SC-443, com profundidade máxima de 50,00m (cinquenta metros), no trecho compreendido entre a Rua Antônio Daré e o limite da Zona Urbana passam a integrar Zona de Uso Misto Diversificado - Md, com os seguintes parâmetros urbanísticos:

- Número de pavimentos: 2,0(dois)
- Índice de aproveitamento: 0,75(zero vírgula setenta e cinco)
- Taxa de ocupação: 60%(sessenta por cento)

Estas alterações permitem aumentar a densidade demográfica, as quais irão usufruir a mesma infraestrutura estabelecida para uma ocupação populacional menor.

Em 30 de agosto de 1994, são sancionadas diretrizes e medidas para preservação do meio ambiente e recursos naturais com a Lei 2.974/94 com os seguintes artigos:

Art. 5o. O Poder Executivo Municipal poderá, mediante Lei, criar áreas de proteção especial e zonas de reserva ambiental, visando preservá-las e adequá-las aos objetos desta Lei.

§ 1o. As áreas de que trata este artigo, compreenderão:

I- Locais adjacentes a Parques Municipais, Estações Ecológicas e bens tombados pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional, Estadual e Municipal;

II- Áreas de formação vegetal defensivas à erosão de encostas e local de grande circulação biológica;

III- Mananciais de água, nascentes de rios e fontes hidrominerais;

IV- Sítios de interesse cultural e científico.

§ 2o. Os procedimentos necessários poderão ser solicitados por Órgãos da Administração Pública Municipal ou por qualquer interessado.

Art. 6o. Para efeitos desta Lei, considera-se:

I- Bem tombado: a área delimitada para proteger monumento arquitetônico, paisagístico e arqueológico;

III- Áreas de formação vegetais defensivas à erosão de encostas e de ambiente de grande circulação biológica: a região sensível ao desgaste natural onde a cobertura vegetal preserva, permanentemente, o solo;

III- Manancial de água, a bacia hidrográfica, desde as nascentes até as barragens de captação e as águas de abastecimento;

IV- Fontes hidrominerais: as nascentes de água contendo características físico-químicas especiais, com potencial para exploração econômica;

V- Sítios de interesse cultural e científico: a área com atributos ambientais relevantes ao desenvolvimento de pesquisas científicas e aprimoramento cultural.

Art. 7º. São considerados locais adjacentes, para efeitos de proteção:

I- A faixa de terras de 500 m de largura, em torno:

II- Dos Parques Municipais;

III- Das estações ecológicas ou reservas biológicas.

IV- Faixa razoável que objetiva preservar em torno dos bens arqueológicos, paisagísticos e arquitetônicos tombados em lei.

Parágrafo Único. Considera-se de preservação permanente, para efeitos desta Lei, as Florestas e demais formas de vegetação natural situada:

I- Ao longo dos rios ou qualquer curso d'água, desde o nível mais alto, em faixa marginal, cuja largura mínima seja:

II- De 30 m para os cursos d'água com menos de 10 m de largura;

III- De 50 m para cursos d'água que tenham de 10 m a 50 m de largura;

IV- De 100 m para cursos d'água que tenham de 50 m a 200 m de largura.

V- Ao redor das lagoas, lagos ou reservatórios d'água ou artificiais;

VI- Nas nascentes ainda que intermitentes e nos chamados "olhos d'água", qualquer que seja a situação fotográfica, num raio mínimo de 50 m de largura.

A 20 de dezembro de 1996, a Lei 2.039/84 (Plano Diretor) mais uma vez sofre alteração pela Lei 3.384/96 que modifica as funções de uma área anteriormente definida pelo plano diretor de 1984. Estas mudanças incluem uma área de exploração mineral como área de uso permanente residencial permitindo um adensamento razoavelmente grande ao indicar a possibilidade de construções de edificações com quatro pavimentos.

Art. 1º. No Mapa de Zoneamento do Uso do Solo, a área delimitada pela Avenida Universitária, Rua Irmão Valmir Orsi e Rio Sangão, de uso de interesse especial - Exploração mineral e alteração da superfície do solo passam a integrar a Zona de Uso do Predominantemente Residencial - RP, com os seguintes parâmetros urbanísticos:

I- Número de pavimentos.....04(quatro)

II- Índice de aproveitamento.....0,75

III- Taxa de Ocupação.....60%

4.7. O Plano Diretor de 1999

Chega-se então, ao Plano Diretor vigente, o qual foi implementado em 1999 pela Lei 3.900 (figura 18). Este será substituído em 2011 com novas ações baseadas no estatuto da cidade, lei 10.257/2001.

O novo plano apresenta uma divisão diferenciada dos seus antecessores, dividindo o município apenas em zona urbana com suas subdivisões e zona rural, assim definidas:

Art. 4º O território do município fica dividido em Zona Urbana e Zona Rural.

Art. 6º Constitui Zona Rural a parcela do território municipal não incluída na Zona Urbana, destinada às atividades primárias e de produção de alimentos, bem como às atividades de reflorestamento, de mineração e outros.

Art. 7º A Zona Urbana fica subdividida para fins de disciplinamento do uso e da ocupação do solo.

ZEP 1 - Zona Especial de Preservação 1 - Corresponde às áreas protegidas por legislação e é uma zona adequada para implantação de parques municipais e atividades afins, apresentando declividade de até 30%, podendo ser liberadas construções de residências, observadas as leis superiores que regem o assunto; caracteriza-se por ser imprópria à ocupação urbana devido aos riscos que o meio físico apresenta, tais como: contaminação das nascentes e áreas de recarga de aquíferos.

ZEP 2 - Zona Especial de Preservação 2 - Corresponde às áreas com sérias restrições físicas à ocupação, determinando uma ocupação extensiva. Apresenta declividade entre 30% e 45%, alta suscetibilidade à erosão e vegetação nativa, podendo ser liberadas construções de residências. O quadro 5.1.2 apresenta as relações das zonas com seus respectivos índices urbanísticos. As Zonas conatantes da figura 5.1.7 são assim definidas:

- a) ZR – Zona residencial;
- b) ZM – Zona mista;
- c) ZC – Zona comercial;
- d) CAM – Centro administrativo municipal;
- e) ZEP – Zona especial de preservação;
- f) ADL – Área Degradada específica para Lazer.

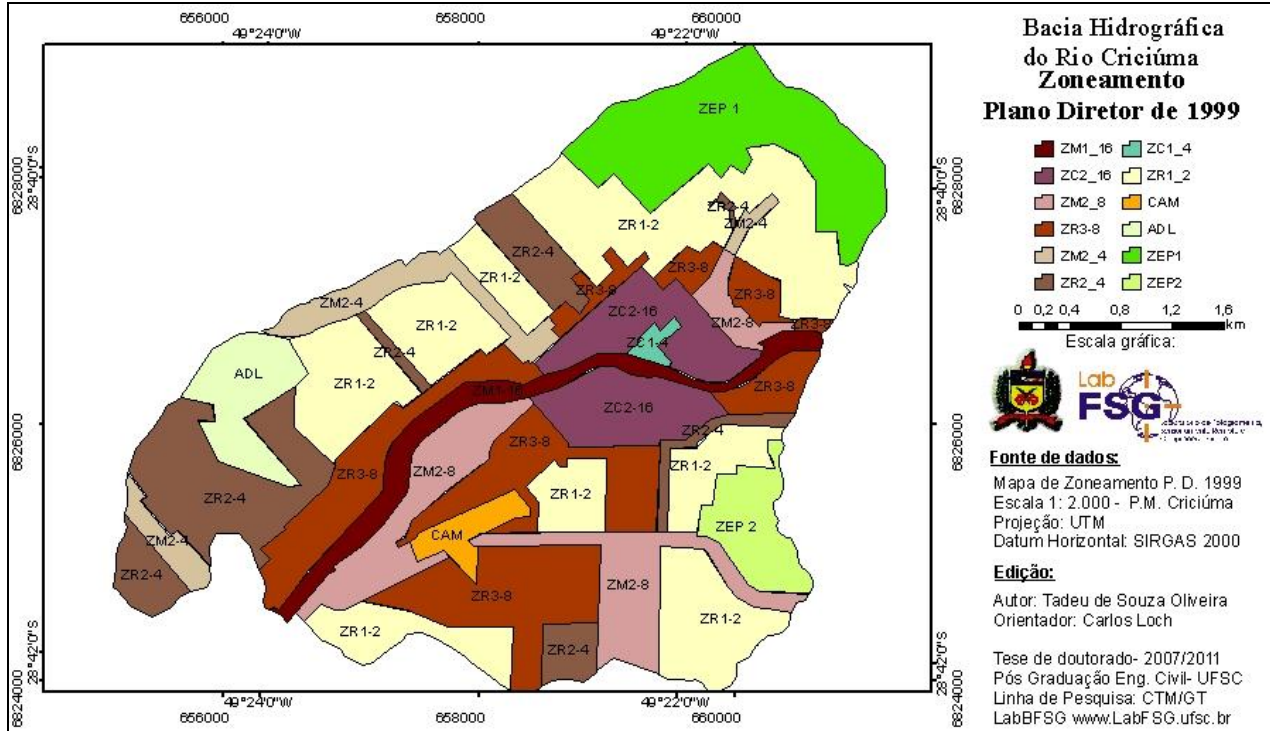


Figura 18: bacia do rio criciúma com o plano diretor de 1999.

Seguindo a tendência de planos diretores anteriores e até mesmo àqueles aplicados na maioria dos municípios brasileiros, este tem seu principal foco nos regimes urbanísticos, disciplinando as edificações, não contemplando as questões relativas às características físicas de uma bacia hidrográfica em transformação e aos recursos hídricos dentro destas. Apresenta apenas um atributo diferente dos planos anteriores e que pode ter influência no escoamento superficial da bacia hidrográfica. Trata-se da Taxa de infiltração que juntamente com o regime urbanístico estão a seguir especificados:

Art. 10. A cada zona corresponderá um regime urbanístico, composto pelos seguintes indicadores (quadro 3):

I - Índice de aproveitamento (IA) - é o quociente entre a área máxima construída total do lote;

II - Taxa de ocupação (TO) - é a relação entre a projeção horizontal máxima das edificações sobre o lote e a área total do lote.

III - Taxa de infiltração (TI) - é a relação entre a área livre do lote para infiltração d'água e a área total do lote (não podendo ter projeção ou área construída sobre esta faixa de área).

Quadro 3: índices urbanísticos plano diretor 1999

ZONA	Num. Pvtk	IA	TO	TI
ZEP1	2	0,25	15	70
ZEP 2	2	0,10	5	90
ZR 1	2	0,75	60	20
ZR 2	4	1,00	60	20
ZR 3	8	2,00	60	20
ZM 1	16	4,00	80 p/ térreo 60 p/os demais pav.	20
ZM 2	4	2,00	60	20
ZC 1	4	3,00	80	20
ZC 2	16	4,00	80 p/ térreo 60 p/os demais pav.	20
ZI 1 e ZI 2		1,00	50	30

4.7.1. Da Política Municipal do Meio Ambiente

Art. 1º A Política Ambiental do Município, respeitadas as competências da União e do Estado, tem por objeto a conservação e a recuperação do meio ambiente e a melhoria da qualidade de vida dos habitantes de Criciúma.

Art. 2º Para os fins previstos nesta Lei entende-se por:

I - meio ambiente - o conjunto de condições, leis, influências e interações de ordem física, química, biológica, social, cultural e política, que permite, abriga e rege a vida em todas as suas formas;

II - degradação da qualidade ambiental - a alteração adversa das características do meio ambiente;

III - poluição - a degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que, direta ou indiretamente:

a) prejudique a saúde, o sossego, a segurança ou o bem estar da população;

b) crie condições adversas às atividades sociais e econômicas;

c) afete desfavoravelmente a fauna, a flora ou qualquer recurso ambiental;

d) afete as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente;

e) lance matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos;

f) ocasione danos relevantes aos acervos histórico, cultural e paisagístico.

IV - agente poluidor - pessoa física ou jurídica de direito público ou privado, responsável direta ou indiretamente por atividade causadora de degradação ambiental;

V - recursos ambientais - a atmosfera, as águas superficiais e subterrâneas, o solo, o subsolo e os elementos da biosfera;

VI - poluente - toda e qualquer forma de matéria ou energia que provoque poluição nos termos deste artigo, em quantidade, em concentração ou com característica em desacordo com as que forem estabelecidas em decorrência desta Lei, respeitadas as legislações federal e estadual;

VII - fonte poluidora - considera-se fonte poluidora efetiva ou potencial, toda atividade, processo, operação, maquinaria, equipamento ou dispositivo fixo ou móvel, que cause ou possa causar emissão ou lançamento de poluentes, ou qualquer outra espécie de degradação da qualidade ambiental.

4.8. O avanço da expansão urbana. Avaliação dos vãos fotogramétricos de 1956, 1978 e 2006.

Em 1957 quando o município desenvolveu seu primeiro plano diretor, apenas 29,35% da bacia do Rio Criciúma estava ocupada pela urbanização (figura 19). Observa-se também que a vegetação já estava em avançado estado de supressão. A localização do aeroporto ainda em construção neste mesmo ano mostra uma tendência em expandir a ocupação urbana no sentido sudeste, anos mais tarde foi retirado por ser incompatível com o meio urbano.

A implantação do aeroporto na zona urbana foi um grande impacto para a bacia hidrográfica ao avaliar-se a interferência sobre três canais afluentes de grande importância para a sua drenagem (figura 20).

Em 1978 a cidade já apresentava um crescimento muito elevado em relação a 1956, quando a área tomada pela urbanização chegava a 65,18% da área total (figura 21).

Ao avaliar-se a imagem de satélite GEOEYE de 2009, observa-se a total transformação da bacia hidrográfica com a supressão quase na totalidade da rede de drenagem que em 1956 ainda estava conservada.

O maior impacto da urbanização se deu entre 1956 e 1978. Ao analisarmos as imagens no período de 1956 a 2009 registra-se que o acréscimo da expansão urbana foi menor no período pós 1978.

A mancha urbana em 1956 ocupava uma área de 5,58 km², em 1978 12,39 km² e em 2006 atingiu 14,02 km². Entre os anos de 1956 e 1978 houve um grande aumento da ocupação do solo e entre 1978 e 2009 (figura 22) ocorreu à verticalização do centro da cidade. A figura 23 apresenta o mapa de evolução e o quadro 4 um resumo das áreas urbanizadas e seus respectivos índices em relação à área total da bacia.

Quadro 4: resumo das áreas urbanizadas por ano analisado

Ano	Área ocupada km ²	Índice %	Acréscimo Km ²	Acréscimo %
1956	5,58	29,35	0	0
1978	12,39	65,18	6,81	35,83
2006	14,02	73,75	1,63	8,57

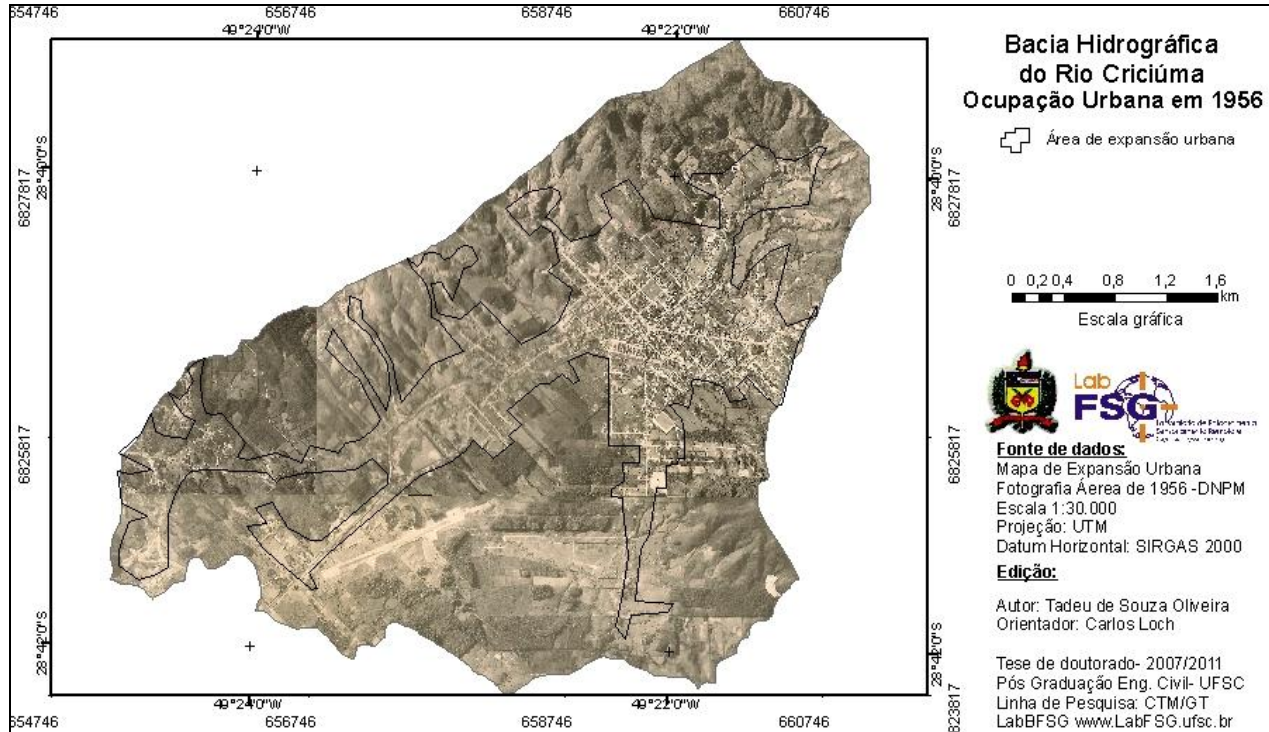


Figura 19: área de expansão urbana da bacia do rio criciúma em 1956.

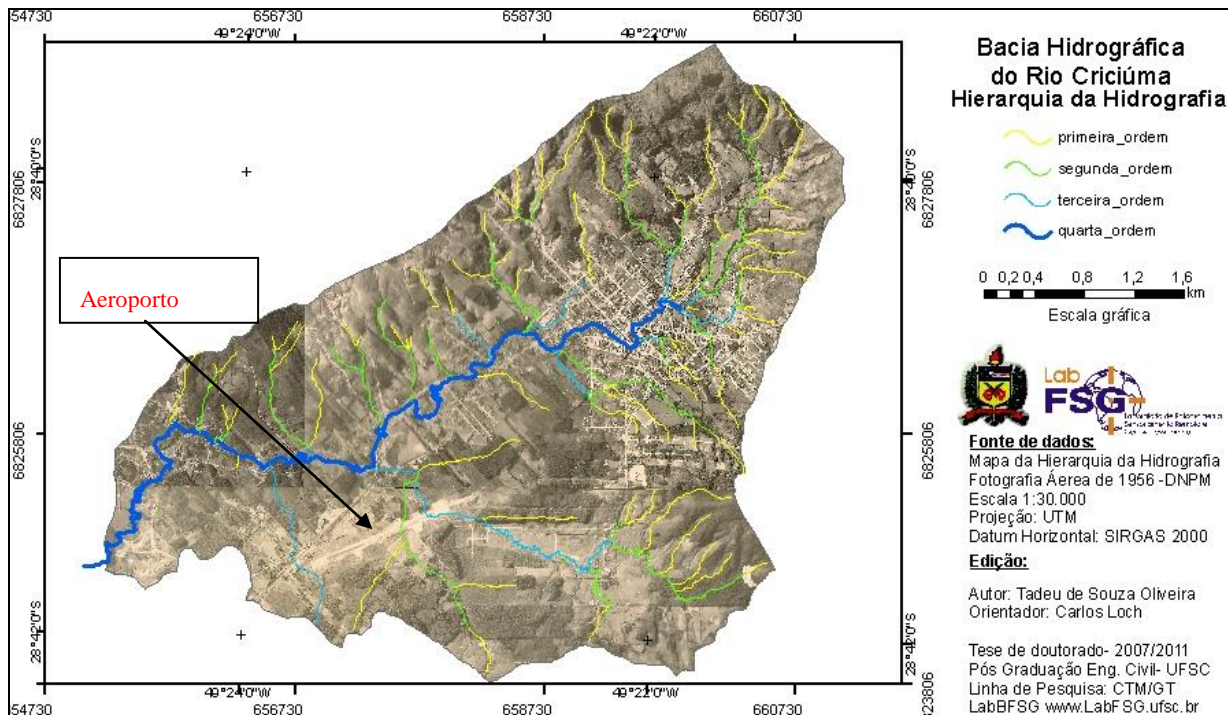


Figura 20: sobreposição da hidrografia e foto aérea de 1956

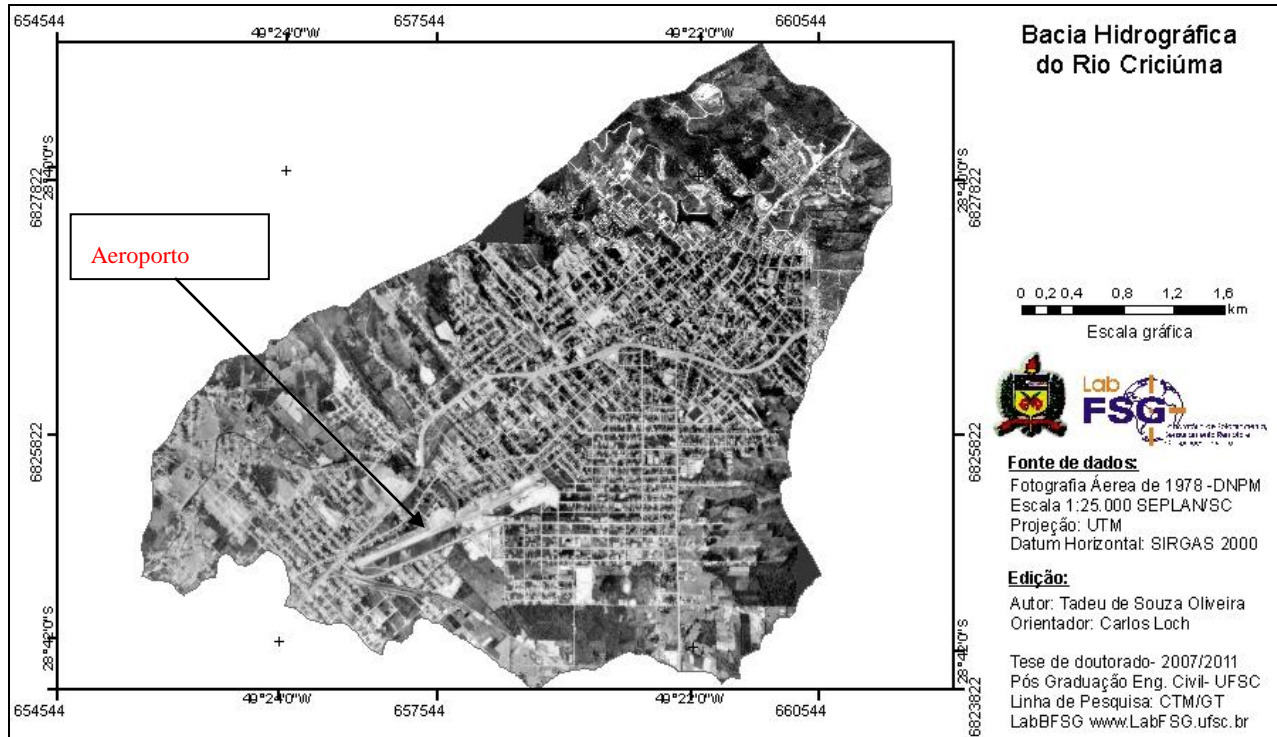


Figura 21: foto aérea da bacia do rio criciúma em 1978

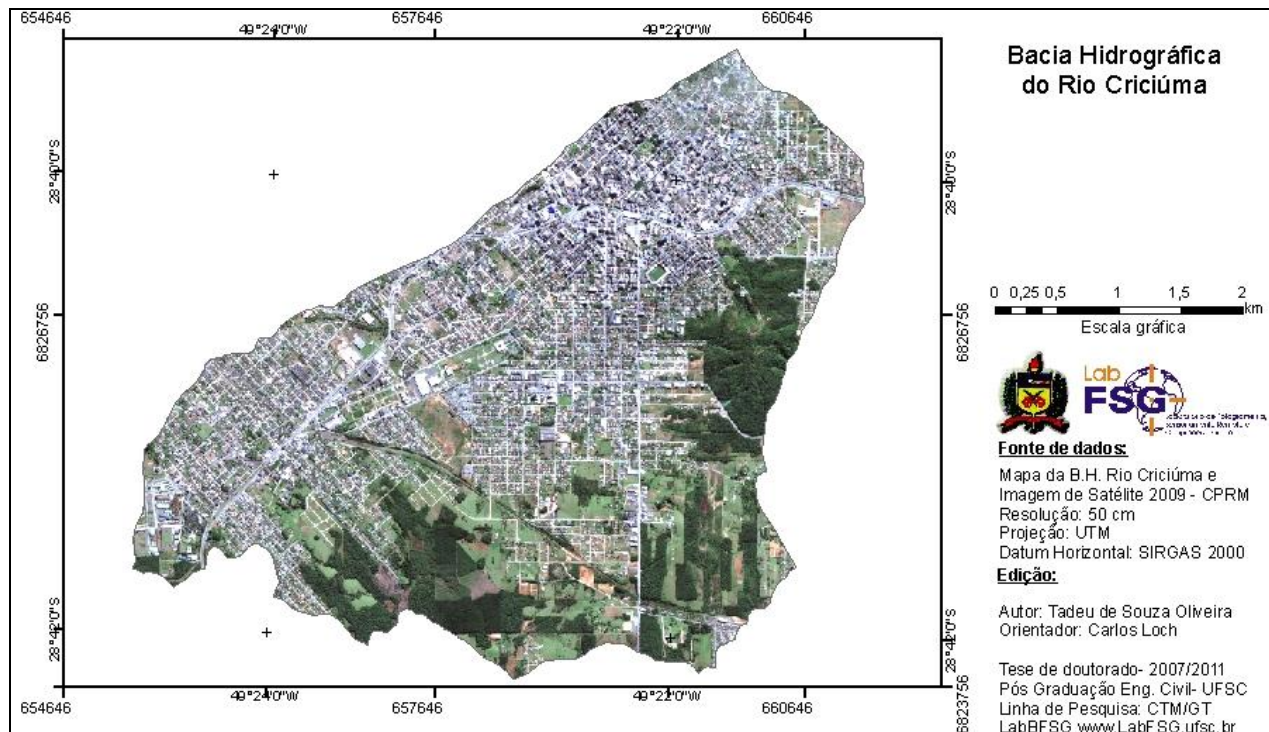


Figura 22: foto aérea da bacia do rio criciúma em 2009

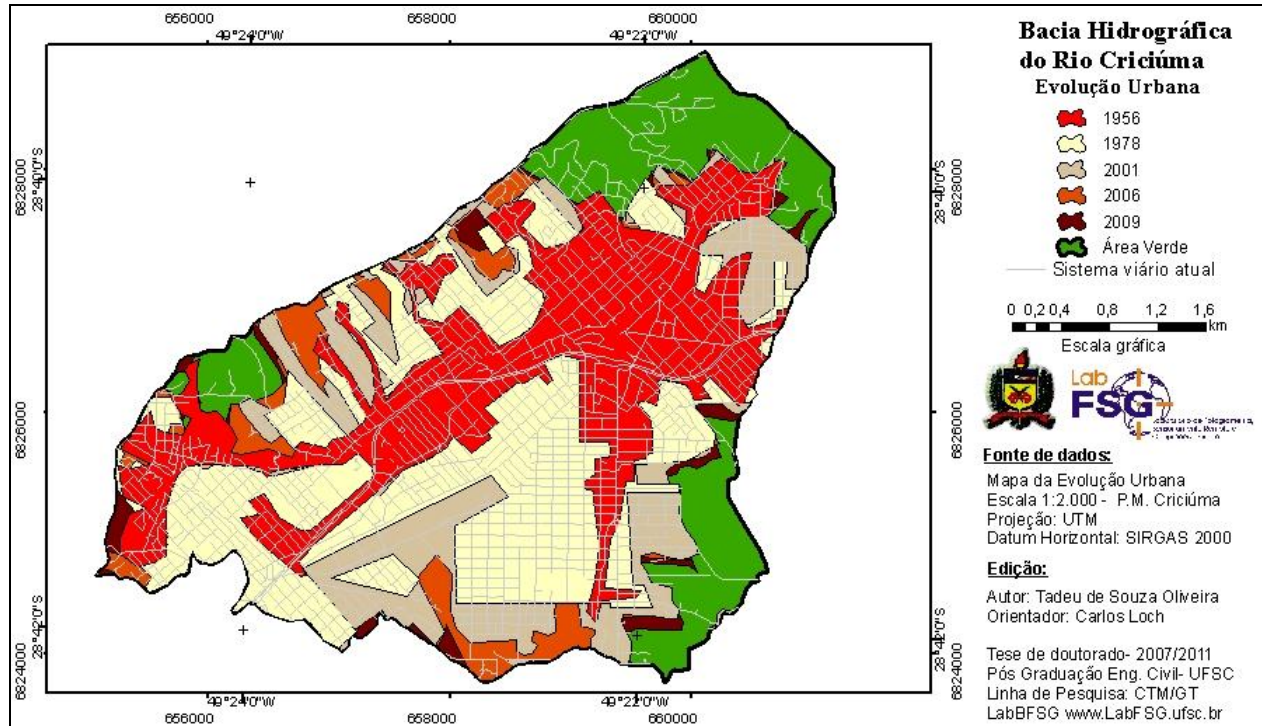


Figura 23: mapa de evolução urbana 1956 a 2009

4.9. Análise

Os quadros 5 e 6 apresenta um resumo da legislação de forma cronológica e sua correlação com o problema desta pesquisa.

Quadro 5: resumo cronológico da legislação -1

Lei	Ano	Principal instrução.	Relação com o tema estudado
107	1953	Autorização para o plano urbanístico.	Previa ruas paralelas ao rio Criciúma.
111	1953	Divisão do município em três distritos.	Sem correlação.
163	1955	Instrui sobre cobrança de IPTU nos distritos apontados na Lei 111.	Sem correlação.
183	1956	Plano rodoviário.	Lançamento do plano rodoviário antes do plano diretor
208	1957	Plano urbanístico.	A da avenida paralela ao rio Criciúma prevista na Lei 107 é suprimida neste plano.
305	1960	Isenção de impostos para construir edifícios com mais de 10 pavimentos.	Inicia-se neste ano o incentivo a uma característica que perdura até hoje na cultura do município, a aglomeração no centro da cidade, uma área relativamente pequena.
316	1960	Altera o perímetro urbano da Lei 111.	Potencialização do aumento da densidade de edificações.
680	1967	Regulamenta a área mínima de um lote urbano para 600m ² .	Surge a primeira ação de regulamentação de ocupação territorial.

Quadro 6: resumo cronológico da legislação - 2

947	1973	Primeiro plano diretor.	a) Canalização de córregos e alagadiços; b) Área mínima do lote 600m ² ; c) Taxa de ocupação 30%.
1193	1975	Regulamenta a relação do usuário com a infraestrutura proibindo danos à ruas, passeios e meio fio.	Primeira ação contra o mau uso e vandalismo sobre os dispositivos de drenagem urbana.
2039	1984	Novo Plano diretor.	a) Altera a taxa de ocupação para 60%; b) Institui área verde nos lotes de 20%; c) Institui as primeiras áreas de preservação.
2314	1988	Aumento da taxa de ocupação no Bairro São Luiz	Institui 60% de taxa de ocupação.
2666	1992	Regulariza obras em desacordo com o plano diretor	Ocupação da área do rio Criciúma.
2974	1994	Criação de áreas reserva ambiental	Posteriormente surgem as reservas do Morro do Casagrande e do Morro Cechinel.
3900	1999	Novo Plano diretor	a) Mantem as taxas de ocupações; b) Permite construção nas áreas de APP com restrição na taxa de ocupação.

4.10. Avaliação

As avaliações partem da comparação dos aspectos de cada lei, suas mudanças e benefícios ao planejamento urbano e interferência no sistema de drenagem. Com as fotografias aéreas, verificaram-se os avanços da urbanização com a proximidade ou mesmo supressão da drenagem natural da bacia.

Ao analisar a cronologia das leis observa-se que a manutenção da avenida beira rio prevista em 1953, proporcionaria afastamentos das edificações do Rio Criciúma mesmo nos dias de hoje. A maior dificuldade dos dias atuais é aplicações de ações corretivas ao longo da calha do rio pela presença de edifícios junto às margens e até mesmo totalmente sobre o leito.

O lançamento do plano rodoviário em 1956 e o plano diretor em 1957 demonstram uma falta de sintonia na preparação das ações de planejamento urbano, planos desta importância devem fazer parte de uma única ação para evitar-se conflitos.

No período entre 1956 e 1973 houve ações da gestão pública que permitiram o adensamento populacional na bacia do Rio Criciúma, com leis de incentivo principalmente a edifícios com mais de 10 pavimentos. Em 1973 a limitação para ocupação do lote em 30% é a metade da exigência de hoje, e que foi alterada no plano diretor de 1984. Esta medida contribuiu para o significativo aumento das taxas de impermeabilização do solo por tipo de uso, demonstrado no item 5.4 deste capítulo.

Um dos temas desta pesquisa, discutido no item 5.5 deste capítulo possui leis para inibição do problema, trata-se da degradação do sistema de drenagem pelas ações humanas de vandalismo e mau uso. No entanto, o que se percebe no estudo do item 4.5 é que esta legislação não é aplicada.

A instituição de exigência para reserva de área verde nos lotes em 20% é no intuito de reter-se uma parcela de águas de escoamento superficial oriundas das precipitações. Esta exigência colocada apenas como área do lote não possui valor representativo que possa auxiliar na retenção das águas em nível de lote. O solo da bacia do Rio Criciúma é formado por material argiloso de baixa capacidade de infiltração, como mostra as análises do item 5.4 deste capítulo.

No período entre 1984 e 1999 os planos diretores lançados nestes anos apresentam uma proximidade ao analisarem-se os valores para taxa de ocupação do lote, área reservada para infiltração e a criação de áreas de

preservação. Apenas há a inclusão no plano diretor de 1999 de legitimação de construções nas áreas de preservação criadas nos morros do Céu e Cechinel respectivamente. Mesmo que estas possuem taxas de ocupações específicas e muito baixas, 15% para o morro do Casagrande e 10% para o morro Cechinel, estas áreas ficam expostas a vulnerabilidade.

Em 1992 o município decreta a legalidade de construção dentro da área de APP do Rio Criciúma ao permitir a regularização das construções em desacordo com o plano diretor. Nesta ação, as obras em andamento junto às margens do Rio Criciúma também foram regularizadas, mesmo contrariamente a legislação federal, o código florestal, o qual recomenda para rios de até 10m de largura uma faixa de preservação de 30m.

Atualmente há um novo plano diretor em discussão sem acordo entre a gestão municipal e outros segmentos da sociedade, uma vez que o plano é participativo, aguardando aprovação.

No contexto das imagens, as análises levam claramente à supressão da rede hidrográfica, pelo menos de nossas vistas. Foram canalizadas via regulamentação ainda em 1973, com as orientações de canalização de córregos e alagadiços para ocupação, sendo que a retificação do Rio Criciúma ocorreu no final da década de 1950.

CAPÍTULO 5

5. CARACTERIZAÇÃO HDROLÓGICA E FÍSICA DA BACIA DO RIO CRICIÚMA

5.1. Método de caracterização e levantamento dos dados

Para a realização deste objetivo específico, a bacia foi caracterizada física e hidrologicamente nas condições de uso e ocupação do solo nos anos de 1956 e 2006. As características físicas-topográficas foram obtidas a partir das informações coletadas na base cartográfica com curvas de nível de metro em metro na escala 1:2.000. Os dados físico-topográficos são a área, perímetro, comprimento total do rio principal (Rio Criciúma), comprimento axial, altitude do ponto mais alto, altitude do ponto mais baixo e comprimento total das drenagens. Para validação e conferência da hidrografia constante na base cartográfica, procedeu-se a estereoscopia das fotografias aéreas de 1956 com estereoscópio de espelhos.

A caracterização hidrológica obteve-se com o levantamento dos dados pluviométricos e equações de chuvas intensas aplicadas ao município de Criciúma. A partir dos dados físico-topográficos, a bacia foi caracterizada por índices representativos de sua forma física tais como: Coeficiente de compacidade de Graveluis (Kc); Fator de forma ou índice de conformação (Kf); Densidade hidrográfica (Dh); Densidade de drenagem (Dd); Amplitude altimétrica (Aa); Relação do relevo (Rr); Índice de rugosidade (Ir); Índice de circularidade (Ic). Os dados de climatologia do município considerados neste trabalho se referem às características climáticas regionais sendo que as informações foram obtidas na Estação meteorológica de Urussanga. A utilização dos dados da estação de Urussanga justifica-se por dispor de dados de longas séries, obtendo assim, resultados mais precisos.

5.2. Método de análise

Para realizar as análises das características físicas e hidrológicas da bacia do Rio Criciúma, procedeu-se todos os cálculos dos parâmetros morfométricos: Coeficiente de compacidade de Graveluis (Kc); Fator de forma ou índice de conformação (Kf); Densidade hidrográfica (Dh); Densidade de drenagem (Dd); Amplitude altimétrica (Aa); Relação do

relevo (Rr); Índice de rugosidade (Ir); Índice de circularidade (Ic). Faz-se também análises separadamente dos hidrogramas unitários para os anos de 1956 e 2006 nas condições dos grupos hidrológicos C e D, analisando-se também o coeficiente de escoamento superficial caracterizado pelo Curve Number – CN. De posse dos valores representativos das características físicas e hidrológicas da bacia em cada um dos anos acima indicados, passa-se às avaliações.

5.3. Método de avaliação

As avaliações são realizadas com a definição dos valores numéricos e também pela comparação dos índices característicos e representativos de cada ano, observando as alterações ocorridas temporalmente. Fatores físico-topográficos tais como área, perímetro, comprimento axial e pontos de altitude mais altos e mais baixos respectivamente, não apresentam alterações. As diferenças ou relações entre fatores físicos medidos temporalmente representam, em números, as alterações impostas pela expansão urbana, da mesma forma é aplicado aos fatores hidrológicos.

Neste capítulo estudou-se a bacia hidrográfica completa, sem sub divisões, determinado-se hidrogramas unitários e vazões de pico e totais.

5.4. Levantamento de dados pluviométricos e equação de chuvas intensas.

a) Dados Meteorológicos

Os dados de climatologia do município considerados neste trabalho se referem às características climáticas regionais com variação de temperaturas máxima, média, mínima e precipitação total mensal, (figura 24). As informações foram obtidas na Estação meteorológica de Urussanga, contudo existem outras Estações Meteorológicas, como as de Araranguá, Turvo e Criciúma, entre outras. Usou-se a primeira por ela apresentar dados de longas séries, obtendo assim, resultados mais precisos.

Os fatores de continentalidade, latitude, altitude, massas de ar, correntes oceânicas e radiação solar interferem na magnitude e variação dos componentes climáticos como temperatura, precipitação, velocidade do vento, umidade e pressão atmosférica que, por sua vez, influenciam no clima de uma região. Os mesmos ajudam na interação entre as

características climáticas e as condições das águas de uma determinada bacia (BACK, 1999).

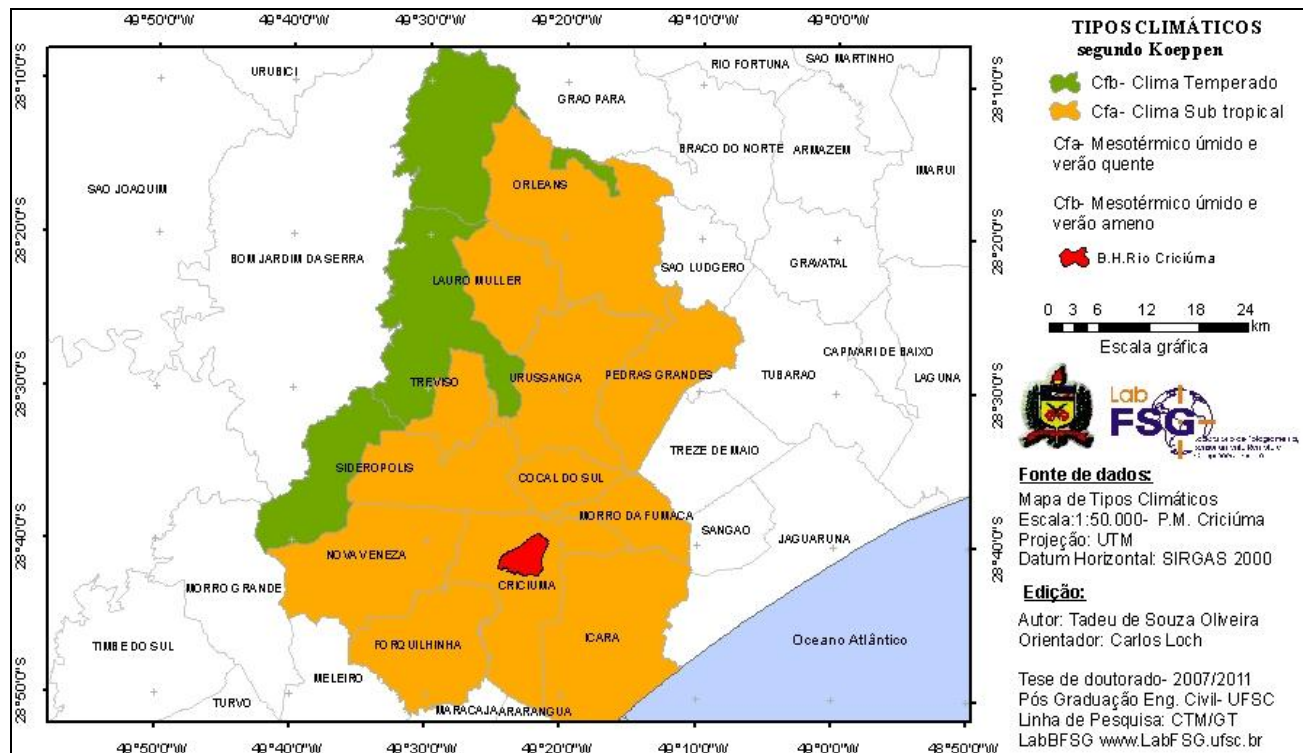


Figura 24: mapa do clima na região carbonífera – AMREC

b) Temperatura

De acordo com Back (2009), a região sul de Santa Catarina considera o clima segundo a classificação de Köppen, ou seja, do tipo Cfa, (mesotérmico, úmido e com verão quente), apresentando inverno com temperatura média menor que 18°C, sem estação seca definida e com verões quentes com temperatura superior a 22°C. A insolação varia de 2.000 a 2.200 horas anual e umidade relativa média do ar em torno de 80% com valores mais altos no inverno e menores no verão, variando entre 79,1% em dezembro a 87,5 em junho, conforme a Estação Meteorológica de Urussanga. A figura 25 ilustra a variação mensal da temperatura e o mapa da figura 26 a distribuição para a região carbonífera do Estado de Santa Catarina.

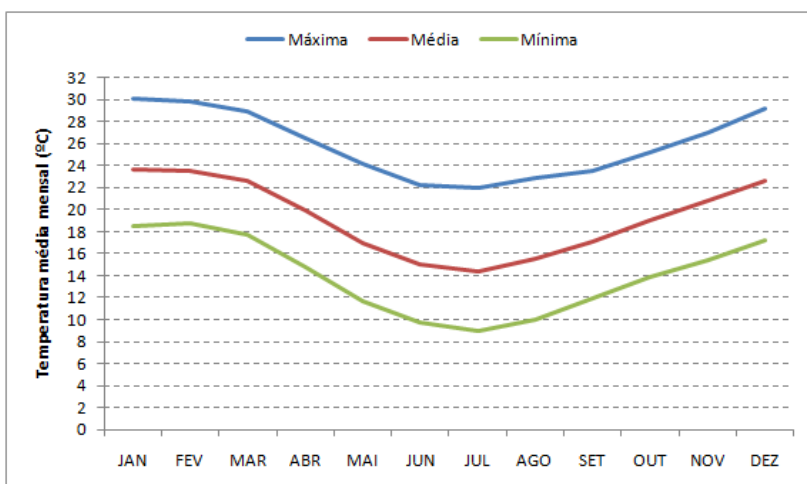


Figura 25: variação das temperaturas máxima, média e mínima (série 1924-2009).

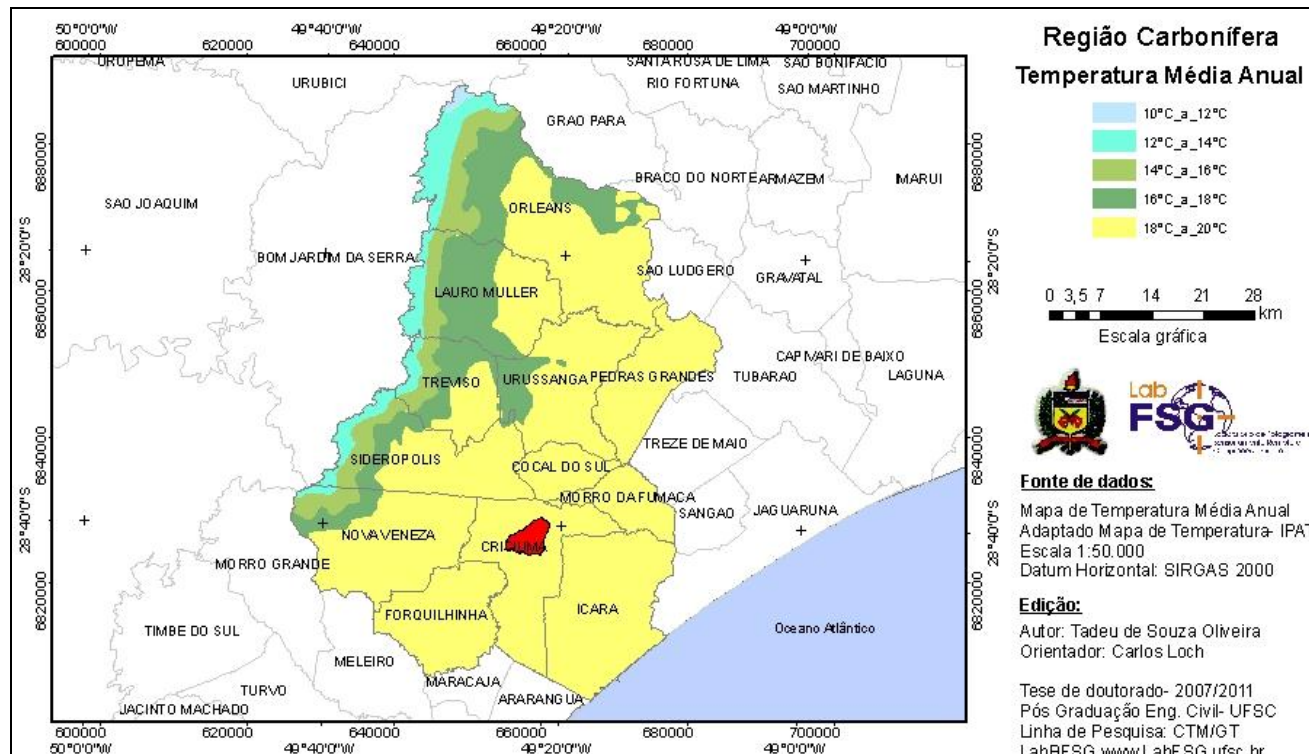


Figura 26: distribuição das temperaturas na região carbonífera.

c) Precipitação

Segundo Back (2009), a precipitação em Santa Catarina geralmente é bem distribuída o ano todo, podendo variar entre 1.220 a 2.200 mm. No litoral Sul a precipitação anual varia de 1.220 a 1.660 mm perfazendo um total de 98 a 150 dias de chuva. Para o mesmo autor este fato decorre devido às características do relevo e da atuação da Massa de ar Polar Atlântica e da Massa Tropical Atlântica, que não permitem a ocorrência de seca.

Devido as correntes frias das Malvinas e a passagem livre dos ventos vindos do oceano que perdem sua umidade pela rota que faz entre o mar até as encostas da Serra Geral, o litoral sul possui menor valor na precipitação (ORSELLI, 1986 apud BACK 2009).

Como a precipitação é uma variável da meteorologia com grande variabilidade temporal, geralmente proporciona eventos climáticos extremos como enchentes e estiagens. A figura 27 apresenta o mapa de distribuição da precipitação na região carbonífera e a figura 28 a variação da precipitação e evaporação.

Pela magnitude e importância destes eventos, deve-se conhecer as probabilidades desses eventos, uma vez que auxilia no dimensionamento de estruturas hidráulicas para prática do controle de erosão e conservação do solo, como também para recuperação de áreas degradadas (BACK, 2009).

Para dimensionamentos hidráulicos devem-se considerar equações mais confiáveis, desenvolvidas com séries históricas de longo período. Neste sentido, esta pesquisa utilizará as informações e equações desenvolvidas por Back, 2002 referentes a estação meteorológicas de Urussanga, com histórico desde 1924. A tabela 9 apresenta as equações de chuvas intensas.

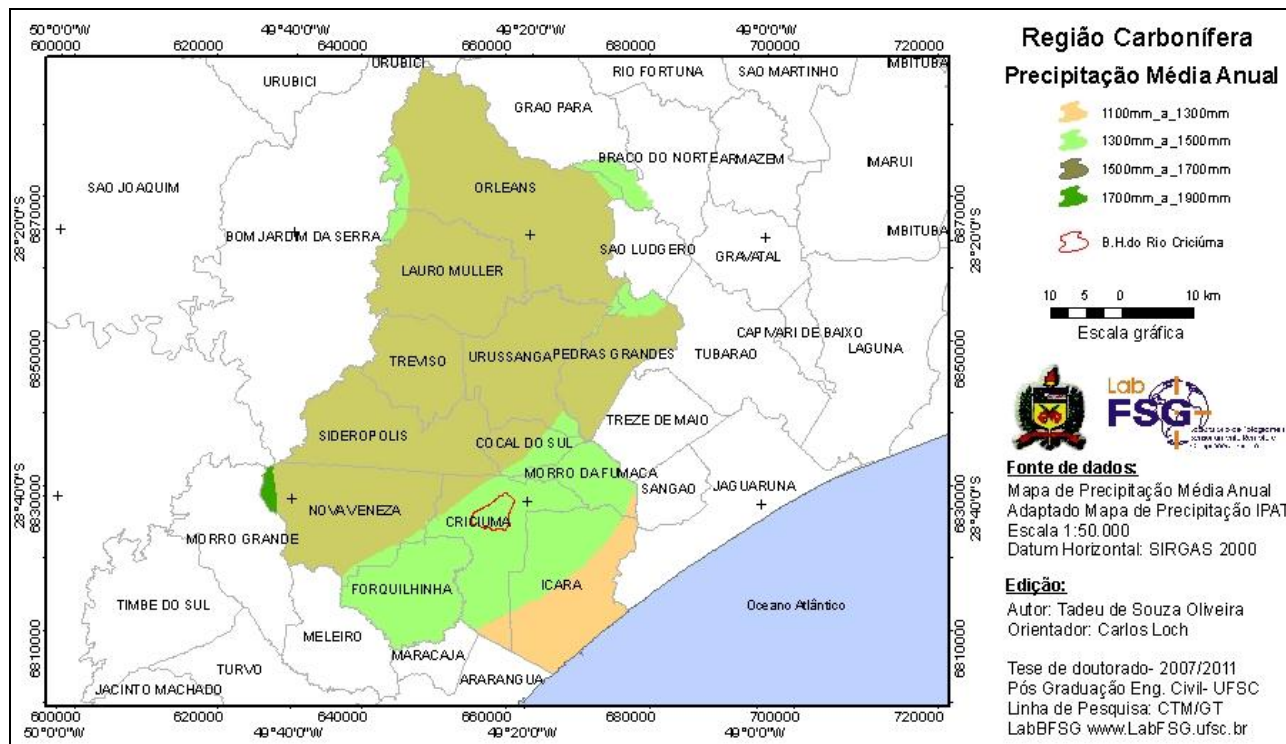


Figura 27: distribuição das precipitações na região carbonífera

Tabela 9: equação de chuva intensa

Cidade	para $t \leq 120$ min	120 < t < 480 min	480 ≤ t ≤ 1.440 min
Urussanga	$i = \frac{3.445,7 \times T^{0,138}}{(t + 26,3)^{1,012}}$	$i = \frac{97,1 \times T^{0,208}}{(t)^{0,359}}$	$i = \frac{651,6 \times T^{0,249}}{(t)^{0,684}}$

Fonte: BACK, 2002

As Tabelas 10 e 11 referem-se respectivamente as médias mensais dos dias de chuvas e da precipitação total desde 1924 – 2009.

Tabela 10: número mensal de dias de chuvas referente à estação meteorológica de Urussanga (série 1924 – 2009).

Precipitação	Jan.	Fev.	Mar.	Abr	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
Média	15,1	15,3	14,4	10,4	9,3	9,4	9,7	10,4	12,4	13,7	12,4	13,7
Máximo	24,0	24,0	24,0	18,0	19,0	17,0	20,0	31,0	21,0	21,0	20,0	20,0
Mínimo	7,0	9,0	5,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,0	7,0	6,0	5,0	3,0

Tabela 11: média da precipitação total mensal em mm (série 1924-2009).

