

DIAGNÓSTICO E PROGNÓSTICO DOS PROBLEMAS DE INUNDAÇÕES DA BACIA DO JAGUARÃO EM JOINVILLE

Anaximandro Steckling Müller¹

RESUMO --- O presente trabalho apresenta os estudos hidrológicos e hidráulicos desenvolvidos para análise do sistema de macrodrenagem da bacia do rio Jaguarão em Joinville para os cenários atual e futuro de urbanização.

O modelo de cálculo para determinar os hidrogramas nas diversas seções de interesse dos cursos da água utilizou o método SCS (Soil Conservation Service). Esse método exigiu o levantamento das principais características fisiográficas das sub-bacias incluindo áreas de drenagem, comprimentos, declividades, tempo de concentração, área impermeável, número de curva (CN), bem como as relações intensidade-duração e frequência das precipitações e a geometria das seções dos cursos da água.

A partir desses levantamentos foi desenvolvida a modelagem computacional através do programa HEC-HMS que permitiu determinar os hidrogramas nas seções de interesse dos cursos da água. Posteriormente foi desenvolvida uma análise da capacidade hidráulica das seções de estrangulamento existentes com as vazões de pico determinadas através da modelagem computacional.

Os estudos permitiram concluir que cerca de 47% dos pontos de estrangulamento analisados para a situação atual e uma chuva com período de retorno de 25 anos apresentam insuficiência na sua capacidade hidráulica.

ABSTRACT – This paper presents the hydraulic and hydrologic studies developed for the Jaguarão river basin drainage system in Joinville for the present and future urbanization scenarios used to the establish the required works. The model utilized to compute the hydrographs at the selected sections used the Soil Conservation Service method. This method required the physiographic characteristics of the sub-basin including the drainage area, the river lengths and slopes, the time of concentration, the impermeable area and the curve number, as well as the rainfall intensity-duration and frequency relationship and the geometry of the river sections.

The basin modeling was developed through the HEC-HMS model using the basin characteristics, resulting in the hydrographs at the selected sections. Following, the hydraulic capacity was analyzed through the comparison with the hydrograph peak discharges computed using the HEC-HMS model.

The studies show that for the present scenario and a rainfall with a return period of 25 years the hydraulic capacity is not sufficient in 47% of the sections analyzed.

Palavra-chaves: Modelagem Hidrológica, SCS (Soil Conservation Service), Macrodrenagem

1) Mestrando da USP-SP e Engenheiro Civil - ENGECORPS - Corpo de Engenheiros Consultores - Alameda Tocantins, 145 – 4º. andar, Alphaville – Barueri –SP. E-mail: anaximandro@engecorps.com.br

1 INTRODUÇÃO

Joinville, assim como as demais cidades brasileiras, passa por um processo de expansão urbana um tanto quanto desenfreada; devido a este processo e pela cidade ser caracterizada por uma malha fluvial muito densa a cidade apresenta problemas de inundações (Becker, 2006).

O município de Joinville possui uma área total de 1.151,69 km² segundo dados do Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Joinville (IPPUJ). Deste total, apenas 18,76% do Município corresponde a áreas urbanas. A população de acordo com o censo de 2000 do IBGE é de 429.604 habitantes.

O objetivo do presente trabalho foi realizar uma análise do sistema de macro-drenagem da Bacia Hidrográfica do Rio Jaguarão, além de servir como base para a tomada de decisões sobre intervenções que minimizassem os efeitos negativos causados pelas inundações.

A bacia possui uma área total de 8,49 km², apresenta-se num zoneamento quase que na sua totalidade como zoneamento residencial havendo alguns corredores de serviços e a zona de expansão central, sua população de acordo com o censo de 2000 do IBGE é de 17.380 habitantes.

Na Bacia Hidrográfica do Rio Jaguarão são constantes os alagamentos pelo fato de se localizar numa região densamente ocupada a muitos anos e praticamente todo o seu curso encontrar-se em meio de quadras. Os conjuntos de estrangulamentos existentes ao longo do Rio Jaguarão culminam com o aparecimento de grandes áreas de inundações em dias de chuvas com grande intensidade. Essas áreas estão localizadas na região entre a Rua Marieta Stock, esquina com a Rua 25 de Agosto, até a foz do Rio Jaguarão.

Os estudos hidrológicos e hidráulicos realizados na bacia hidrográfica do Rio Jaguarão juntamente com o cadastramento topobatimétrico do rio e a modelagem computacional, visaram levantar as características dos dispositivos ao longo do mesmo, possibilitando identificar os pontos de estrangulamento e caracterizar as áreas que sofrem com inundações.