Precipitação	Jan.	Fev.	Mar.	Abr	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
Média	202,4	199,9	163,5	103,6	96,8	82,7	91,9	110,0	131,1	132,0	125,6	146,6
Máximo	447,8	502,7	502,7	270,5	411,6	199,0	451,1	458,3	379,1	316,7	325,6	457,0
Mínimo	38,9	49,6	35,5	14,3	13,2	12,5	14,5	0,0	17,1	28,1	17,6	7,6

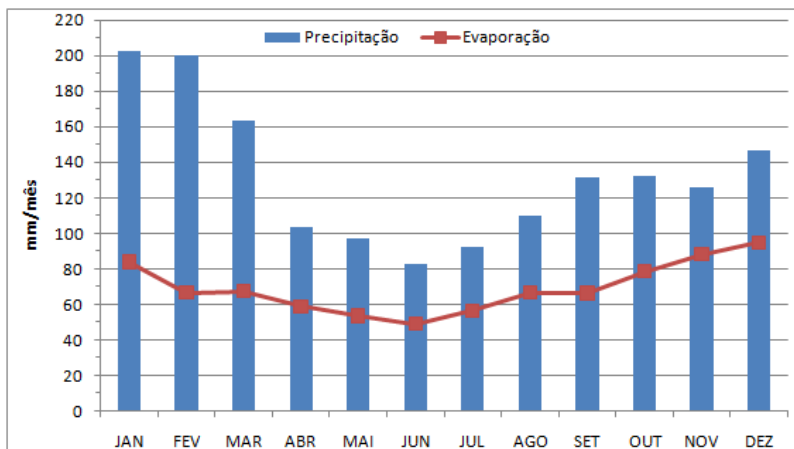


Figura 28: variação da precipitação e evaporação (série 1924-2005).

5.5. Configuração da bacia hidrográfica do Rio Criciúma

Sendo um país de clima tropical, a ocorrência de chuvas intensas sazonais de alta intensidade é muito frequente. Esta condição ligada ao tipo de solo, a crescente impermeabilização do solo e condições do relevo são outros fatores que favorecem a eventos como inundações bruscas em centros urbanizados, as quais são agravadas devido às características da drenagem da bacia hidrográfica.

Os dados físicos foram levantados diretamente sobre a base cartográfica digital do município de Criciúma na escala 1: 2.000 (figura 29).

A caracterização morfométrica da bacia do Rio Criciúma aqui considerada, está subdividida em “características físico-topográficas” representando as medidas lineares e superficiais e características hidrológicas.

As “características hidrológicas” representadas por coeficientes tais como: Coeficiente de compacidade ou de Gravelius (K_c); Fator de forma ou índice de conformação (K_f); Densidade hidrográfica (D_h); Densidade de drenagem (D_d); Amplitude altimétrica (A_a); Relação de relevo (R_r); Índice de rugosidade (I_r); e, Índice de circularidade (I_c).

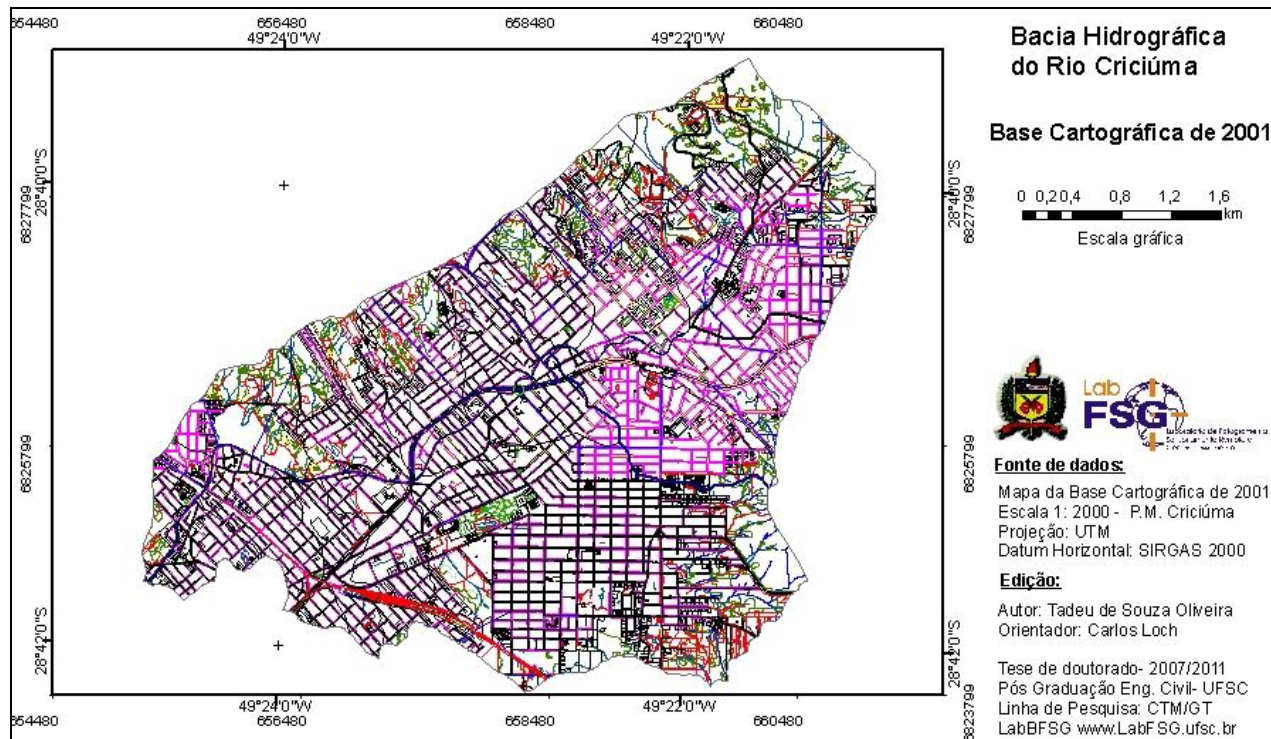


Figura 29: bacia hidrográfica sobre a base cartográfica de 2001 atualizada para 2006

5.5.1. Caracterização morfométrica

5.5.1.1. Características físico-topográfica de 1956

- a) Área da bacia - $A = 19.016.906,12\text{m}^2$
- b) Perímetro - $P = 20.395,81\text{m}$
- c) Comprimento do rio principal (Rio Criciúma) - $L = 10.238\text{m}$
- d) Comprimento axial - $L_x = 6.659,89\text{m}$
- e) Cota do ponto mais alto da bacia = $277,00\text{m}$
- f) Cota do ponto mais baixo da bacia (exutório) = $24,00\text{m}$
- g) Comprimento total das drenages (hidrografia) = 69.998m

A forma física da bacia do Rio Criciúma está representada no mapa da figura 30, indicando o limite da superfície e seus rios tributários por ordem de drenagem. A rede hidrográfica possui hierarquia até a 4ª ordem assim legendados por cores conforme representação: em amarelo está representado a 1ª ordem, em verde a 2ª ordem, em azul claro a 3ª ordem e em azul escuro a 4ª ordem.

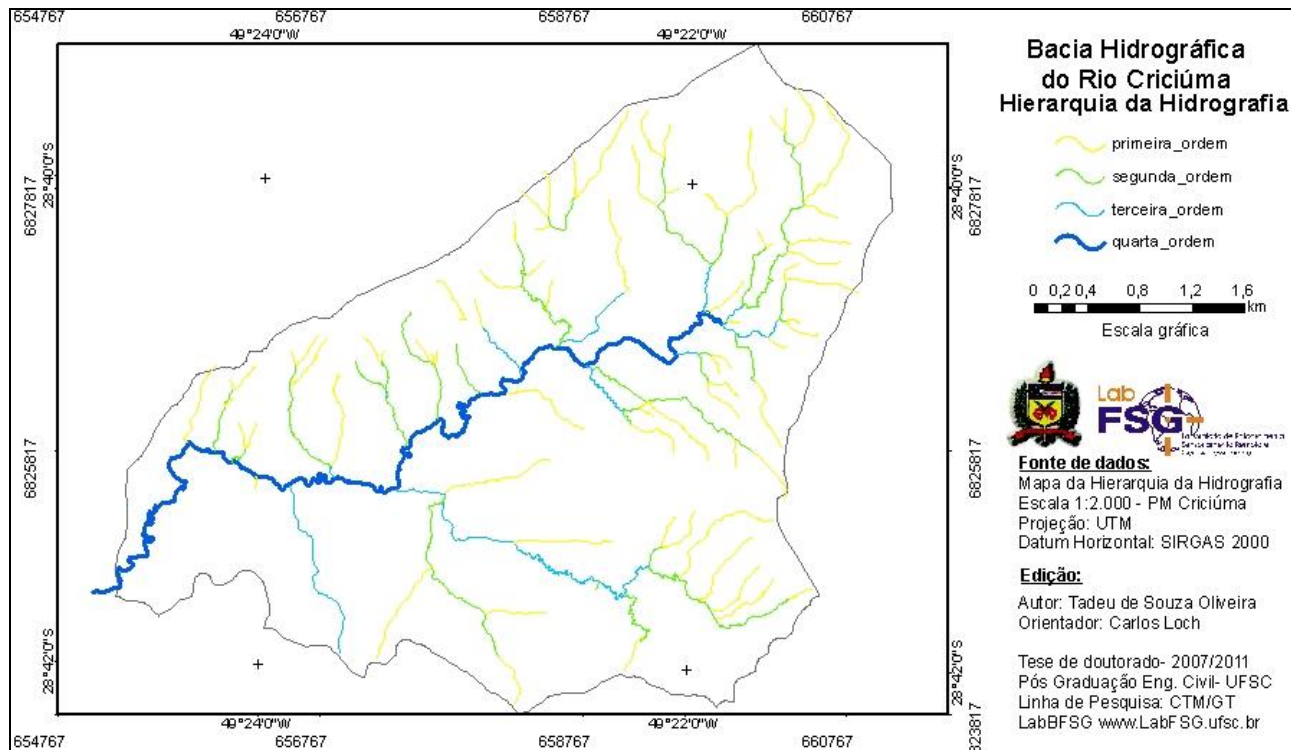


Figura 30: bacia hidrográfica do rio criciúma e hierarquia hidrográfica em 1956

5.5.1.2. Caracterização hidrológica de 1956

O mapa da figura 31 apresenta a área urbanizada de expansão urbana e toda rede hidrográfica, limitadas pelo perímetro da bacia, período em que apresentava apenas 17 pontos com canalizações para passagem das vias de circulação. O rio principal apresenta no ano de 1956, um total canalizado de 462m para passagem sob ruas e em alguns trechos sob edificações.

O quadro 7 apresenta os valores dos coeficientes representativos da bacia do Rio Criciúma, indicando dados referente a caracterização hidrológica no ano de 1956.

As medidas dos trechos canalizados (figura 32) foram tomadas sobre a base cartográfica de 1957 na escala 1: 10.000 analisando as passagens de ruas, estradas, ferrovia e edificações sobre a rede de drenagem natural, era o início da canalização da hidrografia. A figura 32 ilustra os pontos referentes à canalização.

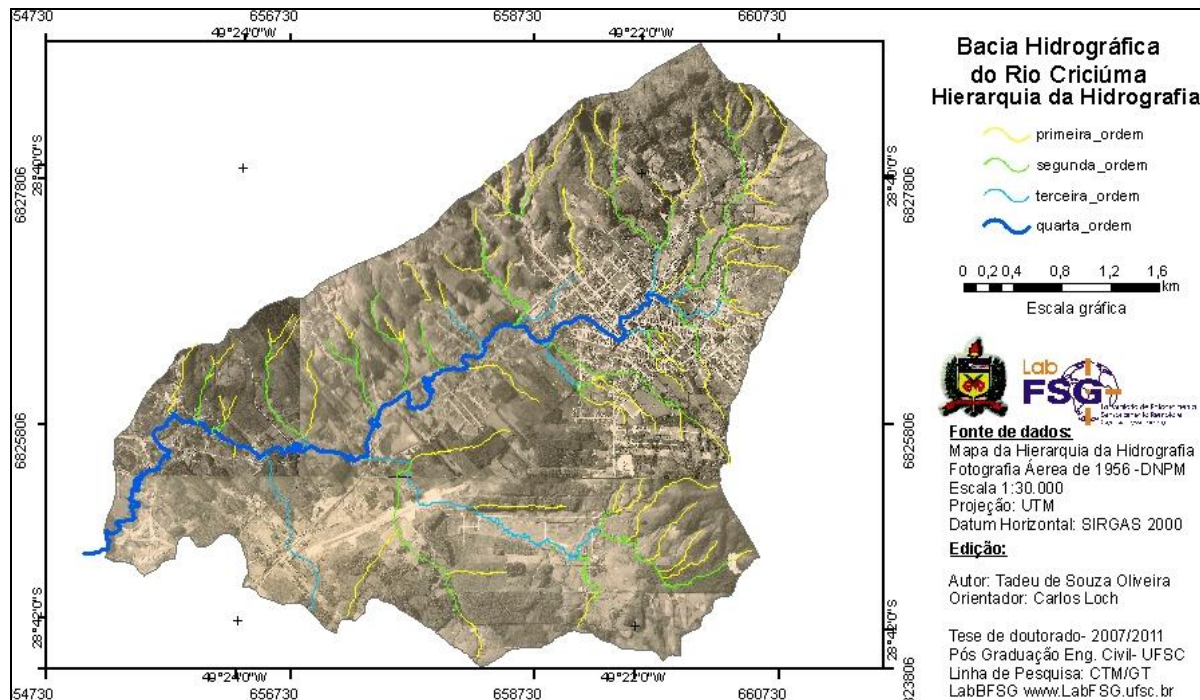


Figura 31: fotos aéreas de 1956 com a malha urbana e o traçado da hidrografia

Fonte: DNPm-Criciúma.

Quadro 7: Valores característicos da bacia do rio Criciúma no ano de 1956.

Característica morfométrica	Símbolo adotado	Variáveis envolvidas	Unidade das variáveis	Valor encontrado
Coefficiente de compacidade	Kc	Perímetro da bacia Área da bacia	km km ²	1,309
Fator de forma	Kf	Área da bacia Comprimento axial	km ² km	0,428
Densidade hidrográfica	Dh	Número de canais Área da bacia	Adimensional km ²	10,15 Canais/ Km ²
Densidade de drenagem	Dd	Comprimento total dos canais Área da bacia	km km ²	3,11 Km/Km ²
Amplitude altimétrica	Aa	Altitude do ponto mais alto Altitude da foz	m m	253m
Relação de relevo	Rr	Amplitude altimétrica Comprimento axial	m m	37,98
Índice de rugosidade	Ir	Amplitude altimétrica Densidade de drenagem	m	786,83
Índice de circularidade	Ic	Perímetro da bacia Área da bacia	km km ²	0,591
Comprimento do rio principal	L	_____	km	10.238

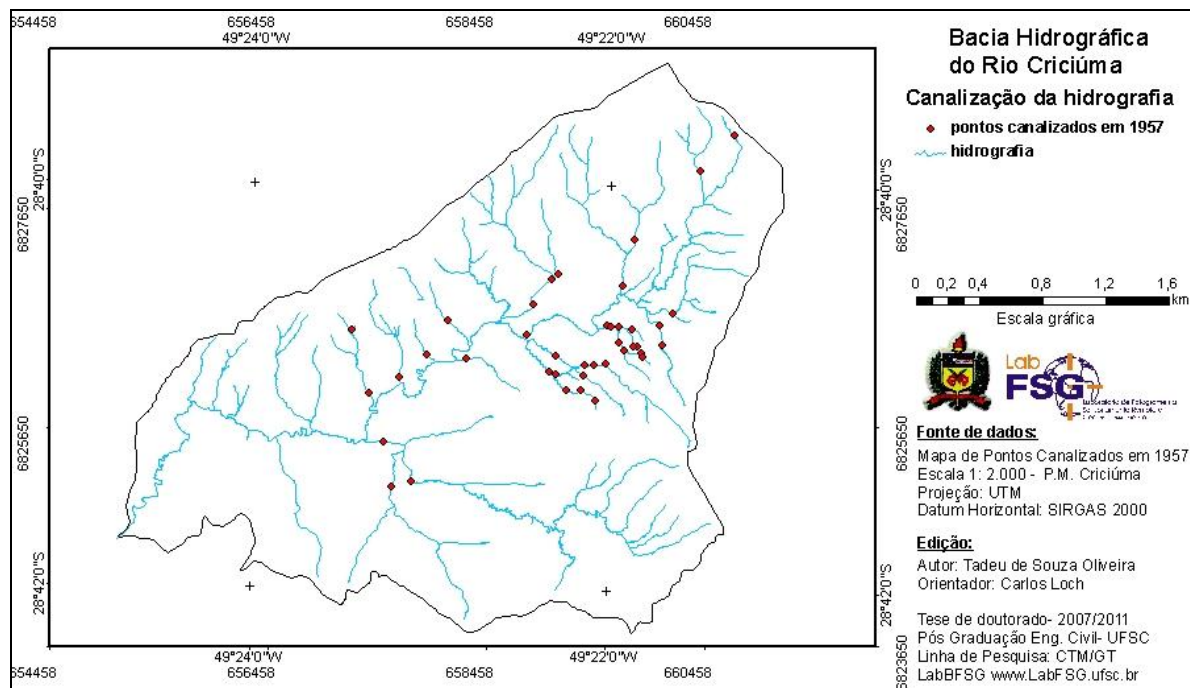


Figura 32: bacia do rio criciúma sobre a base cartográfica de 1956 com pontos canalizados fonte: DNPM-Criciúma. Caracterização morfometria no ano de 2006

5.5.1.3. Características físico-topográficas de 2006

- a) Área da bacia – $A = 19.016.906,12\text{m}^2$
- b) Perímetro – $P = 20.395,81\text{m} = 20,40\text{Km}$
- c) Comprimento do rio principal (Rio Criciúma) – $L = 7.834,60\text{m}$
- d) Comprimento axial – $L_x = 6.659,89\text{m}$
- e) Cota do ponto mais alto da bacia = $277,00\text{m}$
- f) Cota do ponto mais baixo da bacia (exutório) = $24,00\text{m}$
- g) Comprimento total das drenagens (Antropizada. Ruas) = 242.445m
- h) Número de ruas sem considerar hierarquia = 452 unidades
- i) Extensão de rede hidrográfica ainda não canalizada = 12.300m .

A figura 33 apresenta a rede hidrográfica original sob a bacia antropizada no ano de 2006 apontando profundas alterações. Em vermelho está representada a rede hidrográfica na posição original e que atualmente está canalizada e descaracterizada. Em amarelo a hidrografia ainda original e em azul o traçado atual do Rio Criciúma, com redução significativa do comprimento em função das retificações.

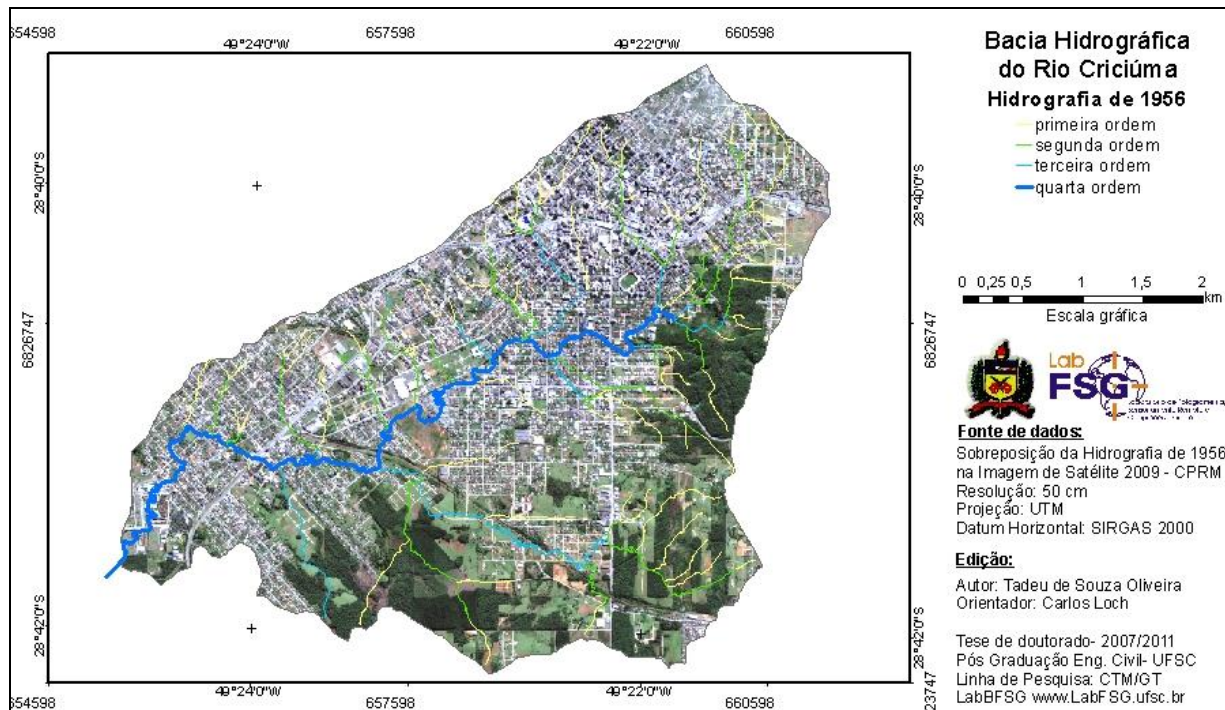


Figura 33: sobreposição da hidrografia do ano de 1956 sobre a área urbanizada no ano de 2009. Ortofotos de 2006 fonte: IPAT/UNESC

5.5.1.4. Caracterização hidrológica de 2006

A figura 34 apresenta a base cartográfica da bacia no ano de 2006 com malha viária, que além de responsáveis pela circulação de veículos, forma também uma rede de drenagem pluvial da bacia, responsável por coletar e transportar as águas precipitadas até a drenagem principal, o Rio Criciúma.

Os valores encontrados que caracterizam hidrologicamente a bacia do Rio Criciúma após a antropização no ano de 2006, estão indicados no quadro 8.

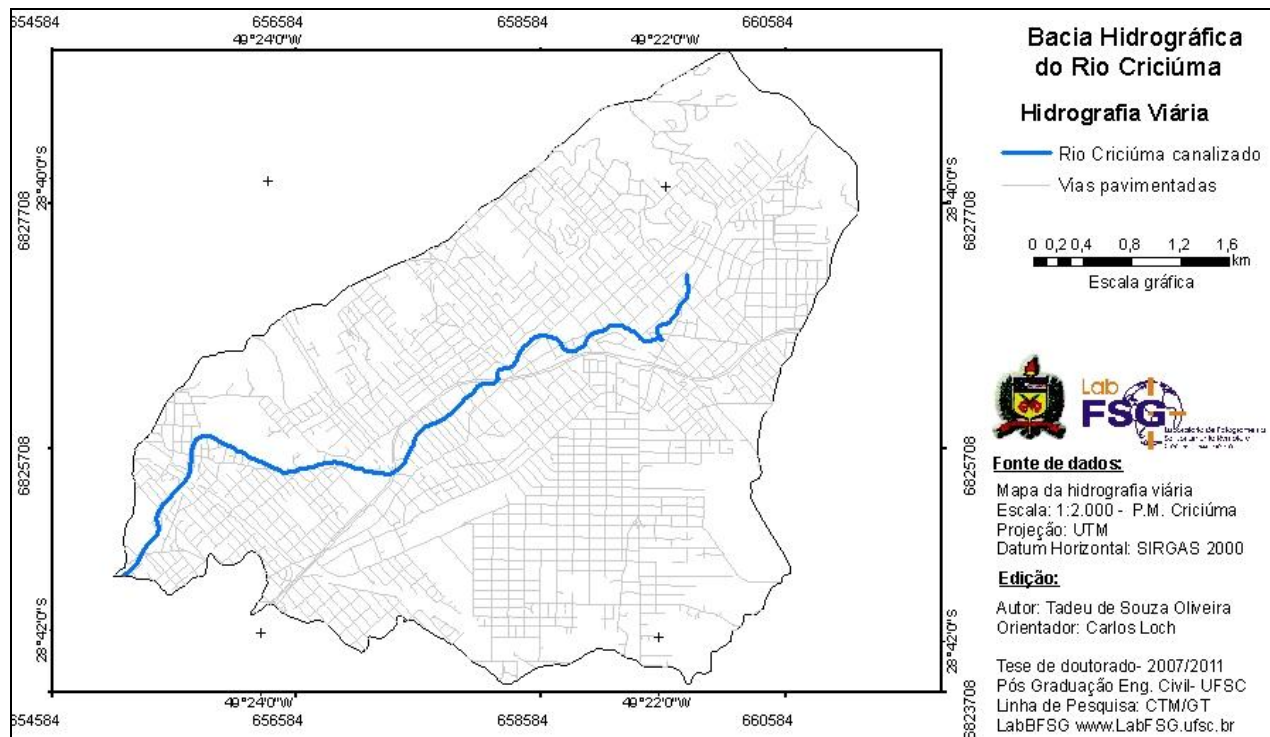


Figura 34: malha viária dentro dos limites da bacia hidrográfica no ano de 2006

Quadro 8: Valores característicos da bacia do rio Criciúma em 2006 considerando a drenagem Urbana como rede de drenagem. (1/2).

Característica morfométrica	Símbolo adotado	Variáveis envolvidas	Unidade das variáveis	Valor encontrado
Coefficiente de compacidade	Kc	Perímetro da bacia Área da bacia	Km Km ²	1,309
Fator de forma	Kf	Área da bacia Comprimento axial	Km ² Km	0,428
Densidade hidrográfica	Dh	Número de canais Área da bacia	Adimensional Km ²	23,88Canais/ Km ²
Densidade de drenagem	Dd	Comprimento total dos canais Área da bacia	Km Km ²	12,75Km/Km ²
Amplitude altimétrica	Aa	Altitude do ponto mais alto Altitude da foz	m m	253m
Característica morfométrica	Símbolo adotado	Variáveis envolvidas	Unidade das variáveis	Valor encontrado
Relação de relevo	Rr	Amplitude altimétrica Comprimento axial	m m	37,98
Índice de rugosidade	Ir	Amplitude altimétrica Densidade de drenagem	m	3226,65
Índice de circularidade	Ic	Perímetro da bacia Área da bacia	Km Km ²	0,591
Comprimento do rio principal	L	_____	Km	7,834
Rede hidrográfica não canalizada	Li	_____	Km	12,30

5.6. Hidrograma unitário

Neste ítem avalia-se a chuva excedente, a vazão de pico e a vazão máxima com a bacia hidrográfica caracterizada em 1956 e 2006 buscando alguns cenários representativos de cada período.

5.6.1. Hidrograma unitário da bacia em 2006

O grupo hidrológico do solo foi classificado no item caracterização da impermeabilização da bacia, como sendo um solo D. Para efeitos comparativos, faz-se também avaliações como sendo um solo C considerando que esta pode ser uma condição válida na interpretação de alguns profissionais da área de engenharia responsáveis por elaboração de projetos de drenagem urbana.

O método utilizado é do Soil Conservacion Service (SCS), com a determinação do hidrograma unitário, e a distribuição das chuvas pelo método dos blocos alternados.

5.6.1.1. Chuva efetiva no grupo hidrológico D

Para a determinação da chuva efetiva com o solo classificado no grupo hidrológico D, primeiramente foi definido o valor do $CN_{méd}$ considerando os diversos tipos de ocupação do solo com suas respectivas áreas e o correspondente parâmetro CN. O $CN_{méd}$ está definido na tabela 12 pela média ponderada, resultado do somatório dos produtos das áreas pelos seus respectivos valores de CN.

$$\Sigma(A*CN)=(A_1*CN_1)+(A_{N+1} + CN_{N+1}) \quad \text{EQ. 15}$$

$$CN_{méd} = (\Sigma(A*CN))/A_{TOTAL}$$

$$CN_{méd} = 1.562,62/ 19.01$$

$$CN_{méd} = 82,2001$$

Tabela 12: determinação do CN médio para o solo do grupo hidrológico D

Tipo de uso e ocupação do solo	Área km ²	Correspondente		Área X CN
		Tipo de uso e ocupação do solo	CN	
Pavimentação asfáltica	1,330	Pavimentação com guias de drenagem	98	130,34
Pavimentação com blocos	0,290	Pavimentação com cascalho	91	26,39
Pavimentação com saibro	0,230	Pavimentação em terra	89	20,47
Pavimentação de passeios públicos	0,051	Pavimentação com guias de drenagem	98	5,00
Pavimentação de lotes	0,48	Pavimentação com guias de drenagem Lote até 500m ² com 65% impermeável	98	47,04
Edificações	3,030	impermeável	92	278,76
Solo exposto	0,560	Estrada de terra	89	49,84
Solo com vegetação	13,01	Floresta em condições médias	77	1.001,39
Rios e alagados	0,034	Sem correspondência	100	3,40
Total da bacia	19,01			1.562,62
			CN médio	$\Sigma(A*CN)$ 82,2001

Com o valor de $CN_{méd}$ definido passa-se a determinar a chuva efetiva, a tabela 13 apresenta a determinação da chuva efetiva com dez intervalos de tempo sendo que a distribuição foi elaborada pelo método dos blocos alternados. O $CN_{méd}$ com valor de 82,2001 representa o grau de impermeabilização do solo de acordo com o tipo de uso. Foi obtido pela média ponderada das áreas representativas de cada tipo de uso e ocupação do solo. O período de retorno utilizado é de 50 anos. A figura 35 apresenta o gráfico da chuva efetiva.

Tabela 13: determinação da chuva efetiva nas condições de uso do solo para o ano de 2006 grupo hidrológico D

Interv.	Tempo (min)	Tempo (h)	Tempo %	i (mm/h)	S	% P	P ac (mm)	P (mm)	R ac (mm)	R ef (cm)
1	15,00	0,25	10	203,091	55,00	35,92	50,773	7,148	0,000	0,000
2	30,00	0,50	20	145,62	55,00	51,51	72,810	9,408	0,510	0,051
3	45,00	0,75	30	116,782	55,00	61,96	87,587	14,777	5,488	0,498
4	60,00	1,00	40	98,9793	55,00	70,02	98,979	50,773	40,093	3,461
5	75,00	1,25	50	86,7101	55,00	76,68	108,388	22,037	58,562	1,847
6	90,00	1,50	60	77,6531	55,00	82,40	116,480	11,392	68,496	0,993
7	105,00	1,75	70	70,6445	55,00	87,46	123,628	8,092	75,673	0,718
8	120,00	2,00	80	65,0312	55,00	92,01	130,062	6,434	81,440	0,577
9	135,00	2,25	90	60,4159	55,00	96,17	135,936	5,873	86,746	0,531
10	150,00	2,50	100	56,5419	55,00	100,00	141,355	5,419	91,673	0,493

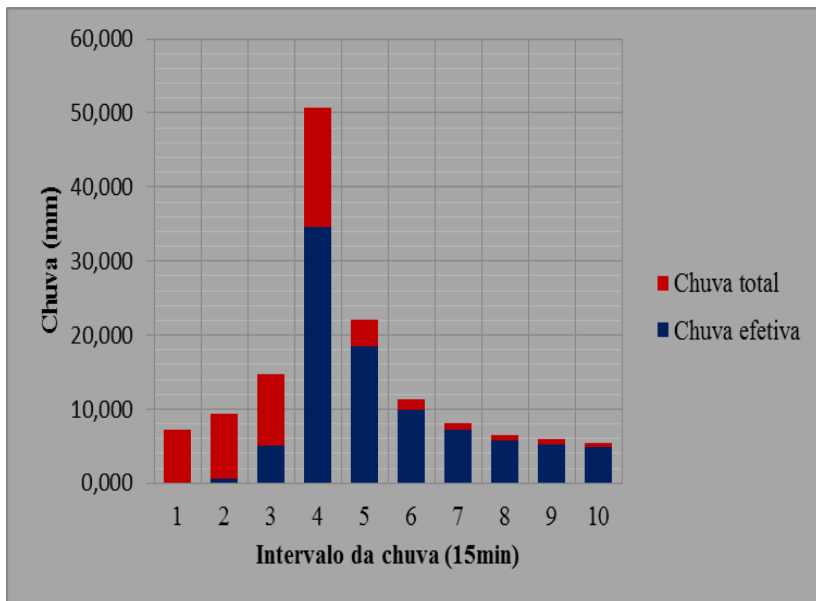


Figura 35: chuva efetiva nas condições de uso do solo para o ano de 2006 grupo hidrológico D

Com os valores da chuva efetiva por intervalo de tempo passa-se a determinar o hidrograma unitário definindo desta forma às vazões de pico e máxima. Para a elaboração do hidrograma unitário foi utilizada as relações entre t/tp e q/q_3 do método SCS interpolando os valores..

O quadro 9 apresenta a determinação do hidrograma unitário para a bacia hidrográfica do Rio Criciúma considerando as condições de uso e ocupação do solo no ano de 2006 sendo encontrado as vazões de pico $49,10\text{m}^3/\text{s}$ e máxima de $266,79\text{m}^3/\text{s}$. A figura 36 ilustra o gráfico o hidrograma unitário.

Quadro 9: Determinação do hidrograma unitário nas condições de ocupação do solo para o ano de 2006 – Grupo hidrológico D (1/2)

Interv.	t (min)	t (horas)	t/tp	Q/qp	H	R ef (cm)										Q (m3/s)		
						0,051	0,498	3,461	1,847	0,993	0,718	0,577	0,531	0,493				
1	15	0,25	0,277	0,14	6,152													-
2	30	0,50	0,554	0,52	22,857		0,31											0,31
3	45	0,75	0,831	0,91	40,074		1,17	3,06										4,23
4	60	1,00	1,108	0,98	42,724		2,04	11,38	21,29									34,71
5	75	1,25	1,385	0,76	33,451		2,18	19,95	79,10	11,36								112,58
6	90	1,50	1,662	0,52	22,635		1,71	21,27	138,68	42,21	6,11							209,97
7	105	1,75	1,939	0,35	15,358		1,15	16,65	147,85	74,01	22,71	4,42						266,79
8	120	2,00	2,216	0,31	13,532		0,78	11,27	115,76	78,91	39,81	16,40	3,55					266,48
9	135	2,25	2,493	0,16	6,869		0,69	7,65	78,33	61,78	42,44	28,76	13,18	12,13				244,96
10	150	2,50	2,770	0,10	4,505		0,35	6,74	53,14	41,80	33,23	30,66	23,11	21,26	19,75			230,05
11	165	2,75	3,047	0,07	3,126		0,23	3,42	46,83	28,36	22,49	24,01	24,64	22,67	21,05			193,70
12	180	3,00	3,324	0,05	2,179		0,16	2,24	23,77	24,99	15,26	16,24	19,29	17,75	16,48			136,19
13	195	3,25	3,601	0,03	1,418		0,11	1,56	15,59	12,69	13,44	11,02	13,05	12,01	11,15			90,62
14	210	3,50	3,878	0,02	0,981		0,07	1,08	10,82	8,32	6,82	9,71	8,86	8,15	7,57			61,40

Quadro 9: Determinação do hidrograma unitário nas condições de ocupação do solo para o ano de 2006 – Grupo hidrológico D (2/2)

Interv.	t (min)	t (horas)	t/tp	Q/qp	H	R ef (cm)										Q (m3/s)
						0,051	0,498	3,461	1,847	0,993	0,718	0,577	0,531	0,493		
15	225	3,75	4,155	0,02	0,667	0,05	0,71	7,54	5,77	4,48	4,93	7,80	7,18	6,67	45,13	
16	240	4,00	4,432	0,01	0,448	0,03	0,49	4,91	4,02	3,11	3,23	3,96	3,64	3,38	26,78	
17	255	4,25	4,709	0,01	0,303	0,02	0,33	3,40	2,62	2,16	2,24	2,60	2,39	2,22	17,99	
18	270	4,50	4,986	0,00	0,182	0,02	0,22	2,31	1,81	1,41	1,56	1,80	1,66	1,54	12,33	
19	285	4,75	5,263	0,00		0,01	0,15	1,55	1,23	0,97	1,02	1,26	1,16	1,07	8,42	
20						0,00	0,09	1,05	0,83	0,66	0,70	0,82	0,75	0,70	5,60	
21							-	0,63	0,56	0,45	0,48	0,57	0,52	0,48	3,68	
22							-	-	0,34	0,30	0,32	0,38	0,35	0,33	2,02	
23								-	-	0,18	0,22	0,26	0,24	0,22	1,11	
24									-	-	0,13	0,17	0,16	0,15	0,61	
25										-	-	0,10	0,10	0,09	0,29	
26											-	-	-	-	-	

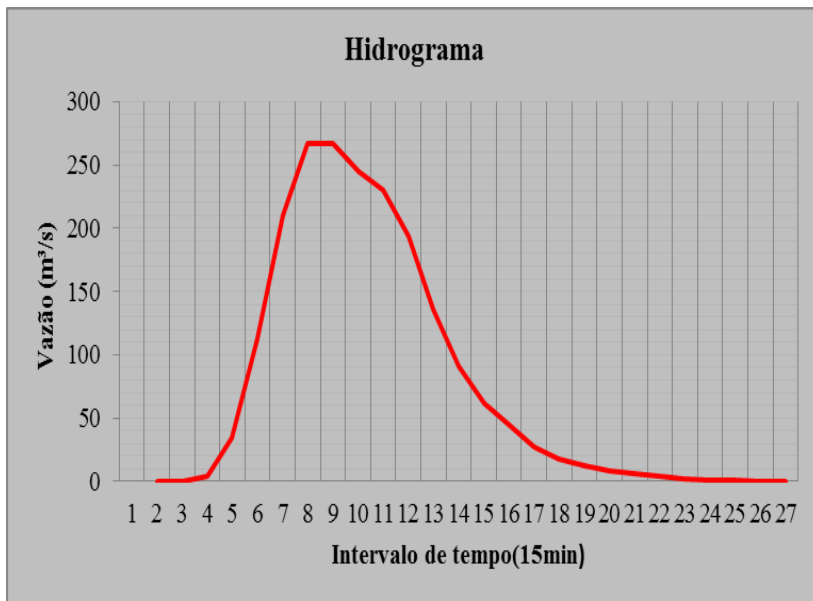


Figura 36: hidrograma unitário nas condições de ocupação do solo para o ano de 2006. Grupo hidrológico D

5.6.1.2. Chuva efetiva para o grupo hidrológico C

Para a determinação da chuva efetiva com o solo classificado no grupo hidrológico C, utilizou-se a mesma metodologia para determinação com as condições do grupo D. A tabela 14 apresenta a determinação do $CN_{méd}$ para o grupo hidrológico C.

$$\Sigma(A*CN)=(A1*CN1)+(A_{N+1} + CN_{N+1}) \quad \text{EQ. 16}$$

$$CN_{méd} = (\Sigma(A*CN))/A_{TOTAL}$$

$$CN_{méd} = 1.463,37/ 19.01$$

$$CN_{méd} = 76,9789$$

Tabela 14: determinação do CN médio para o solo do grupo hidrológico C

Tipo de uso e ocupação do solo	Área km ²	Correspondente		Área X CN
		Tipo de uso e ocupação do solo	Valor de CN	
Pavimentação asfáltica	1,330	Pavimentação com guias de drenagem	98	130,34
Pavimentação com blocos	0,290	Pavimentação com cascalho	89	25,81
Pavimentação com saibro	0,230	Pavimentação em terra	87	20,01
Pavimentação de passeios públicos	0,051	Pavimentação com guias de drenagem	98	5,00
Pavimentação de lotes	0,48	Pavimentação com guias de drenagem	98	47,04
Edificações	3,030	Lote até 500m ² com 65% impermeável	90	272,70
Solo exposto	0,560	Estrada de terra	87	48,72
Solo com vegetação	13,01	Floresta em condições médias	70	910,35
Rios e alagados	0,034	Sem correspondência	100,00	3,40
Total da bacia	19,01			1.463,37
			CN médio	$\Sigma(A*CN)$ 76,9789

Com o valor de $CN_{méd}$ definido passa-se a determinar a chuva efetiva, a tabela 15 apresenta a determinação da chuva efetiva com dez intervalos de tempo sendo que a distribuição foi elaborada pelo método dos blocos alternados. O período de retorno utilizado é de 50 anos. A figura 37 apresenta o gráfico da chuva efetiva.

Tabela 15: determinação da chuva efetiva nas condições de uso do solo para o grupo hidrológico C, ano de 2006

Interv.	Tempo (min)	Tempo (h)	Tempo (%)	i (mm/h)	S	% P	P ac (mm)	P (mm)	R ac (mm)	R ef (cm)
1	15,00	0,25	10	203,091	75,96	35,92	50,773	7,148	0,000	0,000
2	30,00	0,50	20	145,62	75,96	51,51	72,810	9,408	0,024	0,002
3	45,00	0,75	30	116,782	75,96	61,96	87,587	14,777	2,829	0,280
4	60,00	1,00	40	98,9793	75,96	70,02	98,979	50,773	31,339	2,851
5	75,00	1,25	50	86,7101	75,96	76,68	108,388	22,037	47,979	1,664
6	90,00	1,50	60	77,6531	75,96	82,40	116,480	11,392	57,111	0,913
7	105,00	1,75	70	70,6445	75,96	87,46	123,628	8,092	63,767	0,666
8	120,00	2,00	80	65,0312	75,96	92,01	130,062	6,434	69,146	0,538
9	135,00	2,25	90	60,4159	75,96	96,17	135,936	5,873	74,117	0,497
10	150,00	2,50	100	56,5419	75,96	100,00	141,355	5,419	78,749	0,463

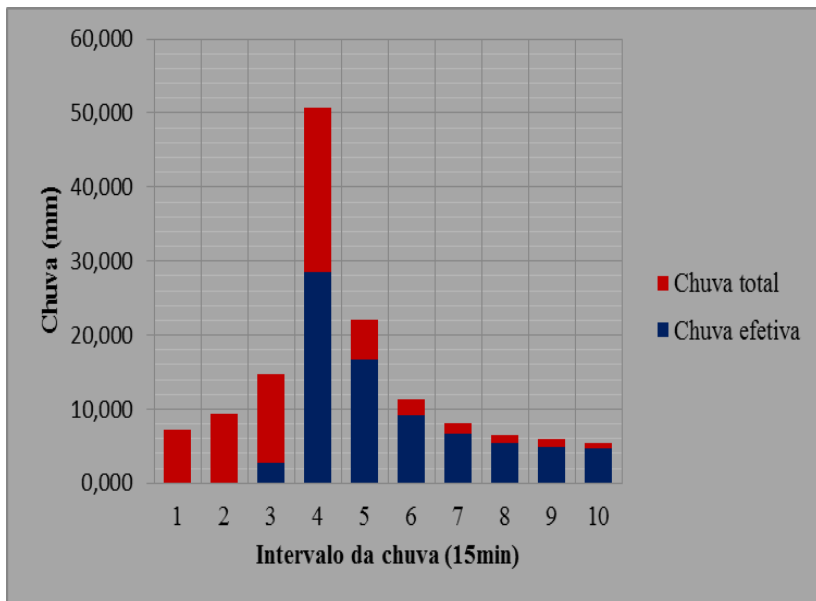


Figura 37: chuva efetiva nas condições de uso do solo para o ano de 2006 grupo hidrológico C

Com os valores da chuva efetiva por intervalo de tempo passa-se a determinar o hidrograma unitário definindo desta forma às vazões de pico e máxima. Para a elaboração do hidrograma unitário foi utilizada a relação entre t/tp e q/qp do método SCS para interpolação dos valores.

O quadro 10 apresenta a determinação do hidrograma unitário para a bacia hidrográfica do Rio Criciúma para as condições de uso e ocupação do solo no ano de 2006, sendo as vazões de pico $49,10\text{m}^3/\text{s}$ e a máxima de $227,97\text{m}^3/\text{s}$, a figura 38 ilustra o gráfico o hidrograma unitário.

O período de retorno aplicado é de 50 anos considerando tratar-se de uma macrodrenagem e a influência com que o Rio Criciúma atua no sistema de drenagem da bacia urbanizada.

Quadro 10: Determinação do hidrograma unitário nas condições de ocupação do solo para o ano de 2006 – Grupo hidrológico C (1/2)

Interv.	t (min)	t (horas)	t/tp	Q/qp	H	R ef (cm)										Q (m3/s)	
							0,002	0,280	2,851	1,664	0,913	0,666	0,538	0,497	0,463		
1	15	0,25	0,277	0,14	6,152												-
2	30	0,50	0,554	0,52	22,857		0,01										0,01
3	45	0,75	0,831	0,91	40,074		0,06	1,73									1,78
4	60	1,00	1,108	0,98	42,724		0,10	6,41	17,54								24,05
5	75	1,25	1,385	0,76	33,451		0,10	11,24	65,16	10,24							86,74
6	90	1,50	1,662	0,52	22,635		0,08	11,98	114,25	38,03	5,62						169,97
7	105	1,75	1,939	0,35	15,358		0,05	9,38	121,80	66,69	20,87	4,09					222,89
8	120	2,00	2,216	0,31	13,532		0,04	6,35	95,37	71,09	36,59	15,21	3,31				227,97
9	135	2,25	2,493	0,16	6,869		0,03	4,31	64,53	55,66	39,01	26,67	12,30	11,36			213,88
10	150	2,50	2,770	0,10	4,505		0,02	3,80	43,78	37,67	30,55	28,44	21,56	19,92	18,56		204,29
11	165	2,75	3,047	0,07	3,126		0,01	1,93	38,58	25,56	20,67	22,26	22,98	21,24	19,79		173,02
12	180	3,00	3,324	0,05	2,179		0,01	1,26	19,58	22,52	14,02	15,07	17,99	16,63	15,50		122,58

Quadro 10: Determinação do hidrograma unitário nas condições de ocupação do solo para o ano de 2006 – Grupo hidrológico C (2/2)

Interv.	t (min)	t (horas)	t/tp	Q/qp	H	R ef (cm)										Q (m3/s)
						0,002	0,280	2,851	1,664	0,913	0,666	0,538	0,497	0,463		
13	195	3,25	3,601	0,03	1,418	0,01	0,88	12,84	11,43	12,36	10,22	12,18	11,25	10,49	81,65	
14	210	3,50	3,878	0,02	0,981	0,00	0,61	8,91	7,50	6,27	9,01	8,26	7,63	7,11	55,31	
15	225	3,75	4,155	0,02	0,667	0,00	0,40	6,21	5,20	4,11	4,57	7,28	6,73	6,27	40,77	
16	240	4,00	4,432	0,01	0,448	0,00	0,28	4,04	3,63	2,85	3,00	3,69	3,41	3,18	24,09	
17	255	4,25	4,709	0,01	0,303	0,00	0,19	2,80	2,36	1,99	2,08	2,42	2,24	2,09	16,17	
18	270	4,50	4,986	0,00	0,182	0,00	0,13	1,90	1,63	1,30	1,45	1,68	1,55	1,45	11,09	
19	285	4,75	5,263	0,00		0,00	0,08	1,28	1,11	0,90	0,94	1,17	1,08	1,01	7,58	
20						0,00	0,05	0,86	0,75	0,61	0,65	0,76	0,70	0,66	5,05	
21							-	0,52	0,50	0,41	0,44	0,53	0,49	0,45	3,34	
22							-	-	0,30	0,28	0,30	0,36	0,33	0,31	1,88	
23								-	-	0,17	0,20	0,24	0,22	0,21	1,04	
24									-	-	0,12	0,16	0,15	0,14	0,57	
25										-	-	0,10	0,09	0,08	0,27	
26											-	-	-	-	-	

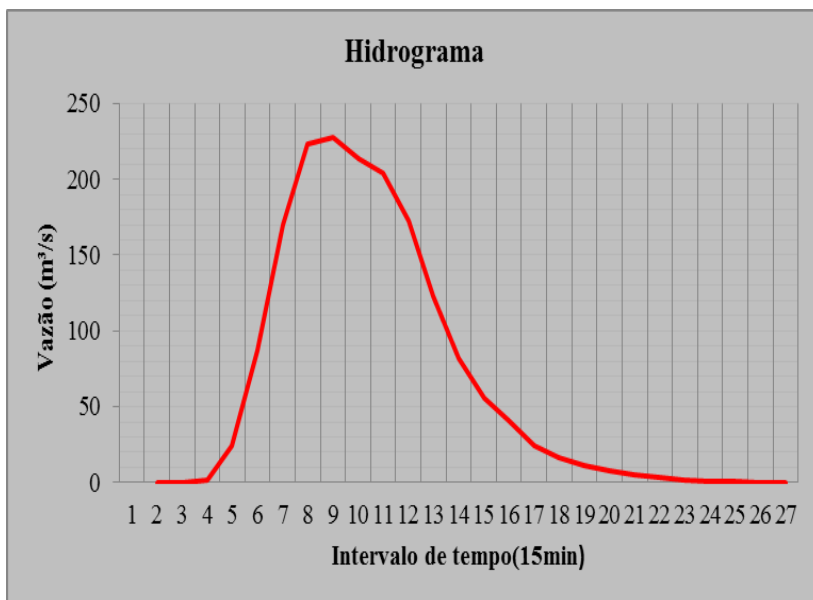


Figura 38: hidrograma unitário nas condições de ocupação do solo para o ano de 2006. Grupo hidrológico C

5.6.2. Hidrograma unitário da bacia em 1956

5.6.2.1. Chuva efetiva no grupo hidrológico D

Para a determinação da chuva efetiva com o solo classificado no grupo hidrológico D, primeiramente foi definido o valor do $CN_{méd}$ considerando os diversos tipos de ocupação do solo com suas respectivas áreas e o correspondente parâmetro CN indicado na tabela 16. O $CN_{méd}$ foi definido pela média ponderada, resultado do somatório dos produtos das áreas pelos seus respectivos valores de CN.

$$\Sigma(A*CN)=(A_1*CN_1)+(A_{N+1} + CN_{N+1}) \quad \text{EQ. 17}$$

$$CN_{méd} = (\Sigma(A*CN))/A_{TOTAL}$$

$$CN_{méd} = 1.474,52/ 19,01$$

$$CN_{méd} = 77,5655$$

Tabela 16: determinação do cn médio para o solo do grupo hidrológico D

Tipo de uso e ocupação do solo	Área km ²	Correspondente		Área X CN
		Tipo de uso e ocupação do solo	CN	
Pavimentação asfáltica	-	Pavimentação com guias de drenagem	98	-
Pavimentação com blocos	-	Pavimentação com cascalho	91	-
Pavimentação com saibro	0,41	Pavimentação em terra	89	36,49
Pavimentação de passeios públicos	-	Pavimentação com guias de drenagem	98	-
Pavimentação de lotes	-	Pavimentação com guias de drenagem	98	-
Edificações	0,24	Lote até 500m ² com 65% impermeável	92	22,08
Solo exposto	0,09	Estrada de terra	89	8,01
Solo com vegetação	18,22	Floresta em condições médias	77	1.402,94
Rios e alagados	0,05	Sem correspondência	100,00	5,00
Total da bacia	19,01			1.474,52
			CN médio	$\Sigma(A*CN)$ 77,5655

Com o valor de $CN_{méd}$ definido passa-se a determinar a chuva efetiva, a tabela 17 apresenta a determinação da chuva efetiva com dez intervalos de tempo sendo que a distribuição foi elaborada pelo método dos blocos alternados. O período de retorno utilizado é de 50 anos considerando que a bacia está ocupada com edificações residenciais e comerciais. A figura 39 apresenta o gráfico da chuva efetiva.

Tabela 17: determinação da chuva efetiva nas condições de uso do solo para grupo hidrológico D, o ano de 1956.

Interv.	Tempo (min)	Tempo (h)	Tempo %	i (mm/h)	S	% P	P ac (mm)	P (mm)	R ac (mm)	R ef (cm)
1	15,00	0,25	10	203,091	73,47	35,92	50,773	7,148	0,000	0,000
2	30,00	0,50	20	145,62	73,47	51,51	72,810	9,408	0,046	0,005
3	45,00	0,75	30	116,782	73,47	61,96	87,587	14,777	3,073	0,303
4	60,00	1,00	40	98,9793	73,47	70,02	98,979	50,773	32,259	2,919
5	75,00	1,25	50	86,7101	73,47	76,68	108,388	22,037	49,114	1,686
6	90,00	1,50	60	77,6531	73,47	82,40	116,480	11,392	58,341	0,923
7	105,00	1,75	70	70,6445	73,47	87,46	123,628	8,092	65,059	0,672
8	120,00	2,00	80	65,0312	73,47	92,01	130,062	6,434	70,485	0,543
9	135,00	2,25	90	60,4159	73,47	96,17	135,936	5,873	75,497	0,501
10	150,00	2,50	100	56,5419	73,47	100,00	141,355	5,419	80,165	0,467

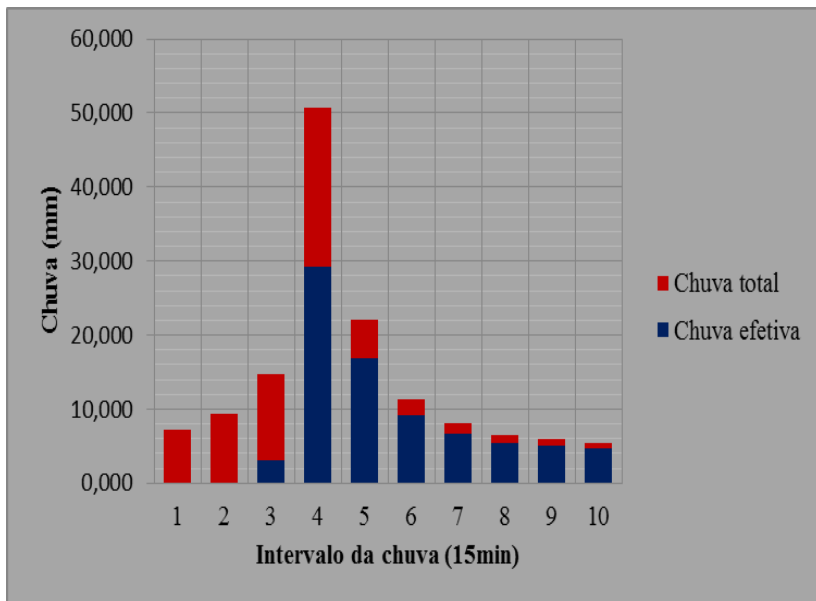


Figura 39: chuva efetiva nas condições de uso do solo para o ano de 1956 grupo hidrológico D

Com os valores da chuva efetiva por intervalo de tempo passa-se a determinar o hidrograma unitário definindo desta forma as vazões de pico e máxima. Para a elaboração do hidrograma unitário foi utilizada a relação entre t/tp e q/qp do método SCS para interpolação dos valores.

O quadro 11 apresenta a determinação do hidrograma unitário para a bacia hidrográfica do Rio Criciúma para as condições de uso e ocupação do solo no ano de 1957, com as vazões de pico $36,04\text{m}^3/\text{s}$ e máxima de $203,66\text{m}^3/\text{s}$, a figura 40 ilustra o gráfico o hidrograma unitário.

Quadro 11: Determinação do hidrograma unitário nas condições de ocupação do solo para o ano de 1956 Grupo D (1/2)

Interv.	t (min)	t (horas)	t/tp	Q/qp	H	R ef (cm)										Q (m3/s)	
							0,005	0,303	2,919	1,686	0,923	0,672	0,543	0,501	0,467		
1	15	0,25	0,209	0,08	2,717												-
2	30	0,50	0,417	0,30	9,924		0,01										0,01
3	45	0,75	0,626	0,64	21,253		0,05	0,82									0,87
4	60	1,00	0,835	0,92	30,281		0,10	3,00	7,93								11,03
5	75	1,25	1,043	0,99	32,714		0,14	6,43	28,96	4,58							40,12
6	90	1,50	1,252	0,88	28,991		0,15	9,17	62,03	16,73	2,51						90,58
7	105	1,75	1,460	0,70	22,953		0,13	9,90	88,38	35,82	9,16	1,83					145,22
8	120	2,00	1,669	0,51	16,883		0,11	8,78	95,48	51,04	19,61	6,67	1,47				183,15
9	135	2,25	1,878	0,38	12,577		0,08	6,95	84,61	55,14	27,94	14,28	5,38	4,97			199,35
10	150	2,50	2,086	0,29	9,419		0,06	5,11	66,99	48,86	30,19	20,34	11,53	10,65	9,92		203,66
11	165	2,75	2,295	0,21	6,979		0,04	3,81	49,27	38,69	26,75	21,98	16,43	15,17	14,14		186,28
12	180	3,00	2,504	0,15	5,085		0,03	2,85	36,71	28,46	21,18	19,48	17,75	16,39	15,27		158,12
13	195	3,25	2,712	0,11	3,697		0,02	2,11	27,49	21,20	15,58	15,42	15,73	14,53	13,53		125,62

Quadro 11: Determinação do hidrograma unitário nas condições de ocupação do solo para o ano de 1956 Grupo D (2/3)

Interv.	t (min)	t (horas)	t/tp	Q/qp	H	R ef (cm)										Q (m3/s)
						0,005	0,303	2,919	1,686	0,923	0,672	0,543	0,501	0,467		
14	210	3,50	2,921	0,08	2,775	0,02	1,54	20,37	15,88	11,60	11,34	12,45	11,50	10,72	95,42	
15	225	3,75	3,130	0,06	2,141	0,01	1,12	14,84	11,76	8,69	8,45	9,16	8,46	7,88	70,38	
16	240	4,00	3,338	0,05	1,604	0,01	0,84	10,79	8,57	6,44	6,33	6,82	6,30	5,87	51,98	
17	255	4,25	3,547	0,03	1,132	0,01	0,65	8,10	6,23	4,69	4,69	5,11	4,72	4,40	38,59	
18	270	4,50	3,755	0,03	0,884	0,01	0,49	6,25	4,68	3,41	3,42	3,79	3,50	3,26	28,79	
19	285	4,75	3,964	0,02	0,637	0,00	0,34	4,68	3,61	2,56	2,48	2,76	2,55	2,37	21,36	
20	300	5,00	4,173	0,01	0,491	0,00	0,27	3,30	2,70	1,98	1,86	2,01	1,85	1,73	15,70	
21	315	5,25	4,381	0,01	0,367	0,00	0,19	2,58	1,91	1,48	1,44	1,51	1,39	1,30	11,80	
22	330	5,50	4,590	0,01	0,267	0,00	0,15	1,86	1,49	1,04	1,08	1,16	1,07	1,00	8,86	
23	345	5,75	4,799	0,01	0,198	0,00	0,11	1,43	1,07	0,82	0,76	0,87	0,80	0,75	6,62	
24	360	6,00	5,007	0,00	0,127	0,00	0,08	1,07	0,83	0,59	0,59	0,61	0,57	0,53	4,87	

Quadro 11: Determinação do hidrograma unitário nas condições de ocupação do solo para o ano de 1956 Grupo D (3/3)

Interv.	t (min)	t (horas)	t/tp	Q/qp	H	R ef (cm)										Q (m3/s)
						0,005	0,303	2,919	1,686	0,923	0,672	0,543	0,501	0,467		
25	375	6,25	5,216		0,000		0,00	0,06	0,78	0,62	0,45	0,43	0,48	0,44	0,41	3,68
26	390	6,50	5,425				0,00	0,04	0,58	0,45	0,34	0,33	0,35	0,32	0,30	2,70
27	405	6,75	5,633					-	0,37	0,33	0,25	0,25	0,27	0,25	0,23	1,94
28	420	7,00	5,842					-	-	0,21	0,18	0,18	0,20	0,18	0,17	1,13
29	435	7,25	6,051					-	-	0,12	0,13	0,15	0,13	0,12	0,65	
30	450	7,50	6,259							-	0,09	0,11	0,10	0,09	0,39	
31	465	7,75	6,468								-	0,07	0,06	0,06	0,19	
32	480	8,00	6,676									-	-	-	-	

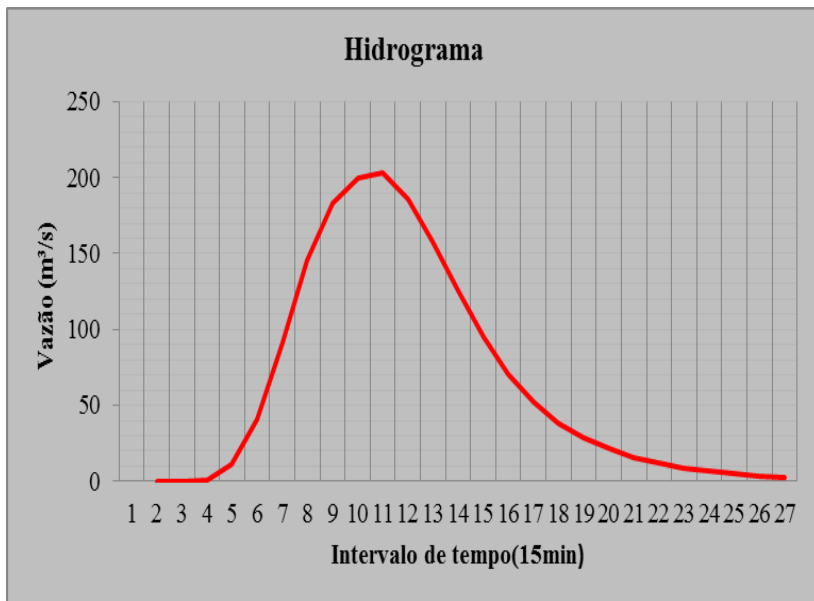


Figura 40: hidrograma unitário nas condições de ocupação do solo para o ano de 1956. Grupo hidrológico D

5.6.2.2. Chuva efetiva para o grupo hidrológico C

Para a determinação da chuva efetiva com o solo classificado no grupo hidrológico C, utilizou-se a mesma metodologia para determinação com as condições do grupo D. A tabela 18 apresenta a determinação do $CN_{méd}$ para o grupo hidrológico C.

$$\Sigma(A*CN)=(A_1*CN_1)+(A_{N+1} + CN_{N+1}) \quad \text{EQ. 18}$$

$$CN_{méd} = (\Sigma(A*CN))/A_{TOTAL}$$

$$CN_{méd} = 1.345,50/ 19.01$$

$$CN_{méd} = 70,7785$$

Tabela 18: determinação do CN médio para o solo do grupo hidrológico C

Tipo de uso e ocupação do solo	Área km ²	Correspondente		Área X CN
		Tipo de uso e ocupação do solo	Valor de CN	
Pavimentação asfáltica	-	Pavimentação com guias de drenagem	98	-
Pavimentação com blocos	-	Pavimentação com cascalho	89	-
Pavimentação com saibro	0,41	Pavimentação em terra	87	35,67
Pavimentação de passeios públicos	-	Pavimentação com guias de drenagem	98	-
Pavimentação de lotes	-	Pavimentação com guias de drenagem	98	-
Edificações	0,24	Lote até 500m ² com 65% impermeável	90	21,60
Solo exposto	0,09	Estrada de terra	87	7,83
Solo com vegetação	18,22	Floresta em condições médias	70	1.275,40
Rios e alagados	0,05	Sem correspondência	100,00	5,00
Total da bacia	19,01			1.345,50
				CN médio $\Sigma(A*CN)$ 70,7785

Com o valor de $CN_{méd}$ definido passa-se a determinar a chuva efetiva, a tabela 19 apresenta a determinação da chuva efetiva com dez intervalos de tempo sendo que a distribuição foi elaborada pelo método dos blocos alternados. O período de retorno utilizado é de 50 anos. A figura 41 apresenta o gráfico da chuva efetiva.

Tabela 19: determinação da chuva efetiva nas condições de uso do solo para o ano de 1956 - grupo hidrológico C

Interv.	Tempo (min)	Tempo (h)	Tempo %	i (mm/h)	S	P %	P ac (mm)	P (mm)	R ac (mm)	Ref (mm)
1	15,00	0,25	10	203,091	104,87	35,92	50,773	7,148	0,000	0,000
2	30,00	0,50	20	145,62	104,87	51,51	72,810	9,408	0,000	0,000
3	45,00	0,75	30	116,782	104,87	61,96	87,587	14,777	0,931	0,093
4	60,00	1,00	40	98,9793	104,87	70,02	98,979	50,773	22,514	2,158
5	75,00	1,25	50	86,7101	104,87	76,68	108,388	22,037	36,787	1,427
6	90,00	1,50	60	77,6531	104,87	82,40	116,480	11,392	44,839	0,805
7	105,00	1,75	70	70,6445	104,87	87,46	123,628	8,092	50,780	0,594
8	120,00	2,00	80	65,0312	104,87	92,01	130,062	6,434	55,621	0,484
9	135,00	2,25	90	60,4159	104,87	96,17	135,936	5,873	60,121	0,450
10	150,00	2,50	100	56,5419	104,87	100,00	141,355	5,419	64,337	0,422

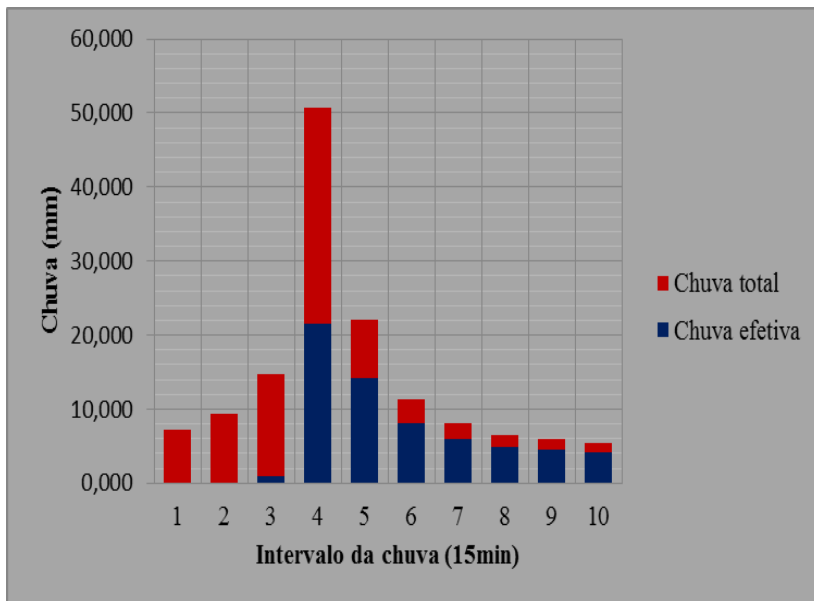


Figura 41: chuva efetiva nas condições de uso do solo para o ano de 1956.grupo hidrológico C

Com os valores da chuva efetiva por intervalo de tempo passa-se a determinar o hidrograma unitário definindo desta forma às vazões de pico e máxima. Para a elaboração do hidrograma unitário foi utilizada a relação entre t/tp e q/q_p do método SCS para interpolação dos valores.

O quadro 12 apresenta a determinação do hidrograma unitário para a bacia hidrográfica do Rio Criciúma para as condições de uso e ocupação do solo no ano de 2006, com vazões de pico de $36,04\text{m}^3/\text{s}$ e vazão máxima de $165,63\text{m}^3/\text{s}$, a figura 42 ilustra o gráfico o hidrograma unitário.

O período de retorno aplicado é de 50 anos considerando tratar-se de uma macrodrenagem e a influência com que o Rio Criciúma atua no sistema de drenagem da bacia urbanizada.

Quadro 12: determinação do hidrograma unitário nas condições de ocupação do solo para o ano de 1956 grupo c (1/3)

Interv.	t (min)	t (horas)	t/tp	Q/qp	H	R ef (cm)									Q (m3/s)	
						0	0,093	2,158	1,427	0,805	0,594	0,484	0,450	0,422		
1	15	0,25	0,209	0,08	2,717											-
2	30	0,50	0,417	0,30	9,924	0,00										-
3	45	0,75	0,626	0,64	21,253	0,00	0,25									0,25
4	60	1,00	0,835	0,92	30,281	0,00	0,92	5,86								6,79
5	75	1,25	1,043	0,99	32,714	0,00	1,98	21,42	3,88							27,28
6	90	1,50	1,252	0,88	28,991	0,00	2,82	45,87	14,16	2,19						65,04
7	105	1,75	1,460	0,70	22,953	0,00	3,05	65,35	30,34	7,99	1,61					108,34
8	120	2,00	1,669	0,51	16,883	0,00	2,70	70,60	43,22	17,11	5,90	1,32				140,85
9	135	2,25	1,878	0,38	12,577	0,00	2,14	62,57	46,69	24,38	12,63	4,80	4,47			157,68
10	150	2,50	2,086	0,29	9,419	0,00	1,57	49,54	41,38	26,34	17,99	10,29	9,56	8,96		165,63
11	165	2,75	2,295	0,21	6,979	0,00	1,17	36,44	32,76	23,34	19,44	14,66	13,63	12,77		154,20
12	180	3,00	2,504	0,15	5,085	0,00	0,88	27,14	24,10	18,48	17,23	15,84	14,72	13,79		132,17

Quadro 12: Determinação do hidrograma unitário nas condições de ocupação do solo para o ano de 1956 Grupo C (2/3)

Interv.	t (min)	t (horas)	t/tp	Q/qp	H	R ef (cm)										Q (m3/s)
						0	0,093	2,158	1,427	0,805	0,594	0,484	0,450	0,422		
13	195	3,25	2,712	0,11	3,697	0,00	0,65	20,33	17,95	13,59	13,64	14,03	13,05	12,22	105,46	
14	210	3,50	2,921	0,08	2,775	0,00	0,47	15,06	13,44	10,13	10,03	11,11	10,33	9,68	80,25	
15	225	3,75	3,130	0,06	2,141	0,00	0,34	10,97	9,96	7,58	7,47	8,17	7,60	7,12	59,22	
16	240	4,00	3,338	0,05	1,604	0,00	0,26	7,98	7,26	5,62	5,60	6,09	5,66	5,30	43,76	
17	255	4,25	3,547	0,03	1,132	0,00	0,20	5,99	5,28	4,09	4,15	4,56	4,24	3,97	32,48	
18	270	4,50	3,755	0,03	0,884	0,00	0,15	4,62	3,96	2,98	3,02	3,38	3,14	2,94	24,19	
19	285	4,75	3,964	0,02	0,637	0,00	0,11	3,46	3,06	2,23	2,20	2,46	2,29	2,14	17,95	
20	300	5,00	4,173	0,01	0,491	0,00	0,08	2,44	2,29	1,72	1,65	1,79	1,66	1,56	13,20	
21	315	5,25	4,381	0,01	0,367	0,00	0,06	1,91	1,62	1,29	1,27	1,34	1,25	1,17	9,91	
22	330	5,50	4,590	0,01	0,267	0,00	0,05	1,37	1,26	0,91	0,95	1,04	0,96	0,90	7,45	
23	345	5,75	4,799	0,01	0,198	0,00	0,03	1,06	0,91	0,71	0,67	0,78	0,72	0,68	5,56	

Quadro 12: Determinação do hidrograma unitário nas condições de ocupação do solo para o ano de 1956 Grupo C (3/3)

Interv.	t (min)	t (horas)	t/tp	Q/qp	H	R ef (cm)										Q (m ³ /s)
						0	0,093	2,158	1,427	0,805	0,594	0,484	0,450	0,422		
24	360	6,00	5,007	0,00	0,127	0,00	0,02	0,79	0,70	0,51	0,53	0,55	0,51	0,48	4,09	
25	375	6,25	5,216		0,000	0,00	0,02	0,58	0,52	0,40	0,38	0,43	0,40	0,37	3,09	
26	390	6,50	5,425			0,00	0,01	0,43	0,38	0,30	0,29	0,31	0,29	0,27	2,27	
27	405	6,75	5,633				-	0,27	0,28	0,22	0,22	0,24	0,22	0,21	1,66	
28	420	7,00	5,842				-	-	0,18	0,16	0,16	0,18	0,17	0,15	1,00	
29	435	7,25	6,051				-		-	0,10	0,12	0,13	0,12	0,11	0,58	
30	450	7,50	6,259							-	0,08	0,10	0,09	0,08	0,34	
31	465	7,75	6,468								-	0,06	0,06	0,05	0,17	
32	480	8,00	6,676									-	-	-	-	

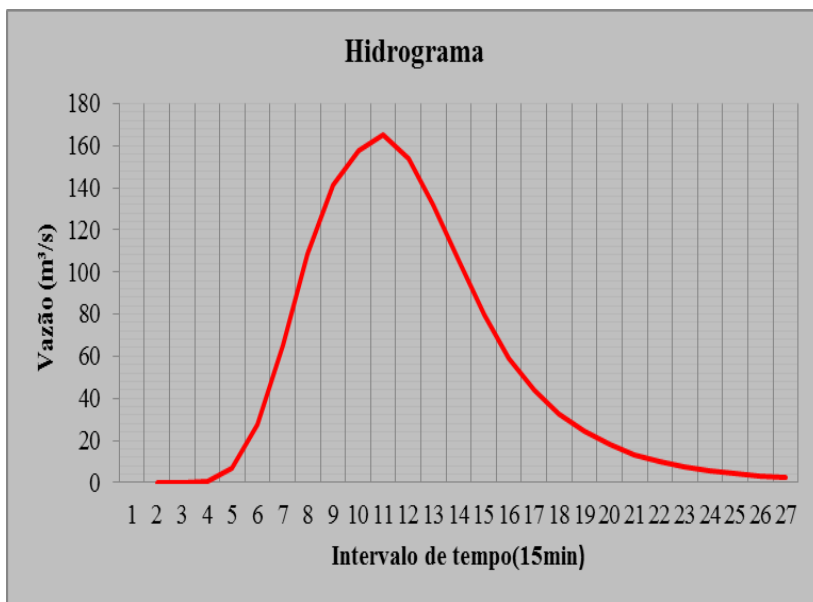


Figura 42: hidrograma unitário nas condições de ocupação do solo para o ano de 1956. Grupo hidrológico C

5.7. Análise

a) Iniciam-se as análises pelas características meteorológicas do município e mais especificamente a posição geográfica da bacia do Rio Criciúma, justificando-se o uso das equações de chuvas intensas desenvolvidas por Back 2002 a partir dos dados da estação meteorológica de Urussanga. Esta estação está situada a uma distância de 20 km da bacia em estudo com as mesmas características meteorológicas. O quadro 13 apresenta a relação entre a estação meteorológica e a bacia em estudo.

Quadro 13: Relação meteorológica entre a estação de Urussanga e a bacia hidrográfica do Rio Criciúma.

Características meteorológicas	Bacia Rio Criciúma	Estação meteorológica Urussanga
Clima	Sub tropical	Sub tropical
Temperatura média anual	18° a 20°	18° a 20°
Precipitação média mensal	1.300mm a 1.500mm	1.500mm a 1.700mm

Fonte: Epagri

b) Quanto às características físicas da bacia hidrográfica do Rio Criciúma, a análise temporal aponta para uma grande mudança entre 1956, ano do primeiro voo fotogramétrico e 2006. O quadro 14 apresenta os dados levantados e comparações das alterações entre 1956 e 2006.

Quadro 14: Valores comparativos característicos da bacia do rio Criciúma 1956/2006.

Característica morfométrica	Símbolo adotado	Valores em 1956	Valores em 2006	Diferença 1956/2006	Taxa de alteração (%)
Coefficiente de compacidade	Kc	1,309	1,309	0,00	0,00
Fator de forma	Kf	0,428	0,428	0,00	0,00
Densidade hidrográfica	Dh	10,15 Canais/ Km ²	23,88 Canais/ Km ²	13,73 Canais/ Km ²	135,27
Densidade de drenagem	Dd	3,11km/km ²	12,75km/km ²	9,64	309,96
Amplitude altimétrica	Aa	253m	253m	0,00	0,00
Relação de relevo	Rr	37,98	37,98	0,00	0,00
Índice de rugosidade	Ir	786,83	3226,65	2.439,32	310,08
Índice de circularidade	Ic	0,591	0,591	0,00	0,00
Comprimento do rio principal	L	10,238 (km)	7,834 (km)	2,404 (km)	-30,68

A redução do comprimento do Rio Criciúma em 2,404km é resultado de retificações executadas no período estudado (1956-2006).

c) Quanto aos hidrograma unitários, estes foram elaborados de modo a fornecer parâmetros às comparações das alterações ocorridas temporalmente entre os dois períodos avaliados. Faz-se uma análise com duas classificações do grupo hidrológico dos solos, C e D visando obter uma correspondência com os parâmetros adotados em projetos desenvolvidos pela gestão pública ou entidades e profissionais privados. As características do solo do município de Criciúma só permite classificar, tecnicamente correto e sem equívocos, em grupo hidrológico em C ou D. No entanto, dependendo da interpretação de cada profissional, ou dos dados disponíveis, admite-se uma classificação variável entre C e D. O quadro 15 apresenta um resumo dos resultados dos hidrograma avaliados.

Quadro 15: Quando resumo dos resultados dos hidrograma unitários 1957/2006

Grupo Hidrológico	Indicadores	Ano de 2006	Ano de 1957	Diferenças (%)
D	CN	82,2001	77,5655	5,9751
	Q _p	49,10	33,00	36,2375
	Q _{máx}	266,79	203,66	31,00
	L _{rio}	7.834,00	10.238,00	-30,6867
	A _{imp}	5,41	0,65	732,46
C	CN	76,98	70,7785	8,7603
	Q _p	49,10	33,00	36,2375
	Q _{máx}	227,97	165,63	37,64
	L _{rio}	7.834,00	10.238,00	-30,6867
	A _{imp}	5,41	0,65	732,46

CN – Curve Number;

Q_p – Vazão de pico (m³/s);

Q_{máx} – Vazão máxima (m³/s);

L_{rio} – Comprimento do rio principal (Rio Criciúma);

A_{imp} – Área impermeabilizada (km²).

5.8. Avaliação

As equações de intensidade de chuva da estação meteorológica de Urussanga proporcionam valores correspondentes às características da bacia estudada, considerando a proximidade geográfica e semelhanças de temperatura e clima. A diferença das características da precipitação apontadas no mapa da figura 27. não interfere sobre fatores que possam levar a sub dimensionamentos, pois as médias da estação meteorológica são superiores as da bacia. Leva-se também em consideração a série histórica com dados armazenados desde 1924, proporcionando maior segurança no desenvolvimento das equações.

Quanto às características físicas, avalia-se que a drenagem inicial da bacia hidrográfica atendia a um modelo de drenagem pluvial mais adequado, retendo a maior parcela das precipitações dentro de seus próprios limites. Esta característica estava ligada a baixa taxa de impermeabilização, apontada pelo valor de $CN_{\text{médio}}$ do solo e muito claramente pela presença de vales e canais abertos que permitiam o escoamento livre das águas superficiais. Estas condições da bacia hidrográfica, também contribuía para ausências de inundações bruscas, pois as características morfométricas permitiam que a maior parcela das águas precipitadas fosse absorvida pelo solo.

Com o crescimento da área ocupada pela urbanização, a impermeabilização do solo aumentou 732,46%, passando de 0,65km² em 1956 para 5,41 km² em 2006. Este aumento da impermeabilização representou um acréscimo na vazão máxima de 49,95% para o solo classificado no grupo hidrológico D e 60,11% no grupo hidrológico C.

Vales, canais, nascentes e rios foram canalizados e inseridos no sistema de drenagem urbana, na qual toda a água precipitada é captada e transportada até o ponto de descarga da bacia. As águas presentes dentro da área da bacia oriunda de nascentes passaram a escoar por galerias fechadas e subterrâneas, integrando-se a microdrenagem relocadas paralelamente e abaixo das vias de circulação pavimentadas. Nesta nova configuração da drenagem, as águas não mais se infiltram, somam-se às águas de precipitação elevando as vazões descarregadas à jusante, ultrapassando a capacidade de descarga do exutório. Os valores comparativos são apresentados no quadro 15.

Na caracterização morfométrica da bacia no ano de 1957, não há indicativos de uma bacia hidrográfica propícia a cheias, estas indicações estão apontadas no coeficiente de compacidade acima da unidade e baixo fator de forma e índice de circularidade.

Nos valores encontrados considerando as transformações da bacia, resultantes da antropização até o ano de 2006, alguns índices tiveram relevantes alterações. A rede hidrográfica está cerca de 80% descaracterizada inserida sob o solo ocupado. O Rio Criciúma, principal drenante da bacia, teve uma redução de 2.404m (30,68%), resultado de retificações efetuadas ao longo dos anos sempre como medida de redução de ocorrências de cheias. A redução no comprimento total do Rio Criciúma, representa uma redução de 36,06% no tempo de concentração da bacia, passando de 1,66h para 1,22h. O quadro 16 apresenta a comparação dos tempos de concentração com os comprimentos iniciais e final, determinado pela equação de Kirpinch. Os comprimentos dos talwegues para os anos considerados, estão acrescidos de 812,39m, que é o trecho complementar do início do Rio Criciúma até a cota montante (mais alta).

Quadro 16: tempo de concentração por Kirpinch

Ano	L (m)	C.M (m)	C.J (m)	S m/Km	tc (mim)	tc (h)
1957	11.042,39	275,00	21,60	22,95	108,43	1,81
2006	8.646,39	275,00	21,60	29,31	81,74	1,36

A escolha da equação do tempo de concentração por Kirpinch partiu da comparação com outras equações, conforme mostra o quadro 17, onde foi utilizado as características físicas do ano de 2006 apontadas no quadro 16.

Quadro 17: comparação de equações de tempo de concentração

Tempo	Cinemático	Kirpinch	CCP	DER SP	SCS EUA	Cinemático SCS
Minutos	140,30	81,74	81,74	122,19	7,95	28,82
Horas	2,34	1,36	1,36	2,04	0,13	0,48

Observando os valores, a média aritmética é de 77,12 minutos muito próximo a Kirpinch e CCP, justificando a escolha por ser mais difundida e utilizada nos dimensionamentos de drenagem urbana.

A ocupação do solo pela urbanização gerou uma nova configuração do sistema de drenagem superficial, é o sistema viário e seu sistema de drenagem que passa a exercer o papel da rede hidrográfica inicial. Esta nova configuração está atrelada aos métodos utilizados nos projetos de drenagem urbana, os quais utilizam as ruas como dispositivos de captação das águas superficiais e transportes, bem como as caixas coletoras e as galerias subterrâneas. Neste contexto, a densidade hidrográfica aumentou em 135,27% resultado obtido neste estudo considerando que as vias de circulação passaram a ser a rede de drenagem superficial e que cada rua representa um canal. Não foi criado para este caso hierarquia de drenagem.

Pelo mesmo critério adotado, para a densidade hidrográfica, a densidade de drenagem aumentou em 309,96%, considerando a soma das extensões de todas as vias de circulação, sendo estas os meios de coleta e transporte das águas pluviais até o rio Criciúma.

Sendo o índice de rugosidade determinado em função da densidade de drenagem, aumentou na mesma proporção com valor de 310,08%.

Diante destes valores e respectivas taxas de crescimento da densidade hidrográfica, da densidade de drenagem e do índice de rugosidade, aliado a redução do comprimento do rio Criciúma, pode-se concluir que o aumento da frequência de inundações urbanas nesta bacia e com crescente elevação das vazões de pico e máximas, é resultado da significativa taxa de impermeabilização, escoamento superficial conduzido pelas vias de circulação em grande extensão, aumentando a densidade hidrográfica e de drenagem assim como o índice de rugosidade.

Estas novas características reduzem a parcela de água absorvida pelo solo, uma vez que nas condições iniciais não foi registrado inundações bruscas no centro urbano de Criciúma. Ao analisarmos o aumento de 49,95% e 60,11% da vazão máxima respectivamente nas condições D e C do grupo hidrológico do solo, podemos correlacionar os eventos de inundações bruscas a esta parcela de acréscimo de vazão.

CAPÍTULO 6

6. MENSURAÇÃO DO SISTEMA DE DRENAGEM DA BACIA DO RIO CRICIÚMA

6.1. Método de diagnóstico e levantamento dos dados

Os dados levantados foram tomados de modo a representar as características atuais do sistema de drenagem da bacia, considerando a hidrografia e dispositivos da infraestrutura urbana de coleta e transporte das águas pluviais e de nascentes além da presença de sedimentos.

A investigação foi realizada do geral ao particular, sendo primeiramente pesquisado a macrodrenagem compreendida pela rede hidrográfica e o Rio Criciúma, drenante principal de sua bacia. A rede hidrográfica é formada pelos afluentes ao Rio Criciúma, com rios perenes e intermitentes. Posteriormente o levantamento de dados foi realizado na microdrenagem com o levantamento dos dispositivos de drenagem urbana tais como, altura de meio fio, largura de ruas, dimensões de caixas coletoras, poços de visita, e galerias de águas pluviais.

Os dados foram obtidos com levantamento de campo com tomada de fotografias digitais, medições dos dispositivos com o uso de trena e georeferenciamento com GPS de navegação e precisão entre um a três metros. De posse dos dados levantados, utilizou-se a base cartográfica e imagem de satélite Geoeye para validação dos dados.

Os sedimentos comumente presentes no sistema de drenagem são responsáveis pela redução da capacidade de descarga de calhas, canais e galerias pela diminuição de seções transversais ou até o completo entupimento. A pesquisa da presença de sedimentos na bacia ocorreu por registros fotográficos dos locais potencialmente produtores de material capaz de comprometer o sistema de microdrenagem.

6.2. Método de análise

Os dados produzidos em campo foram utilizados para gerar os dados calculados a partir do levantamento “in loco”. Quanto à macro drenagem, analisa-se a rede hidrográfica de modo a reconhecer os canais que ainda permanecem com escoamento a céu aberto, aqueles que estão totalmente canalizados e a transição de aberto para a canalização subterrânea. Para a hidrografia canalizada, analisa-se a capacidade de

descarga utilizando-se dos dados e variáveis hidrológicas determinadas anteriormente, assim como os modelos matemáticos da hidráulica. Para determinação das vazões máximas e de pico é utilizado o método racional na análise da canalização da hidrografia. Sendo que para a seção do Rio Criciúma, utiliza-se o hidrograma unitário, método do Soil Conservacion Service (SCS) com a distribuição das chuvas pelo método dos blocos alternados. Além da análise técnica quantitativa relativa a dimensionamentos, analisa-se também qualitativamente quanto ao estado de conservação e funcionamento.

A análise da microdrenagem também se dá quantitativa nos aspectos técnicos de dimensionamento e qualitativa relativamente ao estado de conservação e funcionamento do dispositivo e de todo o sistema. O dimensionamento das seções é realizado pela equação de Maninng com as variáveis definidas nos levantamentos dos dados desta pesquisa nos dispositivos de macro e microdrenagem. Relaciona-se, áreas de contribuição, coeficiente de escoamento superficial, CN (Curve Number), tempo de concentração, declividades transversais e longitudinais, coeficiente de rugosidade.

Os pontos potenciais de produção de sedimentos foram analisados segundo tipologia e modo de deposição de resíduos sólidos (lixos e RCD's), assim como a contribuição dos solos expostos sujeitos ao carreamento pelas águas das chuvas.

As coordenadas coletadas com o GPS foram processadas em software topográfico e CAD para o ajustamento dos pontos junto à base cartográfica.

6.3. Método de avaliação

Para avaliar os resultados gerados nesta seção, procede-se as comparações das seções levantadas em campo (situação real) com as mínimas necessárias dimensionadas a partir das características reais encontradas na bacia hidrográfica. Na avaliação qualitativa do sistema, procura-se identificar aspectos geométricos e também de manutenção capaz de reduzirem a eficiência dos dispositivos a nível local ou pontual, e do sistema a nível geral ou integrado.

Quanto às áreas potencialmente produtoras de sedimentos para a rede de drenagem, avalia-se os tipos de material encontrado, a origem e os modos de carreamento para o sistema de drenagem.

Todo novo projeto de drenagem urbana tem como produto final as dimensões determinadas por modelos matemáticos que se utilizam de

variáveis definidas via hidráulica e hidrologia. O diagnóstico de um sistema de drenagem urbana compreende o levantamento das dimensões anteriormente definidas em projeto com a finalidade de verificação da funcionalidade e eficiência do sistema implantado. Sendo assim podemos tratar esta metodologia como sendo o processo inverso de definição de um sistema de drenagem, onde as dimensões estão definidas e avalia-se os resultados de um projeto.

Para a realização do cadastramento do sistema de drenagem pluvial urbana da bacia hidrográfica do rio Criciúma foi necessário o levantamento dos dados em campo a partir da leitura de mapas do sistema viário e base cartográfica, disponibilizados pela Prefeitura Municipal de Criciúma (PMC), para reconhecimento do local.

A coleta de dados em campo iniciou-se em agosto de 2010 e estendeu-se até fevereiro de 2011, sendo realizado por meio de tomada de medidas, georeferenciamento e registro fotográfico da micro e macrodrenagem. O cadastro refere-se a tomada de medidas como posicionamento por coordenadas UTM, largura de rios intermitentes e perenes, largura das ruas, abertura das caixas coletoras, declividades transversais e longitudinais das ruas, tipo de revestimentos de ruas e canais, dimensões de canalizações, entre outras.

6.4. Cadastro da macro drenagem

O diagnóstico da macro drenagem contempla toda a rede hidrográfica com seus rios perenes, intermitentes e o principal drenante da bacia, o Rio Criciúma. A bacia hidrográfica está representada na figura 43, com sua rede de drenagem atual, alterada e canalizada pela ocupação urbana.

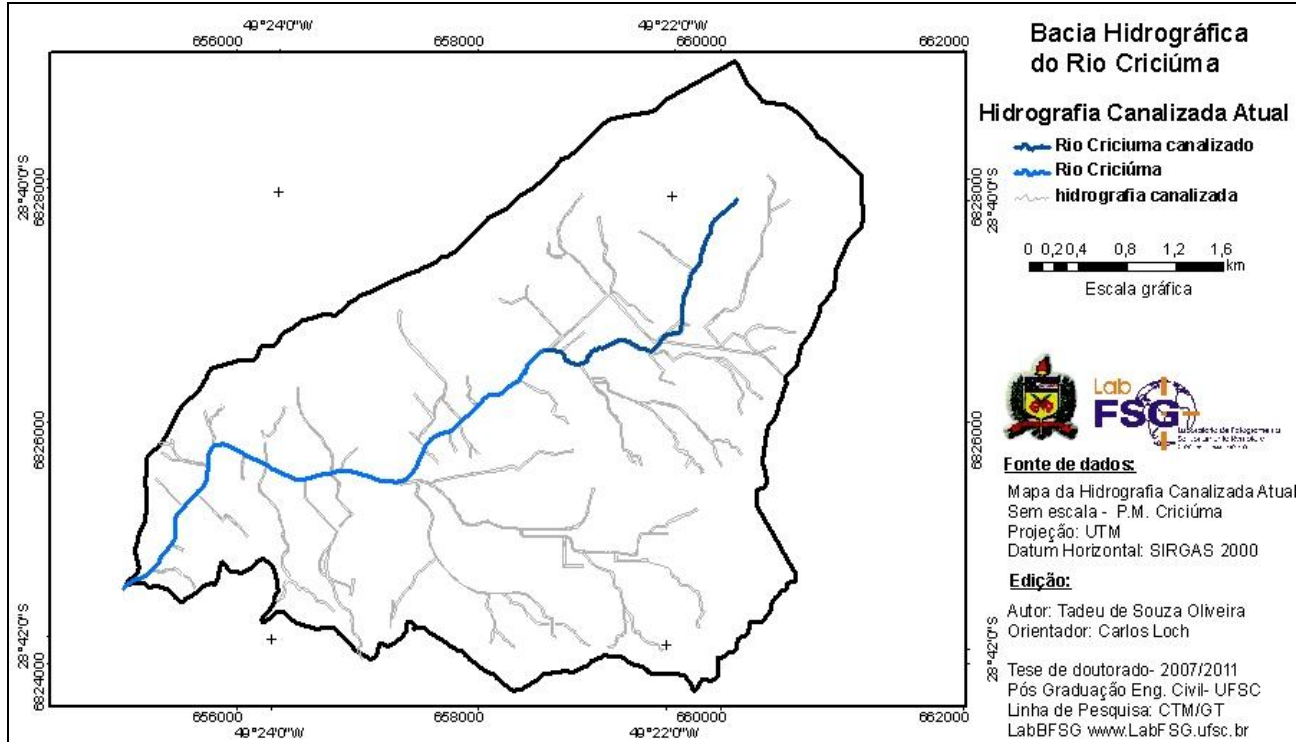


Figura 43: hidrografia canalizada da bacia do Rio Criciúma.

6.4.1. Rede hidrográfica

A caracterização hidrológica temporal do ano de 1956 e 2006 da bacia do rio Criciúma está descrita no item 5.2 deste capítulo apresentando as transformações e descaracterizações pela ocupação urbana. Neste item apresenta-se o diagnóstico da bacia com sua morfologia antes da densificação urbana e da situação atual da rede hidrográfica e suas patologias.

Como restam pequenos trechos não canalizados, ainda nas cotas mais altas das vertentes, o maior fator de descaracterização da rede hidrográfica passa a ser o escoamento subterrâneo com parâmetros hidráulicos diferentes de uma bacia natural, tais como rugosidade, declividade, capacidade de descarga, velocidades, etc.

Nas Figuras 44, 45, 46 e 47, apresenta-se a transição de um córrego no bairro Santo Antônio localizado nas coordenadas, E=656.575,06m e N=6.826.042,13m, de escoamento superficial para escoamento subterrâneo onde pode-se atestar as alterações dos padrões hidráulicos. Além das alterações hidráulicas, houve também degradação das características hidrológicas e morfológicas da parcela em escoamento superficial. A forma da passagem de superficial para subterrâneo não garante o bom funcionamento, pois os sedimentos de montante entram diretamente na tubulação sem caixa de transferência, permitindo assoreamento rápido da tubulação, impondo assim a perda de eficiência da capacidade de descarga. A identificação foi realizada a partir da observação na ortofoto, observação “in loco” com a tomada das coordenadas com GPS e posteriormente localizado na base cartográfica.



Figura 44: localização na ortofoto 2006

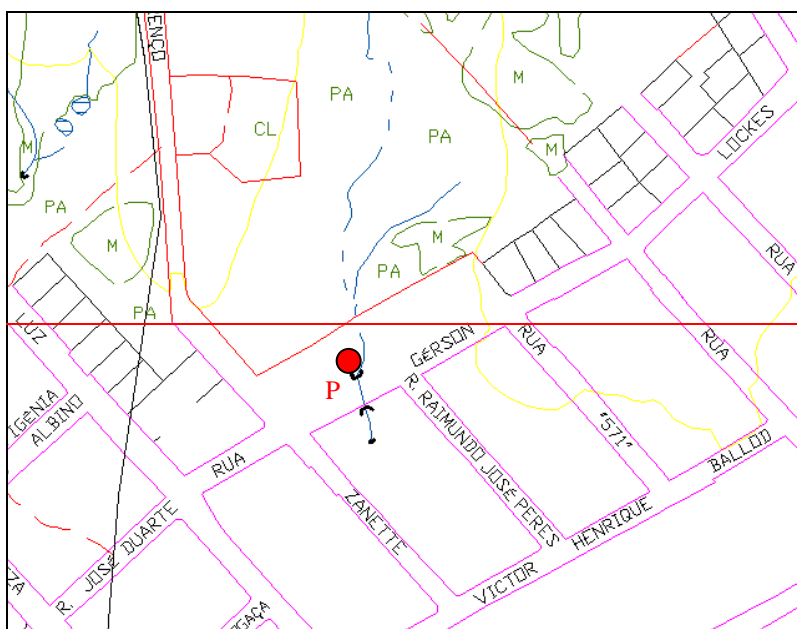


Figura 45: localização na base cartográfica 2001 atualizada para 2006



Figura 46: pequeno trecho do córrego ainda não canalizado na vertente do morro, no bairro Santo Antônio



Figura 47: início da canalização do córrego.

A bacia do Rio Criciúma apresenta seu sistema de drenagem quase que completamente canalizado, conforme apresentado na figura 48.

Os parâmetros foram obtidos a partir da sobreposição do mapa da hidrografia gerado sobre o voo de 1956 com o mapa de obras de drenagem fornecido pela Prefeitura Municipal de Criciúma. Sobre a cartografia mediu-se o total de canais da hidrografia e também da rede canalizada.

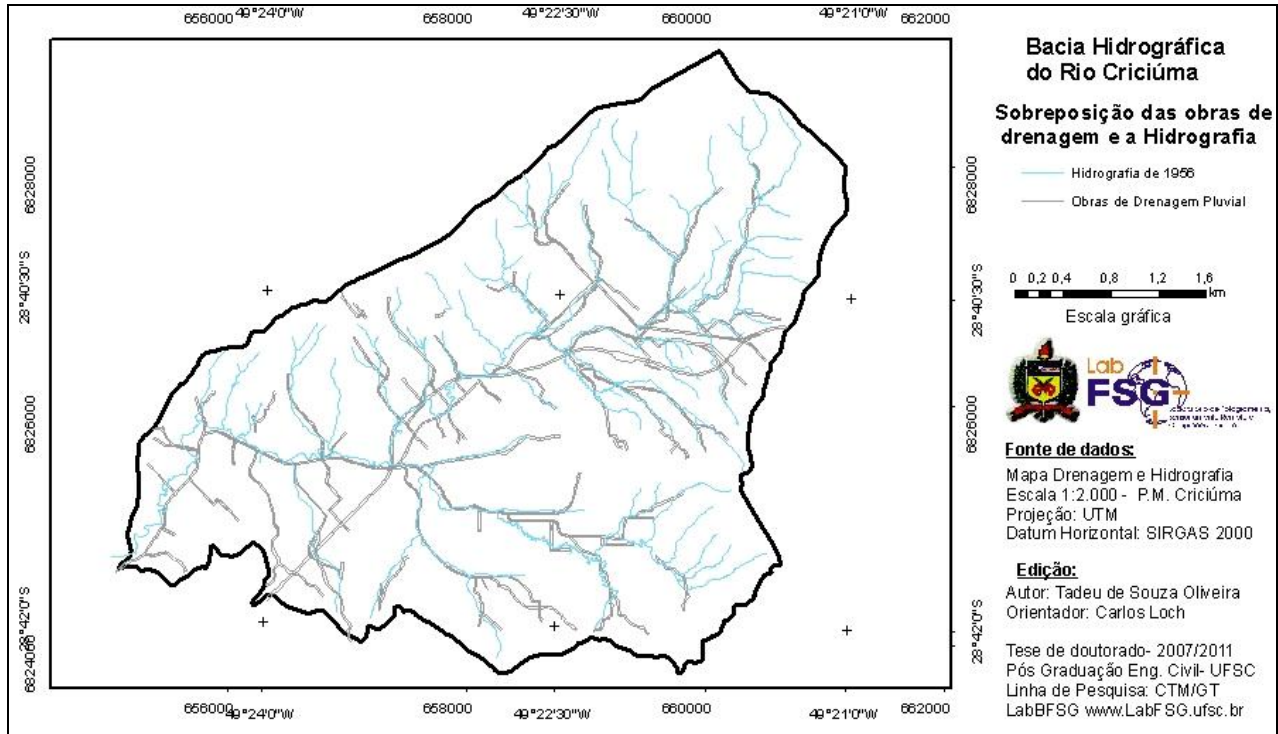


Figura 48: sobreposição da rede hidrográfica natural com a rede de drenagem canalizada

As figuras 49 e 50 expõem as condições de alguns córregos na sub bacia 15 e que ainda se encontram a céu aberto, em transição para o escoamento subterrâneo e tipos de alterações hidráulicas com a permanência do escoamento superficial. Apresentam um canal em boas condições por estar inserido em uma área de encosta de alta declividade e preservação da vegetação. Este canal encontra-se no bairro centro fazendo sua transição de escoamento superficial para subterrâneo por uma caixa de passagem nas coordenadas E=659.060,40m e N=6.827.378,17m, permitindo assim o monitoramento e manutenção do dispositivo. A identificação deste ponto foi realizada por observações sobre a ortofoto de 2006 e tomada das coordenadas e fotografias “in loco”.



Figura 49: rio perene integrante da rede hidrográfica com escoamento a céu aberto.



Figura 50: transição de um rio perene com escoamento a céu aberto para escoamento canalizado subterrâneo.

As Figuras 51 e 52 de coordenadas E= 658.857,55m; N=6.827.884,35m mostram a fragilidade do sistema de drenagem da bacia. O dispositivo, uma caixa de transferência construída em pedras de alicerce responsável pela passagem das águas pluviais e de um rio perene no bairro Lote Seis, está exposta a erosões e a acúmulos de detritos. A jusante da caixa de transferência, o escoamento segue a céu aberto em meio a ocupação de fundo de vale sem qualquer método de preservação e proteção do canal escoando diretamente sobre o solo. A identificação deste ponto foi realizada por observações sobre a ortofoto de 2006 e tomada das coordenadas e fotografias “in loco”.



Figura 51: ocupação de fundo de vale e caixa de transferência



Figura 52: caixa de transferência

A canalização ocorre das mais variadas formas e características. É o exemplo apresentado nas figuras 53 e 54, um rio perene no bairro Vera Cruz localizado entre as coordenadas E=658.959m; N=6.827.119m e E=658.665m; N=6.827.533m, canalizado com pedras de alicerce

mantendo a condição de escoamento superficial, no entanto com suas características hidráulicas alteradas em relação ao original.

As alterações físicas tais como geometria da seção e materiais de revestimentos incide diretamente na capacidade de descarga do canal, sendo desta forma alterada variáveis importantes como áreas, raio hidráulico e coeficiente de atrito. Verifica-se em toda a bacia hidrográfica do Rio Criciúma depósitos de resíduos sólidos, e em grande parte próximos a canais de drenagem. A figura 54 também mostra a disposição inadequada de RCCs nas margens do canal descrito acima. Trata-se de uma demolição e reconstrução de uma residência sobre a faixa de preservação do canal ilustrando a forma de expansão urbana inadequada.



Figura 53: localização ortofoto 2006



Figura 54: disposição de RCC as margens do canal na micro bacia 15.

Os efeitos provocados pela evolução desorganizada da urbanização na bacia do rio Criciúma e ações imprudentes que descaracterizaram completamente a rede hidrográfica local, são hoje lembrados a cada previsão meteorológica com alto índice pluviométrico e curta duração. Em 1967 surge a primeira inundação na bacia hidrográfica do rio Criciúma, fato este que se tornou recorrente. Nem mesmo as frequentes inundações bruscas que se abateram sobre o centro da cidade, fizeram com que mudassem as ações para um planejamento urbano visando a solução ou minimização de tais problemas.

6.4.2. Rio Criciúma

Segundo Goulart (2006) o processo de canalização do rio Criciúma iniciou a partir do final da década de 1950, pela Lei Municipal nº 270, de 24 de Junho de 1959 na qual é declarado de Utilidade Pública, a extensão necessária à retificação do Rio Criciúma desde a sua Foz no Rio Sangão, até a Rua Henrique Lage. Neste trecho, atualmente não há canalização, apenas várias passagens de ruas com pontes. Ressalta-se que, nesta ação foi alterado o traçado do rio, eliminando suas curvas e reduzindo seu comprimento. A figura 55 apresenta o rio em 1956 e a figura 56 o rio em sua configuração atual, mantendo a retificação realizada no final da década de 1950.

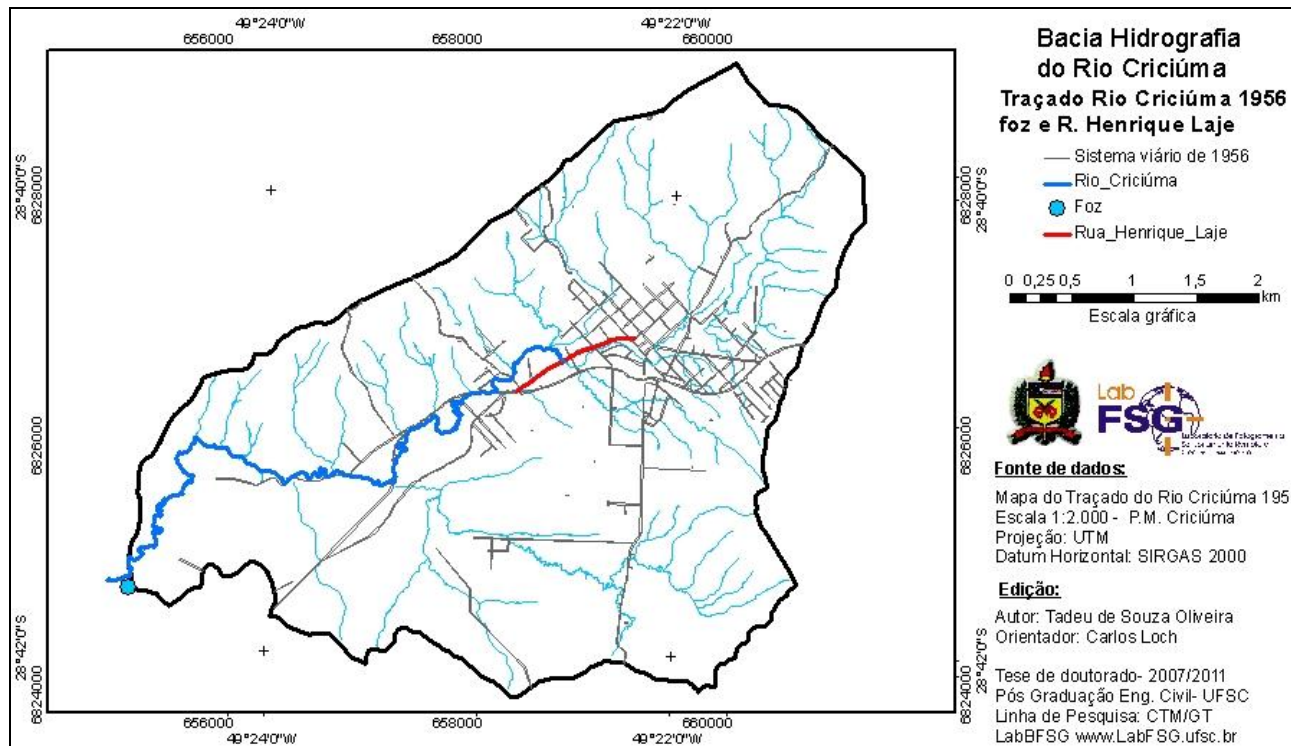


Figura 55: traçado do Rio Criciúma em 1956 entre a foz e a Rua Henrique Lage.