Ao analisar a bacia de forma sistêmica e não pontual, foi possível identificar soluções estruturais para os pontos de estrangulamentos que permitam um desempenho harmônico reduzindo assim os riscos de inundações. Além disso, permitiu avaliar de forma objetiva o impacto destas intervenções no rio Cachoeira que recebe as águas drenadas pela bacia hidrográfica do rio Jaguarão.

2 METODOLOGIA UTILIZADA

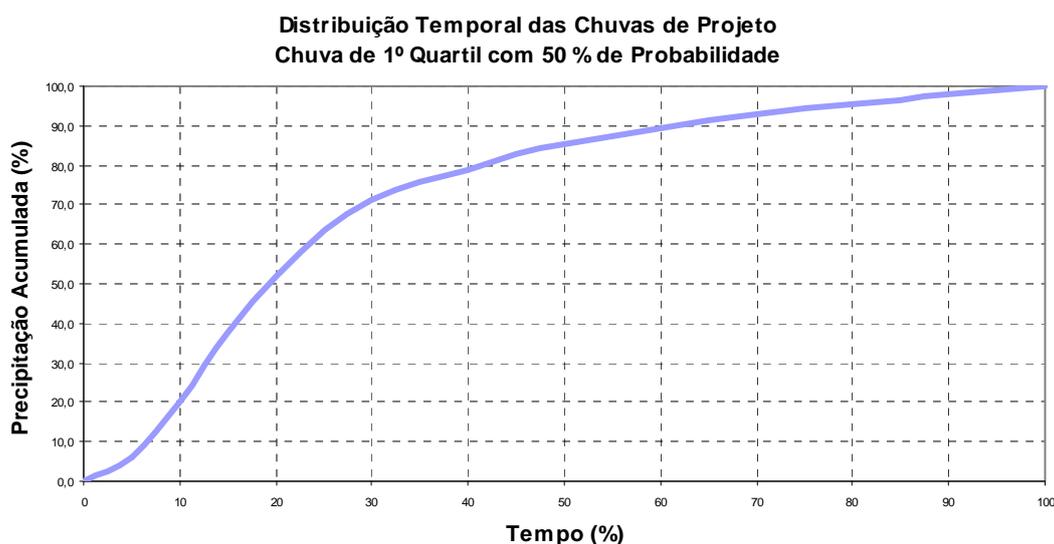
Foi utilizado o método do SCS (Soil Conservation Service) para análise do comportamento da bacia hidrográfica do rio Jaguarão. A sub-bacia hidrográfica foi dividida em 18 sub-bacias e os hidrogramas foram calculados nos seus exutórios.

2.1 Equação de chuva

A SEINFRA (2006) realizou um estudo relativo às várias equações de chuvas já existentes para a região de Joinville. Até muito recentemente vinha sendo utilizada a equação de chuvas intensas desenvolvida por Pfafstetter (1982) para a cidade de São Francisco Sul. Após esse estudo, onde foram comparadas várias equações de chuvas desenvolvidas por diversos autores a partir de dados de estações pluviométricas e pluviográficas do perímetro urbano, obteve-se uma equação consolidada de chuvas intensas para a cidade de Joinville. A equação escolhida foi a equação proposta por Back (2002), onde os dados de chuva foram obtidos através de um posto pluviométrico com série compreendida entre 1938 a 1998.

Como não há disponibilidade de dados de postos pluviográficos com boa precisão para estabelecer a distribuição temporal das chuvas intensas, optou-se pela distribuição temporal das precipitações máximas conforme Huff.

Para o estudo em questão foi utilizado o 1º quartil com a probabilidade de ocorrência de 50%.



Fonte: “Time Distribution of Rainfall in Heavy Storms”, Water Resources Research (Huff, 1977).

Figura 1 – Distribuição temporal das chuvas de projeto

As equações (1) e (2) representam as equações IDF das precipitações intensas utilizadas nos cálculos das vazões para Joinville:

$$i = \frac{641,7 \cdot T^{0,2290}}{(t + 8,8)^{0,6859}} \quad \text{para } t \leq 120 \text{ min.} \quad (1)$$

$$i = \frac{1201,9 \cdot T^{0,2270}}{(t + 23,3)^{0,8025}} \quad \text{para } 120 < t \leq 1440 \text{ min.} \quad (2)$$

Devido ao fato da precipitação diminuir em virtude do aumento da área, se torna necessário aplicar um fator de correção para a precipitação da bacia hidrográfica em estudo. Para isso foi

utilizado o estudo do U. K. Meteorological Office(1982), tendo resultado em um fator de área de 0,93.