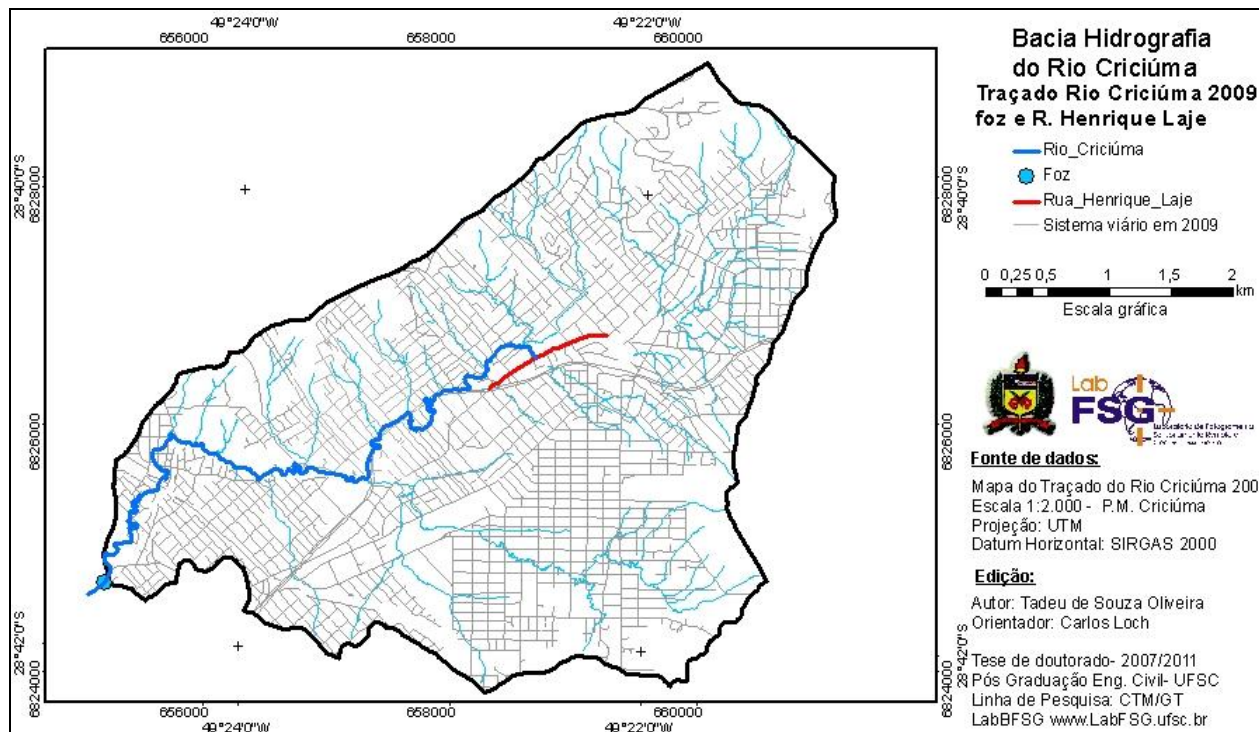


Figura 56: traçado do Rio Criciúma em 2009 entre a foz e a Rua Henrique Lage.

Analisando a evolução da ocupação urbana em um mesmo ponto em 1920 e 2011 pode-se observar que no início da formação do centro urbano, as edificações já avançavam sobre o rio Criciúma. Em 2011 este já se encontra totalmente sob as edificações, sendo a ponte ilustrada na figura 51, a Rua João Zanete. O ponto apresentado nas figuras 57 e 58 encontra-se nas coordenadas E=659.381,1m1; N=6.826.535,87m sob a Rua João Zanete.

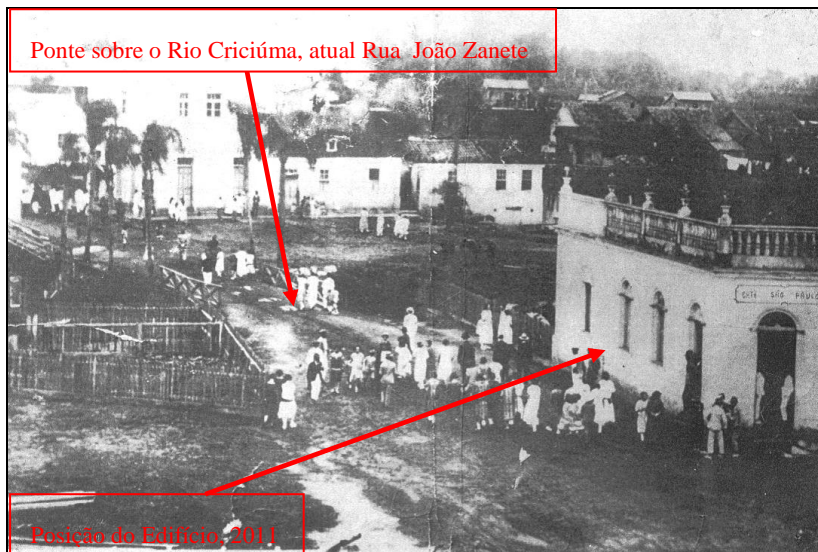


Figura 57: início da ocupação urbana as margens do Rio Criciúma em 1920. Fonte: Foto Zapelini.



Figura 58: ocupação atual do rio criciúma

No final da década de 1950, tiveram início no centro da cidade, as primeiras obras de canalização do Rio Criciúma pela aproximação das edificações das suas margens (Figura 59).



Figura 59: canalização do rio criciúma em pedra de alicerce.
(E=658.708m;N=6.826.541m).Fonte: Casa da Cultura.

Sobre as paredes estruturais de pedra, aos poucos o Rio vai recebendo cobertura com laje de concreto armado (Figura 60), confinando-o completamente. Assim aos terrenos lindeiros somam-se as áreas que antes pertenciam ao Rio. Com o Rio “escondido”, se oculta também os efluentes domésticos, os resíduos sólidos e o mau cheiro, ficando o espaço livre para as edificações avançarem “rio adentro”.



Figura 60: canalização do rio criciúma em 2011, sob passagem de rua.
(E=659.731m;N=6.826939m)

Impulsionados pelas obras de canalização e agravados pela falta de fiscalização e de conhecimentos científicos, paredes foram construídas sobre a linha das margens, sacadas sobre a calha do rio e uma série de outras irregularidades que acarretaram na diminuição da seção do rio Figuras 61 e 62.



Figura 61: edificação sobre as paredes e sacada sobre o rio criciúma.
(E=658.718m;N=6.826.524m)



Figura 62: edificação sobre as paredes e laje de cobertura sobre o rio criciúma.(E=658.708m;N=6.826.541m)

Há casos em que o confinamento do Rio Criciúma permitiu o amembramento de propriedades ignorando o limite físico natural, ou seja, o próprio Rio. Como exemplo podemos citar o caso de um Shopping Center (Figura 63) localizado na área central do município. Neste exemplo, o edifício construído não apenas atingiu as margens,

mas também foi construído sobre o curso d'água, fazendo com que seu traçado e a descarga das águas aconteçam em um ambiente completamente confinado abaixo do subsolo. Esta edificação possui suas garagens com piso abaixo no nível das margens do curso d'água (aproximadamente 90 cm), sendo que em função desta cota, houve a necessidade da construção de rampas para passagens dos veículos de um lado a outro do rio (figura 64).

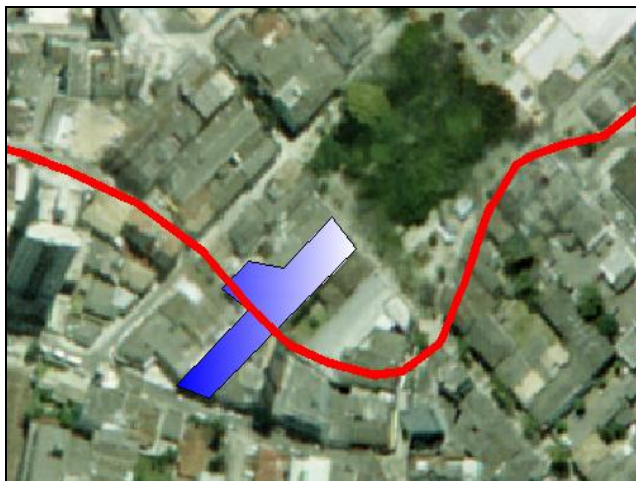


Figura 63: edifício do shopping sobre o rio criciúma.
(P: N=6.826.572m; E=659.309m)



Figura 64: garagem do shopping com a passagem sobre o Rio Criciúma. (P: N=6.826.572m; E=659.309m)

O adensamento populacional e a pressão urbana contribuíram para uma significativa alteração da paisagem, substituindo ao longo dos anos o leito natural do rio Criciúma, por lajes de concreto e edificações.

A análise da base cartográfica de 1957 com a sobreposição do Rio Criciúma e seu traçado ainda original permite a avaliação da extensão da urbanização e a quantificação dos trechos já canalizados. Nas Figuras 65 e 66 demonstra-se como exemplo o trecho entre os pontos 1 e 2 de coordenadas (E=659.732,77m; N=6.826.938,40m) e (E=658.208,37m; N=6.826.256,88m) respectivamente, segmento em que já havia a maior quantidade de trechos canalizados. O rio possui nesta data um total de 10.238m, sendo que deste encontra-se 559m canalizados principalmente para passagens de ruas representando 5,46% do seu total. Do total canalizado, 240 m situados dentro de propriedades particulares e 379 m em áreas públicas como bueiros ou pontes.

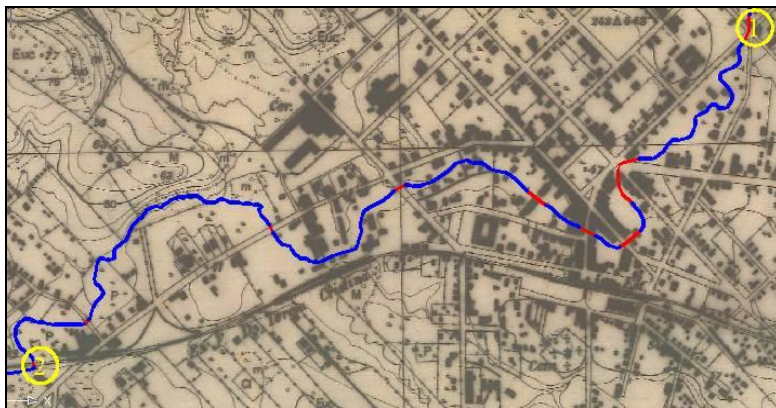


Figura 65: traçado do Rio no centro da cidade sobre a base cartográfica de 1957.

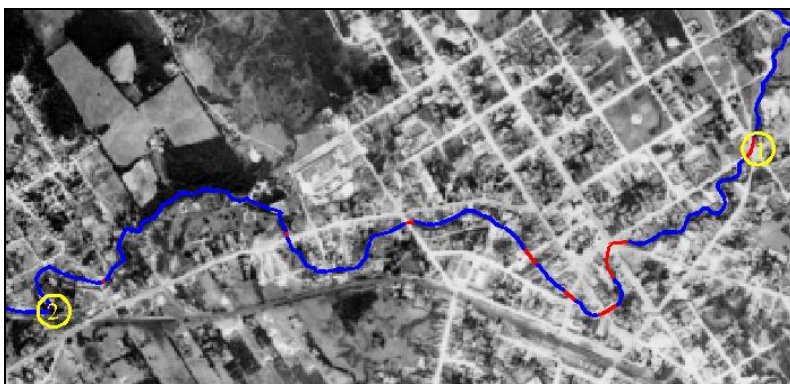


Figura 66: traçado do Rio no centro da cidade, vista aérea de 1957.

A mesma análise foi realizada utilizando-se a base cartográfica de 2001 atualizada para 2006 e a ortofoto de 2006. Constatou-se neste caso, que houve uma redução de 2.403m no comprimento total do Rio Criciúma, em consequência das seguidas obras de retificação. Os trechos canalizados aumentaram para 1.732m, representando 22,11%. Deste total 1.480m localizam-se na área central representando 68,6% deste trecho onde ocorrem as frequentes inundações. As Figuras 67 e 68 apresentam o mesmo trecho demonstrado para o ano de 1956, com a base cartográfica de 2001 atualizada para 2006 e a ortofoto de 2006.

A este aumento dos trechos canalizados, pode associar-se ao surgimento de alguns pontos críticos de alagamento, resultantes de chuvas intensas de baixa duração.

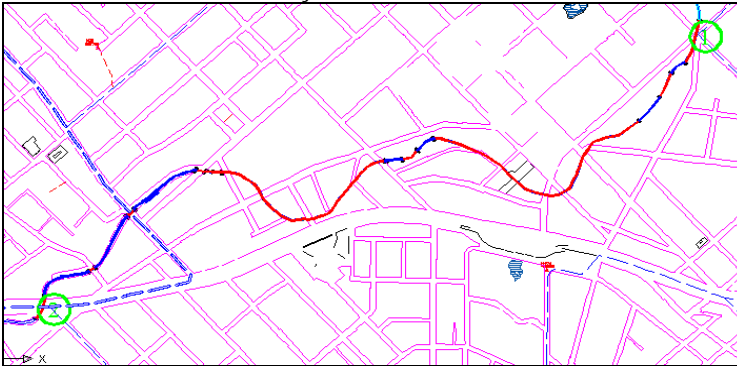


Figura 67: traçado do Rio Criciúma no centro da cidade, com a identificação dos trechos canalizados sobre a base cartográfica.

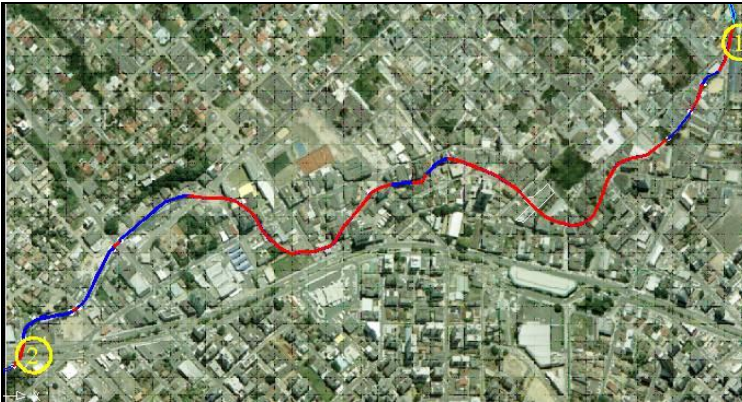


Figura 68: traçado do Rio Criciúma no centro da cidade, com a identificação dos trechos canalizados sobre a ortofoto.

Para caracterizar o Rio Criciúma geometricamente ao longo de todo trecho foi realizado medições em pontos determinados definindo a seção transversal e declividade longitudinal média e por trecho.

a) Ponto 1 localizado na estação meteorológica do centro, nas coordenadas E=659.739m e N=6.826.966m (figura 69).

Dados:

Largura - 3,20m;

Altura – 1,25m;

Revestimento: laterais em pedra de alicerce, fundo e cobertura em concreto.



Figura 69: canalização do Rio Criciúma próximo a rua Felipe Schmidt

b) Ponto 2 localizado entre as ruas Pedro Benedet e Marechal Deodoro, fundos do edifício comercial Catarina Gaidzinsk nas coordenadas E=659.706,20m e N=6.826.863,44m (figura 70).

Dados:

Largura - 2,73m;

Altura – 2,25m;

Revestimento: laterais em pedra de alicerce, fundo e cobertura em concreto.



Figura 70: canalização sob edificações

c) Ponto 3 localizado entre nas proximidades da rua Henrique Lage nas coordenadas E=659.047m e N=6.826.624m (figura 71).

Dados:

Largura - 2,34m;

Altura - 2,47m;

Revestimento: laterais em pedra de alicerce, fundo e cobertura em concreto.



Figura 71: passagem sobre edificações

d) Ponto 4 localizado sob a rua Henrique Lage nas coordenadas E=658.709m e N=6.826.543m (figura 72).

Dados:

Largura - 8,00m;

Altura – 2,50m;

Revestimento: laterais em pedra de alicerce, fundo e cobertura em concreto.



Figura 72: trecho em transição com escoamento aberto
Fonte Protol Consultoria e Engenharia

e) Ponto 5 localizado sob a rua Ângelo Peruchi nas coordenadas E=658.087m e N=6.826.214m (figura 73).

Dados:

Largura - 7,24m;

Altura – 3,05m;

Revestimento: laterais em pedra de alicerce, fundo e cobertura em concreto.

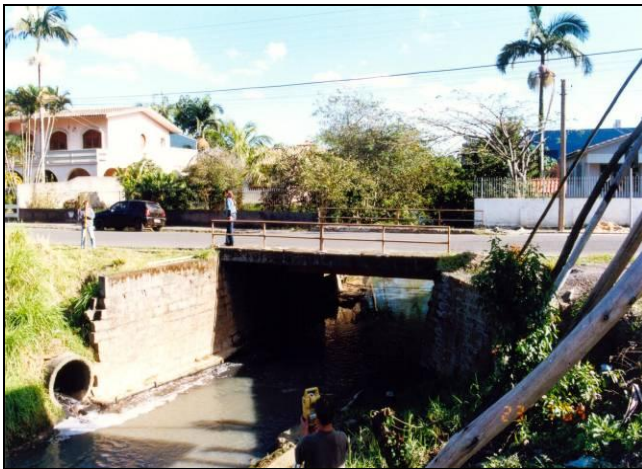


Figura 73: ponte sob a rua Ângelo Peruchi

f) Ponto 6 localizado sob a Avenida Centenário nas coordenadas E=657.371m e N=6.825.500m (figura 74).

Dados:

Largura - 9,50m;

Altura – 3,50m;

Revestimento: laterais, fundo e cobertura em concreto.



Figura 74: bueiro sob a Avenida Centenário.

f) Ponto 7 localizado sob a rua 1022 nas coordenadas E=656.086m e N=6.825.716m (figura 75).

Dados:

Largura - 12,60m;

Altura – 5,83m;

Revestimento: laterais , fundo e cobertura em concreto.



Figura 75: ponte sobre o Rio não canalizado.

Fonte: Bertan, 2006

O levantamento de dados e o respectivo conhecimento das características geométricas e físicas destes pontos ao longo do Rio Criciúma, serão utilizados para o redimensionamento das seções para compará-las com a real necessidade.

6.5. Cadastro da micro drenagem

O diagnóstico da micro drenagem abrange todos os dispositivos implantados para comporem a drenagem urbana tais como, vias de circulação, tipo de pavimentação, sarjetas, meio fio, caixas coletoras de águas pluviais, poços de visita e galerias. Na figura 76 está representada a bacia hidrográfica com a malha viária, apresentada como uma nova rede de drenagem tratada neste trabalho como “hidrografia viária”. Nesta nova configuração e denominação da bacia transformada, os canais coletores das águas de escoamentos superficiais são as vias públicas, as quais levam as águas até as caixas coletoras, estas as

transferem para as tubulações subterrâneas instaladas sob as vias, que por sua vez descarregam nas galerias, e estas finalmente desembocam no Rio Criciúma.

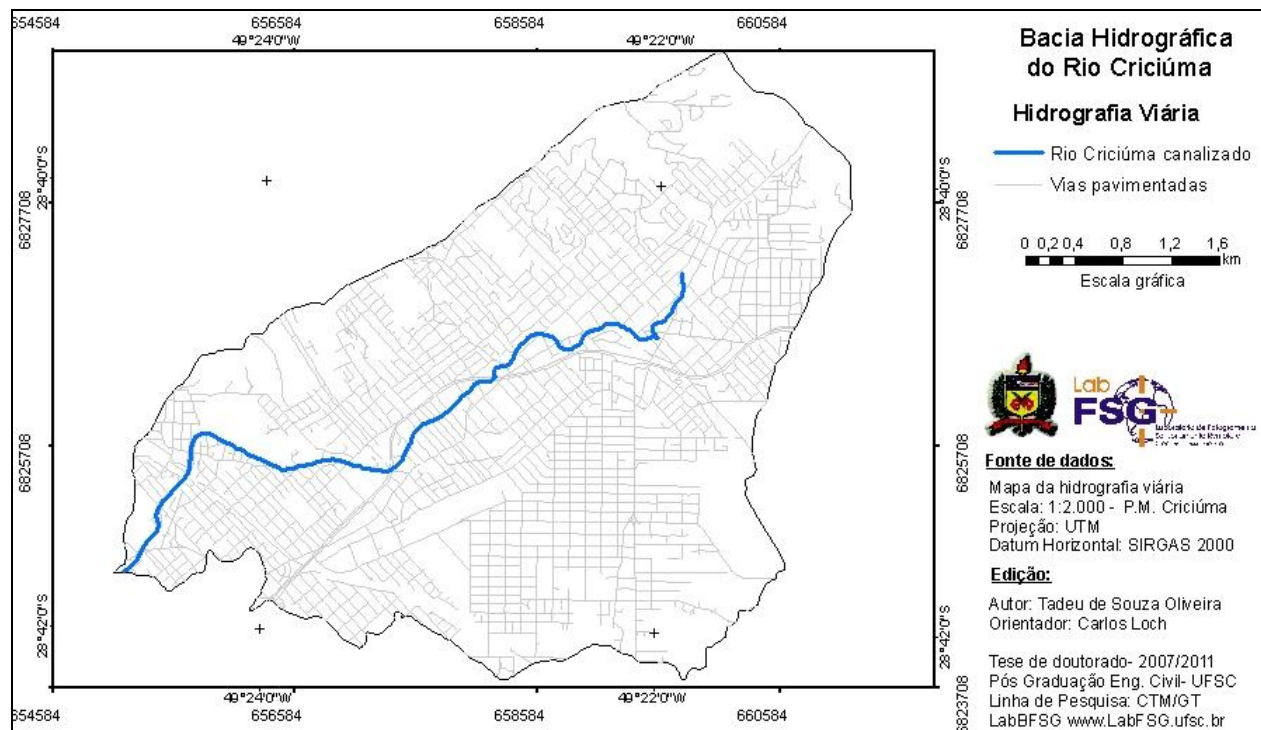


Figura 76: bacia do rio criciúma com a malha viária – “hidrografia viária”.

O levantamento para reconhecimento dos dispositivos do sistema de drenagem urbana de toda a bacia hidrográfica do Rio Criciúma foi realizado a partir da seleção da base cartográfica e ortofoto de 2006 de modo a planejar as estratégias de ação do trabalho de campo. A bacia foi dividida em 17 áreas definidas como micro bacias, seguindo a mesma subdivisão apresentada a Prefeitura Municipal de Criciúma no “Projeto Subsídios ao Planejamento Territorial e Definição de Medidas para Minimização dos Efeitos das Cheias Urbanas no Município de Criciúma, SC, realizado pela CPRM – Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais em 2006. A subdivisão apresentada pela CPRM atende aos critérios desta pesquisa, que fará verificações quanto ao dimensionamento das canalizações, apresentada na figura 77.

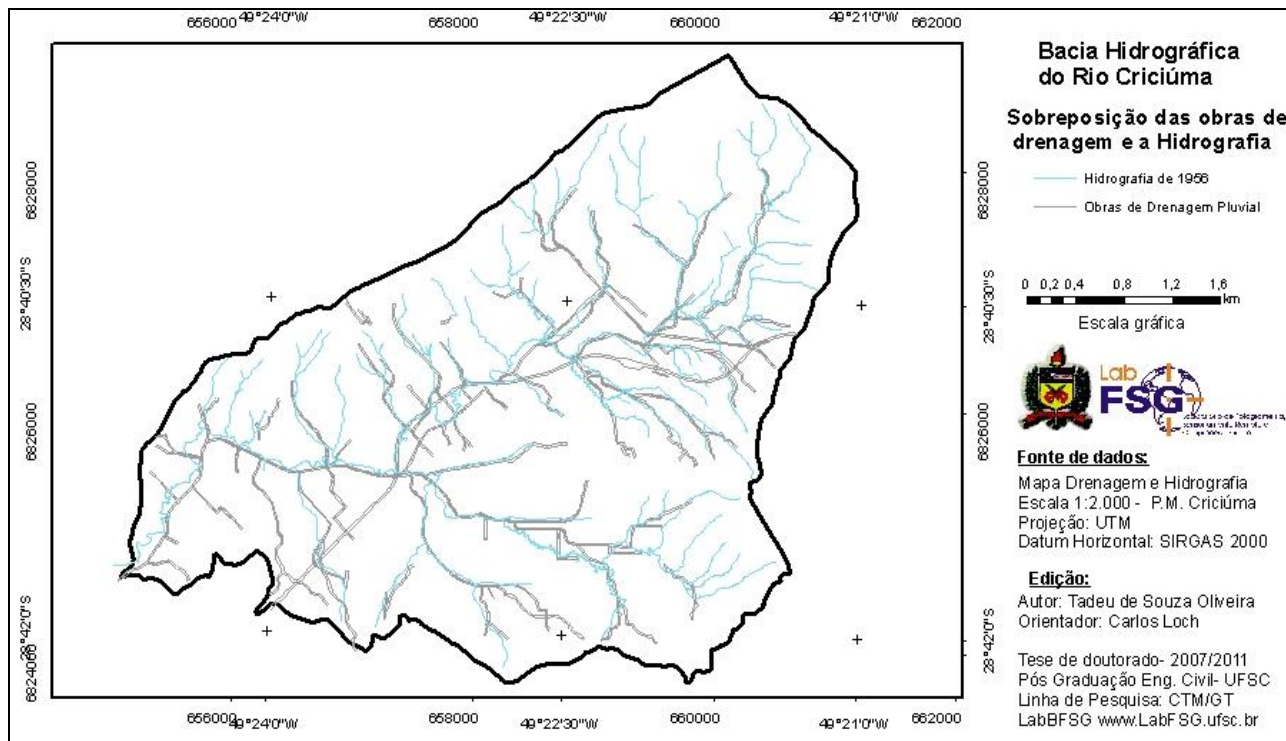


Figura 77: rede hidrográfica da bacia do rio criciúma com sobreposição com obras de drenagem.

Os dados coletados das caixas coletoras de águas pluviais foram a largura (L) e altura (H) como apresentado na figura 78 para as caixas de guia e figura 79 para as caixas de sarjeta com grelha. Estas são estas as dimensões que devem ser determinadas de acordo com sua capacidade de descarga, utilizando-se a equação:

$$Q = 1,71 \times L \times H^{3/2}$$

Onde:

Q = descarga (m³/s)

L = largura da caixa coletora (m)

H = altura da caixa coletora (m)

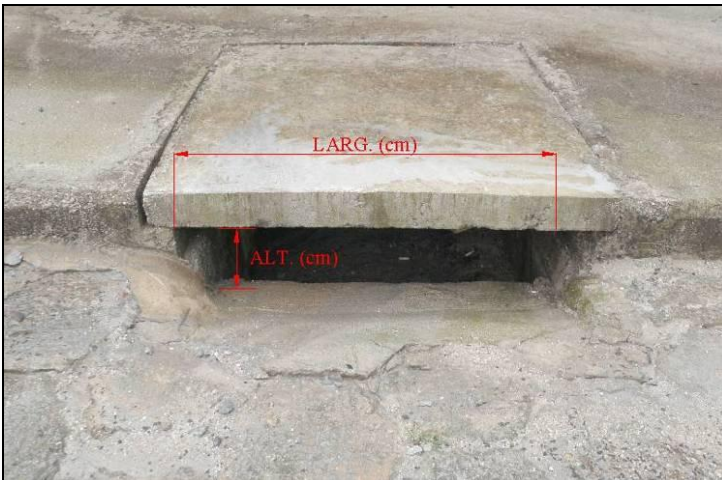


Figura 78: método de coleta de dados das caixas coletoras de guia.
(P: N=6.827.843m; E=659.712m)



Figura 79: método de coleta de dados das caixas coletoras de sarjeta com grelha. (N=6.826.847m; E=658.844m)

As figuras 80 e 81 mostram o método de coleta de dados como altura do meio fio ou guia das ruas e declividades transversais a formação das sarjetas. Estes dados serão utilizados para a detreminação da capacidade de descarga das sarjeta podendo ser calculadas pela equação de Manning:

$$Q = \frac{A}{n} \times Rh^{2/3} \times I^{1/2} \quad \text{EQ. 19}$$

Onde:

Q = capacidade de descarga da sarjeta em m³/s

A = área da seção transversal (m²)

Rh = raio hidráulico (m)

I = declividade longitudinal da rua (m/m)

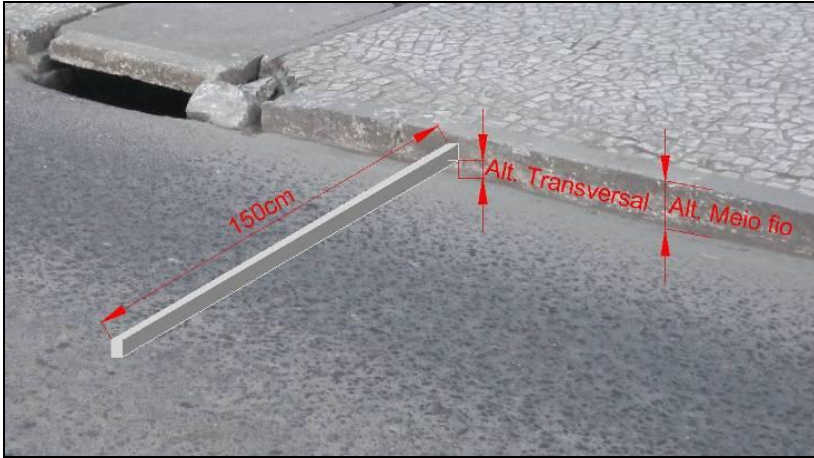


Figura 80: método de coleta de dados das alturas de meio fio e declividade sarjetas

As informações levantadas foram digitalizadas em tabelas eletrônicas, conforme modelo apresentado no quadro 18. Com o auxílio dos programas Topograph SE 98 (Tg98SE) e Auto CAD 2007, foram distribuídos os dispositivos de coleta, os quais compreendem o sistema de microdrenagem da malha viária da bacia do rio Criciúma georeferenciados.

A sub divisão e delimitação das sub-bacias numeradas de 1 a 17 foi obtida a partir da leitura das curvas de níveis e pontos cotados na base cartográfica apresentada e no modelo digital do terreno, limitado pela linha do divisor de águas.

Para a definição das declividades das sarjetas, a coleta de dados foi realizada com o uso de uma régua de comprimento 150cm e um nível de bolha sobre ela para manter nivelada. As medidas tomadas definem a altura do meio fio no ponto analisado e a altura entre a parte inferior da régua e a geratriz inferior do meio fio, figura 81, indicada como altura transversal.

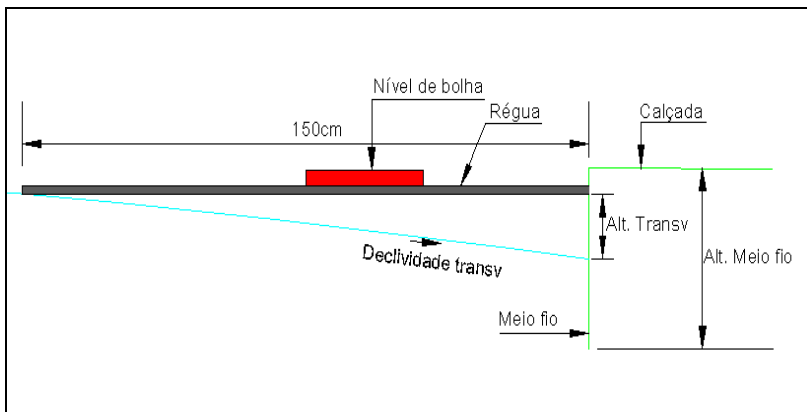


Figura 81: coleta das dimensões de uma sarjeta para determinação da declividade transversal.

A declividade transversal em porcentagem foi determinada por semelhança de triângulos formado:

$$Dt(\%) = \frac{100 * Alt.Transv}{1,5} \quad \text{EQ. 20}$$

Onde;

Dt – declividade transversal da rua;

At – altura transversal media no meio-fio

No quadro 18 a indicação do número de arquivo das fotografias é de grande importância para a posterior avaliação e controle dos dados. As figuras 82 e 83 apresentam exemplos onde as informações podem ser observadas diretamente na imagem. No primeiro caso é uma caixa coletora identificada na planilha de campo com número 127, atesta as boas condições da caixa com dimensões aparentemente compatíveis, mas que serão recalculadas posteriormente. No segundo caso, a fotografia identificada com número 128 apresenta sedimentos sendo captados por esta caixa.



Figura 82: caixa coletora em boas condições.



Figura 83: caixa coletora com presença de sedimentos.

Em toda a bacia estudada, os dispositivos de drenagem para coleta e transporte do escoamento superficial apresenta-se em situação precária. Uma grande quantidade de caixas coletoras destruídas por vandalismos como o exemplo apresentado na figura 84 por falta de limpeza (figura 85) casos presentes em toda a bacia, nos dois casos também falta manutenção.



Figura 84: caixa coletora inutilizada por vandalismo.



Figura 85: caixa coletora inutilizada por falta de limpeza.

6.6. Produção de sedimentos no sistema de drenagem

São vários os agentes responsáveis pelo aumento da concentração de sedimentos no meio urbano. Diante disso, foi realizado um levantamento das áreas que compreendem a bacia do rio Criciúma, a qual ressaltou maior manifestação da propagação de sedimentos. O trabalho foi realizado diretamente em campo com registros fotográficos e identificação do tipo de sedimentos, origem e forma de lançamento no sistema de drenagem.

Observou-se que a construção civil é responsável por grande parte dos sedimentos produzidos e lançados no sistema de drenagem. Durante a execução das obras o solo decapado fica completamente exposto à ação das chuvas e sem contenção no limite do terreno com a via pública. A figura 86 demonstra este evento, com um solo argiloso resultado de terraplanagem para construção de uma residência. As marcas no pavimento indicam o carreamento desta argila para a caixa coletora situada em cota abaixo do imóvel. Esta argila entra nas tubulações subterrâneas e nas áreas mais baixas de pouca declividade, deposita-se na geratriz inferior das caalizações reduzindo a capacidade de vazão.

Para este forma de ação comum nos processos de produção da construção civil, não há por parte da gestão pública normas para coibir, e a falta de

consciência acabam agravando a situação nos eventos de chuvas intensas.

Também ligado a construção civil é a deposição de materiais granulares como britas, areias e argamassas prontas sobre as calçadas (figura 87), sendo que nesse caso em muitas vezes, depositados próximos e mesmo sobre uma caixa coletora (figura 88). Como consequência deste ato, a sarjeta deixa de cumprir sua função de transporte das águas até as caixas coletoras, e em dias de chuvas este material transforma-se em sedimentos dentro do sistema de drenagem.



Figura 86: argila carregada para a caixa coletora



Figura 87: depósito de areia e argamassa pronta sobre a calçada.



Figura 88: depósito de brita sobre a calçada e caixa coletora de águas pluviais.

As obras públicas também apresentam suas parcelas de contribuição na produção e lançamento de sedimentos no sistema de drenagem. São

obras de pavimentação e drenagem onde o excesso de material de construção acabam sendo os primeiros sedimentos no novo sistema implantado. A figura 89 apresenta o resultado da implantação de um sistema de drenagem com pavimentação da rua em lajotas de concreto antes mesmo da conclusão da obra. A pavimentação em blocos exige o preenchimento das juntas com areia ou material de granulometria fina de modo a fornecer estabilidade às peças. Da forma como é executado, o material granular é colocado em quantidade muito acima do volume disponível entre os blocos. As chuvas encarregam-se de transportar e depositar em caixas coletoras e galerias pluviais.



Figura 89: depósito de material granular em caixa coletora originário da pavimentação de ruas.

A população ou usuário, figura como ator principal neste processo de sedimentação do sistema de drenagem urbana com resíduos sólidos lançados nas vias de circulação. Estes resíduos são carreados para as caixas coletoras e destas para as tubulações, impedindo ou alterando o escoamento dentro das galerias. A figura 90 apresenta uma caixa coletora de sarjeta com grelha com resíduo sólido carreados pelas águas das chuvas.



Figura 90: caixa coletora com grelha com sua capacidade reduzida pela presença de resíduos sólidos.

A grande quantidade de materiais depositados dentro das galerias subterrâneas e das caixas coletoras é facilmente percebido logo após uma chuva de alta intensidade seguida de inundação. As águas emergem das galerias via caixa coletora e devolvem o material sedimentado novamente para a superfície da rua. As figuras 91 e 92 indicam respectivamente a deposição de sedimentos oriundo das galerias subterrâneas e de pontos a montante com cotas mais alta.



Figura 91: caixa coletora com grelha grande quantidade de sedimentos.



Figura 92: grande quantidade de sedimentos depositados na rua após inundação.

6.7. Esgotos sanitário no sistema de drenagem

O município implantou seu sistema de coleta, transporte e tratamento de esgoto sanitário em 2010, contemplando cerca de 80% da bacia do rio Criciúma. No entanto foi delegado ao usuário a ligação à rede a suas expensas, fazendo com que, menos de 10% dos beneficiados concretizassem a ligação. Desta forma, o sistema de drenagem ainda continua recebendo grandes cargas de esgotamento sanitário e até mesmo de pequenas indústrias instaladas nos limites da bacia hidrográfica. A figura 93 mostra o interior de uma caixa coletora em cota e declividades baixas recebendo descarga de esgoto industrial, oriundo de uma tinturaria e lavanderia situada a cerca de 1,5Km em cota mais elevada.



Figura 93: despejo de esgoto industrial em caixa coletora de água pluvial

O levantamento de campo também encontrou ligações de esgoto de maneira muito precária como é o caso apresentado na figura 94 com ligação diretamente na caixa coletora e tubulações expostas externamente.



Figura 94: ligação de esgoto residencial em caixa coletora de água pluvial

Nas figuras 95 e 96 encontra-se ligações de esgotos sanitários domésticos ligados clandestinamente, demonstrando também que as caixas coletoras de águas pluviais foram transformadas em caixas para digestão.



Figura 95: caixa coletora de água pluvial com ligações de esgoto sanitário - A



Figura 96: caixa coletora de água pluvial com ligações de esgoto sanitário - B

6.8. Análise

6.8.1. Sistema de drenagem

O levantamento de campo computou 4.488 caixas coletoras em toda a bacia do Rio Criciúma cadastradas com suas respectivas coordenadas planas em UTM, dimensões e características físicas. As coordenadas foram coletadas com GPS cuja precisão se encontra entre 1m a 4m, sendo por este motivo, corrigidas de forma a uniformizá-las com a base cartográfica ajustando-as ao sistema viário. Para a avaliação do sistema de drenagem da bacia do Rio Criciúma utilizou-se uma microbacia, ou subdivisão representativa de toda extensão da área de estudos, análoga às características gerais. Para fazer-se uma avaliação e posterior análise do geral ao particular, tomou-se uma nova divisão a nível de uma única drenagem de modo a dimensioná-la e promover a verificação entre o real instalado e a necessidade em função da caracterização da bacia.

A microbacia 15 possui um total de 494 caixas coletoras de águas pluviais nos modelos de guia, de sarjeta com grelha e combinada. O quadro 19 apresenta a estatística das caixas coletoras no período de pesquisa de campo, dividindo-as por classe, definidas por sua capacidade de descarga em porcentagem. A avaliação e definição dos grupos e classes foi criada para esta pesquisa e leva em consideração a observação “in loco” e as medidas coletadas em campo, a figura 97 apresenta um gráfico representativo do quadro 18.

A rede de drenagem na microbacia encontra-se com 4.190 m de canalização com diâmetros variados de seções circulares ou retangulares. A hidrografia original apresentava 4.268 m com escoamento natural, dimensão obtida sobre a cartografia de 1957. Na atualidade apresenta 3.092 m com escoamento subterrâneo, canalizado seguindo aproximadamente os traçados originais. Da hidrografia original, 1.176m ainda encontra-se com escoamento em canais abertos. A passagem de escoamento aberto para canalização é realizado sem caixa de transferência, somente em raros casos usa-se este formato. Esta condição facilita a entrada de sedimentos e resíduos sólidos na canalização. A figura 98 apresenta o mapa de cadastro de obras de drenagem da Prefeitura Municipal de Criciúma

Para avaliar a capacidade de descarga da hidrografia canalizada, utilizou-se como modelo a micro bacia número 15 apresentada na subdivisão da figura 99 considerando-a análoga a toda área estudada. Esta micro bacia apresenta grande parte da hidrografia canalizada, e o

dimensionamento apresenta um modelo aplicável em qualquer micro bacia ou toda a extensão da bacia do Rio Criciúma.

Quadro 19: condições de descargas das caixas coletoras em porcentagem e divisão por classe.

Classe I	Classe II	Classe III	Classe IV	Classe V	Classe VI	Classe VII
0%	0-25%	26-50%	51-75%	76-100%	Lixo %	Quebrada %
37un.	77un.	107un.	148un.	125un.	80un.	11un.
7,49%	15,59%	21,66%	29,96%	25,30%	13,75%	1,89%

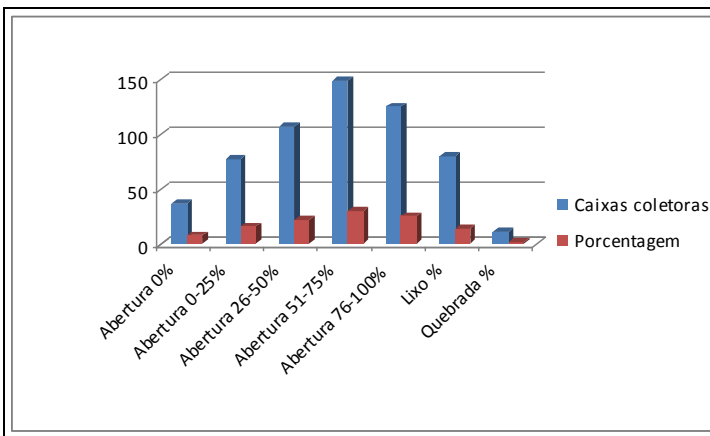


Figura 97: gráfico das condições das caixas coletoras.

A presença de resíduos sólidos de toda natureza vem se apresentando como um fator determinante para a redução da capacidade de descarga ou a redução da eficiência dos dispositivos do sistema de drenagem urbana na maioria das cidades brasileiras e mesmo a nível mundial.

A pesquisa de campo indicou que a bacia em estudo apresenta depósitos de materiais de construção civil sobre calçadas, depósitos clandestinos de resíduos da construção civil além de lixos de toda natureza presentes sobre ruas e dentro das caixas coletoras.

As fontes produtoras de sedimentos no sistema de drenagem apresentam além dos resíduos sólidos, uma atividade comum e legal que são as limpezas e terraplanagens para construção de edificações. Observa-se que durante o processo de construção o solo permanece exposto e sujeito a ações das chuvas que os levam às galerias subterrâneas via caixas coletoras.

Passa-se a seguir a avaliação do dimensionamento do sistema de drenagem proposto utilizando-se como modelo a galeria apresentada na figura 99 com sua área de contribuição. No modelo inclui-se um método de monitoramento das caixas coletoras de forma facilitar a manutenção e controle do funcionamento. As figuras 100 e 101 apresentam a seqüência das áreas avaliadas, mostrando do geral ao particular.

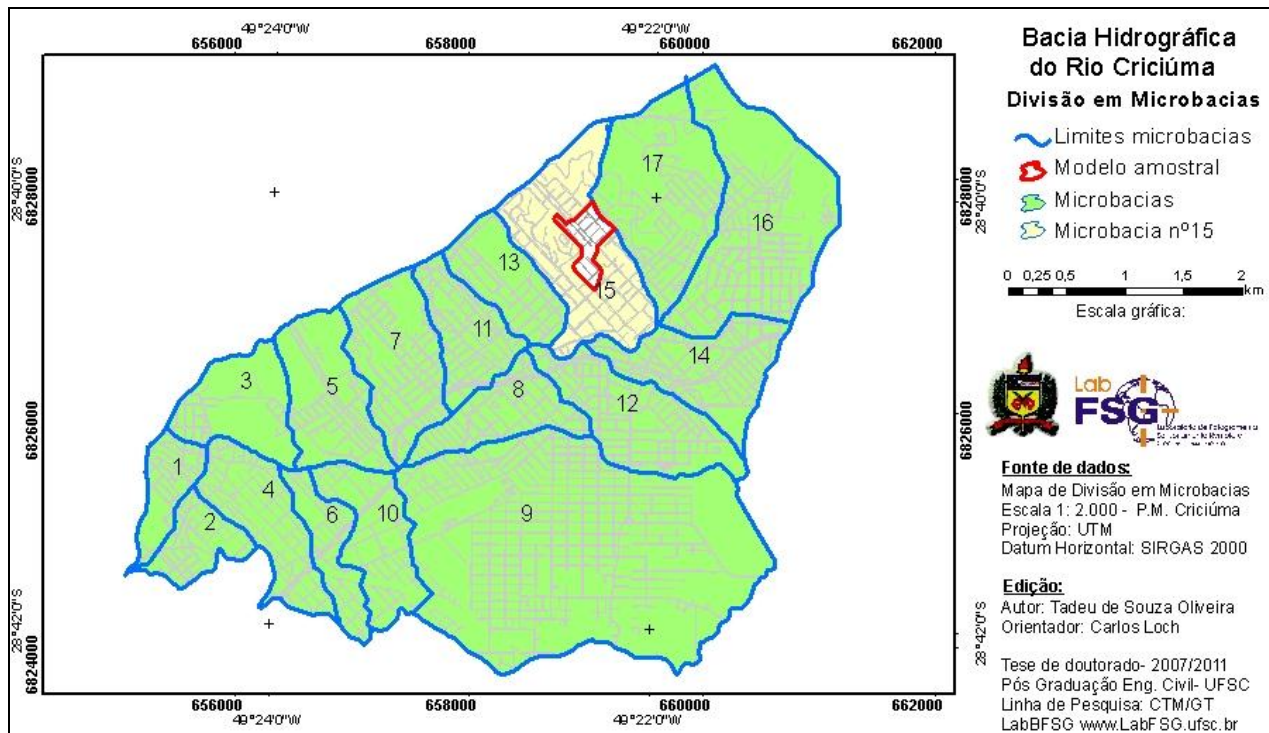


Figura 98: bacia do rio criciúma com a espacialização dos elementos coletados em campo.

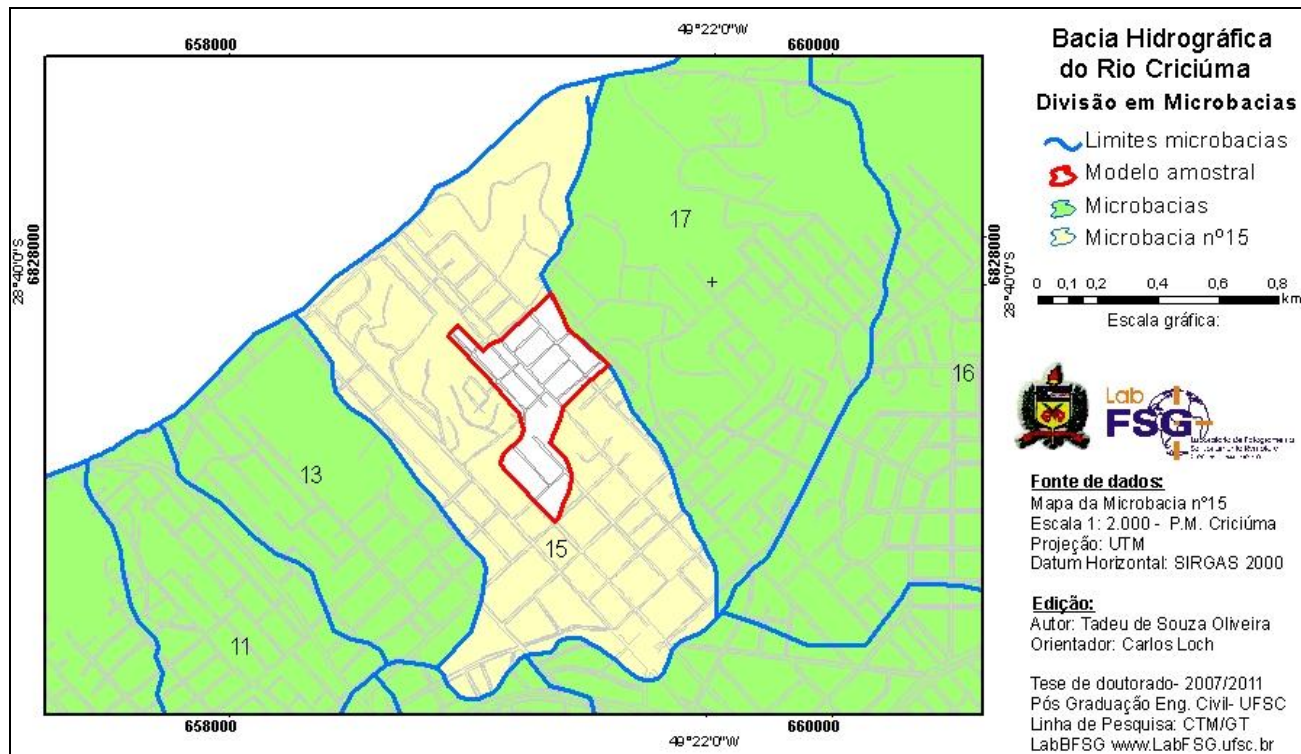


Figura 99: micro bacia número 15. Modelo para aplicação.

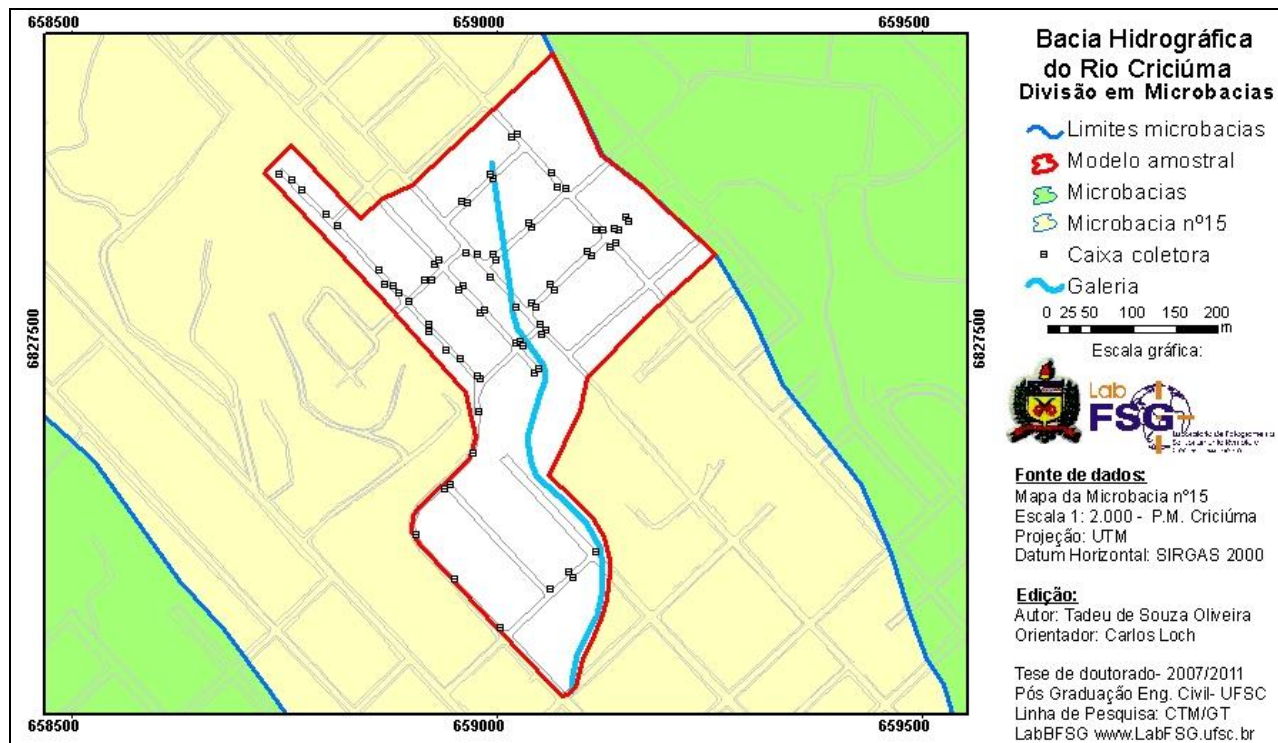


Figura 100: subdivisão da microbacia número 15. Modelo para aplicação.



Figura 101: detalhe da subdivisão da micro bacia número 15.

Para o dimensionamento utiliza-se planilha eletrônica partindo dos dados de cadastro e dados levantados em campo. O modelo apresenta o dimensionamento de uma galeria (canalização de um trecho da hidrografia) com a contribuição da Rua Noel Rosa no bairro Lote Seis e a planilha do quadro 20 apresenta o cadastro dos dispositivos de drenagem.

O dimensionamento está disposto na planilha eletrônica em seis etapas, os quadros 21 a 28 mostram a e a sequência de cálculo.

Quadro 20: planilha cadastral da rua Noel Rosa, bairro Lote Seis.

CARACTERIZAÇÃO DAS SARJETAS E BOCAS DE LOBO												
BAIRRO: LOTE SEIS			RUA: NOEL ROSA						DATA: 06 e 09/08/2010			
BOCA-DE-LOBO/CAIXA COLETORA									SARJETA			
Nº	COORDENADAS UTM		GUIA			GRELHA				ALTURA MEIO-FIO	ALT. TRANSV. (%)	FOTO
	N (m)	E (m)	LARG. (cm)	ALT. (cm)	CARAC.	COMP. (cm)	LARG. (cm)	ESP. (cm)	CARAC.			
C 129	6.827.444,16	659.050,58	53	21						10	8	8
C 130	6.827.473,59	659.024,23	77	23						5	9,5	32
C 131	6.827.508,85	658.982,13	72	7						10	15	33
C 132	6.827.513,38	658.987,54	78	14,5						12	10,5	34
C 133	6.827.540,85	658.962,30	78	17						12	9,5	35
C 134	6.827.536,89	658.955,94	82	7	MATO					8,5	10	36

No quadro 21 apresenta-se as informações das ruas e os códigos das caixas coletoras cadastradas. As caixas coletoras são dispostas na planilha por lado da rua e na sequência de fluxo, desta forma a caixa C133 está na maior altitude seguindo pela C132, C130 até a C129 no ponto mais baixo da rua pelo lado esquerdo. Da mesma forma está disposto o lado direito no sentido da C134 para a C128. A distância entre elas é determinada pelas coordenadas com a equação:

$$L = \left[(E1 - E2)^2 + (N1 - N2)^2 \right]^{0,5} \quad \text{EQ. 21}$$

Onde:

L – distância entre caixas coletoras (m);

E e N – coordenadas UTM (m).

As altitudes foram coletadas na base cartográfica e a declividade longitudinal é dada por:

$$I = \frac{(Alt.Mont. - Alt.Jus.)}{L} \quad \text{EQ. 22}$$

Onde:

I – declividade longitudinal;

Alt. Mont. – altitude de montante (m);

Alt. Jus. – altitude de jusante (m).

Quadro 21: informações da rua

INFORMAÇÕES DA RUA					
Trecho					
Cód.	Trecho	L(m)	Alt. Mont.	Alt. Jus.	I(m/m)
C133	PI-C133	32,23	99,25	97,40	0,05740
C132	C133- C132	37,31	97,40	91,80	0,15007
C130	C132- C130	54,12	91,80	84,30	0,13858
C129	C130- C129	39,50	84,30	77,50	0,17214
C134	PI-C134	32,23	99,25	97,40	0,05740
C131	C134- C131	38,37	97,40	91,80	0,14594
C128	C131- C128	94,56	91,80	77,50	0,15122

O quadro 22 apresenta as informações sobre as caixas coletoras como posicionamento direita ou esquerda de acordo com o sentido de fluxo, o fator de redução e o tipo de caixa, de guia ou de sarjeta. Sobre o código da caixa coletora há um hiper link para mostrar o estado de conservação ou características físicas. A figura 102 mostra a tela com o exemplo da caixa C134. O Fator de redução está fundamentado na tabela 20, apresentada pela CETESB em 1980. Os critérios para os fatores atribuídos às caixas coletoras em estudo neste trabalho levam em consideração as condições de conservação e características físicas apresentado no quadro 19. Desta forma apresenta-se no quadro 23 as relações dos valores apontados no quadro 20 com os fatores de redução propostos neste trabalho.

Quadro 22: informações sobre as caixas coletoras.

INFORMAÇÕES DA CAIXA COLETORA					
Código		Fator Redução		Desc. Adm - Qo(m³/s)	
Direita	Esquerda	Classe	FR	Guia	Sarjeta
0	C133	V	0,80	0,0748	-
0	C132	II	0,20	0,0147	-
0	C130	II	0,20	0,0290	
0	C129	IV	0,60	0,0523	
C134	0	II	0,20	0,0052	
C131	0	IV	0,60	0,0137	
C128	0	V	0,80	0,0952	

A descarga admissível (Q_0) das caixas coletoras foram determinadas pela equação, como um vertedouro de parede espessa:

$$Q_o = 1,71 * L * H^{1,5} \quad \text{EQ. 23}$$

Onde:

L – largura da caixa coletora (m);

H – Altura da entrada da caixa coletora (m).

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following data in the 'INFORMAÇÕES DA BOCA-DE-LOBO' section:

l(m/m)	Direita	Esquerda	FR	Guia	Sarjeta
0,05740	0	C133	0,80	0,0748	-
0,15007	0	C132	0,20	0,0147	-
0,13858	0	C130	0,20	0,0290	-
0,17214	0	C129	0,60	0,0523	-
0,05740	C134	0	0,20	0,0052	-
0,14594	C131	0	0,60	0,0137	-
0,15122	C128	0	0,80	0,0952	-

Below this table, there is a summary table for 'FATOR DE REDUÇÃO POR CLASSE DE CAIXA COLETORA':

75-100	0,80
50-75	0,60
25-50	0,40
0-25	0,20
0	0

The spreadsheet also includes sections for 'LOCAL DE DESCARGA' and 'HIDROLOGIA' with various coefficients and units.

Figura 102: tela da planilha eletrônica com hiper link com a caixa C134.

Quadro 23: Fator de redução por classe de caixa coletora.

Classe I	Classe II	Classe III	Classe IV	Classe V	Classe VI	Classe VII
0%	0-25%	26-50%	51-75%	76-100%	Lixo %	Quebrada %
Fator de Redução – FR (%)						
0	20	40	60	80		

Tabela 20: fatores de redução propostos pela CETESB, 1980.

Localização na sarjeta	Tipo de boca de lobo	% permitida sobre o valor teórico
Ponto baixo	De guia	80
	Com grelha	50
	Combinada	65
Ponto intermediário	De guia	80
	Grelha longitudinal	60
	Grelha transversal ou longitudinal com barras transversais	60
	Combinada	110% dos valores indicados p/grelhas correspondentes

O dimensionamento segue com o próximo passo que é as informações da bacia de contribuição, ou a área de contribuição para as ruas. No quadro 24 é apresentado na primeira coluna as áreas de contribuições. A área total é dividida pelo número de trechos e distribuída considerando áreas iguais para cada trecho entre caixas coletoras. As intensidades de chuva em mm/h foram determinadas em cada trecho pela equação de Back, 2002 para a estação meteorológica de Urussanga.

Quadro 24: informações da área de contribuição.

BACIA DE CONTRIBUIÇÃO		
HIDROLOGIA		
AC(m ²)	i (mm/h)	Qp(m ³ /s)
649,90	291,27	0,0272
649,90	287,88	0,0268
649,90	277,47	0,0380
649,90	274,25	0,0256
1.458,73	289,83	0,0607
1.458,73	285,44	0,1152
1.458,73	277,41	0,1596

A obtenção dos valores de cada coluna foi obtida com as seguintes equações:

$$i = \frac{(689,3 * T^{0,2212})}{(t + 8,1)^{0,6648}} \quad \text{EQ. 24}$$

Onde:

T – período de retorno (adotado 50 anos);

t – duração da chuva (minutos);

$$t = t_e + t_p \quad \text{EQ. 25}$$

Onde:

t_e – tempo de entrada (5 minutos);

t_p = tempo de percurso dado por:

$$t_p = \frac{L}{(60 * V_o)} \quad \text{EQ. 26}$$

Onde:

L – extensão do trecho (m);

V_o – velocidade média do escoamento, dada por:

$$V_o = 0,958 * \left(\frac{I^{0,5}}{n} \right)^{3/4} * \left(\frac{Q_p}{Z} \right)^{1/4} \quad \text{EQ. 27}$$

Onde:

I - declividade longitudinal do trecho (m/m);

n - coeficiente de rugosidade de Manning (adimensional);

Q_p – vazão de projeto (m³/s), calculada pelo método racional dada por;

$$Q_p = \frac{C_{méd} * i * AC}{3,6} \quad \text{EQ. 28}$$

Onde:

C_{méd} – coeficiente de escoamento superficial médio (adimensional);

i = intensidade de chuva (mm/h);

AC – área de contribuição (km²).

O valor do coeficiente de escoamento superficial foi obtido fazendo-se a média ponderada levando em consideração os diversos tipos de uso do solo da micro bacia e seu respectivo coeficiente. A figura 103 ilustra o mapa de uso e ocupação do solo da micro bacia estudada e o quadro 25 a determinação do coeficiente médio.

A sequência da avaliação do sistema de drenagem segue com a verificação das sarjetas e dimensionamento da calha. O quadro 26 apresenta a parte da planilha eletrônica de dimensionamento. Observa-se que as alturas de meio fio e declividades transversais são variáveis com mudança entre os trechos.

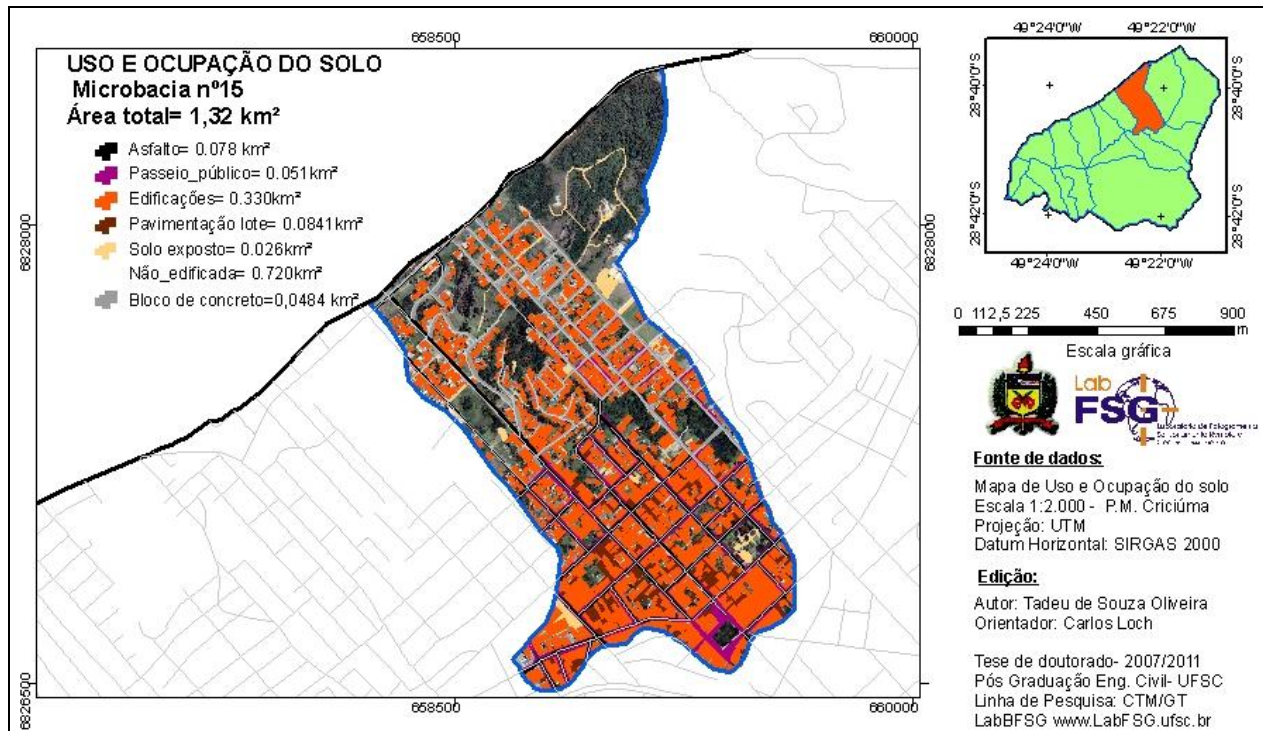


Figura 103: mapa de ocupação do solo da micro bacia 15

Quadro 25: determinação do coeficiente de escoamento superficial médio – cméd.

Tipo de uso e ocupação do solo	Área (km ²)	Correspondente		Valor de C utilizado	Área X C
		Tipo de uso e ocupação do solo	Valor de C		
Pavimentação asfáltica	0,078	Superfícies asfaltadas em bom estado	0,85 a 0,90	0,9	0,0702
Pavimentação com blocos	0,048	Pavimentos de paralelepípedos, ladrilhos ou blocos de madeira sem juntas bem tomadas.	0,50 a 0,70	0,7	0,0336
Pavimentação com saibro	0,000	Estradas macadamizadas.	0,25 a 0,60	0,5	0,0000
Pavimentação de passeios públicos	0,051	Superfícies asfaltadas em bom estado	0,85 a 0,90	0,9	0,0459
Pavimentação de lotes	0,084	Superfícies asfaltadas em bom estado	0,85 a 0,90	0,9	0,0756
Edificações	0,330	Telhados perfeitos sem fuga	0,70 a 0,95	0,95	0,3135
Solo exposto	0,026	Superfícies não revestidas: pátios, estradas de ferro e terrenos descampados.	0,10 a 0,30	0,3	0,0078
Solo com vegetação	0,720	Parques, jardins, gramados e campinas,	0,01 a 0,20	0,2	0,1440
Rios e alagados	0,000	Sem correspondência	1	1	0,0000
Total da bacia	1,337				0,6906
				Cméd =	0,5165

Quadro 26: planilha eletrônica para dimensionamento das sarjetas.

VERIFICAÇÃO DA SARJETA - DIMENSIONAMENTO DA CALHA								
WS (m)	AS (m ²)	IT (m/m)	Z	Rh (m)	FR	QS (m ³ /s)	VP (m/s)	Vo (m/s)
1,89	0,095	0,08	12,50	0,047	0,27	0,045	0,471	1,632
1,80	0,090	0,08	12,50	0,047	0,27	0,068	0,761	2,604
0,79	0,012	0,03	30,00	0,014	0,50	0,007	0,614	1,159
1,88	0,075	0,08	12,50	0,038	0,27	0,053	0,708	2,573
1,28	0,041	0,06	17,65	0,031	0,40	0,022	0,525	1,251
1,00	0,040	0,07	15,00	0,037	0,34	0,032	0,802	2,037
2,06	0,093	0,08	12,50	0,043	0,27	0,067	0,717	2,593

Larg. - Largura da sarjeta;

AS – Área da seção transversal;

IT – Declividade transversal;

Z – Inverso da declividade transversal;

Rh – Raio hidráulico;

FR – Fator de redução;

QS – Capacidade teórica da sarjeta;

Vp – Velocidade de projeto;

Vo – Velocidade média.

A largura da sarjeta – WS é obtida a partir da altura do meio-fio e a declividade transversal obtidas em campo. A área da seção transversal das sarjetas – AS é obtida pela área do triângulo formado por WS e altura do meio fio H descontando 2cm para folga. A declividade transversal –IT é calculada pela relação de porcentagem entre WS e a altura do meio fio extraídos da planilha cadastral. E, o inverso da declividade transversal é dado por 1/IT.

O raio hidráulico – Rh é obtido pela relação entre a área e o perímetro molhado- Pm da seção transversal da calha da sarjeta, assim:

$$Rh = \frac{AS}{Pm} \quad \text{EQ. 29}$$

Onde:

AS – área da calha da sarjeta (m²);

Pm – perímetro molhado obtido pela equação (m):

$$Pm = WS + h - 0,02 \quad \text{EQ. 30}$$

Onde:

WS – largura da calha da sarjeta (m);

h – altura do meio (m).

0,02 – 2cm descontados da altura do meio fio.

Para maior segurança do dimensionamento faz-se a redução da capacidade de descarga das sarjetas em função de sua declividade transversal, utilizando-se como parâmetro a recomendação da CETESB, 1980 apresentada na tabela 21.

A capacidade teórica de descarga das sarjetas – Qs foi determinada pela equação de Manning multiplicada pelo fator de redução – FR. A velocidade de projeto Vp foi determinada pela relação da vazão com a área da seção transversal:

$$Vp = \frac{Qs}{AS} \quad \text{EQ. 31}$$

Onde:

Qs – capacidade de descarga da sarjeta (m);

AS – área da calha da sarjeta (m²).

A velocidade média V₀ e o tempo de percurso t_p estão descrito acima nas informações da área de contribuição.

A planilha eletrônica do quadro 27 apresenta a avaliação da tubulação subterrânea coletoras e transportadoras das águas captadas pelas caixas coletoras. É verificado também por um balanço hídrico se o conjunto de

caixas coletoras captou toda água superficial e as transferiu para a tubulação subterrânea. Neste trabalho não foi possível coletar dados das tubulações subterrâneas, pois não foi encontrado poços de visita que permitisse a verificação.

Tabela 21: fator de redução para sarjetas

Fatores de redução de escoamento das sarjetas (DAEE/CETESB, 1980)	
Declividade da sarjeta - %	Fator de redução
0,4	0,50
1 a 3	0,50
5,0	0,50
6,0	0,40
8,0	0,27
10,0	0,20

Quadro 27: planilha eletrônica para o balanço hídrico.

Tubulação subterrânea		Balanço hídrico	
Dimensionamento $0,9\Phi$		$Q_p - Q_{bl}$	
Φ_{calc} (cm)	Φ_{adot} (cm)	Q_{cap}	Q_{sobra}
14,8051	40	0,0272	ZERO
9,8288	40	0,0147	0,0121
12,8702	40	0,0290	0,0089
15,4097	40	0,0256	ZERO
7,9617	40	0,0052	0,0555
9,6108	40	0,0137	0,1015
19,7588	40	0,0952	0,0644

O dimensionamento das tubulações - D_{calc} foi calculado considerando o uso da seção em 90%, ou seja, a relação altura da lâmina d'água e diâmetro igual a 0,9 e determinada pela equação de Manning. E o diâmetro adotado - D_{adot} definido a partir do diâmetro mínimo recomendado que é de 40cm e seguindo os diâmetros comerciais que são de 30, 40, 50, 60, 80, 100....(cm).

Fórmula de Manning

$$D = 1,511 * \left(n * Q_{\text{cap}} * I^{0,5} \right)^{3/8} \quad \text{EQ. 32}$$

Onde:

n – coeficiente de rugosidade de Manning ($n=0,018$);

Q_{cap} – vazão captada pela caixa coletora (m^3/s);

I – declividade longitudinal (m/m).

Q_{cap} pode ser acrescida no trecho seguinte pela água excedente que a caixa coletora não conseguiu captar por consequência de suas características no momento da precipitação.

O balanço hídrico serve para avaliar se toda água destinada a ser coletada pela caixa coletora foi absorvida por ela. Se a caixa coletora estiver com sua capacidade de descarga reduzida, irá transferir para a caixa subsequente. Se não houver caixa coletora subsequente, significa que há água de sobra na rua sem ser transferida para a tubulação subterrânea. A água a ser captada - Q_{cap} deve ser igual a vazão de projeto Q_0 na primeira caixa coletora. Na segunda caixa a vazão de captação - Q_0 da segunda caixa é somada à sobra da descarga da primeira - Q_{sobra} e assim sucessivamente. No balanço hídrico do final do trecho a vazão Q_{sobra} devera ser igual a zero para que não haja alagamento na rua por sobra de água que não foi captada pelas caixas coletoras.

O fechamento da avaliação é realizado com o dimensionamento do canal de descarga responsável pela captação das águas coletadas nas ruas e posteriormente transportá-las até o Rio Criciúma. O quadro 28 apresenta o dimensionamento do canal em estudo da área tomada como modelo para esta demonstração e dimensionamento com a verificação do diâmetro existente.

Quadro 28: planilha eletrônica para dimensionamento do canal de descarga.

Canal de descarga - Dimensionamento a $0,9\Phi$							
Topografia			$Q_{\text{acum.}}$	$\Phi_{\text{calc.}}$	$A_{\text{min.}}$	$\Phi_{\text{exist.}}$	Verificação
CM(m)	CJ(m)	L(m)	(m ³ /s)	(cm)	(m ²)	(cm)	Diâmetro
103,50	66,35	266,40	0,284	30,224	0,072	80,00	OK

Os elementos topográficos foram tomados diretamente na base cartográfica e mapa de obras de drenagem apresentado.

A vazão utilizada na equação de Manning para o dimensionamento da galeria é a acumulada no final dos dois trechos, compreendidos pelos lados direito e esquerdo da rua.

Esta demonstração pode ser aplicada a toda a bacia numa avaliação integrada com todas as microbacias ou isoladamente por unidades.

O dimensionamento do canal deste exemplo considerando toda a microbacia foi realizado pelo método do hidrograma unitário com o valor de CN (Curver Number) demonstrado na tabela 22.

Foi utilizada a equação de Manning para dimensionamento com 90% da seção útil e com a vazão máxima do hidrograma unitário.

A chuva efetiva está demonstrada no gráfico da figura 104 e a vazão no gráfico da figura 105 com vazão máxima de 72,77m³/s.

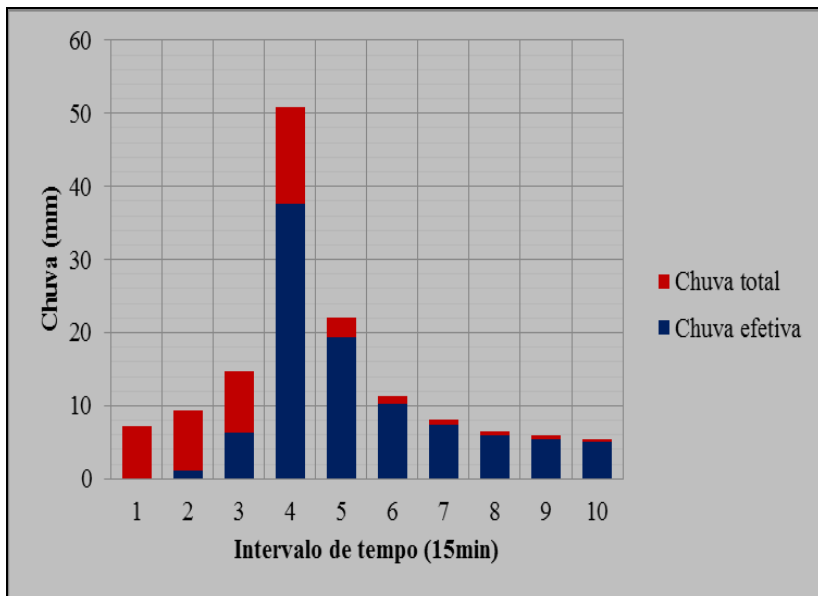


Figura 104:chuva efetiva micro bacia 15

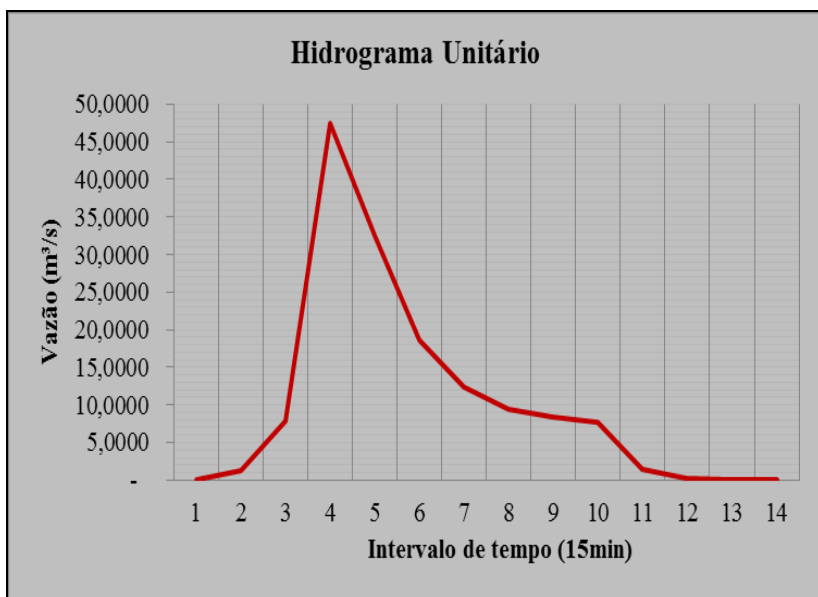


Figura 105: hidrograma unitário bacia 15

A vazão produzida pela microbacia 15 é conduzida e concentrada em um ponto com o encontro de vários canais subterrâneos no cruzamento das ruas Marcelo Lodetti e Getúlio Vargas, figura 106. Deste ponto partem dois canais de concreto, seção retangular com dimensões 3,00m x 1,50m com área total de 9,00m². O comprimento médio dos dois canais é de 671,30m sendo que a altitude de montante é 41,826m e de jusante 37,483 com declividade de 0,00647m/m.

Com esta configuração, aplicando a equação de Manning, a capacidade máxima de descarga é de 14,939m³/s cada um dos canais com total de 29,88m³/s. Desta forma, em relação à vazão máxima definida no hidrograma unitário que é de 47,40m³/s, há uma defasagem de 17,52m³/s.

Tabela 22: determinação do cn médio para a microbacia número 15.

Tipo de uso e ocupação do solo	Área (km ²)	Correspondente		Área X
		Tipo de uso e ocupação do solo	CN	CN
Pavimentação asfáltica	0,08	Pavimentação com guias de drenagem	98	7,64
Pavimentação com blocos	0,05	Pavimentação com cascalho	91	4,37
Pavimentação com saibro	-	Pavimentação em terra	89	-
Pavimentação de passeios públicos	0,05	Pavimentação com guias de drenagem	98	5,00
Pavimentação de lotes	0,08	Pavimentação com guias de drenagem	98	8,23
Edificações	0,33	Lote até 500m ² com 65% impermeável	92	30,36
Solo exposto	0,03	Estrada de terra	89	2,31
Solo com vegetação	0,72	Floresta em condições médias	77	55,44
Rios e alagados	-	Sem correspondência	100,00	-
Total da bacia	1,34			113,36
			CN médio	84,7838

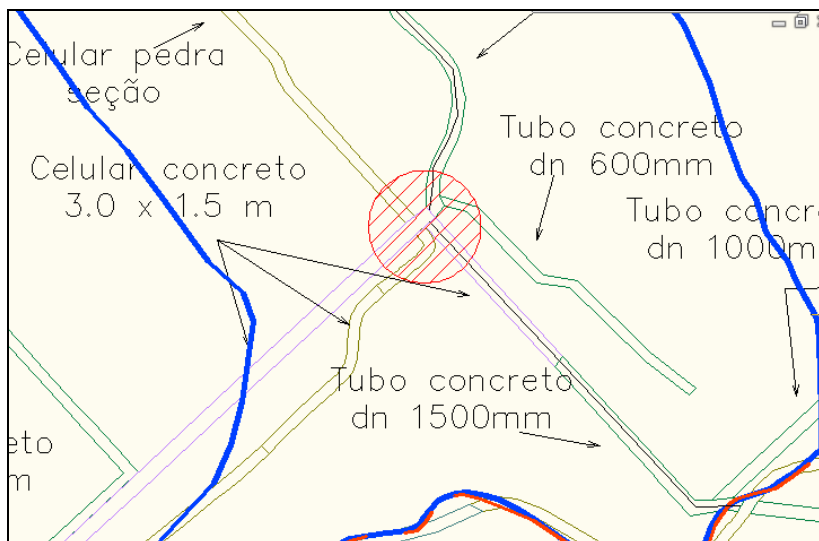


Figura 106: ponto de encontro das canalizações de descarga da microbacia 15. Coordenadas UTM: N=6.827.065m; E=659.094m

6.8.2. Rio Criciúma

Para avaliar a capacidade de descarga do Rio Criciúma a bacia foi dividida em sete sub bacias com exutório nas seções a serem avaliadas (figura 107). As seções foram selecionadas levando em consideração a canalização com seção fechada no centro da cidade onde ocorrem frequentes inundações bruscas e também a jusante avaliando as passagens sob pontes no trecho não canalizado.

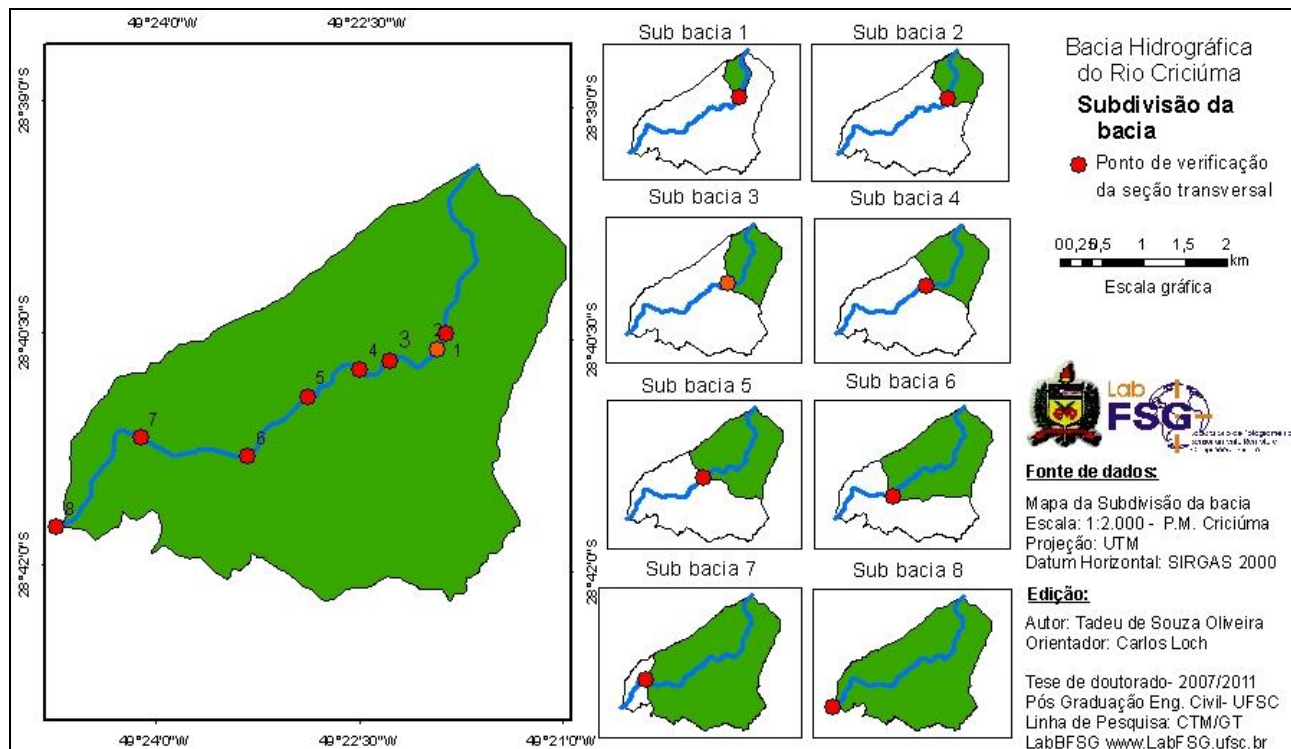


Figura 107: mapa da bacia do Rio CRICIÚMA e subdivisões para dimensionamento das seções.

Procede-se a partir da figura 108, o dimensionamento das seções e comparações com as existentes assim distribuídas, quadro 29:

Quadro 29: distribuição dos mapas das bacias e seus respectivos hidrogramas unitários.

Sub bacia	Mapa	Hidrograma Unitário - HU
1	Figura 108	Figura 109 e 110
2	Figura 111	Figura 112 e 113
3	Figura 114	Figura 115 e 116
4	Figura 117	Figura 118 e 119
5	Figura 120	Figura 121 e 122
6	Figura 123	Figura 124 e 125
7	Figura 126	Figura 127 e 128
Completa	Figura 129	Figura 130 e 131