Adotamos a duração da chuva de projeto um pouco superior ao tempo de concentração da bacia, chegando a distribuição espacial-temporal da chuva para T=25anos e t=90min conforme tabela 1.

Tabela 1 – Distribuição espacial da chuva para T = 25 anos e t = 90 min

Tempo (min)	Precipitação no Intervalo (mm)	Tempo (min)	Precipitação no Intervalo (mm)	Tempo (min)	Precipitação no Intervalo (mm)
0	0,000	31	64,703	61	79,572
1	1,206	32	65,469	62	79,897
2	2,413	33	66,120	63	80,223
3	3,619	34	66,771	64	80,472
4	4,825	35	67,422	65	80,721
5	6,740	36	68,073	66	80,970
6	9,364	37	68,762	67	81,218
7	11,987	38	69,452	68	81,458
8	14,610	39	70,141	69	81,688
9	17,234	40	70,830	70	81,917
10	20,642	41	71,434	71	82,147
11	24,051	42	71,951	72	82,377
12	27,459	43	72,468	73	82,549
13	30,867	44	72,985	74	82,722
14	33,931	45	73,502	75	82,894
15	36,650	46	73,923	76	83,066
16	39,369	47	74,344	77	83,277
17	42,088	48	74,765	78	83,526
18	44,808	49	75,187	79	83,775
19	47,067	50	75,579	80	84,024
20	49,327	51	75,943	81	84,273
21	51,586	52	76,307	82	84,502
22	53,846	53	76,671	83	84,732
23	55,665	54	77,035	84	84,962
24	57,043	55	77,417	85	85,192
25	58,422	56	77,800	86	85,402
26	59,801	57	78,183	87	85,594
27	61,180	58	78,566	88	85,785
28	62,060	59	78,921	89	85,977
29	62,941	60	79,246	90	86,168
30	63,822	–	–	–	–

2.2 Determinação da Área de Drenagem da Bacia e Sub-Bacias

A bacia hidrográfica do rio Jaguarão tem uma área de drenagem de 849,00 ha, com 6,369 km em seu talvegue principal com declividade média de 0,0055m/m, pertencendo a bacia hidrográfica do rio Cachoeira. A características das suas sub-bacias estão apresentadas na tabela 2.