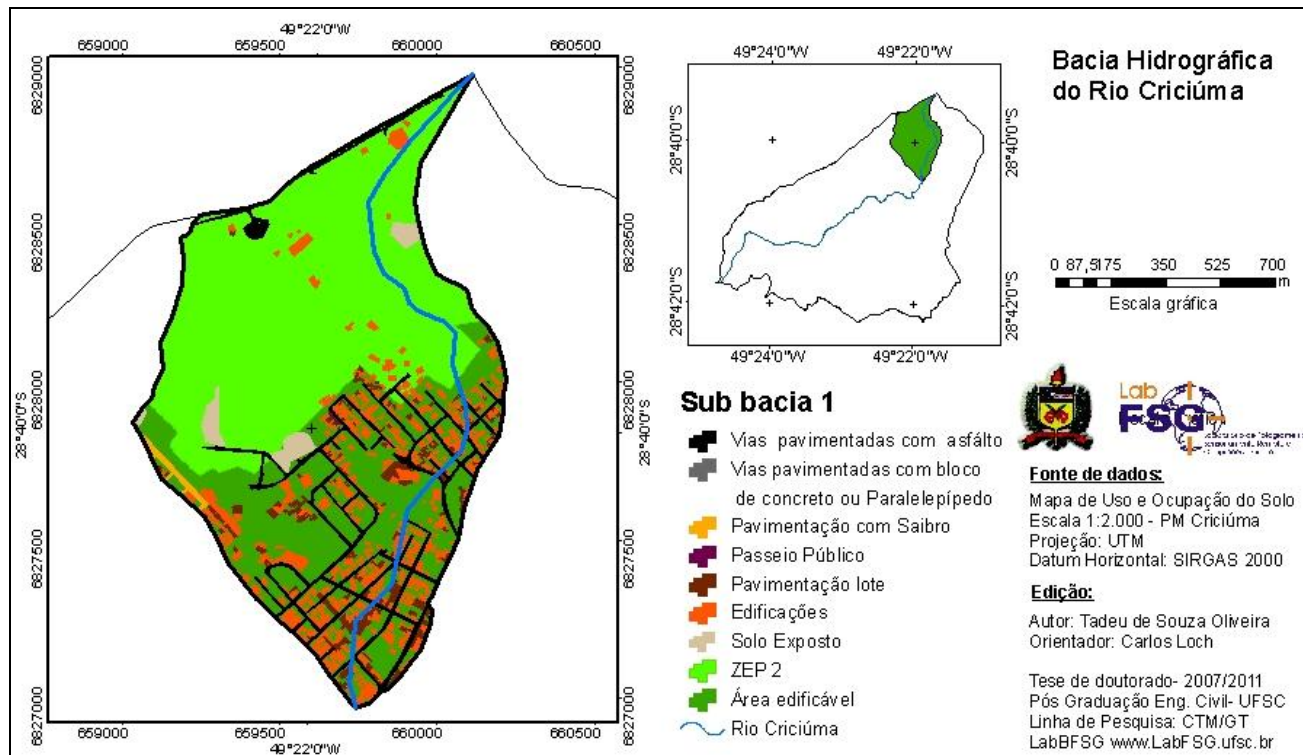


Figura 108: sub bacia 1

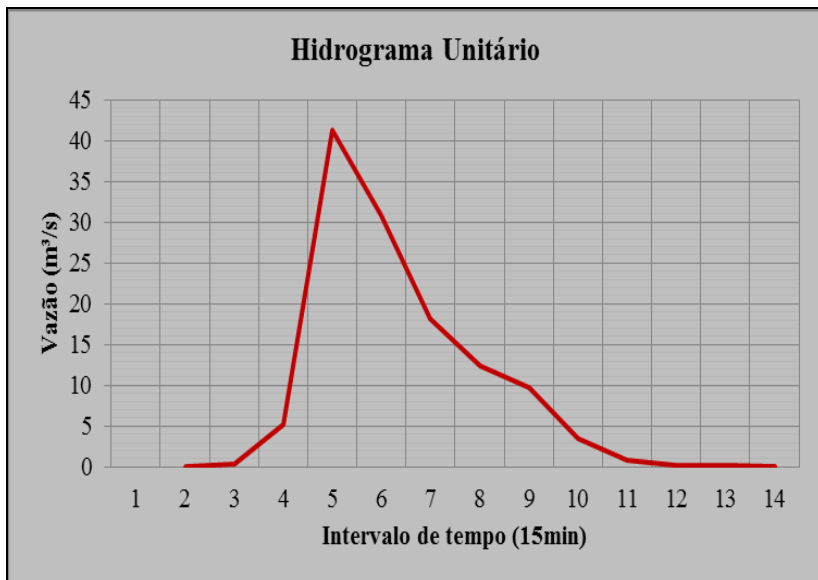


Figura 109: hidrograma unitário sub bacia 1.grupo hidrológico D

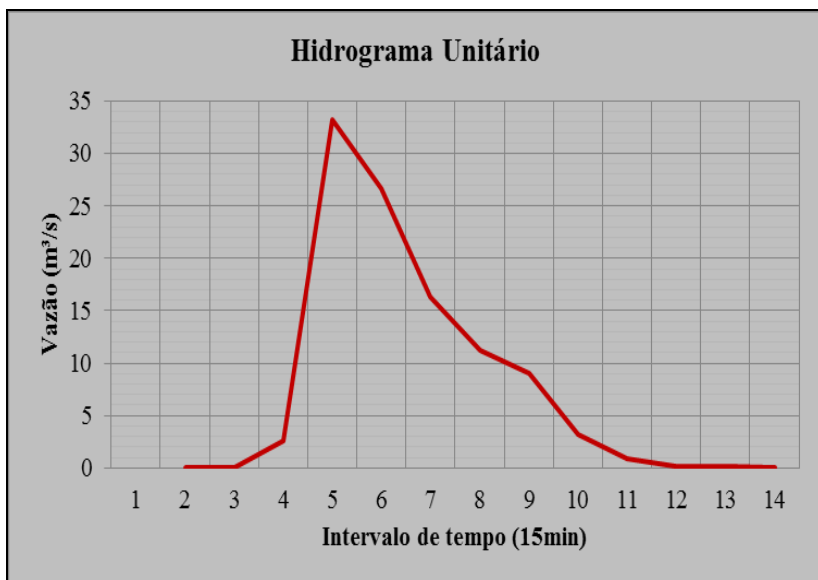


Figura 110: hidrograma unitário sub bacia 1. Grupo hidrológico C

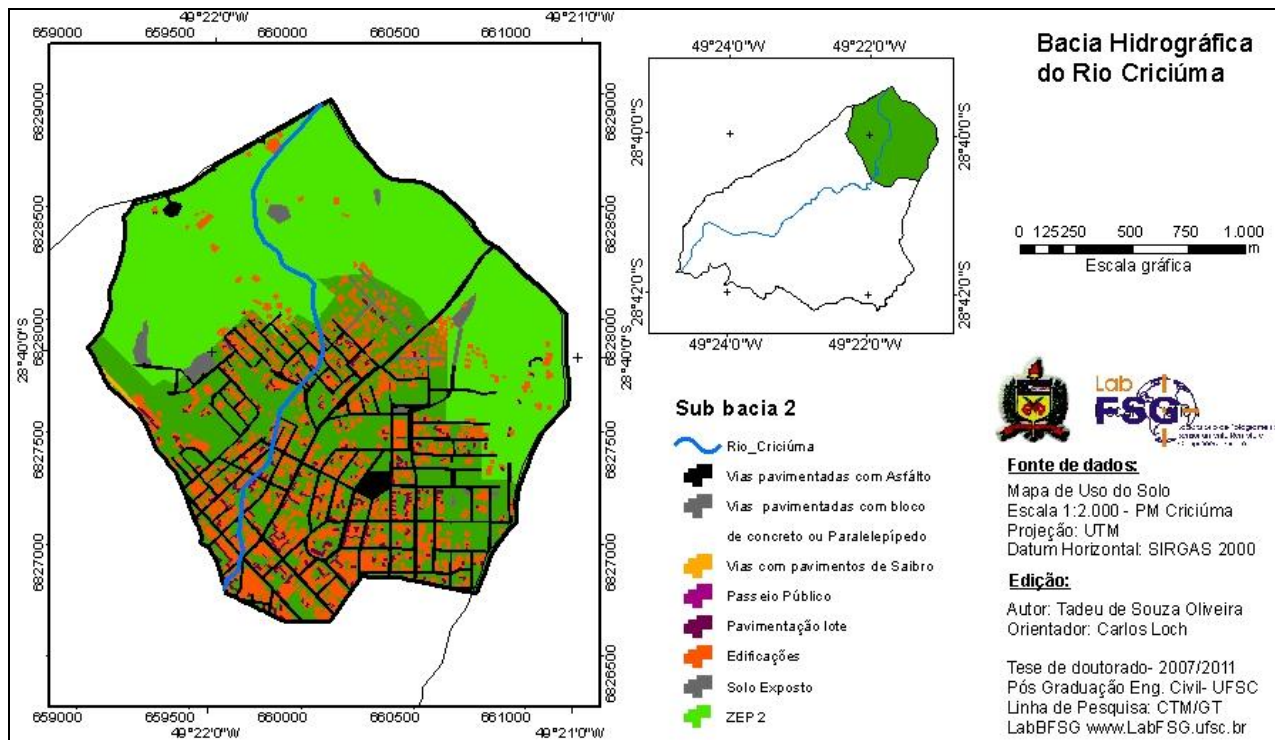


Figura 111: sub bacia 2

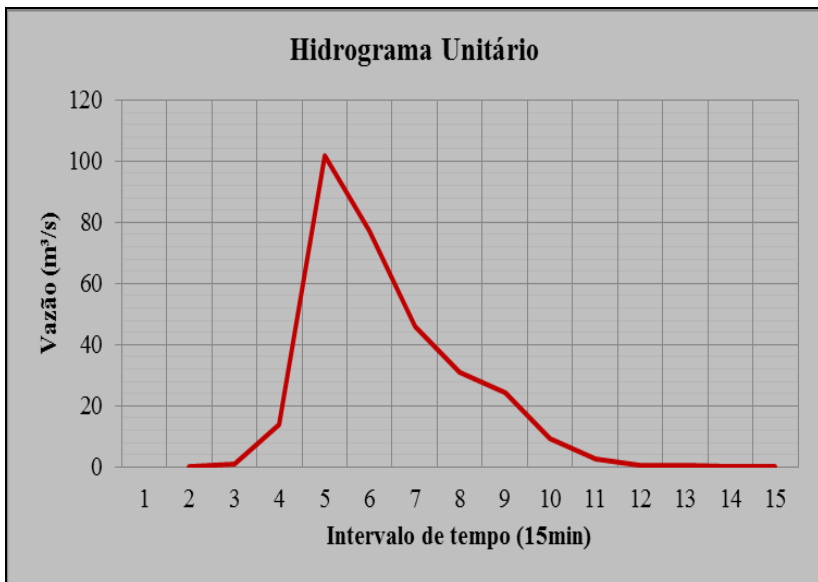


Figura 112: hidrograma unitário sub bacia 2. Grupo hidrológico D

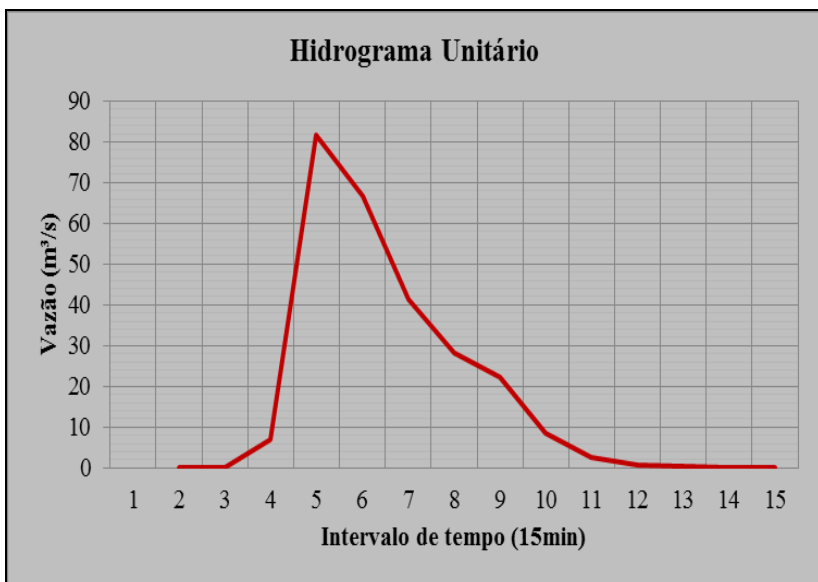


Figura 113: hidrograma unitário sub bacia 2. Grupo hidrológico C

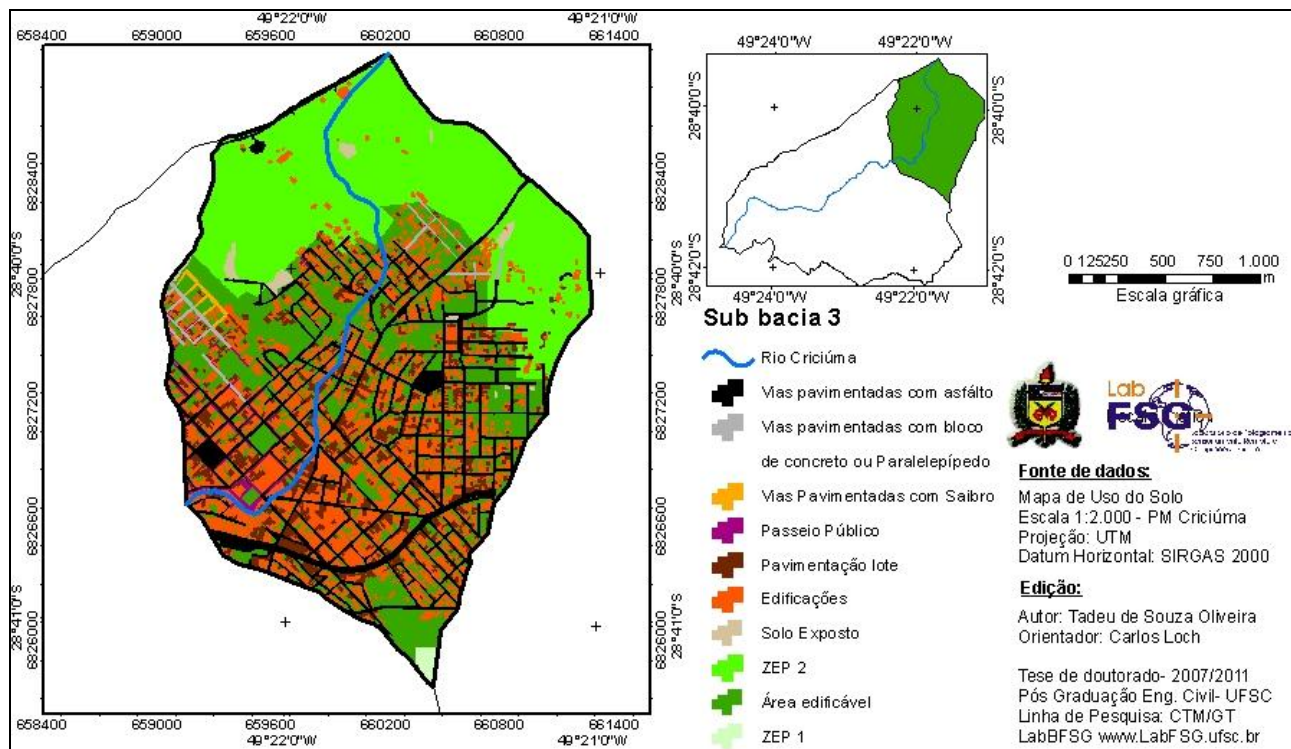


Figura 114: sub bacia 3

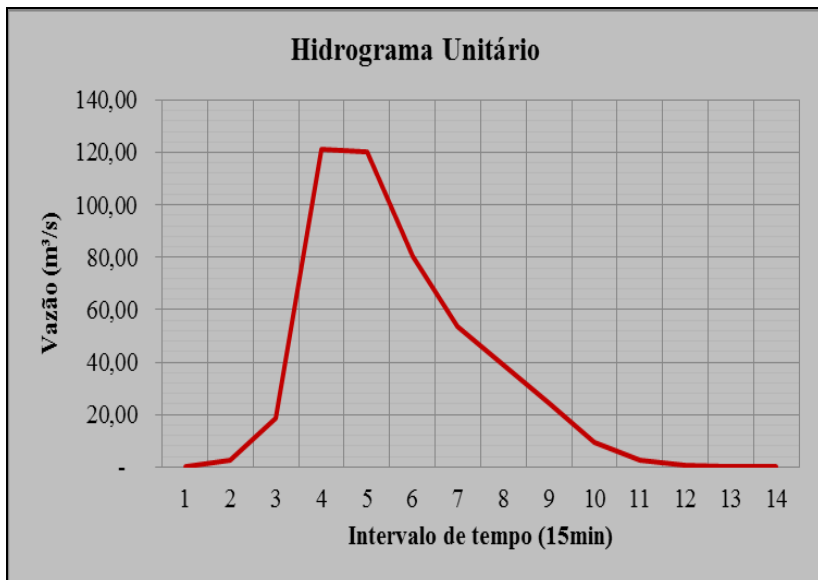


Figura 115: hidrograma unitário sub bacia 3. Grupo hidrológico D

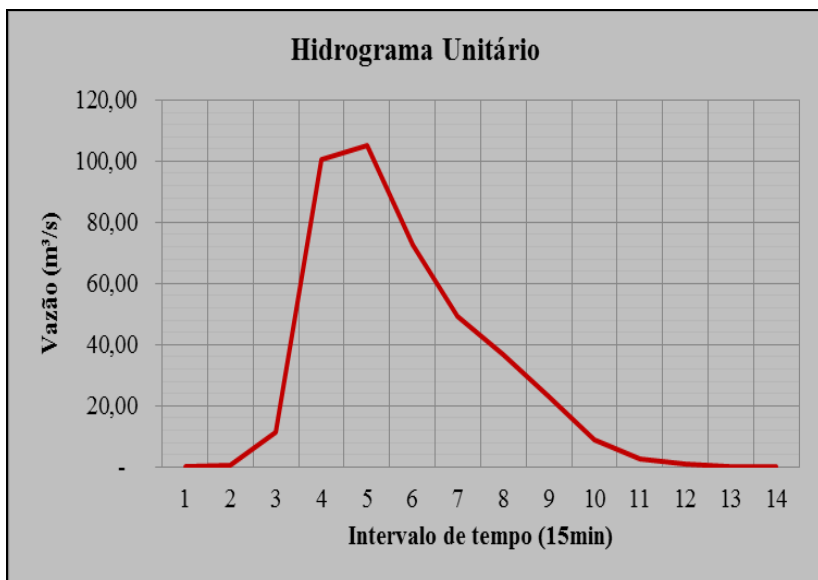


Figura 116: hidrograma unitário sub bacia 3. Grupo hidrológico C

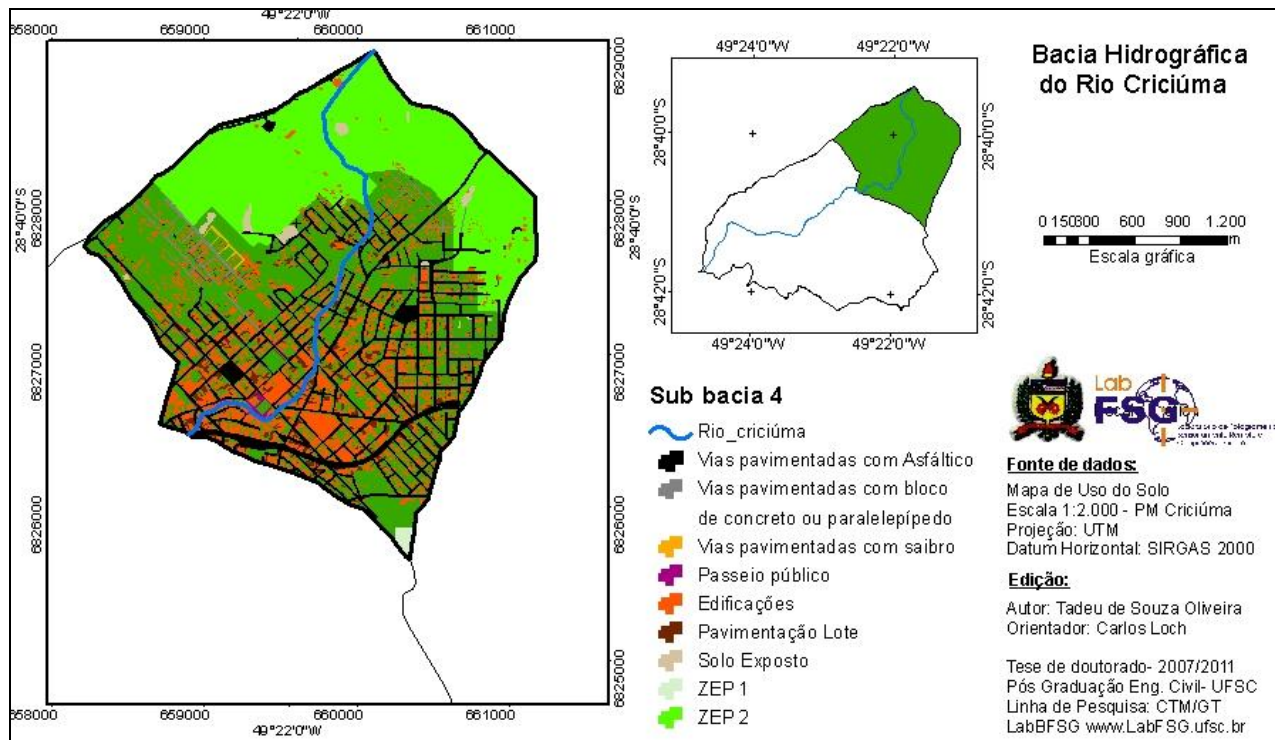


Figura 117: sub bacia 4

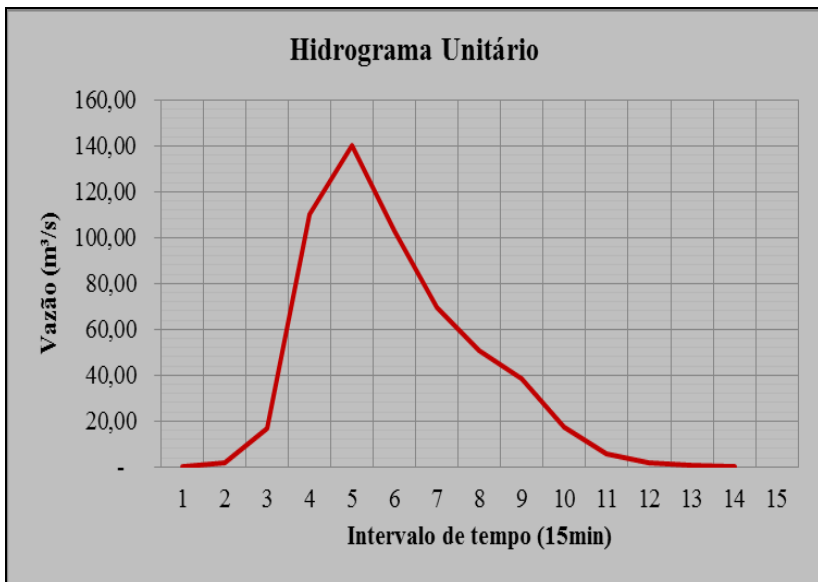


Figura 118: hidrograma unitário sub bacia 4. Grupo hidrológico D

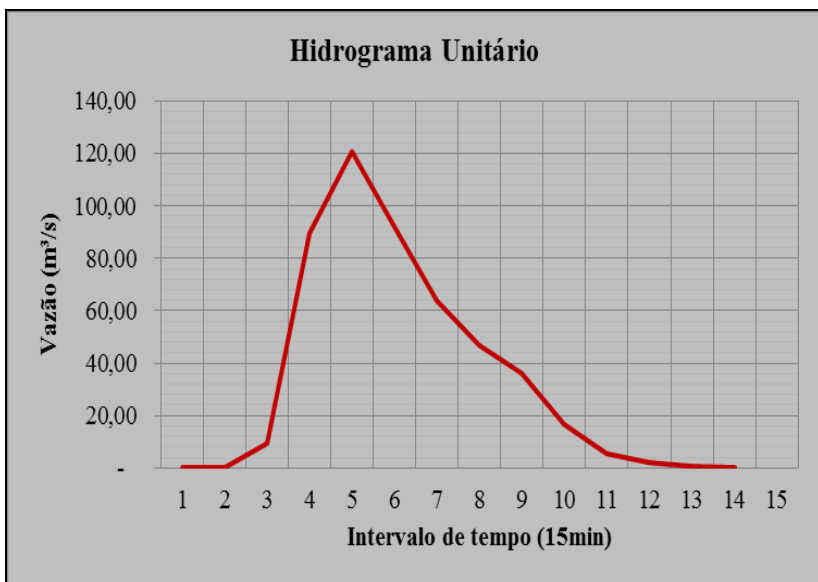


Figura 119: hidrograma unitário sub bacia 4. Grupo hidrológico C

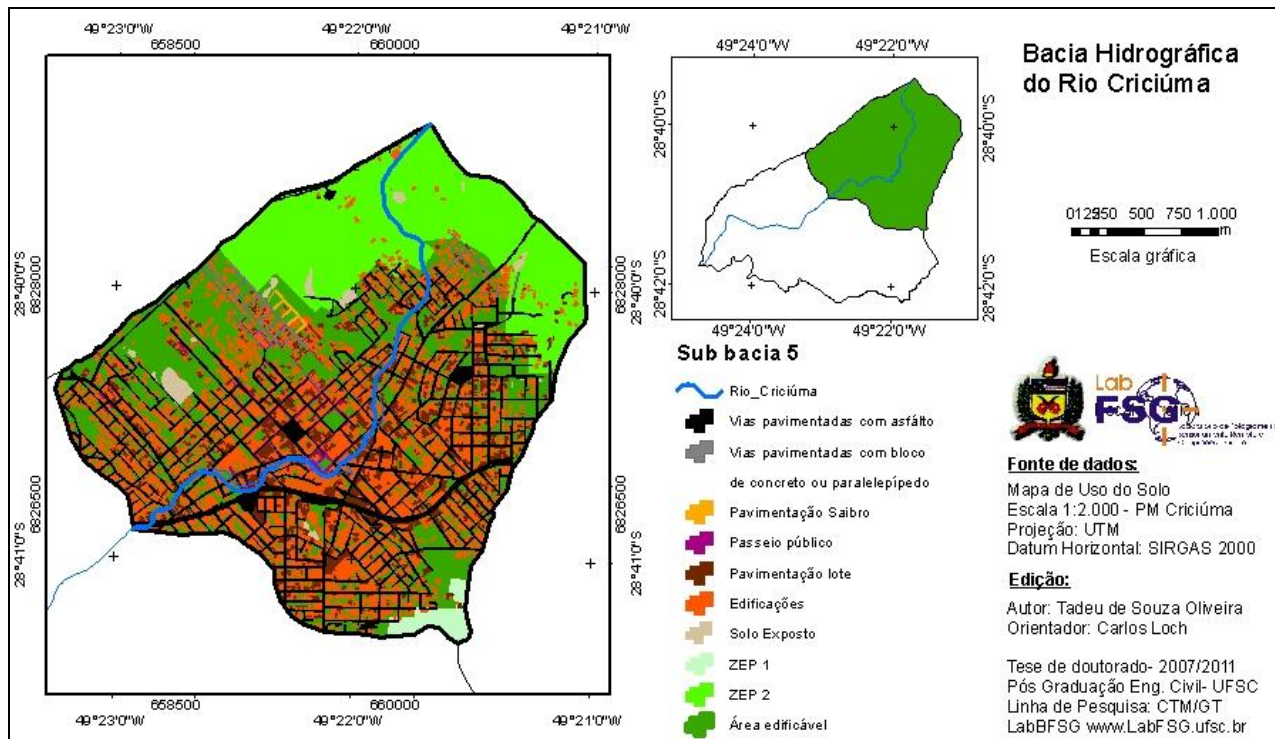


Figura 120: sub bacia 5

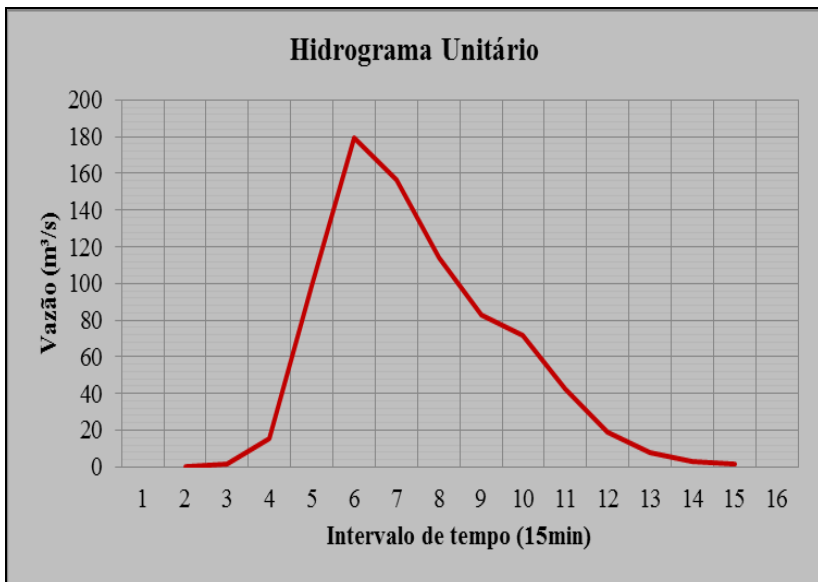


Figura 121: hidrograma unitário sub bacia 5. Grupo hidrológico D

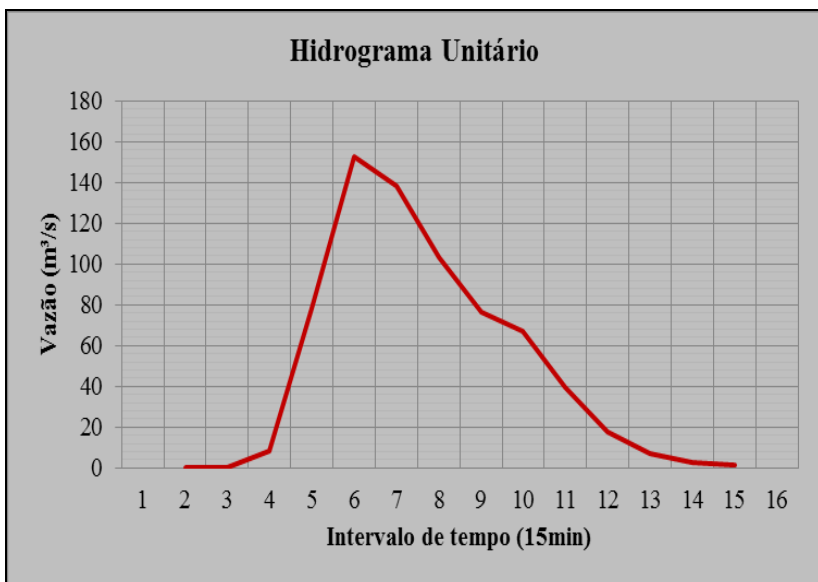


Figura 122: hidrograma unitário sub bacia 5. Grupo hidrológico C

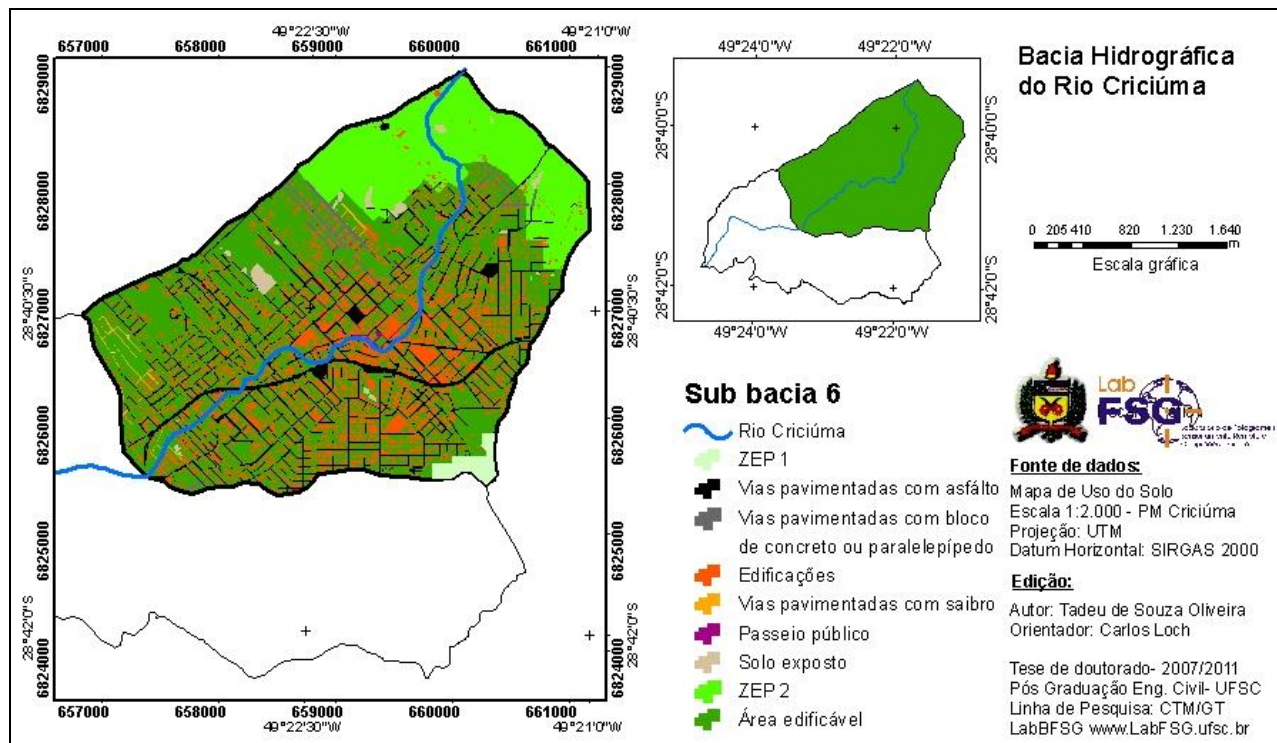


Figura 123: sub bacia 6

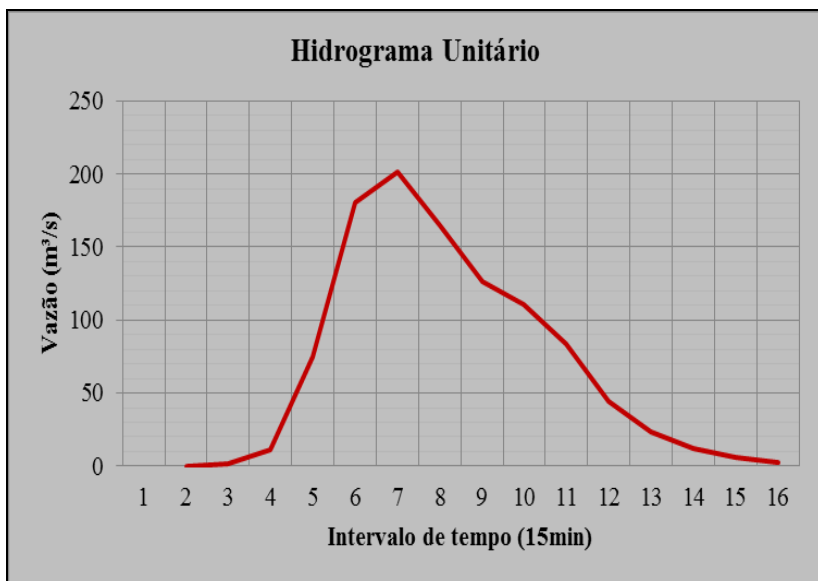


Figura 124: hidrograma unitário sub bacia 6. Grupo hidrológico D

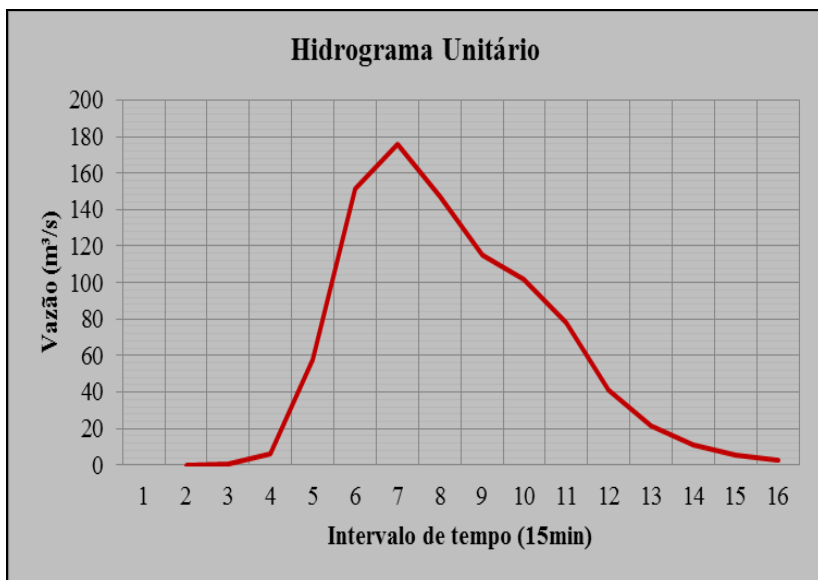


Figura 125: hidrograma unitário sub bacia 6. Grupo hidrológico C

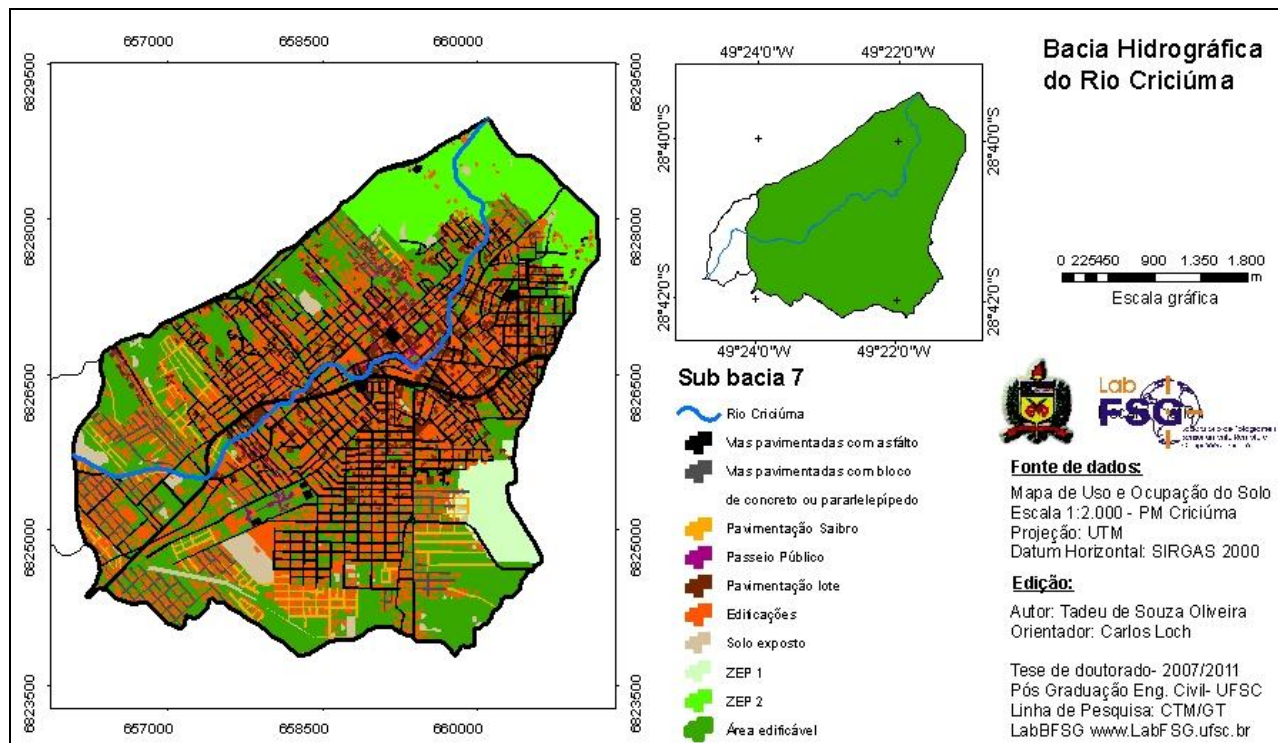


Figura 126: sub bacia 7

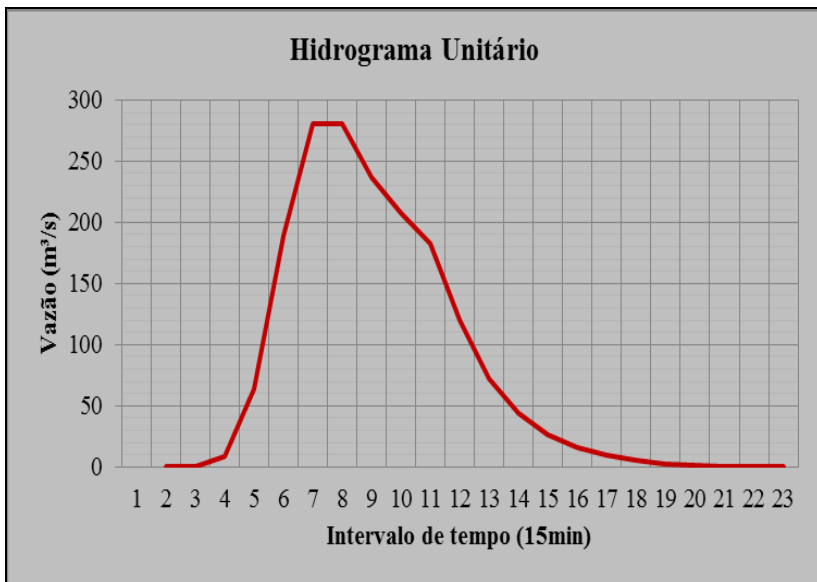


Figura 127: hidrograma unitário sub bacia 7. Grupo hidrológico D

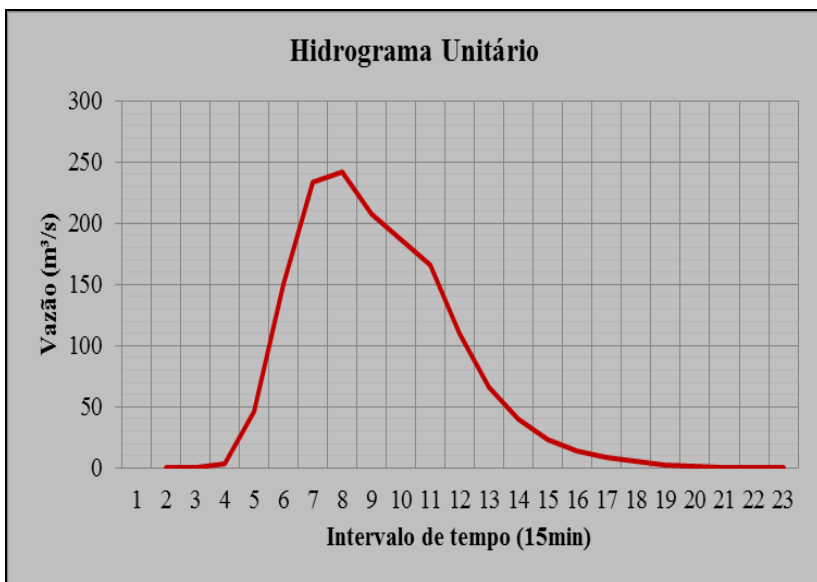


Figura 128: hidrograma unitário sub bacia 7. Grupo hidrológico C

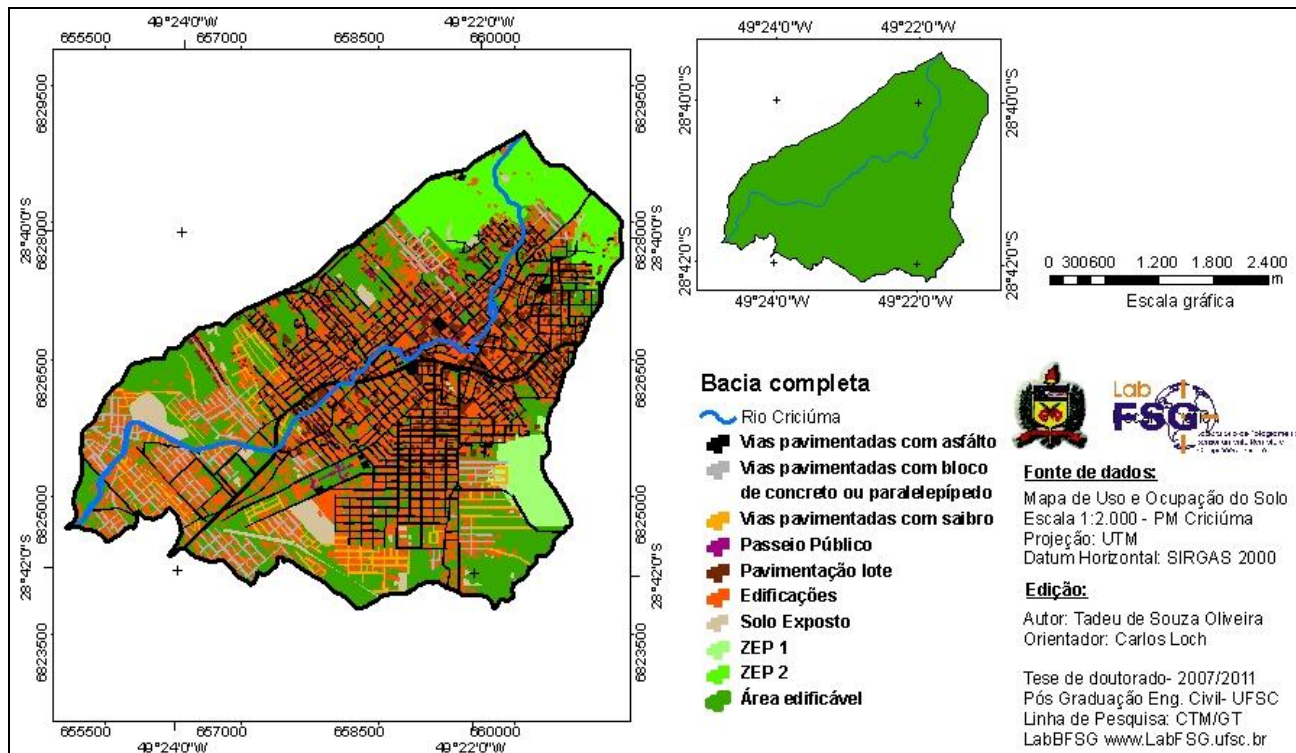


Figura 129: bacia completa

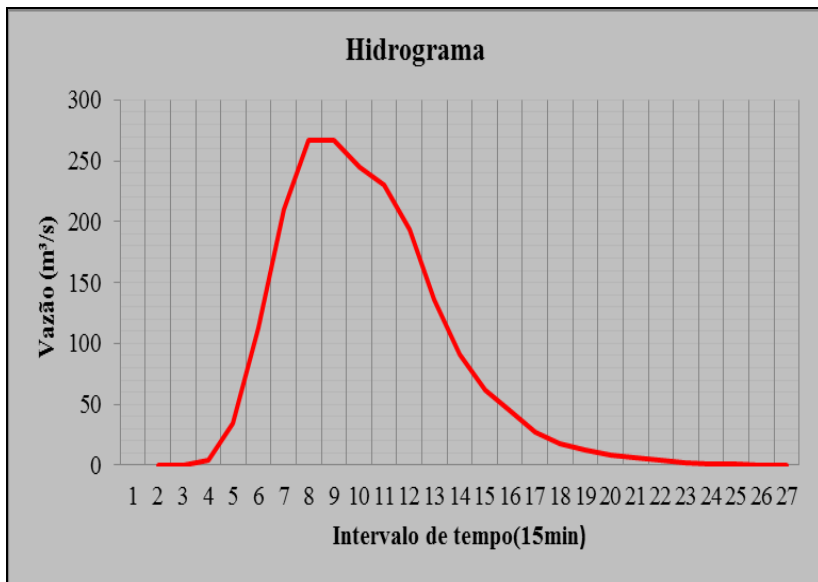


Figura 130: hidrograma unitário bacía completa. Grupo hidrológico D

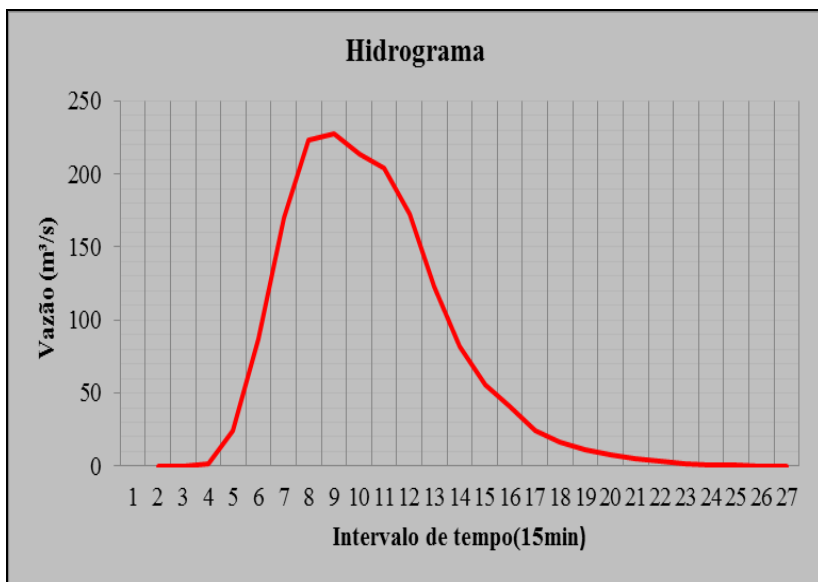


Figura 131: hidrograma unitário bacía completa, grupo hidrológico C

Para o grupo hidrológico C, o dimensionamento das seções foi realizado pela equação de Manning. As paredes do trecho canalizado são constituídas de pedras de alicerce e fundo em concreto muito irregular, com este aspecto o coeficiente de rugosidade de Manning utilizado foi de 0,020.

O quadro 30 apresenta um resumo dos pontos de conferência das seções do Rio Criciúma, o qual correlaciona vazão calculada e um paralelo com os valores calculados com o solo classificado no grupo hidrológico D e C.

Procede-se a avaliação das descargas calculadas e as capacidades das seções existentes, os quadros 31 e 32 apresentam o demonstrativo dos dimensionamentos por classificação do solo por grupo hidrológico.

As diferenças encontradas apontam pontos críticos em 6 dos 8 pontos analisados, todos localizados no final da bacia, sendo um o exutório.

Quadro 30: demonstrativo das vazões por grupo hidrológico do solo.

Bacia	Grupo hidrológico D		Grupo hidrológico C			
Pto seção	CN	Vazão (m ³ /s)	CN	Vazão (m ³ /s)	Dif. % CN	Dif. % Q
1	80,4499	41,29	75,156	33,19	7,04	24,40
2	81,3765	102,04	75,8528	81,55	7,28	25,13
3	83,8009	121,22	79,0781	105,33	5,97	15,09
4	83,5346	140,2	78,7218	120,64	6,11	16,21
5	83,9898	179,5	79,3317	152,82	5,87	17,46
6	84,1424	201,78	79,5366	176,6	5,79	14,26
7	82,7109	280,99	77,6625	241,78	6,50	16,22
Completa - 8	82,2001	266,79	76,9789	227,97	6,78	17,03
Média	82,7756 4	166,72625	77,7898	142,485	6,41	17,01

Quadro 31: demonstrativo do dimensionamento para o grupo hidrológico D.

Grupo hidrológico D							Diferenças Qp-Qmax (m ³ /s)	I(m/m)
Ponto	Seção existente				Seção necessária			
	Larg. (m)	Alt. (m)	Área (m ²)	Qp (m ³ /s)	Qmax (m ³ /s)	Área (m ²)		
1	3,20	1,25	4,00	16,22	41,29	12,701	(25,07)	0,011
2	2,73	2,25	6,14	24,11	102,04	25,549	(77,93)	0,008
3	2,34	2,47	5,78	12,98	121,22	47,691	(108,24)	0,003
4	8,00	2,50	20,00	97,72	140,2	39,416	(42,48)	0,005
5	7,24	3,05	22,08	103,18	179,5	49,63	(76,32)	0,004
6	9,50	3,50	33,25	206,72	201,78	47,366	4,94	0,006
7	12,60	5,83	73,46	472,35	280,99	71,46	191,36	0,004
8	14,30	3,35	47,91	563,54	266,79	38,858	296,75	0,018

Quadro 32: demonstrativo do dimensionamento para o grupo hidrológico C

Grupo hidrológico C							Diferenças	I(m/m)
Ponto	Seção existente				Seção Necessária			
	Larg.	Alt.	Área	Qp	Qmax	Área	Qp-Qmax	
1	3,20	1,25	4,00	16,22	33,19	12,701	(16,97)	0,011
2	2,73	2,25	6,14	24,11	81,55	25,549	(57,44)	0,008
3	2,34	2,47	5,78	12,98	105,33	47,691	(92,35)	0,003
4	8,00	2,50	20,00	97,72	120,64	39,416	(22,92)	0,005
5	7,24	3,05	22,08	103,18	152,82	49,63	(49,64)	0,004
6	9,50	3,50	33,25	206,72	176,6	47,366	30,12	0,006
7	12,60	5,83	73,46	472,35	241,78	63,69	230,57	0,004
8	14,30	3,35	47,91	563,54	227,97	38,858	335,57	0,018

6.8.3. Áreas de alagamentos

Diante do quadro apresentado, resultado das avaliações das capacidades de descargas e o reconhecimento do sub dimensionamento do canal do rio e os diversos problemas apresentados sobre o sistema de drenagem urbana, se torna necessário uma avaliação das áreas de alagamentos. Estas áreas expostas a constantes inundações bruscas são apresentadas no mapa de inundações das figuras 132 e 133. A primeira apresenta o mapa completo com as áreas de alagamentos e a segunda, mostra na ampliação da maior área e também a mais crítica, a quantidade de edificações e ruas atingidas.

Para o reconhecimento e traçado destas áreas, utilizou-se fotografias terrestres, informações dos proprietários dos edifícios atingidos e levantamento topográfico dos pontos atingidos pela água. As fotografias e as informações dos proprietários identificam o ponto e a levantamento dos pontos com estação total serve para cadastrar estes pontos com as coordenadas planas e altimétrica.

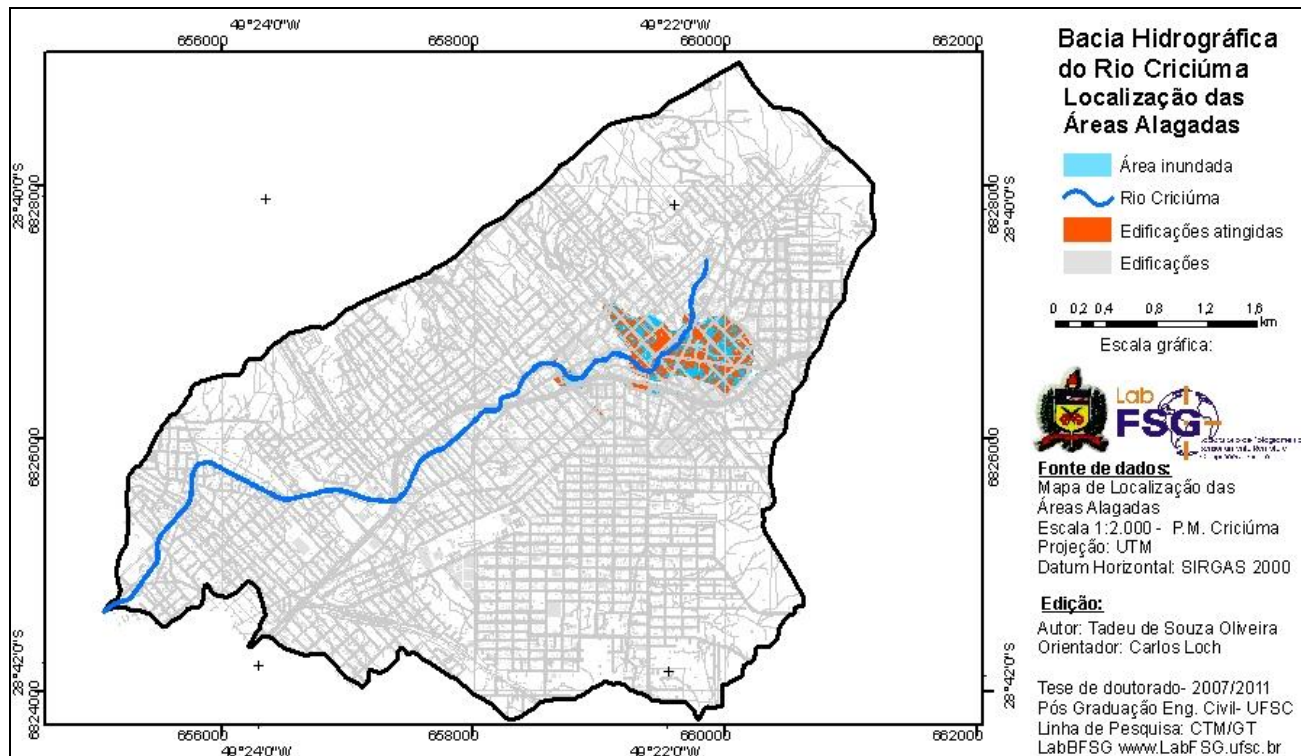


Figura 132: localização das áreas atingidas por alagamentos na bacia do Rio Criciúma.

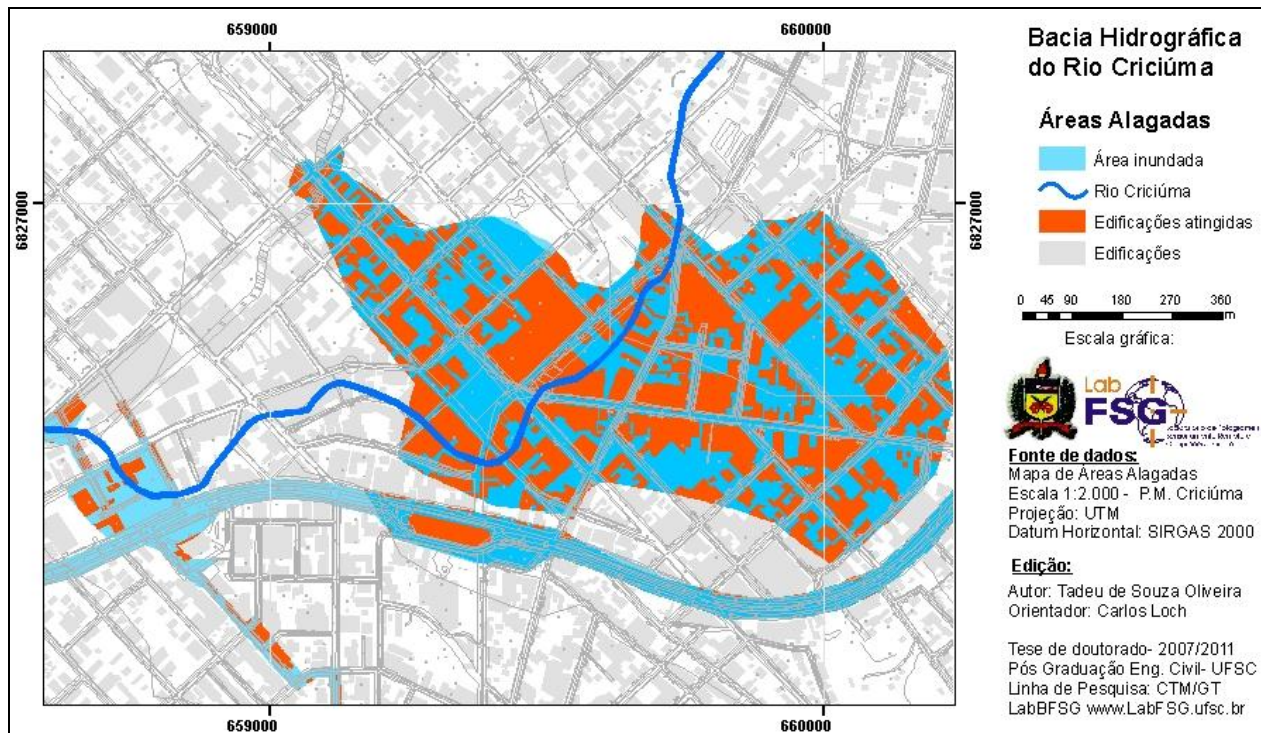


Figura 133: ampliação das áreas atingidas por alagamentos na bacia do Rio Criciúma

Na figura 134 reconhece-se o ponto indicado como “P” no eixo da rua no encontro deste com a água. Este ponto foi identificado e cadastrado com as seguintes coordenadas:

N = 6.826.503,58m

E = 659.589,06m

Z = 45,356m

A dimensão “Z” indica a altitude do nível da água, e deste modo outros pontos foram reconhecidos e cadastrados, gerando a linha poligonal aproximada da área alagada. Com este mesmo método utilizou-se fotografia que permitisse o reconhecimento da posição do ponto a ser cadastrado. A figura 135 indica o modo de reconhecimento ao validar no local o nível da água fazendo-se observando diretamente sobre a parede do muro. Este ponto foi cadastrado com as coordenadas:

N = 6.827.066,95m

E = 659.080,35m

Z = 42,147m



Figura 134: identificação do ponto sobre o eixo da rua
Fonte: Defesa Civil-Criciúma



Figura 135: identificação do ponto sobre o muro
 Fonte: Defesa Civil-Criciúma

Para traçar a poligonal, uniram-se os pontos obtendo-se uma área média inundada sobre a base cartográfica na escala 1: 2.000 e curvas de nível de 5 em 5 metros. Os pontos desta poligonal foram obtidos sobre as fotografias dos eventos ocorridos em 18/02/2009, 12/05/2010 e 18/01/2011 sendo esta uma das maiores inundações registrada no município e as informações dos proprietários foram obtidas no mês de agosto de 2011.

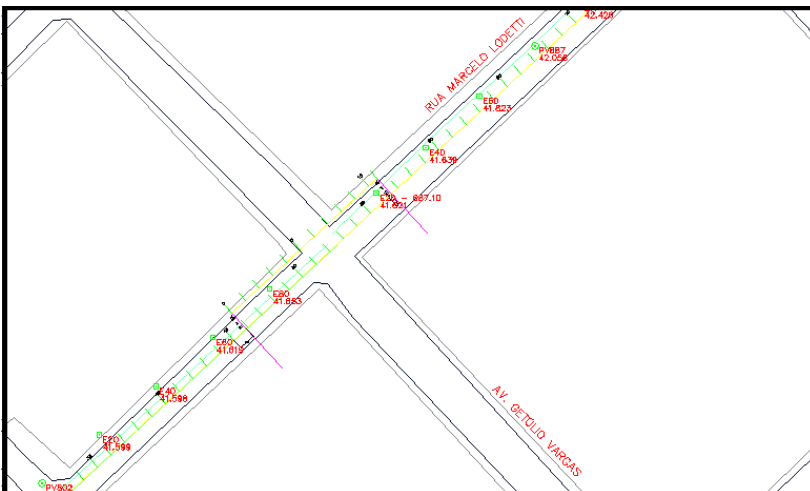
Importante observar as diferenças de altitudes entre os pontos, formando um espelho d'água em grande desnível. Para avaliar este desnível, procedeu-se o levantamento topográfico do eixo da Rua Marcelo Lodetti com o uso de estação total. Justifica-se, neste trabalho a escolha do local para a avaliação da declividade do nível da água em função da ocorrência de inundação diagnosticada, ao estudar a micro bacia 15.

A figura 136 apresenta o levantamento e locação do eixo e das cotas de alagamento da Rua Marcelo Lodetti com pontos com sua altitude identificada para que se possa proceder a um perfil longitudinal. De posse das coordenadas altimétrica dos dois níveis, do eixo e dos níveis de alagamento, faz-se os perfis e posteriormente sobrepõe-se avaliando as diferenças de cotas e a declividade do nível da água.

Nas figuras 137 e 138 estão representados sobrepostos num perfil completo longitudinal as linhas representativas do eixo da rua e do nível da água e na figura uma ampliação do perfil com a identificação dos perfis e da altura da lâmina de água. Os pontos P1 e P2 representam os pontos com os níveis da água do alagamento.

A variação da linha do eixo entre os pontos P1 e P2 é em função de uma rótula com canteiro no centro do encontro com as Ruas Marcelo Lodetti e Rui Barbosa. Observa-se que o desnível da linha da água é maior que a linha do eixo da rua. A rua possui um desnível médio de considerando todo o traçado, de 1,31% e a lâmina de água 2,93%. A profundidade máxima é de 58 cm, medida esta validade “in loco”.

O mesmo procedimento foi adotado para avaliar o nível de inundação tendo como parâmetro a base cartográfica de 2001. As figuras 139 e 140 apresentam a sobreposição dos perfis longitudinais tomados na base cartográfica para o eixo da Rua Marcelo Lodetti e do nível da água tomados com levantamento topográfico com estação total. Este procedimento utilizando a base cartográfica apresentou lâmina de água com profundidade máxima de 1,44m.



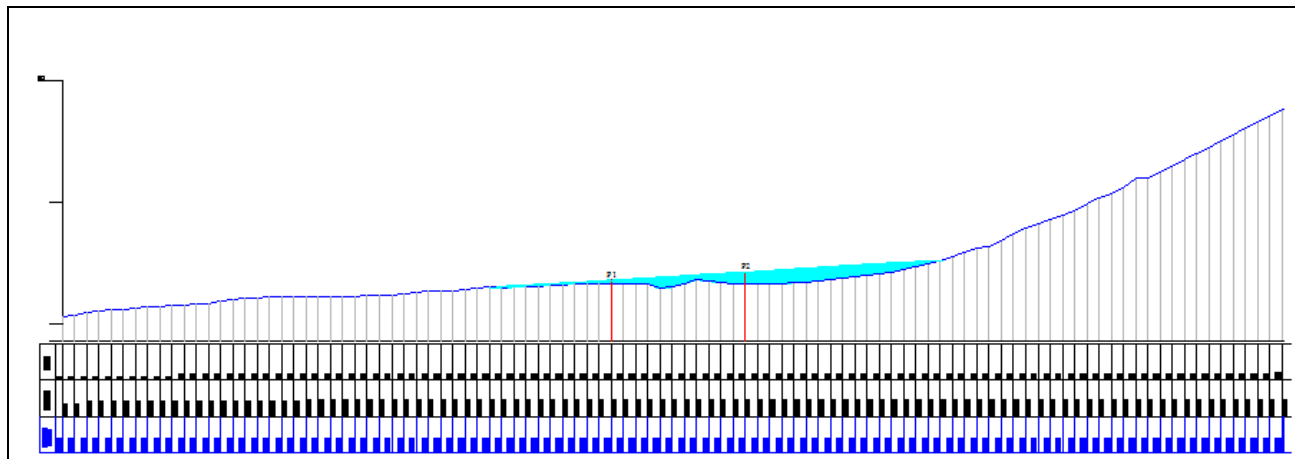


Figura 137: MDT. Perfil longitudinal completo. Sobreposição da linha de inundação com a linha do rua tomada com levantamento topográfico.

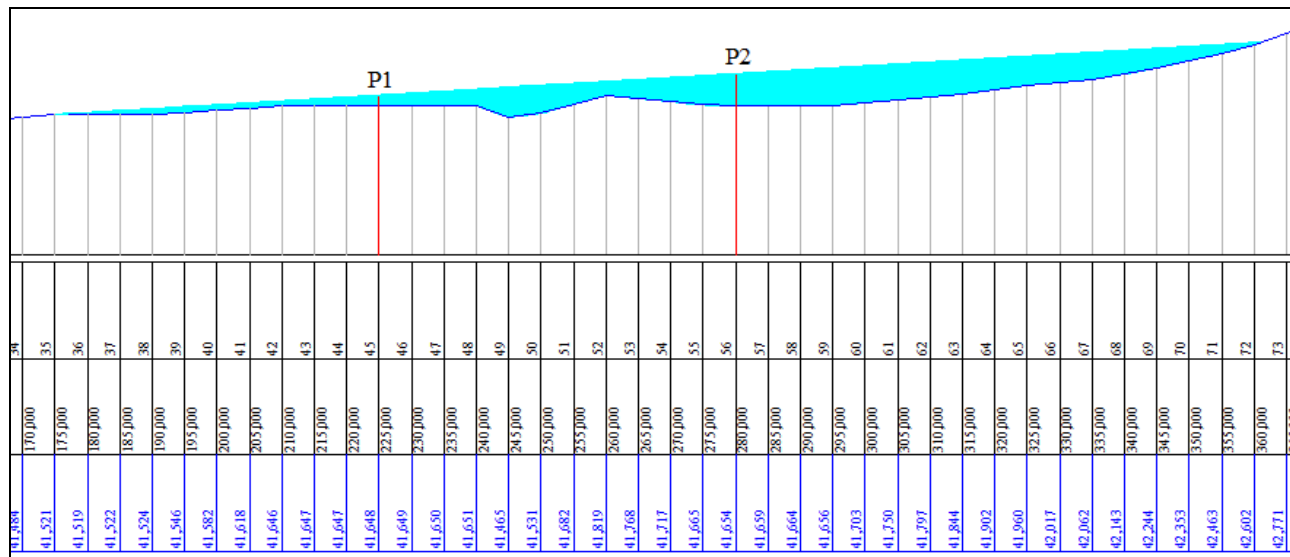


Figura 138: MDT. Ampliação do perfil longitudinal da figura 137.

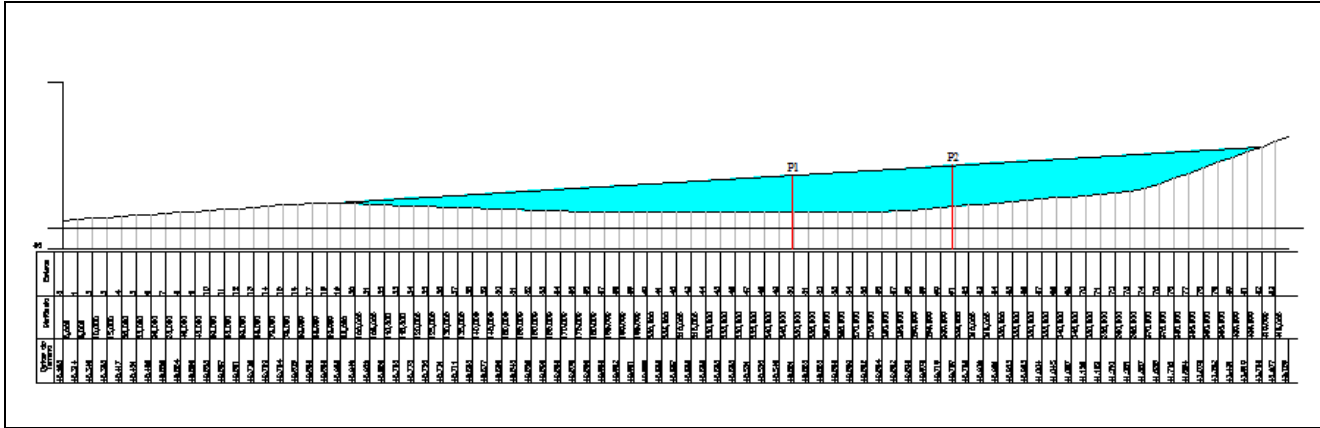


Figura 139: MDT. Perfil longitudinal completo. Sobreposição da linha de inundação com a linha do rua tomada sobre base cartográfica

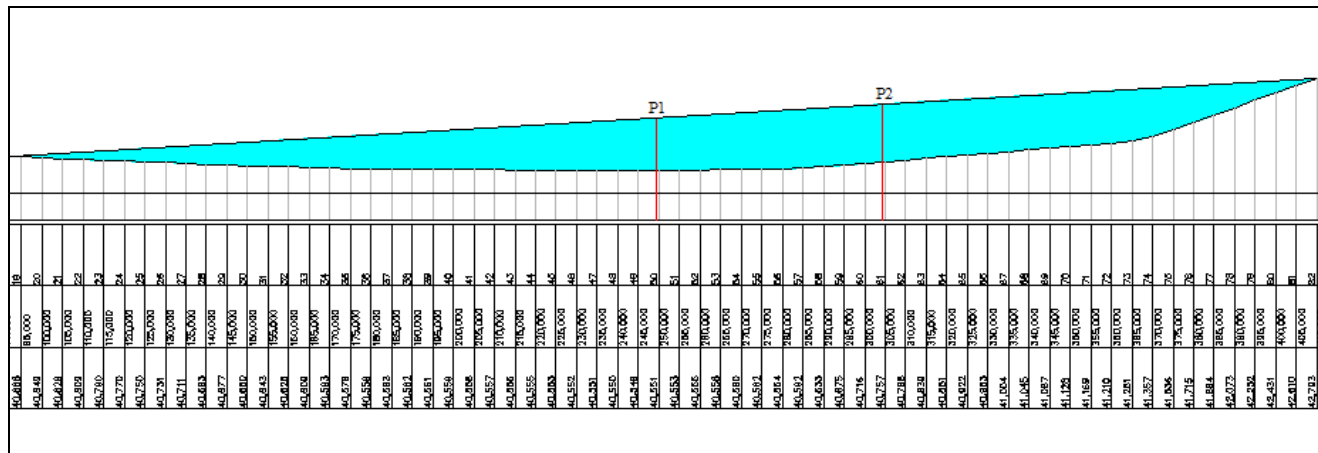


Figura 140: MDT. Ampliação do perfil longitudinal da figura 139.

6.9. Avaliação

Diagnosticar o sistema de drenagem de uma bacia hidrográfica exige uma coleta dados detalhada e volumosa. Cita-se que é imprescindível a permanência do pesquisador em campo considerando a dinâmica do meio ambiente, principalmente o urbano. O material cartográfico do município deve estar atualizado e com a precisão necessária de modo a garantir projetos corretos e investimentos apropriados e no tamanho do problema.

O trabalho de levantamento de campo observou que o sistema de drenagem do município de Criciúma não possui poços de visita nas redes de drenagem pluvial. A falta destes dispositivos impede o acesso às tubulações e conseqüentemente não há manutenção nas redes, apresentando em determinados pontos galerias com a seção totalmente fechada. Por falta de acesso via poços de visitas às tubulações não foi possível cadastrar os diâmetros. A tubulação completamente entupida da figura 141 foi cedida pela empresa responsável pela execução do sistema de esgoto sanitário.



Figura 141: tubulação com seção entupida por sedimentos.
Fonte ITAJUÍ, 2011.

Quanto a rede hidrográfica observa-se, na micro bacia 15, que a canalização é maior do que a rede de drenagem original, uma vez que há um canal de seção retangular na Rua Getúlio Vargas. No entanto este foi construído como um canal auxiliar, pois não há originalmente e seu trajeto nenhuma ramificação da hidrografia. A parcela que se encontra fechada representa 72,44% do comprimento original. O total de redes desta micro bacia somando-se canais abertos e canalizados montam 5.367 m, um acréscimo de 28,08%.

Dentro do modelo amostral utilizado como parâmetro aplicável a toda bacia, foram cadastradas 494 caixas coletoras, das quais 369 (74,69%) estão abaixo da capacidade desejável de funcionamento, ou seja, aquelas consideradas com fator de redução de 80%. Para a rua utilizada como modelo de cálculo e monitoramento propostos em planilha eletrônica, houve água excedente por falta de capacidade de descarga de duas caixas coletoras, sobrecarregando aquelas localizadas a jusante.

A planilha eletrônica mostra-se de simples manuseio e de boa eficiência para armazenamento de dados e gestão dos dispositivos e eficiência da drenagem urbana.

Observa-se na cartografia da micro bacia amostral que as galerias são de médio e grande porte e implantadas sob as edificações, indicando claramente a ocupação dos fundos de vales. A ocupação de fundos de vales também é facilmente observada no mapa de sobreposição da hidrografia de 1956 com as galerias, canalizações desta mesa hidrografia.

A avaliação da capacidade de descarga dos canais de descarga da micro bacia 15 apontou sub dimensionamento para as características físicas apresentadas. A avaliação demonstrou um excesso de água na ordem de 17,52m³/s, indicando ser o sub dimensionamento responsável pelos constantes alagamentos na Rua Marcelo Lodetti, Getúlio Vargas e rua Araranguá. Importante observar que esta pesquisa aponta que este alagamento não possui relação com o sub dimensionamento do canal do Rio Criciúma, pois a descarga destas águas é realizada em ponto que não há inundações pelo aumento do nível do rio.

Quanto a avaliação das seções do Rio Criciúma, observa-se uma diferença muito grande das dimensões das seções existentes com aquelas que seriam necessárias, considerando as características atuais da bacia. Os quadros estatísticos 29, 30 e 31 apontam uma sobra de vazão correspondente às inundações frequentes nos pontos analisados, principalmente entre os pontos 1 e 4. Os pontos 5 e 6 também apontam

com sub dimensionamento, no entanto, estes locais não ocorrem inundações pelo fato de que as águas ficam retidas a montante, no centro da cidade e só saem quando o nível do rio abaixar.

A produção de sedimentos, a falta de manutenção e a falta de critérios e fiscalização, tem sido os responsáveis pelas reduções das capacidades de descargas das tubulações, ou mesmo pela completa inutilização por entupimentos.

As avaliações das descargas das seções são baseadas puramente na geometria da seção, não levando em consideração a presença de sedimentos ou deposição de resíduos sólidos diversos. Neste contexto, há a necessidade de manutenção preventiva constantemente com os aspectos físicos e da geometria do canal do rio.

Com os valores apresentados conclui-se que alguns fatores estão fazendo com que as chuvas de alta intensidade e baixa duração excedam ao volume suportado pela bacia hidrográfica. O sub dimensionamento encontrado nestas análises podem não representar a real situação dos volumes que possam ser apontados em função deste estudo. Os volumes encontrados na prática, ou seja, aquele acumulado de fato nas ruas, certamente poderão ser maiores ao considerarmos as características de momento do sistema de macro e micro drenagem. É neste contexto que devemos considerar a excesso de lixo, os sedimentos e a falta de manutenção aliada ao vandalismo e degradação dos dispositivos da drenagem urbana.

Quanto ao material disponível para as análises, a base cartográfica apresenta-se com excelente padrão de precisão quando se refere às coordenadas planas. Ao utilizarmos as dimensões referentes às altitudes, estas estão com a precisão muito baixa podendo levar a erros de 2,5 vezes a mais.

CAPÍTULO 7

7. CARACTERIZAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DA IMPERMEABILIZAÇÃO DA BACIA DO RIO CRICIÚMA

7.1. Método de caracterização e levantamento dos dados

É o uso e ocupação do solo que determinam as diversas formas de impermeabilização de uma bacia hidrográfica. Sendo assim, identificar as características e quantificar, significa utilizar-se de resultados mais próximo ao ideal e mais confiável para o dimensionamento do sistema de drenagem.

Para determinação deste importante item da pesquisa utilizou-se software de geoprocessamento e CAD com uso das fotografias aéreas dos anos de 2006 para determinação das quantidades dos diversos tipos de uso do solo. Tais quantidades foram atualizadas com o uso de uma imagem de satélite GEOEYE de novembro de 2009. A figura 142 apresenta a forma de determinação de cada área relativa a cada elemento, na qual o processo é manual de contornando os elementos reconhecidos na imagem. Cada figura geométrica resultante do contorno gera um polígono representativo do elemento estudado com a área de cada um destes.

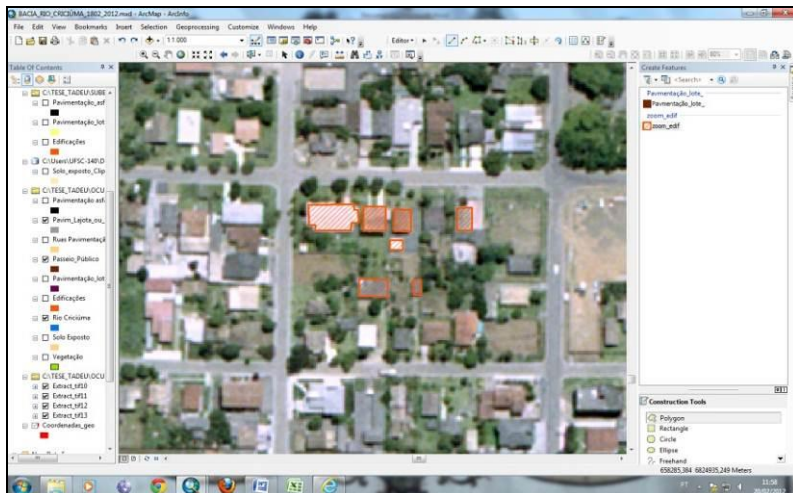


Figura 142: ilustração da determinação das áreas no software de geoprocessamento.

As figuras que representam cada tipo de elemento são definidas em um layer e a soma destas figuras representa o total de área classificada como um tipo de ocupação e uso do solo. A figura 143 apresenta um modelo de obtenção da área total do tipo de uso e ocupação do solo (edificações com 3.035.901,53m²) gerada pelo software de geoprocessamento, procedimento repetido para todas as classificações.

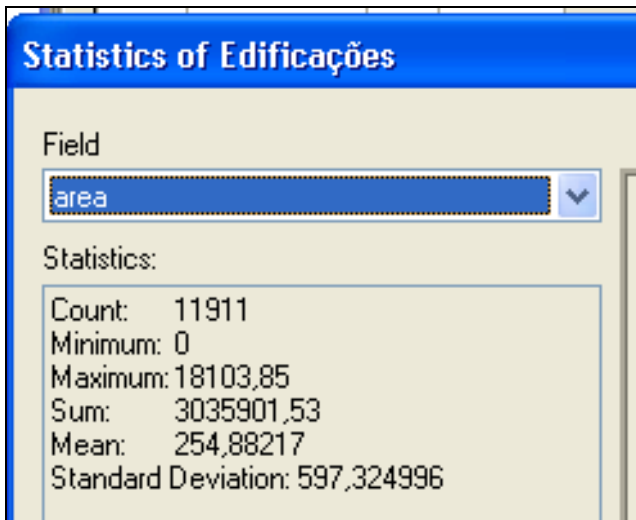


Figura 143: janela do software de geoprocessamento com a soma de todas as áreas de edificações.

A definição e classificação do tipo de uso e ocupação do solo foram elaboradas de modo a representar de modo seguro as características da impermeabilização da bacia, desta forma ficou assim distribuída:

7.1.1. Impermeabilização das vias públicas

Representada pela pavimentação de ruas urbanas e estradas municipais e subdivididas por tipo de pavimento tais como, concreto asfáltico; blocos de concreto hidráulico ou paralelepípedo; saibro ou macadame; e, os passeios públicos considerados todos como piso de concreto hidráulico;

7.1.2. Impermeabilização dos lotes por pavimentação interna

Trata-se das calçadas internas aos lotes, todas tratadas nesta pesquisa como sendo de concreto hidráulico. O lote é impermeabilizado pela edificação a qual pode atingir até 60% de ocupação e as calçadas internas 20% sendo os restantes 20% área de infiltração, conforme plano diretor vigente, lei número 3.900 de 1999;

7.1.3. Impermeabilização das edificações

As edificações foram identificadas nas imagens pela cobertura representativa das projeções sobre o solo de prédios de múltiplos pavimentos, casas, galpões, escolas, igrejas e outros;

7.1.4. Solo exposto

A parcela de solo exposto foi selecionada observando-se que nestas áreas não há impermeabilização por vias públicas, por pavimentação interna de lotes ou por edificações, assim como também não há presença de qualquer tipo de vegetação. Esta classificação abrange na bacia, áreas em processo de terraplanagem e limpeza de terrenos para edificação, exploração de argilas e área degradada pela atividade mineradora. Pode-se considerar uma classificação não fixa que pode estar em processo de impermeabilização por qualquer um dos casos acima ou a ser revegetada;

7.1.5. Solo com vegetação

A classificação para este tipo de ocupação do solo leva em consideração a presença de qualquer tipo de vegetação, sendo esta de pequeno, médio ou grande porte. Nesta parcela da bacia hidrográfica, está considerada também a reserva individual dos lotes obrigatória no plano diretor que é de 20% sem qualquer tipo de pavimentação, tratada nesta pesquisa como vegetação rasteira ou grama;

7.1.6. Área de rios e alagados

Esta classificação de uso e ocupação do solo compreende o Rio Criciúma e pequenos lagos permanentes, consideradas como áreas sem qualquer taxa de absorção de águas de precipitações;

7.1.7. Ocupação do subsolo

O subsolo de Criciúma abriga grandes extensões de galerias de exploração do carvão mineral oriunda de atividades anterior à década de 1950. A bacia do Rio Criciúma situa-se sobre uma pequena parcela destas galerias, contudo sem influência nas águas de escoamento superficial. O mapeamento destas galerias é importante para identificação geográfica analisando o posicionamento destas e dos pontos críticos onde ocorrem as inundações bruscas. A determinação destas áreas e seu posicionamento se darão pela sobreposição dos limites da bacia sobre o mapa de áreas mineradas.

7.2. Método de análise

Neste capítulo é apresentado o cadastro de todos os tipos de uso e ocupação do solo, o qual é analisado quantitativamente, por medições das parcelas determinando a área ocupada por cada classificação definida. Analisa-se separadamente o grau de impermeabilização do solo por tipo de uso e ocupação.

7.3. Método de avaliação

As avaliações partem das comparações entre as quantidades de cada tipo de classificação de uso e ocupação do solo. A relação destas áreas com a área total da bacia determinarão taxas identificarão o grau de impermeabilização da bacia, facilitando a determinação de um coeficiente de escoamento superficial médio (C_m) utilizado no método racional para determinação de vazão.

A avaliação segue com a definição do grupo hidrológico representativo do solo da bacia do Rio Criciúma utilizando-se de boletins de sondagem a percussão. Destes boletins de sondagem toma-se a espessura da primeira camada do solo, a presença do lençol freático, as características do solo e a localização geográfica dentro da bacia. As sondagens estudadas apresentam no mínimo três e no máximo 6 boletins por furo de investigação do solo, sendo que o valor representativo definido neste trabalho é a média aritmética dos valores coletados. Para esta identificação, utiliza-se também o mapa geológico do sul do estado de Santa Catarina.

7.4. Análise

Muito se tem tratado das questões envolvendo inundações urbanas ligadas à impermeabilização do solo das áreas urbanizadas. É um problema mundial na medida em que há a necessidade de expandir as cidades para acomodar seus habitantes. Uma diferença fundamental é o tipo de chuvas que caem sobre estas cidades de acordo com o clima da região onde está inserida. O grau de impermeabilização de uma cidade com baixo índice pluviométrico e principalmente isenta de chuvas tropicais de alta intensidade e baixa duração, certamente não colabora para os mesmos problemas de inundações bruscas de uma cidade servida por chuvas tropicais abundantes.

Ao compararmos a cidade de Criciúma com cidades africanas como Luanda, em Angola o grau de impermeabilização do solo pode ser muito maior nesta última e não ser acometida por inundações bruscas assim como a primeira. O grande diferencial neste exemplo está na posição geográfica dos dois municípios, visto que Criciúma possui clima tropical sendo atingida por chuvas de alta intensidade e curta duração, diferentemente de Luanda que não recebe chuvas em quase todas as estações do ano.

O tipo e quantidade de revestimento do solo de uma bacia hidrográfica estão ligados diretamente à taxa de escoamento superficial que é diretamente proporcional a descarga da bacia, ou vazão. Para estimativas e correlações este trabalho utiliza parâmetros de uso e ocupação dos solos adotados no Método Racional e Método do Soil Conservation Service – SCS, Departamento de Agricultura dos Estados Unidos para determinação da chuva excedente, ou seja, da carga de água que não é absorvida pelo solo e deve ser coletada no sistema de macro e micro drenagens urbana. O coeficiente de escoamento superficial com valores entre 0 e 1 adotado no método racional.

A equação do Método Racional é apresentada a seguir sendo C uma das variáveis da equação para o cálculo da vazão sendo diretamente proporcional. Quanto maior o valor de C, maior é o grau de dificuldade de infiltração do solo da bacia hidrográfica.

$$Q = 0,278 \times C \times I \times A \quad \text{EQ. 33}$$

Onde:

C= coeficiente de escoamento superficial

I= intensidade da chuva (mm/h)

A= área (km²)

Q= Vazão (m³/s)

A equação proposta pelo SCS para a determinação da chuva excedente leva tem como parâmetro o valor de CN (Curve Number) o qual depende do tipo de uso e ocupação do solo. O coeficiente CN é uma variável para determinação do valor de S sendo este uma variável da equação da chuva excedente. Primeiramente determina-se o valor de S em função de CN e posteriormente a chuva excedente, como segue:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad \text{EQ. 34}$$

$$h_{exc} = \left(\frac{P - 0,2S}{P + 0,8S} \right)^2 \rightarrow P > 0,2S \quad \text{EQ. 35}$$

Onde:

h_{exc} = Chuva excedente em mm

P = precipitação (mm)

S= retenção do solo (mm)

Para estabelecer relações entre coeficientes de impermeabilização do solo em função do tipo de ocupação foi procedido o levantamento de todas as áreas e posteriormente determinado um coeficiente médio que represente as características de cobertura do solo da bacia do Rio Criciúma. As áreas foram reconhecidas e determinadas com a interpretação da ortofoto de 2006 atualizada com uma imagem do satélite Geoey de novembro de 2009. As áreas foram divididas em áreas de pavimentação de vias públicas, pavimentação interna dos lotes, edificações, solo exposto, solo com vegetação variada e áreas de rio e alagados. Com o uso de software de geoprocessamento e ortofoto, selecionou-se via interpretação de imagem às áreas já descritas e validadas com visita “in loco” (figura 144).

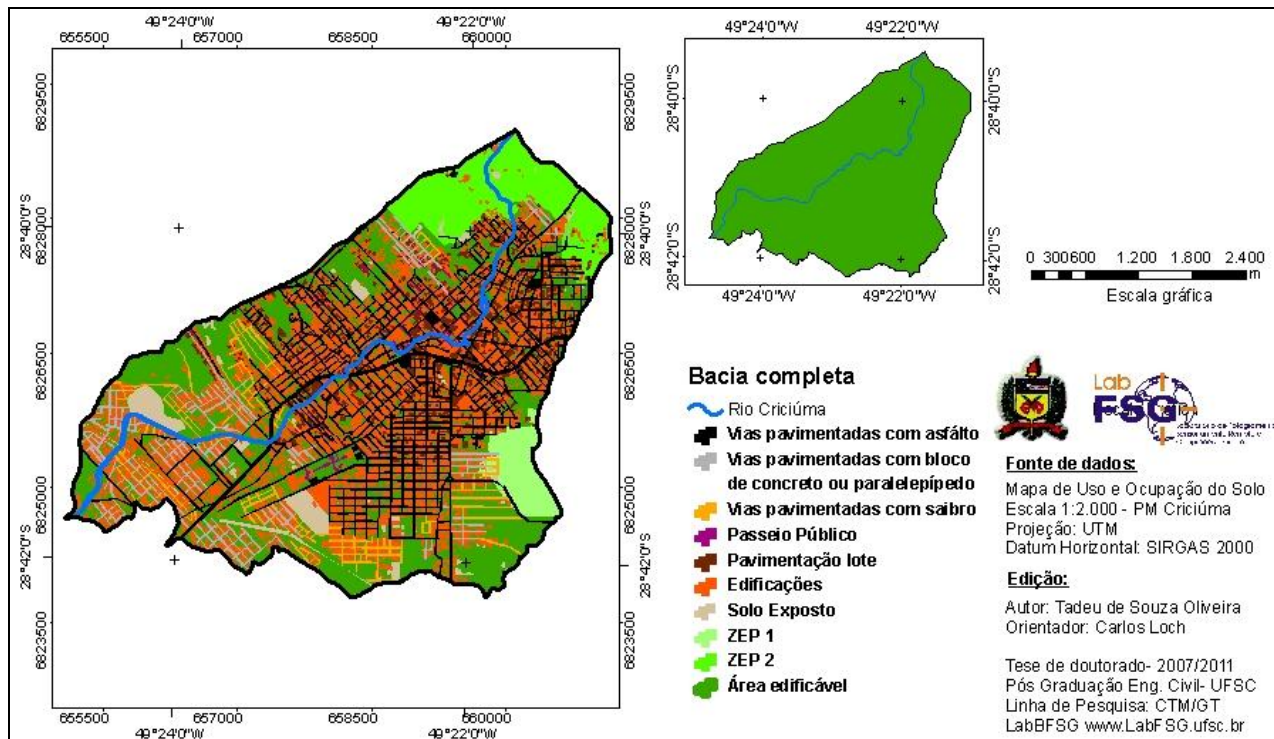


Figura 144: mapa de uso e ocupação do solo da bacia do Rio Criciúma com os tipos de impermeabilização do solo.

7.5. Avaliação

Os dados levantados e avaliados permitem bons resultados na determinação do grau uso e ocupação do solo e sua influência na redução da capacidade de infiltração do solo e conseqüentemente o aumento do escoamento superficial.

É possível e coerente levar parâmetros determinados a partir destes estudos, às políticas públicas para o planejamento urbano reordenamento do território. É possível avaliar a situação futura de uma ocupação e expansão urbana avaliando as potencialidades e fragilidades da bacia hidrográfica.

O grau de impermeabilização por pavimentação de vias públicas pode ser controlado pelo próprio município, assim como as alterações topográficas, resultado de terraplanagens de toda a natureza e grandeza que influenciam no fluxo das águas superficiais.

Nos planos diretores são criados índices de aproveitamento, recuos, afastamentos, gabaritos para limitar o número de pavimentos, taxas de ocupação, entre outros. Destes, o que mais atua no comportamento hidrológico de uma bacia certamente é a taxa de ocupação, pois é determinante para a projeção da área construída.

Quanto aos dados de solos via boletim de sondagens, apresenta-se como dado importante e sempre disponível nas empresas de sondagens. Estes dados sempre acompanham os projetos para determinação das fundações, portanto, ao alcance de todos, podendo ser uma exigência do setor de análise de projetos do município para que seja incorporado nos estudos de viabilidade de todo empreendimento.

Os dados levantados e os valores a partir destes determinados permitem tecnicamente solucionar problemas já instalados e planejar melhores soluções com investimentos públicos alocados corretamente e na medida certa.

7.5.1. Impermeabilização das vias públicas

As vias públicas, composta pelo leito carroçável e passeios públicos, encontradas na bacia do Rio Criciúma apresentam quatro tipos de revestimentos como pavimentação, a seguir discriminados e quantificados, o quadro 33 apresenta as características e quantitativos das áreas.

Quadro 33: características e impermeabilização das vias públicas.

Característica do pavimento	Área (m ²)	% da área total
Concreto asfáltico	1.324.534,82	6,96
Blocos de concreto ou paralelepípedo	263.739,12	1,39
Saibro (Macadame)	127.257,70	0,67
Passeios públicos (concreto)	47.845,89	0,25
TOTAL	1.763.377,53	9,27

7.5.2. Impermeabilização dos lotes por pavimentação interna

A impermeabilização tratada neste item refere-se às calçadas ou pavimentações dentro da unidade habitacional, ou o lote urbano. Este tipo de pavimentação é realizado com concreto e pisos cerâmicos. O plano diretor do município de Criciúma permite ocupação máxima de 60% pela edificação no lote, no entanto mais 20% do lote pode ser revestido por pavimentações. Desta forma, a ocupação do lote por qualquer tipo de impermeabilização pode chegar até a 80% do lote.

O levantamento aponta uma área total pavimentada por calçadas internamente aos lotes de 481.652,46m² representando 2,53% da área total da bacia do Rio Criciúma.

7.5.3. Impermeabilização pelas edificações

As edificações foram levantadas sem distinção se comercial, residencial ou industrial ou o tipo de prédio, considera-se somente a área de projeção da cobertura. O levantamento aponta uma área total pavimentada por edificações de 3.019.368,03m² representando 15,88% da área total da bacia do Rio Criciúma.

7.5.4. Solo exposto

Define-se solo exposto neste trabalho as áreas urbanas da bacia do Rio Criciúma as quais não possuem nenhum tipo de vegetação e também não possuem qualquer tipo de revestimento definidos neste trabalho. O levantamento aponta uma área total de solo exposto de 465.106,76m² representando 2,44% da área total da bacia do Rio Criciúma.

7.5.5. Solo com vegetação

O solo com vegetação aqui considerado representa a parcela com maior capacidade de absorção e retenção de águas de chuvas por haver algum tipo de vegetação. Esta parcela foi delimitada na ortofoto tomando como base as áreas verdes sem estabelecer os tipos de vegetação ou de solo, considerando desta forma coeficiente de escoamento superficial ou o fator de ocupação do solo de forma homogênea. O levantamento aponta uma área total de área verde ou com vegetação de 13.252.1981,85m² representando 69,69% da área total da bacia do Rio Criciúma. Neste valor também estão considerados todos os espaços reservados a infiltração e as áreas sem edificação com presença algum tipo de vegetação. Estas parcelas são descontínuas, definidas em pequenas porções isoladas dentro dos limites dos lotes edificados.

7.5.6. Áreas de rios e alagados

As áreas computadas com esta característica compreendem o Rio Criciúma e pequenas áreas que formam lagos e apresentam afloramento do lençol freático. Os levantamentos destas áreas consideradas com fator zero de absorção de água somam um total de 34.419,49m² representando 0,18% da área total da bacia do Rio Criciúma.

7.5.7. Coeficiente médio de escoamento superficial - C

Com a bacia transformada as taxas de escoamento superficial também se transformam proporcionalmente aos diferentes tipos de uso do solo. Neste sentido, para representar este coeficiente, determinou-se a média ponderada proporcionalmente a cada área tomando como parâmetro os coeficientes do quadro 4.4.1 e determinados pela equação a seguir:

$$C = \frac{\sum A_{1-9} \times C_{1-9}}{A_t} \quad \text{EQ. 36}$$

Onde:

A₁₋₉ – Áreas de 1 a 9;

C₁₋₉ – Coeficientes de escoamento superficial de 1 a 9;

A_t – Área total ou somatória das áreas 1 até 9.

Para uma análise mais detalhada apresenta-se nos quadros 34, 35 e 36 demonstrativo de determinação do coeficiente de escoamento máximo (C_{\max}), médio (C_{med}) e o mínimo (C_{\min}).

7.5.8. Cálculo do coeficiente de escoamento superficial máximo.

$$C_{Max} = \frac{89,54}{100} = 0,8954$$

7.5.9. Cálculo do coeficiente de escoamento superficial médio.

$$C_{Méd} = \frac{89,54}{100} = 0,8954$$

7.5.10. Cálculo do coeficiente de escoamento superficial mínimo.

$$C_{Mín} = \frac{89,54}{100} = 0,8954$$

Quadro 34: Determinação do coeficiente de escoamento superficial máximo $-(C_{\max})$

Tipo de uso e ocupação do solo	Área	Correspondente		Valor de C utilizado	Área (%) X C_{\max}
		Tipo de uso e ocupação do solo	Valor de C		
A1 - Pavimentação asfáltica	1.324.543,82	Superfícies asfaltadas em bom estado	0,85 a 0,90	0,90	6,27
A2 - Pavimentação com blocos	263.739,12	Pavimentos de paralelepípedos, ladrilhos ou blocos	0,50 a 0,70	0,70	0,97
A3 - Pavimentação com saibro	127.257,70	Estradas macadamizadas.	0,25 a 0,60	0,50	0,33
A4 - Pavimentação de passeios públicos	47.845,89	Superfícies asfaltadas em bom estado	0,85 a 0,90	0,90	0,23
A5 - Pavimentação de lotes	481.652,46	Superfícies asfaltadas em bom estado	0,85 a 0,90	0,90	2,28
A6 - Edificações	3.019.368,03	Telhados perfeitos sem fuga	0,70 a 0,95	0,95	15,08
A7 - Solo exposto	465.106,76	Superfícies não revestidas, pátios de estradas..	0,10 a 0,30	0,30	0,73
A8 - Solo com vegetação	13.252.981,85	Parques, jardins, gramados e campinas,	0,01 a 0,20	0,20	13,94
A9 - Rios e alagados	34.419,49	Sem correspondência	1,00	1,00	0,18
TOTAIS	19.016.915,12				40,02

Quadro 35: determinação do coeficiente de escoamento superficial médio - (C_{méd})

Tipo de uso e ocupação do solo	Área	Correspondente		Valor de C utilizado	Área (%) X C _{méd}
		Tipo de uso e ocupação do solo	Valor de C		
A1 - Pavimentação asfáltica	1.324.543,82	Superfícies asfaltadas em bom estado	0,85 a 0,90	0,90	6,27
A2 - Pavimentação com blocos	263.739,12	Pavimentos de paralelepípedos, ladrilhos ou blocos	0,50 a 0,70	0,70	0,97
A3 - Pavimentação com saibro	127.257,70	Estradas macadamizadas.	0,25 a 0,60	0,50	0,33
A4 - Pavimentação de passeios públicos	47.845,89	Superfícies asfaltadas em bom estado	0,85 a 0,90	0,90	0,23
A5 - Pavimentação de lotes	481.652,46	Superfícies asfaltadas em bom estado	0,85 a 0,90	0,90	2,28
A6 - Edificações	3.019.368,03	Telhados perfeitos sem fuga	0,70 a 0,95	0,95	15,08
A7 - Solo exposto	465.106,76	Superfícies não revestidas, pátios de estradas..	0,10 a 0,30	0,30	0,73
A8 - Solo com vegetação	13.252.981,85	Parques, jardins, gramados e campinas,	0,01 a 0,20	0,20	13,94
A9 - Rios e alagados	34.419,49	Sem correspondência	1,00	1,00	0,18
TOTAIS	19.016.915,12				40,02

Quadro 36: determinação do coeficiente de escoamento superficial mínimo - (C_{\min})

Tipo de uso e ocupação do solo	Área	Correspondente		Valor de C utilizado	Área (%) X C_{\min}
		Tipo de uso e ocupação do solo	Valor de C		
A1 - Pavimentação asfáltica	1.324.543,82	Superfícies asfaltadas em bom estado	0,85 a 0,90	0,90	6,27
A2 - Pavimentação com blocos	263.739,12	Pavimentos de paralelepípedos, ladrilhos ou blocos	0,50 a 0,70	0,70	0,97
A3 - Pavimentação com saibro	127.257,70	Estradas macadamizadas.	0,25 a 0,60	0,50	0,33
A4 - Pavimentação de passeios públicos	47.845,89	Superfícies asfaltadas em bom estado	0,85 a 0,90	0,90	0,23
A5 - Pavimentação de lotes	481.652,46	Superfícies asfaltadas em bom estado	0,85 a 0,90	0,90	2,28
A6 - Edificações	3.019.368,03	Telhados perfeitos sem fuga	0,70 a 0,95	0,95	15,08
A7 - Solo exposto	465.106,76	Superfícies não revestidas, pátios de estradas..	0,10 a 0,30	0,30	0,73
A8 - Solo com vegetação	13.252.981,85	Parques, jardins, gramados e campinas,	0,01 a 0,20	0,20	13,94
A9 - Rios e alagados	34.419,49	Sem correspondência	1,00	1,00	0,18
TOTAIS	19.016.915,12				40,02

7.5.9. Coeficiente médio de escoamento superficial – Curver Number - CN

Utilizando a mesma metodologia para a determinação do coeficiente de escoamento superficial C, foram determinados os valores referentes aos grupos hidrológicos dos solos de D e C visando às análises das vazões pelo Método do Soil Conservation Service – SCS, tomando como parâmetro os coeficientes do quadro 36 e determinados pela equação a seguir:

$$CN = \frac{\sum A_{1-9} \times CN_{1-9}}{A_t} \quad \text{EQ. 37}$$

Onde:

A_{1-9} – Áreas de 1 a 9;

CN_{1-9} – Parâmetros das áreas de 1 a 9;

A_t – Área total ou somatória das áreas 1 até 9.

Estes parâmetros já foram demonstrados nos item 5.2, estudos hidrológicos com valor de 82,2001.

7.5.10. Determinação do grupo hidrológico do solo

O parâmetro CN depende da correlação de dois fatores importantes com influência direta sobre a capacidade dos solos de absorção das águas de escoamento superficial. O primeiro fator está ligado ao uso e ocupação do solo e o segundo está relacionado às características geológicas deste mesmo solo. Sendo assim, quanto mais argiloso for o solo menor é a capacidade de infiltração. Contrariamente os solos arenosos com com ausência de argila ou com pequena parcela destas, possuem maior capacidade de absorção das águas superficiais, reduzindo as contribuições nos sistemas de drenagem.

Para a determinação das características e tipo de solo de modo a correlacionar com o grupo hidrológico, utilizou-se boletins de sondagens cedidos gentilmente pela empresa SAVI Fundações e Sondagens Ltda de Criciúma-SC.

O solo da bacia foi avaliado com sondagem de no mínimo três furos por imóvel e no máximo seis, números proporcionais às áreas. As figuras 145, 146 e 147 apresentam modelos de boletim de sondagem de um mesmo imóvel em três pontos com localização diferente. Das informações apresentadas no boletim de sondagem foi coletada a localização, a classificação do material (tipo de solo – cor – consistência), a profundidade da primeira camada e o nível da água (lençol freático) e registrado a média aritmética como valor final de cada um dos itens.

O quadro 37 apresenta o resumo dos pontos coletados com suas respectivas médias. As coordenadas foram coletadas na base cartográfica, pois a empresa não registra estas informações, mesmo que indispensáveis para a localização dos furos de sondagem. A localização na base cartográfica se deu com o reconhecimento do endereço apontado nos boletins de sondagens, campos “Cliente” e “Local” e validação “in loco” com o auxílio do croqui do imóvel (figura 148). As coordenadas apontadas no quadro 36 referem-se apenas a um ponto aproximado para localização do imóvel.

<h1>SAVI - Fundações e Sondagens LTDA.</h1>										
Cliente: COLÉGIO UNIVERSITÁRIO - LEC/R DE BONA SARTOR						Ref.: 009/2008/2C				
Local: RUA GONÇALVES LEDO										
Escala: 1/100		Data: 07/02/2008		Desenhista: JAIR		Engº: JAIR PAULO SAVI		Des. Nº: 025/2008		
SONDAGEM: SP 01			COTA: 00			REVESTIMENTO (m) <u> </u> 00 <u> </u> A <u> </u> 2,00 <u> </u>				
Cota em relação ao R.N.	Amostra	Profundidade da camada (m)	PERCUSSÃO				Revestimento Ø		66,5 mm	
			Penetração (golpes/30cm)				Amostrador {		Ø Interno: 34,9 mm	
			_____ 1º e 2º penetrações ----- 2º e 3º penetrações				Ø externo: 50,8 mm		Peso 65 Kg - Altura de queda: 75cm	
Nível d'água	Ø Da coroa		Nº de Golpes		Gráfico		CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL			
			1º e 2º	2º e 3º	10	20	30	40		
1	①	1,10	2	2	[Gráfico]		Argila arenosa, cor marrom, de consistência muito mole			
2	②	2,00	2	2	[Gráfico]		Argila arenosa, cor marrom clara, de consistência muito mole			
3	③		5	6	[Gráfico]		Argila arenosa, cor marrom escura, de consistência muito mole a média			
4	④		4	5	[Gráfico]					
5	⑤	5,00	3	3	[Gráfico]		Areia média argilosa, cor esbranquiçada, compacta			
6		5,10	52/10		[Gráfico]		Impenetrável à percussão			
7					[Gráfico]					
8					[Gráfico]					
9					[Gráfico]					
Profundidade do nível d'água			80	60	40	20	TEMPO MINUTO	AVANÇO cm	PERFURAÇÃO (M)	TRADO
MEDIDO EM DIA CHUVOSO			Recuperação (%)		ENSAIO DE L.T.	10				0,45_A_1,00_
() SIM (X) NÃO			Fragmentos/m(N)			10				CIRCULAÇÃO DE ÁGUA
Inicial: 0,20 m	06/02/2008		Recup. nula			10				1,45_A_5,10_
Final: 0,30 m	07/02/2008		ROTATIVA							

Figura 145: Boletim de sondagem do furo SP 01.

SAVI - Fundações e Sondagens LTDA.										
Cliente: COLÉGIO UNIVERSITÁRIO - LECIR DE BONA SARTOR						Ref.: 009/2008/2C				
Local: RUA GONÇALVES LEDO										
Escala: 1/100		Data: 07/02/2008		Desenhista: JAIR		Engº: JAIR PAULO SAVI		Des. Nº: 026/2008		
SONDAGEM: SP 02		COTA: 00		REVESTIMENTO (m) __00__ A __2,00__						
Cota em relação ao R.N.	Amostra	Profundidade da camada (m)	PERCUSSÃO				Revestimento Ø		Amostrador	
			Penetração (golpes/30cm)				Ø interno: 66,5 mm		Ø externo: 34,9 mm	
			1º e 2º penetrações							
			2º e 3º penetrações						Peso 65 Kg - Altura de queda: 75cm	
Nível d'água	Ø Da coroa		Nº de Golpes		Gráfico		CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL			
			1º e 2º	2º e 3º	10	20	30	40		
1	①	1,30	2	2					Argila arenosa, cor marrom clara, de consistência muito mole	
2	②		2	2					Argila arenosa, cor preta, de consistência muito mole	
3	③	3,00	2	2					Argila arenosa, cor marrom clara, de consistência muito mole	
4	④		4	4					Argila arenosa, cor marrom escura, de consistência muito mole a mole	
5	⑤	5,00 5,10	52/10						Areia média argilosa, cor esbranquiçada, compacta	
6									Impenetrável à percussão	
7										
8										
9										
Profundidade do nível d'água			80	60	40	20				
MEDIDO EM DIA CHUVOSO							TEMPO MINUTO	AVANÇO cm	PERFURAÇÃO (m)	TRADO
() SIM (X) NÃO			Recuperação (%)		ENSAIO DE L.T.		10			..0,45_ A _1,00_
Inicial: 0,50 m 06/02/2008			Fragmentos/m(N)				10			CIRCULAÇÃO DE ÁGUA
Final: 1,50 m 07/02/2008			Recup. nula		ROTATIVA		10			..1,45_ A _5,10_

Figura 146: boletim de sondagem do furo SP 02

<h1>SAVI - Fundações e Sondagens LTDA.</h1>										
Cliente: COLÉGIO UNIVERSITÁRIO - LECIR DE BONA SARTOR						Ref.: 009/2008/2C				
Local: RUA GONÇALVES LEDO										
Escala: 1/100		Data: 07/02/2008		Desenhista: JAIR		Eng°: JAIR PAULO SAVI		Des. N°: 027/2008		
SONDAGEM: SP 03			COTA: 00			REVESTIMENTO (m)_00__A__2,00__				
Cota em relação ao R.N.	Amostra	Profundidade da camada (m)	PERCUSSÃO				Revestimento \varnothing	Amostrador $\left\{ \begin{array}{l} \varnothing \text{ interno:} \\ \varnothing \text{ externo:} \end{array} \right.$	Peso 65 Kg - Altura de queda: 75cm	
			Penetração (golpes/30cm)		Gráfico					66,5 mm
Nível d'água	\varnothing Da coroa		N° de Golpes		Gráfico		CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL			
			1° e 2°	2° e 3°	10	20				30
1	①		2	2						
2	②		2	2					Argila arenosa, cor marrom clara, de consistência muito mole a mole a muito mole	
3	③		5	6						
4	④	3,90	2	2					Argila arenosa, cor marrom escura, de consistência muito mole a dura	
5	⑤	4,80 5,00	33	46					Areia média argilosa, cor cinza clara, compacta	
6										
7										
8									Impenetrável à percussão	
9										
Profundidade do nível d'água			80	60	40	20				
MEDIDO EM DIA CHUVOSO			Recuperação (%)			ENSAIO DE L.T.	TEMPO MINUTO	AVANÇO cm	PERFURAÇÃO (M)	TRADO
() SIM (X) NÃO			Fragmentos/m(N)				10			_-0,45_A_-1,00_
Inicial: 0,30 m	06/02/2008		Recup. nula				10			CIRCULAÇÃO DE ÁGUA
Final: 0,50 m	07/02/2008		ROTATIVA			10		_-1,45_A_-5,00_		

Figura 147: boletim de sondagem do furo SP 03

Quadro 37: resumo dos pontos coletados e caracterização do solo (1/3)

Pto	Localização/referência	Coordenadas		Prof. da água lençol freático	Solo da primeira camada	
		N (m)	E (m)		Tipo – Consistência	Espessura
1	Av. Humberto de Campos - Colégio Marista	6.826.971	660.129	2,60	Argila arenosa - marrom - rija	0,80
2	Rua Gonsalves Ledo - Col. Universitário	6.826.295	658.949	0,50	Argila arenosa - marrom - muito mole	2,10
3	Rua Joaquim Nabuco - Confecções Milani	6.825.818	659.116	1,70	Argila arenosa - marrom - muito mole	1,46
4	Rua Lúcia Milioli	6.826.069	658.356	1,50	Argila arenosa - marrom - média mole	1,40
5	Rua Giácomo Sônego Neto - Fontana	6.826.795	658.626	0,80	Argila arenosa - marrom - média a rija	3,30
6	Rua Pedro Rodrigues Lopes - Fontana	6.826.369	658.697	0,80	Argila arenosa - marrom - média a rija	2,07
7	Rua Henrique Lage - Corbetta	6.826.388	658.631	1,57	Argila arenosa - marrom - mole	1,92
8	Rua Almirante Barroso - CC-Ed. Majestoso	6.825.891	659.635	1,07	Argila arenosa - marrom - muito mole	1,35
9	Rua Barão do Rio Branco - CC	6.827.137	659.264	0,78	Argila arenosa- marrom -muito mole	1,94

Quadro 37: resumo dos pontos coletados e caracterização do solo (2/3)

Pto	Localização/referência	Coordenadas		Prof. da água lençol freático	Solo da primeira camada	
		N (m)	E (m)		Tipo – Consistência	Espessura
10	Rua Duque de Caxias - CC -Solar das acácias	6.826.135	659.258	4,04	Argila arenosa- marrom -média mole	1,34
11	Rua Pedro Beneton - Eterna Construções	6.826.029	658.831	0,54	Argila arenosa- marrom -rija	1,08
12	Rua Antônio Otávio Vicente -	6.826.892	659.022	1,60	Argila arenosa-variegada -rija	2,27
13	Rua Álvaro Catão	6.826.419	658.466	0,95	Argila arenosa- marrom -média mole	1,17
14	Rua Emílio de Menezes - B. Sta Catarina	6.826.842	658.304	3,50	Argila arenosa- rejeito carvão -compacto	2,70
15	Av. Santos Dument/Rua Martinho Lutero	6.825.086	658.180	0,64	Argila arenosa- rejeito carvão -mole	1,14
16	Rua Imigrante De Luca - Pinheirinho	6.824.513	656.536	2,95	Argila arenosa- marrom -média mole	2,15
17	Rua Joaquim Nabuco - Vilmar Casagrande	6.826.130	659.080	0,77	Argila arenosa- marrom -média mole	1,96
18	UNESC - campus universitário	6.823.959	655.234	0,83	Argila arenosa-amarelada -média mole	1,87

Quadro 37: resumo dos pontos coletados e caracterização do solo (3/3)

Pto	Localização/referência	Coordenadas		Prof. da água lençol freático	Solo da primeira camada	
		N (m)	E (m)		Tipo – Consistência	Espessura
19	Rua Antônio De Luca - Manoel Cardoso	6.826.863	659.892	2,17	Argila arenosa- marrom –média a rija –MCC	1,60
20	Rua Felipe Shmit - Mecril	6.826.814	659.801	1,68	Aterro de argila com rejeito de carvão - compacto	4,62
21	Rua Almirante Barroso/Rodrigues Alves	6.825.892	658.957	2,10	Argila arenosa- marrom – mole	1,03
22	Rua São Domingos - Edson Damiani	6.825.956	657.365	-	Arenito fino - cinza claro - sem fraturas	2,30
23	Rua Joaquim Nabuco/Maestro Jacó	6.825.685	659.143	1,24	Argila arenosa- variegada –rija	2,52
24	Rua Celestina Zilli Rovaris - Fontana	6.826.186	659.061	1,12	Argila arenosa- marrom – mole	1,10
25	Rua Jão Paz - Concrecel	6.824.452	655.639	2,00	Argila arenosa- marrom – mole	1,63
26	Rua Galdino Trento – Castelar	6.826.148	658.654	1,00	Argila arenosa- marrom – média a rija	0,73
27	Trasp. Forquilha - EZA	6.824.755	656.942	0,43	Argila arenosa- marrom	1,20

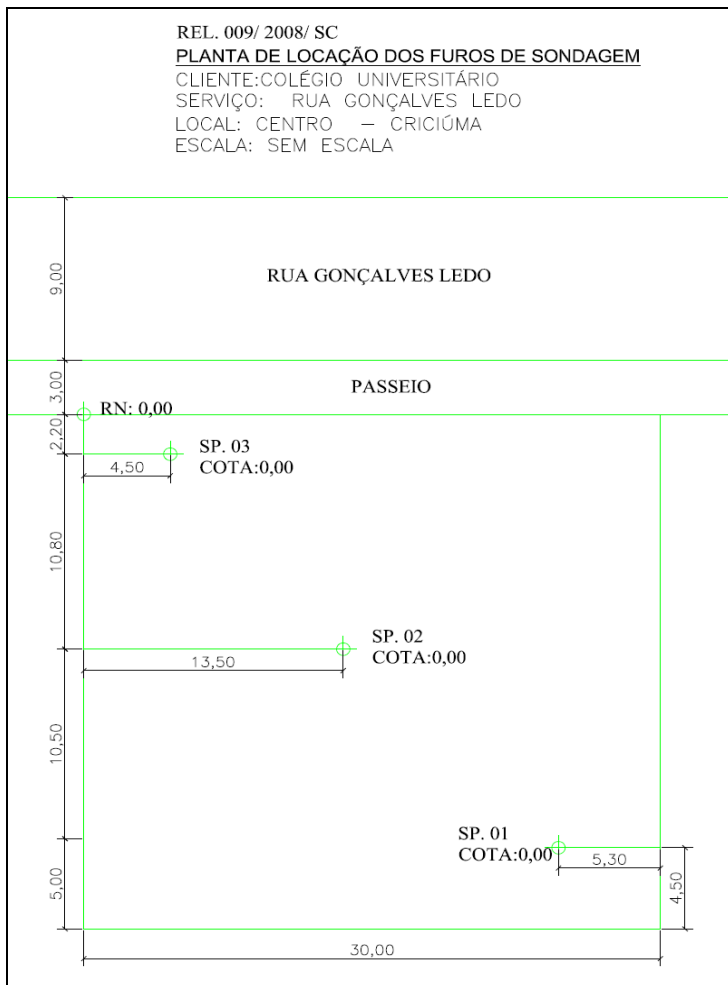


Figura 148: croquis de localização do imóvel e furos de sondagem.

7.5.11. Geologia da bacia do Rio Criciúma

Observa-se nos boletins de sondagem certa uniformidade com os tipos e consistências das amostras, indicando que toda a área da bacia possui as mesmas características do solo, analisando quando a capacidade de infiltração das águas superficiais.

Neste sentido, traz-se neste item uma relação dos dados das sondagens procurando estabelecer relação do geral ao particular. No caso do particular, apresenta-se a pesquisa utilizando-se os boletins de sondagens. Para o caso geral, faz-se um breve estudo sobre os mapas de solos do Estado de Santa Catarina e também o mapa de mineração do município de Criciúma.

A uniformidade apontada nos boletins de sondagens, todos com características descritas como “argila arenosa” pode também ser observada no mapa de solos da figura 149 caracterizando toda área como argilossolo. A presença de argila no solo reduz sua capacidade de infiltração.

As análises sobre o mapa geológico da bacia do Rio Criciúma também apresenta uniformidade, mesmo com a classificação de dois tipos com a presença do Quaternário e Fim da Serra Geral. Há também a presença em pequena área o tipo Fim Palermo, no entanto situa-se nas maiores altitudes da bacia, em área de preservação permanente com proteção legal. A figura 150 ilustra o mapa geológico da bacia do Rio Criciúma.

O município de Criciúma despontou para o cenário nacional tendo sido conhecido até o final da década de 1980 como a capital brasileira do carvão mineral. Neste contexto faz-se um breve estudo para avaliar a presença de minas de sub solo sob a bacia do Rio Criciúma e sua influência nas águas pluviais. A figura 151 ilustra parte do mapa de mineração do município de Criciúma. Observações “in loco” indicam que não há presença de aberturas tais como entrada de mina que de alguma maneira possam absorver águas superficiais. Também não se encontra surgências de águas subterrâneas oriundas do sub solo, ou das galerias de minas, as quais estão desativadas e inundadas com água dos lençóis freático e artesianos.

A única entrada de mina situa-se nas encostas do morro Cechinel no bairro Pio Corrêa, trata-se de uma mina desativada e utilizada para visitação como ponto turístico. Localiza-se em altitude que não permite a entrada de águas superficiais, assim não interferem no sistema de captação de águas pluviais.

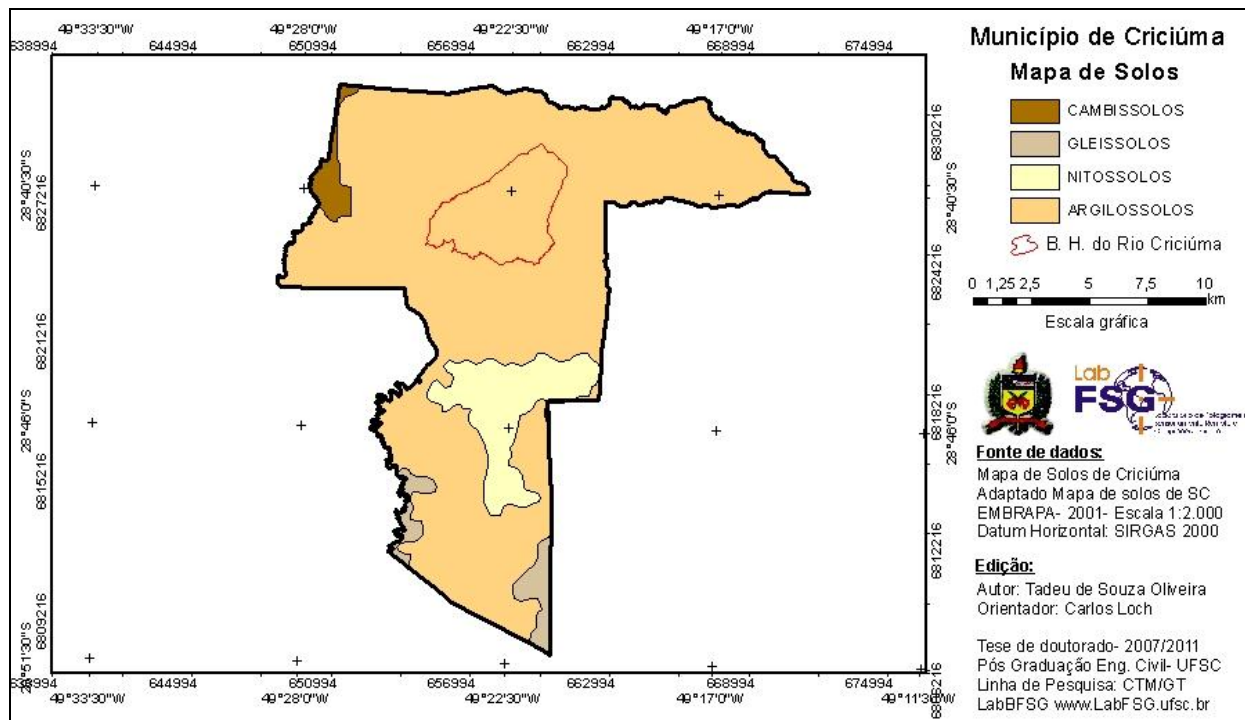


Figura 149: mapa de solos do estado de Santa Catarina com destaque para a localização da bacia do Rio Criciúma.
 Fonte: Embrapa, 2001.

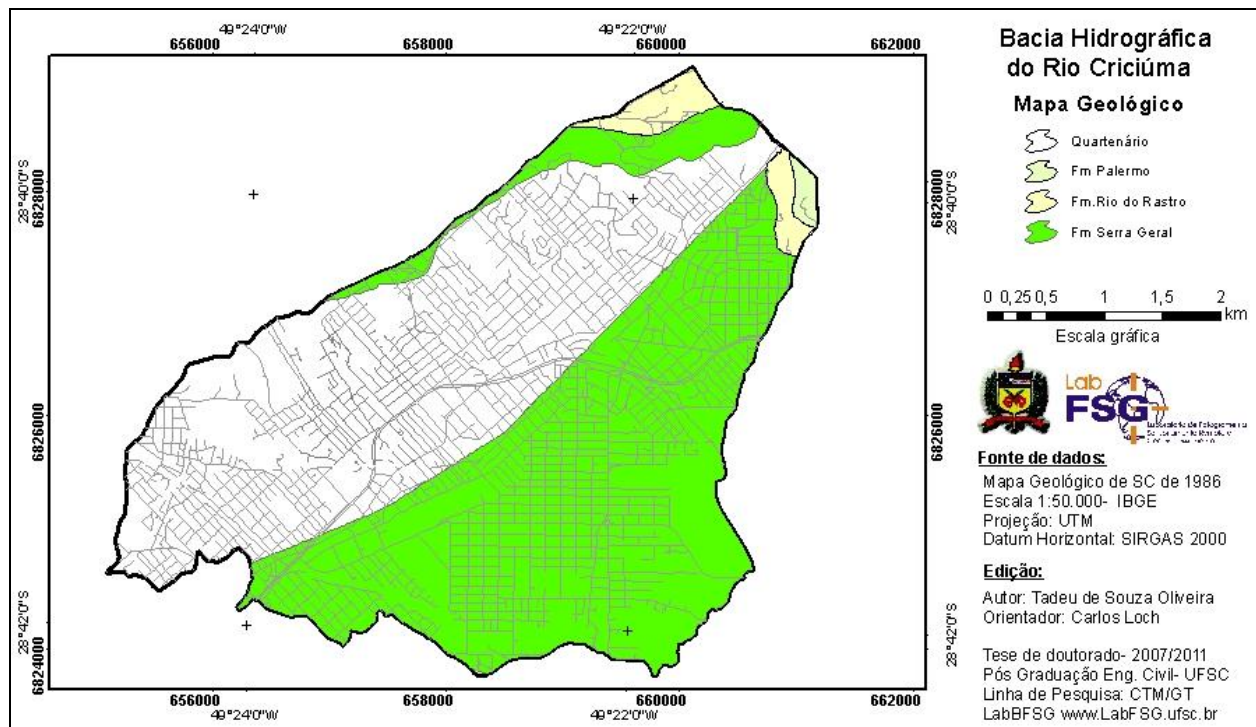


Figura 150: mapa geológico da bacia do Rio Criciúma.
 Fonte:Embrapa, 2001.

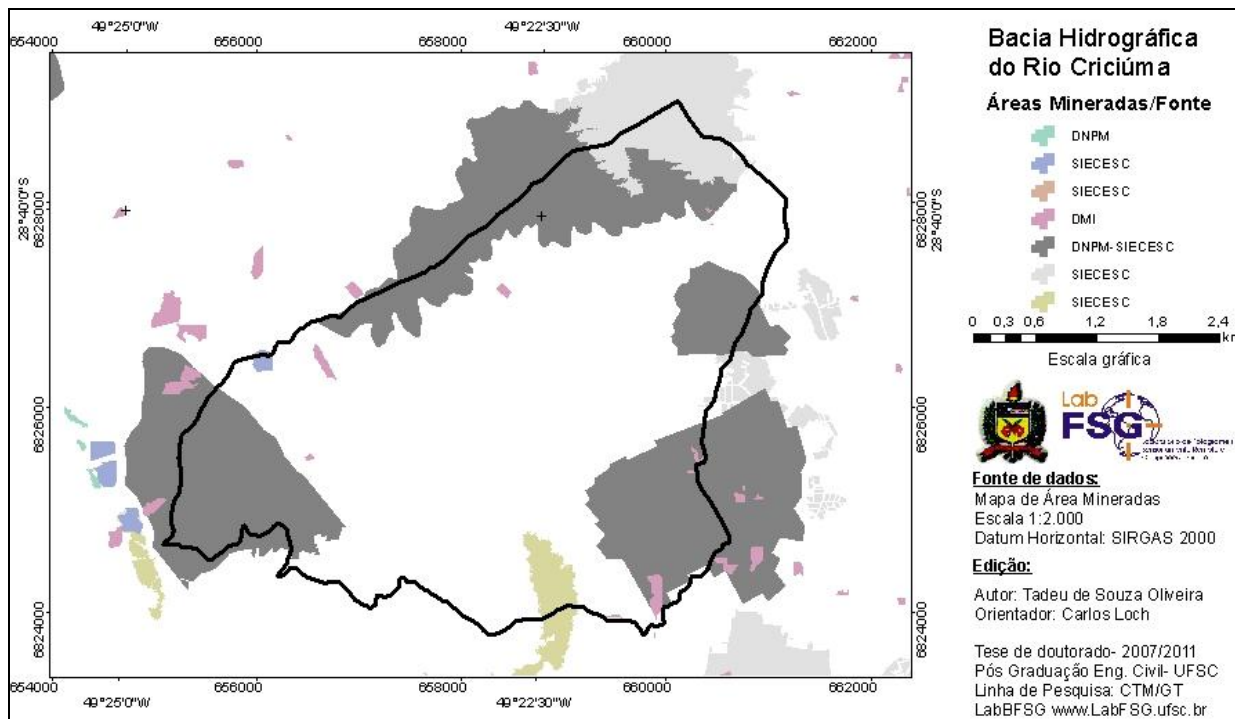


Figura 151: mapa de mineração do município de Criciúma com destaque para bacia em estudo.

Fonte: DNPM, SIECESC, PMC, DMI.

A determinação das áreas por tipo de uso e ocupação do solo em software de geoprocessamento utilizando-se a base cartográfica e as ortofotos permitiu identificar e mapear toda a bacia do Rio Criciúma caracterizando e quantificando por tipo de impermeabilização.

A seleção e nomeação dos tipos de ocupação e uso permitiu, juntamente com o uso dos coeficientes utilizados no método Racional e no SCS, determinar o grau de impermeabilização por média ponderada.

Ao analisar o material utilizado algumas considerações quanto à qualidade e quantidade de informações são necessárias para validação da proposta.

a) Os boletins de sondagens não contemplam informações fundamentais para a espacialização dos dados como as coordenadas planas e a altitude. A dimensão altimétrica permitiria a elaboração de um mapa com espessuras de camadas de solo e também do lençol freático;

b) A falta de orientação norte-sul dificulta o posicionamento na base cartográfica;

c) As especificações dos solos no campo classificação do material, do boletim de sondagem, poderia ser mais detalhada com informações mais profundas de correlação do solo amostrado com a geologia local.

Quanto às informações obtidas, verifica-se que espessura da primeira camada considerada possui variação entre 0,73m a 4,62m com média geral de 1,44m. O tipo de solo é o mesmo em todos os pontos levantados com pequena variação na cor e média variação na consistência. Observa-se que 100% das amostras constituem-se de argila, componente com propriedade selante de baixa taxa de infiltração. A presença de água ocorre em todas as amostras com profundidades que variam entre 0,43m a 4,04m e média de 1,22m.

Quanto ao tipo e consistência do solo, parâmetro que poderá permitir a definição do grupo hidrológico, as amostras estão classificadas no quadro 38.

Quadro 38: consistência do solo.

Consistência do solo	Quantidade de amostras	Taxa (%)
Muito mole	4	14,81
Mole	6	22,22
Média mole	6	22,22
Média rija	4	14,81
Rija	4	14,81
Campacta	2	7,41
Arenito	1	3,10
	27	100

Sendo 100% do solo composto por argila arenosa, este pode ser classificado como pertencente ao grupo hidrológico D - Solos argilosos (30 - 40% de argila total) e ainda com camada densificada a uns 50cm de profundidade.

A condição de umidade antecedente do solo está definida como I, para solos secos, quando as chuvas nos últimos 5 dias não ultrapassaram 15 mm.

As características apresentadas no item 5.4.9 relativamente aos tipos de solos, classificação geológica e a presença de galerias de minas de carvão no subsolo são fatores determinantes no comportamento hidrológico da bacia do Rio Criciúma. Estes podem interferir diretamente o coeficiente de escoamento superficial, elemento determinante da capacidade de infiltração de água no solo.

CAPÍTULO 8

8. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Analisando a água excedente à capacidade de descarga do Rio Criciúma no ponto mais crítico que é de $12,98\text{m}^3/\text{s}$ e o sistema de drenagem urbana implantados, procede-se as seguintes avaliações:

8.1. Avaliação dos resultados do grupo hidrológico D

Para este grupo de classificação hidrológica do solo com CN médio de 83,8009 a vazão máxima atinge $121,31\text{m}^3/\text{s}$ com excedente de $108,33\text{m}^3/\text{s}$ para área de contribuição de $4,68\text{Km}^2$. A capacidade de drenagem na seção do rio analisada é de somente 488.511m^2 ou $48,8511\text{ha}$. É necessário uma proposta para alívio de carga da seção estudada correspondente a uma área de $4,18\text{Km}^2$ ou 418ha . Analisando as vazões determinadas no hidrograma unitário (figura 152) e seu comportamento, verifica-se que a partir do segundo intervalo de tempo inicia-se o acúmulo da chuva excedente.

Nestas condições o volume de água na ordem de 330.774m^3 é acumulado na área de alagamento de 501.072m^2 podendo-se estimar genericamente uma altura média da lâmina de água em $64,95\text{cm}$.

A Avenida Centenário é analisada separadamente da área de alagamento por apresentar um comportamento diferenciado. Esta forma uma calha acima do nível da área de alagamento, atingindo em média 30cm de lâmina de água sem contado às outras áreas, como mostra a figura 153.

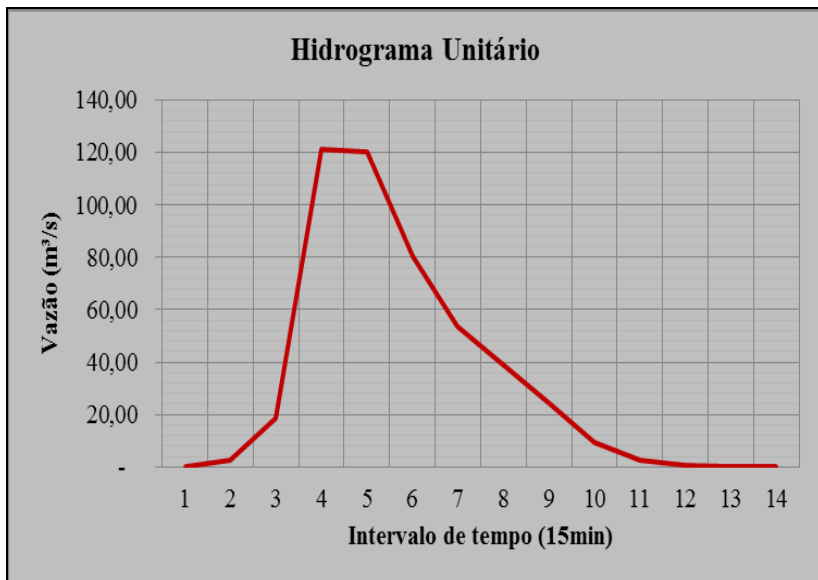


Figura 152: hidrograma unitário para o grupo hidrológico D da sub bacia 3



Figura 153: avenida centenário alagada

No entanto, sob a área alagada encontra-se canalizações de drenagem com capacidade de armazenamento que podemos considerar como retenção, pois estão sob a água e em áreas de baixíssimas declividades.

Neste contexto apresenta-se no quadro 39 a correlação do volume de água produzido conforme hidrograma unitário, com as áreas de alagamento e capacidade de retenção dos dispositivos de drenagem. Neste, ao considerar-se a redução do escoamento superficial armazenados nas canalizações e também na Avenida Centenário chega-se a uma lâmina média de água de 59,5cm.

Quadro 39: Capacidade de armazenamento dos dispositivos de drenagem instalados sob a área de alagamento

Especificações somente na área alagada	Quantidade	Unid.	h/Diam.	Volume
Área alagada	501.072,00	m ²	0,604	302.647
Avenida	80.161,00	m ²	0,3	20.737,20
Canais 3x1,5	1.087,00	m	1,5	2.445,75
Tubulação 100	1.984,00	m	1	1.558,18
Tubulação 80	580,00	m	0,8	291,53
Comprimento de canalização	11.037,00	m	0,6	3.120,55
Total				326.291,05

Para o alívio de carga na seção em estudo, será necessário uma retenção de água em toda a sub bacia na ordem de 77,36 l/m², resultado obtido pela relação da soma das áreas de alagamento mais a Avenida Centenário pela área de 4,18 Km².

8.2. Avaliação dos resultados do grupo hidrológico C

A análise deste grupo hidrológico indicou valor de 79,0781 para o CN médio e vazão máxima de 105,40m³/s com excedente de 92,42m³/s com área de contribuição de 4,68km². Seguindo a mesma análise da capacidade de descarga instalada o alívio de carga considerando a área de contribuição, corresponderia a 4,076Km² ou 407,6ha. Analisando as vazões determinadas no hidrograma unitário (figura 154) e seu comportamento, verifica-se que a partir do terceiro intervalo de tempo inicia-se o acúmulo da chuva excedente.

Nestas condições o volume de água na ordem de 279.026m^3 é acumulado na área de alagamento de 501.072m^2 podendo-se estimar genericamente uma altura média da lâmina de água em $55,68\text{cm}$.

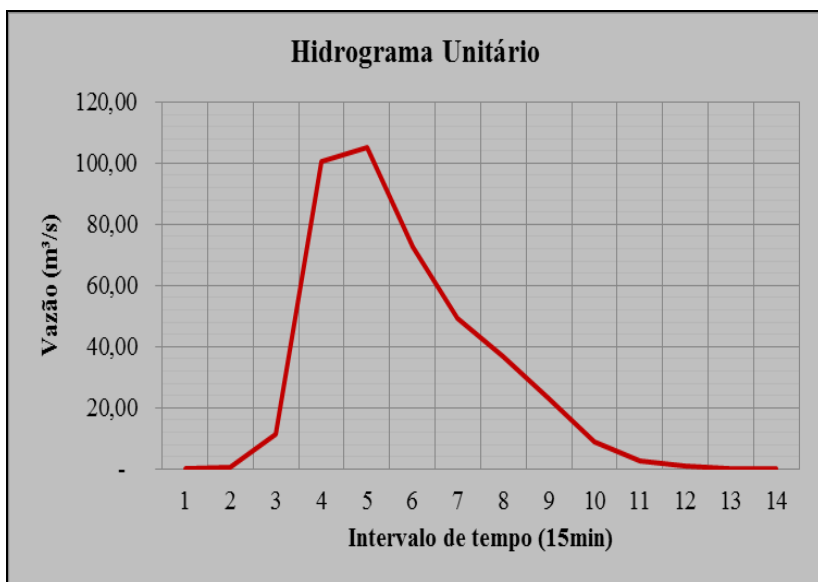


Figura 154: hidrograma unitário para o grupo hidrológico C da sub bacia 3

Utilizando os mesmos critérios do grupo hidrológico D, o quadro 40, e considerando a redução do escoamento superficial armazenados nas canalizações e também na Avenida Centenário chega-se a uma lâmina média de água de $50,1\text{cm}$.

Quadro 40: Capacidade de armazenamento dos dispositivos de drenagem instalados sob a área de alagamento

Especificações Somente na área alagada	Quantidade	Unid.	h/Diam.	Volume
Área alagada	501.072,00	m ²	0,501	251.037,07
Avenida	80.161,00	m ²	0,3	20.737,20
Canais 3x1,5	1.087,00	m	1,5	2.445,75
Tubulação 100	1.984,00	m	1	1.558,18
Tubulação 80	580,00	m	0,8	291,53
Comprimento de canalização	11.037,00	m	0,6	3.120,55
Total				279.190,28

Para o grupo hidrológico C a taxa de retenção fica na ordem, 66,67l/m², resultado obtido pela relação da soma das áreas de alagamento mais a Avenida Centenário pela área de 4,076 Km².

8.2.1. Avaliação de um modelo de solução para reduzir o volume de água excedente dentro da sub bacia analisada.

Considerando-se que a área ocupada por edificações nesta sub bacia é de 0,95km² e que a área impermeabilizada por lotes é de 0,25km², acrescenta-se a área obrigatoriamente reservada a infiltração, obtém-se uma média de 1,44km² de área privada mais 0,24km² sem ocupação. O restante da área é composta pelas áreas públicas e reservas permanentes somando 3,24km². Em relação a área total desta sub bacia, a área privada é de 44% e a pública e reservas é de 56%

Transformando-se a área necessária para remover a água excedente em taxa de infiltração obtemos 77,36l/m² e 66,67l/m² respectivamente para os grupos hidrológicos D e C.

O modelo sugerido, propõe a divisão proporcional das taxas obtidas entre as áreas de responsabilidades públicas e privadas, o quadro 41 apresenta a matriz da proposta. Com estas taxas definidas, executa-se reservatórios de retardo das águas pluviais. Estes poderão ter outros usos, no entanto deve-se deixar parte para que seja absorvida pelo solo e

realmente o lençol freático. Os valores apresentados neste modelo, referem-se exclusivamente à este estudo.

Quadro 41: matriz para proposta reservatórios de retardo. (hipótese)

Responsabilidade	Grupo hidrológico D	Grupo hidrológico C
Pública - Município	$T_{pb} = 43,32 \text{ l/m}^2$	$T_{pb} = 37,34 \text{ l/m}^2$
Privada proprietários imóveis	$T_{pr} = 34,04 \text{ l/m}^2$	$T_{pr} = 29,33 \text{ l/m}^2$
Exemplo para um lote de 360m^2	Dispositivo de 6m^2 com $2,04\text{m}$ de profundidade	Dispositivo de 5m^2 com $2,1\text{m}$ de profundidade

a) Dispositivos de retardo nos lotes.

Os dispositivos de dentro da unidade habitacional devem ser executados por seus proprietários e as dimensões devem atender ao mínimo estipulado pela taxa de infiltração específica. Os telhados e as lajes de cobertura devem ser utilizados para captação das águas pluviais para alimentar os dispositivos.

b) Dispositivos de retardo em áreas públicas e APP's.

Os dispositivos de responsabilidade da gestão pública municipal poderão ser executados em duas modalidades:

- sob praças, ruas, parques e jardins;
- em áreas de proteção permanente como nas vertentes dos morros, em grandes depressões como ilustram as figuras 155 e 156, também sob as margens do Rio Criciúma mantendo o leito aberto, figura 157. O exemplo da figura 129 já possui projeto aprovado para implantação no Rio Criciúma como complementar ao canal auxiliar que está sendo implantado no centro da cidade. A concepção e projeto é de responsabilidade do autor desta tese, sendo que está em fase de fabricação das peças pré-moldadas. Esta alternativa servirá também para aumentar a capacidade de escoamento em terchos estrangulados pela canalização do rio.



Figura 155: área com possibilidade de instalação de tanque de retardo-1
Coordenadas: N = 6.827.574m; E = 658.734m.

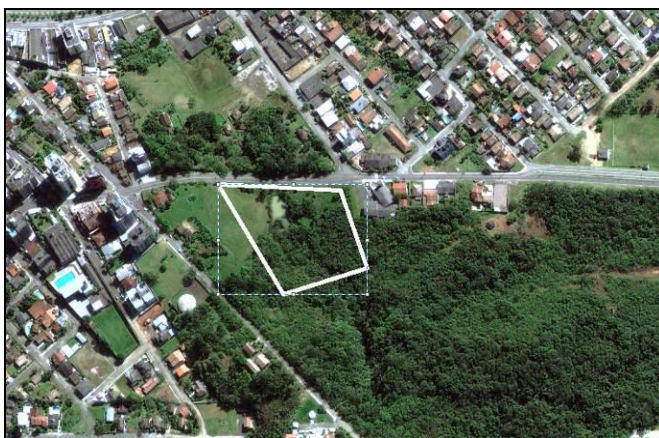


Figura 156: área com possibilidade de instalação de tanque de retardo-2
Coordenadas: N = 6.825.919m; E = 660.275m.

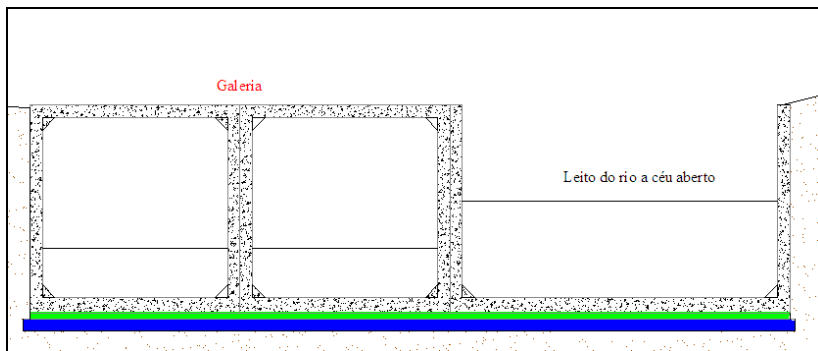


Figura 157: seção tipo para tanques de retardo às margens do rio criciúma
 Projeto original de canal auxiliar ao Rio Criciúma. Concepção e projeto:
 Tadeu de Souza Oliveira

8.2.2. Diretrizes básicas para implantação de políticas públicas.

Considerando as características, as medidas, as análises técnicas da bacia do Rio Criciúma levantada nesta pesquisa, das análises dos volumes de água excedente e todos os resultados obtidos passa-se a apresentar um modelo de diretriz para gestão dos recursos hídricos para a bacia estudada, podendo ser aplicada em planos diretores ou de manejo de bacias.

A proposta é apresentada como diretrizes básicas para implantação de políticas públicas visando a regulamentação para a gestão dos recursos hídricos relacionados à precipitação e drenagem urbana.

O objetivo desta proposta é o controle e monitoramento da drenagem urbana visando a avaliação de inundações urbanas e sua mitigação.

8.2.2.1. DIRETRIZES

1. Implantação de um departamento de engenharia para a gestão da drenagem urbana com a responsabilidade de desenvolver, analisar e aprovar projetos na área drenagem;
2. O departamento de engenharia implantado deverá ser formado por equipe multidisciplinar, com conhecimentos técnicos científicos em constante capacitação e atualização profissional nas áreas de: Engenharia Civil. Engenharia de Agrimensura. Engenharia Sanitária ou Ambiental. Geologia. Arquitetura. Conhecimentos específicos básicos

em: Hidrologia. Hidráulica. Cadastro técnico multifinalitário. Cartografia. Geoprocessamento. Geotecnia. Hidrogeologia.

3. Criação e implantação de programas de educação ambiental e manuais direcionado aos usuários com informações básicas de cuidados com os dispositivos de drenagem;

4. Implantar legislação própria como um plano diretor de drenagem urbana contemplando normas como as seguintes:

4.1.1. O plano diretor deverá ser elaborado definindo o território de assentamento urbano por bacia hidrográfica, respeitando as características de cada uma;

4.1.2. O plano diretor deverá dividir o município em bacias de acordo com sua configuração hidrográfica e características hidrológicas;

4.1.3. O plano diretor deverá identificar qual o grau máximo de impermeabilização da bacia;

4.1.4. A taxa de impermeabilização da bacia deve seguir a média ponderada na determinação dos coeficientes de escoamentos superficiais;

4.1.5. Determinar um coeficiente mínimo de escoamento superficial (taxa de impermeabilização) de modo a impedir sub dimensionamentos que de certa forma são amparados por normas;

4.1.6. Fixar período de retorno mínimo de acordo com as características hidrológicas da bacia (nesta pesquisa, aponta-se 50 anos baseado nos últimos eventos);

4.1.7. As águas retidas nos dispositivos só poderão ser liberadas após o término de toda a chuva;

4.1.8. Os dispositivos nos lotes deverão garantir que no mínimo 50% da água retida seja destinada a realimentação do lençol freático;

4.1.9. A coleta das águas deverão ter necessariamente os telhados e lajes de coberturas como coletores das águas pluviais;

4.1.10. Toda água coletada nas coberturas deverão passar obrigatoriamente pelo dispositivo de retardo e posteriormente serem lançadas diretamente nas galerias subterrâneas, impedindo que esta parcele esco superficialmente;

4.1.11. Os dispositivos não terão a necessidade de serem impermeáveis de froama garantir a realimentação do lençol freático;

4.1.12. Medidas de contenção de produção e lançamento de sedimentos no sistema de drenagem urbana;

5. Implementar incentivo fiscal para a construção de tanques de retardo nos lotes;
6. Implantar programa educacional de incentivo a utilização das águas captadas de precipitação;
7. Implantar um comitê gestor formado por segmentos da sociedade com o auxílio da Universidade do Extremo Sul Catarinense e demais instituições de ensino superior;
8. Implantar plano diretor de defesa civil;
9. Implantar programa de educação ambiental nas escolas de primeiro grau voltado à recursos hídricos;
10. Elaborar planos de manejo de recursos hídricos por sub bacia hidrográfica contendo no mínimo;
 - 10.1. Mapeamento de áreas de riscos de inundações com identificação das cotas (altitude) atingíveis;
 - 10.2. Identificação dos pontos de estrangulamento de vazões de rios, tais como pontes, bueiros e outros dispositivos de drenagem;
 - 10.3. Mapeamento de áreas de proteção ambiental de margens de rios;
 - 10.4. Identificação e mapeamento de pontos de produção de sedimentos com indicação de medidas mitigadoras;
 - 10.5. Identificação e mapeamento de áreas potenciais para implantação de reservatórios de retardos;
 - 10.6. Criação de um SIG (Sistema de Informação Geográfica) para gestão da drenagem pluvial nos moldes apontados nesta pesquisa, no capítulo 6, sub item 6.8.1;
11. Monitoramento contínuo das características físicas e hidrológicas da sub bacia por intermédio da atualização cadastral frequente.

CAPÍTULO 9

9. CONCLUSÃO

Diante dos dados levantados nesta pesquisa dispostos nos capítulo 4 a 7 e capítulo 6 com suas respectivas avaliações e discussões, destaca-se que no processo de ocupação do solo há profundas transformações físicas e hidrológicas no ambiente da bacia, sendo estas acompanhadas das mudanças climáticas a nível local. Tais alterações favorecem a formação de um micro clima relacionadas com a forma de ocupação. Conclui-se também que o processo de urbanização trás consigo desastres naturais como deslizamentos e inundações, com perdas grandiosas para a comunidade assim como para o município, até mesmo com perdas de vidas. Se as transformações são profundas, da mais variada complexidade e inevitáveis, há a necessidade de aplicação de conhecimentos multidisciplinares na análise e solução dos problemas.

Os deslizamentos e principalmente as inundações bruscas estão intimamente ligados às questões de geologia, hidrologia, hidráulica e topografia além do comportamento do usuário quanto ao uso e ocupação da bacia hidrográfica

Neste sentido, se a bacia é “hidrográfica”, de acordo com a própria definição, todo o ambiente por ela formado necessita de formulações técnicas e políticas públicas que permitam a manutenção de uma de suas atividades vitais, o escoamento das águas nela precipitadas. Para que o funcionamento integrado aconteça sem prejuízo às funções vitais da bacia, suas “veias”, ou seja, sua rede hidrográfica necessita manter suas funções hídras. Manter as funções hídras de uma bacia hidrográfica é proporcionar o equilíbrio adequado às suas características físicas e hidrológicas de modo a obter-se um balanço hídrico entre os volumes de águas de entrada e de saída. Parece ser uma equação simples de onde se obtém a diferença entre o volume de entrada e o volume de saída, balanço fundamental para evitar acúmulos dentro dos limites da bacia. No entanto, as análises são complexas e necessitam de uma gama muito grande de dados que caracterizam a bacia, e também dos resultados oriundos destes dados. Somente por estas equações complexas é que nos permitirão conhecer profundamente o ambiente da bacia hidrográfica para obter-se o equilíbrio das águas de entrada e de saída.

Neste âmbito, a elaboração de estudos para projetos e planejamento urbano é iminente a união de múltiplos conhecimentos da área de engenharia e arquitetura. A multidisciplinaridade poderá garantir bons projetos e planos que proporcionem comodidade e segurança aos usuários de uma bacia hidrográfica.

9.1. Quanto à evolução histórica da ocupação e expansão urbana

Conclui-se que, o ordenamento do território do município de Criciúma iniciou-se com leis que levavam em consideração questões ambientais ligadas diretamente ao Rio que corta todo o centro urbano do município e outros bairros. No entanto, ao avaliarmos a evolução da legislação reguladora da ocupação do território, verifica-se que questões básicas de preservação do equilíbrio das águas de escoamento superficiais foram totalmente deixadas à margem do processo.

O Rio Criciúma, mesmo não sendo de grande porte, tem demonstrado que a expansão urbana em seu entorno ao suprimir sua área de expansão natural, tem proporcionado inundações comparáveis a rios de médio e grande portes. Neste contexto, seria de fundamental importância manter além de seu leito natural preservado suas margens para alagamentos em dias de grandes precipitações sem causar problemas para a população.

Observa-se que os planos diretores ao longo do período estudado não apresentaram propostas para as questões dos recursos hídricos, permitindo desta forma a ocupação do solo com a completa degeneração do sistema de drenagem da bacia.

Conclui-se que as fotografias aéreas mostram-se como material apropriado e indispensável para pesquisa e análise das informações utilizadas nesta pesquisa. As bases cartográficas apresentam excelente precisão quanto as coordenadas planas cujos erros que podem chegar a 5m na escala 1: 10.000 e 1m na escala 1:2.000, não interferindo nos resultados, pois as áreas utilizadas para determinação das vazões são em km². Quanto a precisão altimétrica o erro encontrado na base cartográfica pode levar a distorções de medidas a cerca de três vezes a mais o valor da medida real. Para uso em determinações e volumes, ou mesmo projetos de drenagem com modelos digitais de terreno são impraticáveis, podendo levar a erros de projetos com influência direta nos custos de implantação de obras e em seu funcionamento.

9.1.1. Recomendações para a evolução histórica da ocupação e expansão urbana

Para a melhoria dos resultados utilizando esta metodologia, recomenda-se:

- a) Atualização da base cartográfica do município com a construção de um MDT – Modelo Digital do Terreno;
- b) Implantação de uma rede de pontos de coordenadas com monitoramento do município para unificação dos dados de projetos e cartográficos e
- c) Elaboração de leis específicas para o Rio Criciúma, como um Plano Diretor ou Plano de Manejo.

9.2. Quanto à caracterização hidrológica e física da bacia do rio Criciúma

As características físicas e morfológicas da bacia não apontam como sendo uma área propícia a alagamentos provocados pela elevação gradual do Rio Criciúma, concluindo-se que as inundações dos últimos anos são classificadas como brusca provocada por chuvas de alta precipitação e curto intervalo de tempo. Conclui-se que o sistema de drenagem inicial da bacia hidrográfica atendia a um modelo de drenagem pluvial mais adequado, retendo a maior parcela das precipitações dentro de seus próprios limites. Características estas que estavam ligadas a baixa taxa de ocupação e impermeabilização do solo.

Os dados climatológicos da estação meteorológica de Urussanga são compatíveis considerando a posição geográfica, e não interferem de forma negativa na obtenção dos resultados.

Com o crescimento da área ocupada pela urbanização, a impermeabilização do solo aumentou 732,46%, passando de 0,65km² em 1957 para 5,41 km² em 2006. Este aumento da impermeabilização representou um acréscimo na vazão máxima de 49,95% para o solo classificado no grupo hidrológico D e 60,11% no grupo hidrológico C.

Com a canalização da rede hidrográfica o escoamento superficial passa a ocorrer pelas vias públicas aumentando a densidade hidrográfica e

135,27% ao considera-se que estas são responsáveis em coletar e transportar as águas precipitadas até o Rio.

A determinação do grupo hidrológico é indispensável na identificação do tipo de solo assim como os coeficientes médios de escoamento superficial definindo um parâmetro para toda a bacia partindo como de uma subdivisão e utilizando-a como modelo aplicável para toda a bacia.

9.2.1. Recomendações para a caracterização hidrológica e física da bacia do rio Criciúma

A antropização proporciona a degradação do meio que ocupa e trás consigo significativas alterações na bacia hidrográfica. Tais alterações não são sequer observadas pela maioria dos profissionais responsáveis pelo planejamento urbano, no entanto são lembradas por toda a população no momento das catástrofes.

Neste contexto recomenda-se:

- a) Elaboração de um plano de manejo da bacia hidrográfica visando o equilíbrio do meio, com determinação de índices e taxas hidrológicas de controle do crescimento da ocupação do solo;
- b) Considerar no plano diretor do município a gestão dos recursos hídricos, com legislação específica para o controle e manutenção do sistema de drenagem urbana;
- c) Elaboração de normas para elaboração de projetos específica com base no estudo hidrológico e hidráulico da bacia a partir do Plano de Manejo.

9.3. Quanto à mensuração do sistema de drenagem da bacia do Rio Criciúma

Para manter-se o controle sistemático do sistema de drenagem da bacia hidrográfica é necessário dispor de informações detalhadas, sendo que as principais informações estão no campo das medidas. Todo projeto novo apresenta como produto final dimensões de modo a garantir a implantação das obras dentro dos padrões concebidos para garantias de funcionamento. Mensurar o sistema de drenagem é o procedimento

inverso, onde não se dispõe do projeto das obras existente e pretende-se verificar seu funcionamento e principalmente sua eficiência.

A mensuração elaborada neste trabalho permitiu obter-se um diagnóstico do estado de conservação e funcionamento dos dispositivos do sistema de drenagem. Destas medidas foi possível elaborar um modelo de controle do sistema de drenagem e seus dispositivos.

Ao longo dos anos o município não dispensou ao sistema de drenagem o tratamento que precisaria, chega-se a esta conclusão pela inexistência de projetos de drenagem e nem mesmo cadastro. Outro fato que leva a esta conclusão é a inexistência de poços de visita, impedindo a limpeza das galerias, assim como não foi possível identificar as tubulações subterrâneas.

9.3.1. Recomendações para a mensuração do sistema de drenagem da bacia do Rio Criciúma

Diante da conclusão sobre a pesquisa deste item, recomenda-se:

- a) Elaboração de um plano de gestão do sistema de drenagem com constante avaliação do desempenho dos dispositivos e manutenção preventiva;
- b) Elaboração de um sistema de informações onde se possam integrar os usuários com a efetiva participação na preservação dos dispositivos de drenagem.
- c) Atualização cadastral do sistema de drenagem como forma de monitorar e viabilizar o funcionamento adequado a partir da gestão dos dados cadastrais.

9.4. Quanto à Caracterização e quantificação da impermeabilização da bacia do Rio Criciúma

Os dados levantados e avaliados permitem bons resultados na determinação do grau uso e ocupação do solo e sua influência na redução da capacidade de infiltração e conseqüentemente o aumento do escoamento superficial.

As avaliações do grau de impermeabilização da bacia com coeficiente de escoamento superficial mínimo, máximo e médio serviu para comparar aos fatos reais quanto aos problemas de inundações bruscas. Utilizar nas determinações das vazões o coeficiente de escoamento superficial por média ponderada com a maior faixa não indica necessariamente superdimensionamentos de seções transversais, apenas oferecem maior segurança.

Da mesma forma pode-se concluir para o grau de impermeabilização pelo tipo de solo classificado no grupo hidrológico D. Esta classificação também não representa valores superdimensionados e sim maiores segurança na eficiência dos dispositivos de drenagem implantados. O uso dos dois coeficientes pelos valores máximos serve para compensar as incertezas, principalmente ao considerar o fator comportamento humano, totalmente qualitativo e dinâmico.

O uso dos boletins de sondagens indica que o município dispõe de opções para melhorar seu banco de dados e aumentar sua capacidade técnica sem custos. Indica também que pode ser utilizado para classificação dos grupo hidrológico e classificação do solo.

O grau de impermeabilização do solo pode ser controlado com padrões definidos via cadastro das características físicas e hidrológicas da bacia hidrográfica.

A tendência é de aumentar o grau de impermeabilização com o adensamento das áreas contíguas ao centro urbano.

A avaliação da área alagado por levantamentos topográficos dos níveis de alagamento e dos eixos das ruas, mostrou aproximação com os valores calculados e a real situação nos dias em que ocorreram as inundações bruscas.

9.4.1. Recomendações para Caracterização e quantificação da impermeabilização da bacia do Rio Criciúma

- a) Solicitar em todos os projetos a serem analisados e aprovados os boletins de sondagens, com as informações nele contidas, desta forma o município terá dados importantes para elaboração e atualização do mapa de solos e lençol freático determinando níveis e espessuras de camadas. Inserir nos boletins de

sondagem informações importantes para o cadastro dos pontos, as coordenadas UTM nas três dimensões;

- b) Manter atualizado o mapa de uso e ocupação do solo inserindo em uma base SIG os dados de cada projeto analisado e aprovado pelo município;
- c) Exigir por legislação a determinação por estudo detalhado dos coeficientes C e CN para elaboração de projetos de drenagens a nível de macro e micro drenagem.
- d) Manter atualizado o mapa de alagamentos, elaborados por levantamento topográfico de precisão e assim estabelecer cotas de inundações dos terrenos e edificações, avaliando precipitações de diferentes períodos de retorno. Desta forma, poderá manter sob controle, quais unidades habitacionais seriam atingidas por exemplo com chuvas de período de retorno de 2, 5, 10, 15, 20, 26, 30, 40 e 50 anos.

9.5. Modelo de solução para reduzir o volume de água excedente dentro da sub bacia analisada.

O modelo baseia-se nas seguintes questões:

- a) Nos problemas técnicos científicos gerados pelo uso e ocupação do solo e transformação da bacia que necessitam de conhecimentos específicos, multidisciplinares para soluções técnicas;
- b) A proporcionalidade das responsabilidades e capacidades de soluções dos problemas entre gestão pública e habitante usuário;
- c) As diretrizes para promover políticas públicas são de responsabilidade da gestão pública, no entanto com a participação do usuário habitante.

Por fim, a pesquisa conclui que a aplicação do cadastro técnico é fundamental para medir os problemas da expansão urbana e aliado à hidrologia e hidráulica aplicadas à engenharia tornam-se ferramentas valiosas para apontar soluções de problemas da drenagem urbana e inundações bruscas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACIOLY, Claudio & DAVIDSON, Forbes. **Densidade Urbana: um instrumento de planejamento e gestão urbana**. Rio de Janeiro: Mauad, 1998.

ANDRADE, J. B. **Fotogrametria**.– Curitiba-PR. SBEE, 1998. 258p.

ANGEL, Shlomo. SHEPPARD, Stephen C. CIVICO, Daniel L. **The Dynamics of Global Urban Expansion**. Department of Transport and Urban Development, The World Bank. 2005.

ANTÔNIO, Wagner de Souza. **Drenagem de estradas: bueiros**. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisas Rodoviárias, 1976.

AZEVEDO, L. G. T., Porto, R. L. e Zahed, K., **Modelos de Simulação e de Rede de Fluxo, Capítulo 4 in Técnicas Quantitativas para o Gerenciamento de Recursos Hídricos**, ABRHEUFRGS, 1997.

BACK, Álvaro José. **Chuvas intensas e chuvas de projeto de drenagem superficial no estado de Santa Catarina**. Florianópolis. Epagri. 2002.

BACK, A. J. **Caracterização Climática**. In: PAVEI, P. T; GALATTO, S. L. **Mineração de Carvão, Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável no Sul de Santa Catarina: Uma Abordagem Interdisciplinar**. Curitiba: Juruá, 2009. p. 17 – 33.

BAPTISTA, Márcio. NASCIMENTO, Nilo. BARRAUD, Sylvie. **Técnicas compensatórias em drenagem urbana**. Porto Alegre: ABRH, 2005.

BELTRAME, Ângela da Veiga. **Diagnóstico do meio físico de bacias hidrográficas: modelo e aplicação**. Ed. Da UFSC. Florianópolis, 1994. 112p.

BENEVOLO, Leonardo. **História da Cidade**. São Paulo: Perspectiva, 3ª edição, 1997.

BEZ, Anselmo. LISBOA, Henrique de Melo. POMPÊO, César Augusto. NETO, Antônio Cardoso. MELO, Eloi. **Controle de Enchentes na Bacia do Itacorubi (Florianópolis, SC)**. XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Belo Horizonte, MG, 1999.

BRAGA, Roberto e CARVALHO, Pompeu Figueiredo de. **Recursos hídricos e planejamento urbano e regional**. Rio Claro. UNESP, 2003.

BRAGA, Benito. TUCCI, Carlos E. M. TOMAZZI, Marcos. **Drenagem urbana: gerenciamento, simulação, controle**. Ed. UFRGS/ABRH, 1998.

BRASIL. 1979. **Código Florestal, Lei 4.771**. Brasília, Gráfica do IBDF, 16 p.

BRASIL, 2001. Lei 10.257, **Estatuto das Cidades**. Brasília.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2011. www.ibge.gov.br. acesso em 10/11/2011.

CAMPOS FILHO, Cândido Malta. **Cidades brasileiras: Seu controle ou o caos.O que os cidadãos devem fazer par a humanização das cidades no Brasil**. 2ª ed. São Paulo: Nobel, 1992.

CARNEIRO, Andrea F.T. PAULINO, Luiz Antônio. **Atualização da Carta Cadastral Urbana**. Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário. Florianópolis, 1998.

Câmara de vereadores de Criciúma. Página <http://camara.virtualiza.net/pesquisa.php>.

CAMPANA, N.; TUCCI, C.E.M. **Estimativa de área impermeável de macrobacias urbanas**, Caderno de Recursos Hídricos V12 nº2 p19-94. 1994.

CAMPANA, NÉSTOR A. TUCCI, C. E. M. **Previsão de vazão em microbacias urbanas: Arroio Dilúvio em Porto Alegre**. In: TUCCI, Carlos Eduardo Morelli; MARQUES, David M. L. da Motta. **Avaliação e controle da drenagem urbana**. Porto Alegre. Ed. Universidade/UFRGS, 2000.

CARNEIRO, Paulo Roberto F. CARDOSO, Adauto Lúcio. AZEVEDO, José Paulo Soares de. **Gestão de recursos hídricos integrada ao planejamento urbano**. III Encontro da ANPPAS, Brasília, DF. 2006.

CEDERGREN, Harry R.; H. Nicodemo Guida. **Drenagem dos pavimentos de rodovias e aeródromos**. Rio de Janeiro: LTC, 1980. 177 p.

CETESB. Sao Paulo. **Drenagem urbana: manual de projeto**. 3 ed. São Paulo: CETESB, 1986. 451 p.

COÊLHO, P.P. **Análise das equações de transporte de sedimentos em galerias de águas pluviais**. Dissertação desenvolvida para obtenção de título de mestre na Universidade Federal do Paraná. 2002.

CUNGE, J. A. **Two-Dimensional Modeling of Flood Plains**, in K. Mahmood e V. Yevjevich (1975).

CUNHA, S. B.; GUERRA, A.J.T. **Geomorfologia e meio ambiente**. Ed. Bartran Brasil. São Paulo. 2003.

CRUZ, M. A. S. **Controle do escoamento no lote com detenção**. 128 p. Dissertação (Mestrado) – Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1998

D´ALMEIDA JÚNIOR, Amandio José Cabral. MANZOLI JÚNIOR, Wilson. **Cadastro Técnico Multifinalitário: Ferramenta para Implantação de Medidas Não Estruturais de Controle da Drenagem Urbana**. COBRAC, Florianópolis-SC. 2004

DEP/DOP. **Caderno de Encargos** – Prefeitura Municipal de Porto Alegre. Porto Alegre, 2005.

DOLFUSS, Olivier. **A Análise Geográfica**. Difusão Européia do Livro, São Paulo, SP; 1972.

DOLFUSS, Olivier. **O Espaço Geográfico**. DIFEL, São Paulo, SP; 1982.

EINSTEIN, H.A. e BANKS. R.B. **Fluid resistance of composite roughness.** *Trans., Am. Geophys. Union*, 1950.

ERBA, Diego Afonso. **Cadastro técnico multifinalitário como instrumento de política fiscal e urbana.** Rio de Janeiro. Editora UFRJ. 2005.

FENDRICH, Roberto. **Drenagem e controle de erosão urbana.** Curitiba: IBRASA, 1991.

FERRARI, Celson. **Curso de planejamento municipal integrado.** São Paulo: Pioneira, 1988.

FGV. **Plano Nacional de Recursos Hídricos.** Fundação Getúlio Vargas, Secretaria de Recursos Hídricos, MMA. 1998.

FILHO, Cândido Malta Campos. **Cidades brasileiras: seu controle ou o caos: o que os cidadãos devem fazer para a humanização das cidades no Brasil.** 2.ed. São Paulo: Nobel, 1992.

FRANCO, E J. **Dimensionamento de bacias de retenção das águas pluviais com base no método racional.** Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Paraná. 2004

GOODCHILD, M. F., B. O. Parks e L. T. Steyaert (1993): **Environmental Modeling with GIS**, Oxford Univ. Press.

GOSH, S., e ROY, N., **Boundary shear distribution in open channel flow**, *Proc. Am. Soc. Civil Engrs.*, Vol 96 , no. HY4. 1970.

HOFSTEE. P. BRUSSEL. M. **Análisis de Aptitud para la Expansión Urbana.** Department of Land Resource and Urban Sciences. International Institute for Geoinformation Sciences and Earth Observation (ITC). 1999.

HIPÓLITO, J. R. e J. M. A. Simões (2002): **Modelos raster de escoamento superficial em bacias hidrográficas**, CD VI Cong. da Água, APRH, Porto. (<http://www.civil.ist.utl.pt/~jh/ficha4.html>)

HORTON R.E.. **Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology.** Geological Society of America Bulletin. 194556(3):275-370.

HUNGARI. RIBEIRO, JULIANA. **O papel das ortofotos na representação cartográfica Para o turismo.** XXII congresso brasileiro de cartografia. Macaé. Rj. 2005

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Senso de 2010.

IPH. **Plano Diretor de Drenagem Urbana de Porto Alegre, 1ª fase.** Instituto de Pesquisas Hidráulicas. UFRGS. Departamento de Esgotos Pluviais da PMPA. 2001

JENSEN, J. R. **Remote Sensing of the Environment: an Earth Resource Perspective.** Prentice Hall, New Jersey, 2000.

JUSTINO, ELIANE APARECIDA. **Estudo do controle do escoamento superficial com o uso de reservatório de retenção na bacia do Córrego Lagoinha, município de Uberlândia – MG.** Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Uberlândia, 2004.

LANÇA, R. M. M. e A. C. Rodrigues (2000): **Um Modelo Distribuído de Precipitação /Escoamento Superficial. Aplicação à Ribeira de Alportel em Condições de Cheia,** in Recursos Hídricos, Revista da APRH, 21.3, 107-116.

LANÇA, R. (2000). **Contribuição Para o Estudo de Cheias Recorrendo a um Modelo Distribuído.** Dissertação submetida para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Solo e da Água pela Universidade de Évora.

LENCASTRE, A.; Franco, F. M. (1992). **Lições de Hidrologia.** Universidade Nova de Lisboa. Faculdade de Ciências e Tecnologia.

LOCH, C. 1998. **O Cadastro Técnico Multifinalitário Rural e Urbano.** Florianópolis,UFSC/FEESC, 80 p.

LOCH, C. e LAPOLLI, E. M. **Elementos básicos da fotogrametria e sua utilização prática**. Florianópolis, Ed. UFSC, 1998.

LOCH, CARLOS. **Cadastro técnico multifinalitário: instrumento de política fiscal e urbana**. In: ERBA, DIEGO AFONSO. OLIVEIRA, FABRÍCIO LEAL DE. LIMA JÚNIOR, PEDRO DE NOVAIS. **Cadastro técnico multifinalitário: instrumento de política fiscal e urbana**. Rio de Janeiro 2005.

MARCELINO, V. E.; GOERL, R. F.; RUDDORF, F. M. Distribuição espaço-temporal de inundações bruscas em Santa Catarina (Período 1980-2003). In. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS, 1., 2004, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis. GDEN/UFSC, 2004. p. 554-564. (CD-ROM).

MARICATO, Erminia. **A cidade do pensamento único: desmanchando consensos**. 3.ed Petropolis , RJ: Vozes, 2002. 192 p. (Zero à esquerda) ISBN 8532623840

MAY, R.W.P. **Sediment transport in sewers**. Hydraulic Research Station (Wallingford), Report IT 222. 1982.

MEDEIROS, P. A .**Analisis Experimental de la Capacidad de Transporte de Sedimentos en Cauces con Fondo Fijo**, E.T.S.I.C.C y P.- UPM, Tesis Doctoral. 1993.

MEDEIROS, Cleyber Nascimento. PETTA, Reinaldo Antônio. **Uso do sensoriamento remoto e processamento digital de imagens utilizadas para mapear a mancha urbana do município de Parnamirim (RN)**. Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 617-624

MENEZES FILHO, F. C. M. COSTA, A. R. **Aplicação do método dos blocos alternados e da Convolução de hidrogramas para determinação de Escoamento superficial direto – ESD**. I Simpósio de Recursos Hídricos do Norte e Centro-Oeste. Cuiabá, 2007.

NOGUEIRA, Ana Cláudia Fernandes. SANSON, Fábio. PESSOA, Karen. **A expansão urbana e demográfica da cidade de Manaus e seus impactos ambientais.** Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 5427-5434.

NAGARATHINAM, V.; JAYAGOBI, B.; MARUTCHALAM, M.; PACHAMAT HAN, S.; PALANIVELU, R. 1988. **Urban monitoring using SPOT imagery – a case study.** IN: International archives of photogrammetry and remote sensing, Kyoto, Japan. Vol. XXVII, part B9.

OLIVEIRA, ANTÔNIO MANUEL DOS SANTOS. BRITO, SÉRGIO NERTAN ALVES DE. **Geologia de engenharia.** ABGE. São Paulo, 1998.

OTA, J.J. e NALLURI, C. **Urban storm sewer design: Approach in consideration of sediments.** Journal of Hydraulic Division, ASCE Vol. 129 (HY4), pp 291-297. 2003.

PAULO, C. G. V. (1998): **Os SIG e a Modelação Hidrológica na Produção de Cartografia das Áreas de Risco de Cheia,** dissertação de mest. em SIG, UTL, IST.

PAREDES, Evaristo Atencio. **Sistema de informação geográfica - SIG : (geoprocessamento) princípios e aplicação.** São Paulo: Erica, 1994.

PEDROLLO, Olavo Correa. **Previsão em tempo atual de cheias com uso de sistema especialista difuso.** Tese de doutorado da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2000.

REPLOGLE, J.A. e CHOW,V.T. **Tractive-force distribution on open channel,** *Proc. Am. Soc. Civil Engrs.,* Vol 92 , no. HY2. 1996.

PISSARRA, T. C. T.; POLITANO, W.; FERRAUDO, A. S. **Avaliação de características morfométricas na relação solosuperfície da bacia hidrográfica do córrego rico, jaboticabal (sp).** Revista Brasileira de Ciência do Solo, vol. 28, núm. 2, 2004, pp. 297-305. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Vicososa, Brasi

PIUCO, M. A. Goulart. **A expansão urbana de Tubarão(SC) numa perspectiva semiótica da análise.** Dissertação de mestrado. Universidade do Sul de Santa Catarina – UNISUL. 2006.

PICKBRENNER, Karine. PEDROLLO, Márcia Conceição. RISSO, Alfonso. **Determinação do CN utilizando geoprocessamento: simulação hidrológica na Bacia do rio Criciúma.**
www.cprm.gov.br. Acesso em 05/02/2009

PORTO, R., K. ZAHED F. e A. N. GIKAS - ABC3- **Análise de Cheias Complexas. Manual do Usuário.** Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica, São Paulo (SP). 1993.

ROBERTO, A. N. e PORTO, R. L., MODSIMP32: **Manual do Usuário, Interface para o Modelo MODSIM,** Laboratório de Sistemas de Suporte a Decisões em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999

ROCHA, Cezar Henrique Barra. **Geoprocessamento: tecnologia transdisciplinar.** Ed. Do Autor. Juiz de Fora, MG. 2000. 220p.

ROSÁRIO, E. M. C. R. (1990): **Determinação Cartográfica do Hidrograma Unitário,** dissertação de mest. em Hidráulica e Recursos Hídricos, UTL, IST.

ROSIM. S.. PELLEGRINO, S. R. M. **Extração de redes de drenagem de imagem de radar usando modelos digitais de terreno.** Gis Brasil 1999.
<http://www.dpi.inpe.br/geopro/trabalho/gisbrasil99/re_de_drenagem > . Acessado em 15/06/2008.

SCHIFFER, Sueli Ramos (orgs.). **O processo de urbanização no Brasil.** São Paulo, Edusp/Fupam, 1999.

SILVA, Alexandre Marco; SCHULZ, Harry Edmar; CAMARGO, Plínio Barbosa. **Erosão e hidrossedimentologia em bacias hidrográficas.** São Carlos. RIMA, 2003.

SILVA, Ardemiro de Barros. **Sistemas de informações georeferenciadas conceitos e fundamentos**. São Paulo: UNICAMP, 1999.

SILVA, CLÁUDIO SANTOS DA. **Geoprocessamento no planejamento urbano para controle das inundações**. COBRAC 2008. Florianópolis. SC.

SILVA, EDITE DO SOCORRO. **Utilização de ortofotos digitais no sistema de gerenciamento de redes da distribuição – CEMIG projeto GEMINI**. Monografia (Especialização) – Universidade Federal de Minas Gerais.
Departamento de Cartografia. 2002

SILVA, EVERTON DA. LOCH, CARLOS. **Cadastro técnico: concepção e apoio a análises espaciais**. In: ERBA, DIEGA AFONSO. **Sistemas de informação geográfica aplicados a estudos urbanos: experiências latinoamericanas**. Lincoln Institut. 2006

SILVEIRA, A. L. L. **Aspectos hidrológicos da drenagem urbana no Brasil**. In: TUCCI, C. E. M., GOLDENFUM, J. A., PILAR, J. V. **Hidrologia urbana na bacia do Prata**. Porto Alegre: ABRH: IPH/UFRGS. 2000.

SILVEIRA, A. L. L. **Hidrologia urbana no Brasil**. In: TUCCI, C. E. M., MARQUES, D. M. **Avaliação e controle da drenagem urbana**. Ed. UFRGS, 2000.

SILVEIRA, A. L. L. **Ciclo hidrológico e a bacia hidrográfica**. In: TUCCI, C. E. **Hidrologia. Ciência e aplicação**. Editora da UFRS/ABRH, Porto Alegre, 2004.

SOUZA, Leonardo Andrade. SOBREIRA, Frederico Garcia. PRADO FILHO, José Francisco. **CARTOGRAFIA E DIAGNÓSTICO GEOAMBIENTAL APLICADOS AO ORDENAMENTO TERRITORIAL DO MUNICÍPIO DE MARIANA – MG**. RBC - Revista Brasileira de Cartografia Nº 57/03, 2005. (ISSN 1808-0936)

SOUZA, VLADMIR CARAMORI B. GOLDENFUM, JOEL AVRUCH. **Trincheiras de infiltração como elemento de**

controle do escoamento superficial: um estudo experimental. In: TUCCI, Carlos Eduardo Morelli; MARQUES, David M. L. da Motta. **Avaliação e controle da drenagem urbana.** Porto Alegre. Ed. Universidade, 2001.

TAN. Siow Meng. **Geotechnical Aspects of the Smart Tunnel.** International Conference and Exhibition on Trenchless Technology and Tunelling. Subang Jaya, Malasya. 2006.

TONELLO, K.C. DIAS, H.C.T. SOUZA, A. L. RIBEIRO, C. A. S. LEITE, F. P. **Morfometria da bacia hidrográfica da cachoeira das pombas, Guanhães – MG. R.** *Árvore*, Viçosa-MG, v. 30, n.5, p.849-857, 2006.

TUCCI, C. E. M.; PORTO, Rubem La Laina; BARROS, Mario T. de. **Drenagem urbana.** Porto Alegre: ABRH, 1995.

TUCCI, C.E.M. **Parâmetros do Hidrograma Unitário para bacias urbanas brasileiras.** Artigo submetido à RBRH. 2002.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli; MARQUES, David M. L. da Motta (Org.). **Avaliação e controle da drenagem urbana.** Porto Alegre: Universidade, 2000.

TUCCI, C. E. M. VILLANEUVA, ADOLFO. CRUZ, M. A. S. **Banco de eventos de cheias de bacias urbanas brasileiras.** In: TUCCI, Carlos Eduardo Morelli; MARQUES, David M. L. da Motta. **Avaliação e controle da drenagem urbana.** Porto Alegre. Ed. Universidade/UFRGS, 2000.

TUCCI, C. E. M - **Hidrologia. Ciência e Aplicação.** EDUSP, São Paulo (SP), 1993.

TUCCI, C. E. M. **Coefficiente de escoamento e vazão máxima de bacias urbanas.** In: In: TUCCI, C. E. M., MARQUES, D. M. **Avaliação e controle da drenagem urbana.** Ed. UFRGS, 2001.

TUCCI, C. E. M. (org.). **Hidrologia, Ciência e Aplicação.** Porto Alegre: Ed. Universidade-UFRGS-ABRH, 2002, 939 p.

TUCCI, C. E. M - **Hidrologia. Ciência e Aplicação**. Editora da UFRS/ABRH, Porto Alegre, 2004.

TUCCI, C. E. M – **Inundações urbanas na América do Sul**. ABRH, Porto Alegre, 2003.

TUCCI, Carlos E.M. **Modelos hdroológicos**. ABRH, Editora da UFRGS, Porto Alegre, 2005.

URBONAS, B.; STAHRÉ, P. **Stormwater best management practices and detetion**, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey. 450p. 1993.

VALÉRIO FILHO, Mário. KURKDJIAN, Maria de L. N. Oliveira. PEREIRA, Madalena Niero. ALVES, Marcello. **Geotecnologias Aplicadas ao Estudo de Bacias Hidrográficas Urbanizadas Como Subsídios ao Plano Diretor de Drenagem**. Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 3919-3926.

Ven-Te-Chow .**Open Channel Hydraulics**. McGraw-Hill. 1959.

Ven-Te-Chow; **Mays, Larry; Maidment**, David. "*Applied Hydrology*". McGraw-Hill. 1988.

VILLELA, Swami Marcondes: MATOS, Artur. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo. MCGraw-Hill do Brasil, 1975.

WILKEN, Paulo Sampaio. **Engenharia de drenagem superficial**. São Paulo: CETESB,1978.

www.eco.unicamp.br, acesso em 25 de maio de 2007.