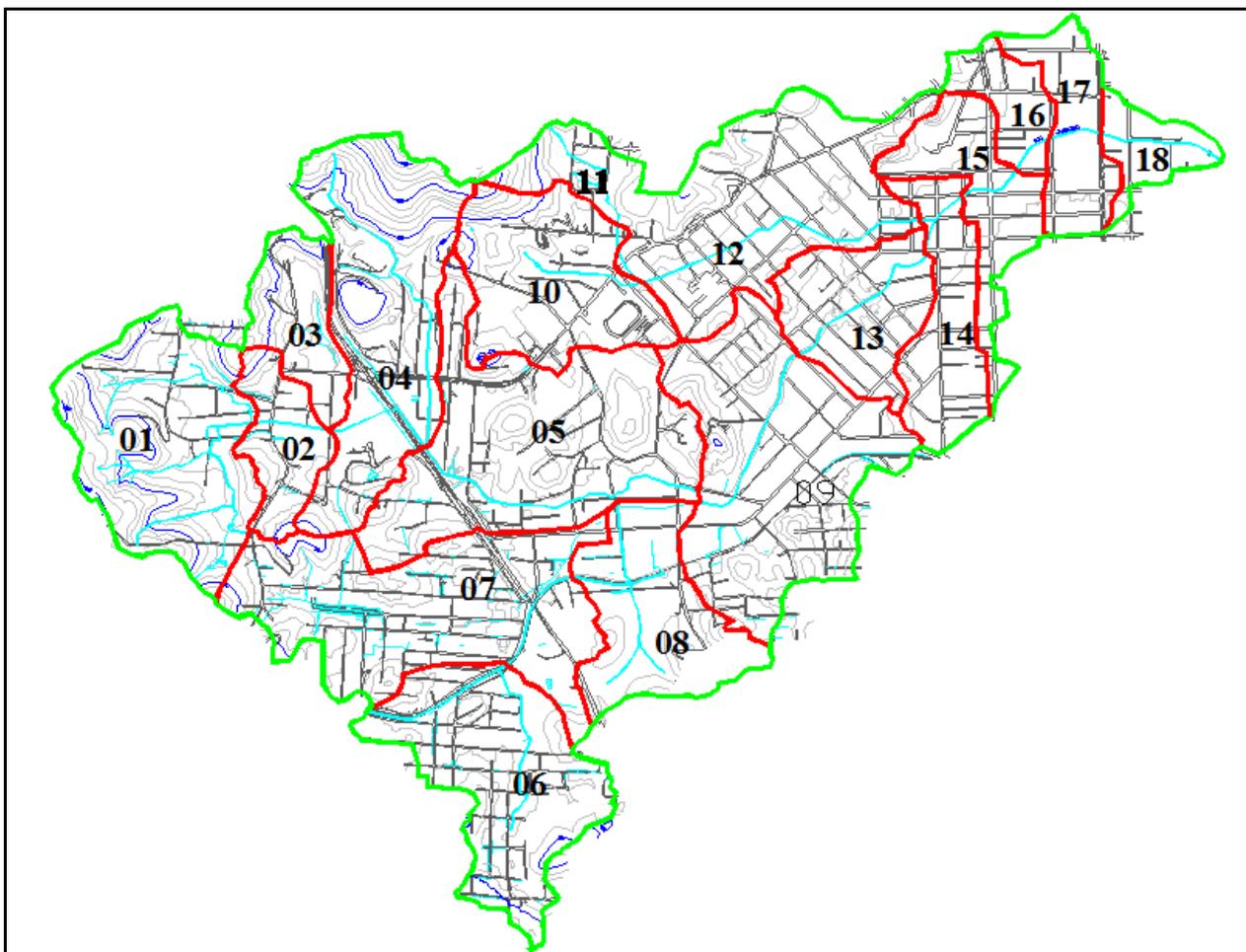


Figura 2 – Delimitação e Numeração das sub-bacias hidrográficas do Rio Jaguarão

2.3 Tempo de Concentração da Bacia e Sub-Bacias

A partir da delimitação da bacia e das sub-bacias e do levantamento topográfico do rio em estudo, obteve-se as áreas das sub-bacias e a declividade do talvegue principal.

De acordo com estudo realizado por Silveira (2005, p. 21-22) sobre o desempenho de fórmulas de tempo de concentração, as fórmulas de Carter e Desbordes se mostraram coerentes com as características da região em estudo. Após as suas aplicações, verificou-se que a fórmula de Carter resultava em tempos de concentração consistentes com as características observadas. A fórmula de Carter é apresentada a seguir:

$$T_c = 0,0977 \cdot L^{0,6} \cdot S^{-0,3} \quad (3)$$

Onde:

T_c = tempo de concentração, em horas;

L = comprimento do talvegue, em km;

S = declividade média, em m/m.

Nas sub-bacias foi calculado a extensão do talvegue considerando o ponto mais afastado do rio principal e o maior percurso que a água faz dentro da rede de microdrenagem.

Tabela 2 – Tempo de concentração das Sub-Bacias Hidrográficas

Sub-Bacias	Área de Drenagem (km ²)	Cotas (m)		Extensão (km)	Declividade (m/m)	Tempo de Concentração (min)
		Montante	Jusante			
1	0,69	35,30	13,63	0,967	0,0224	17,95
2	0,21	26,87	12,70	0,521	0,0272	11,69
3	0,23	23,33	11,02	0,471	0,0261	11,13
4	0,75	79,00	9,31	1,510	0,0462	18,89
5	0,92	22,36	8,82	0,781	0,0173	17,06
6	0,62	32,86	11,38	0,384	0,0559	7,84
7	0,87	21,00	7,12	1,177	0,0118	24,49
8	0,44	17,00	6,90	0,840	0,0120	19,89
9	0,88	8,82	2,98	0,750	0,0078	21,17
10	0,51	21,00	8,40	0,566	0,0223	13,05
11	0,20	28,00	8,40	0,797	0,0246	15,55
12	0,71	8,06	3,07	0,974	0,0051	28,07
13	0,34	22,00	1,04	0,792	0,0265	15,15
14	0,30	8,11	1,14	1,012	0,0069	26,29
15	0,30	6,75	1,14	0,959	0,0058	26,73
16	0,15	8,06	0,82	0,630	0,0115	16,96
17	0,24	5,80	0,79	0,629	0,0080	18,92
18	0,13	2,12	0,57	0,533	0,0029	23,16
Bacia	8,49	35,3	0,57	6,369	0,0055	85,02

2.4 Determinação Da Área Impermeável

Segundo Tucci (2001, p. 6) a área impermeável de uma bacia hidrográfica pode ser calculada utilizando a seguinte equação:

$$A_{imp} = 0,00489 \cdot DH \quad (4)$$

Onde:

A_{imp} = parcela de área impermeável da área total, (varia entre 0 e 1);

DH = densidade habitacional, em hab/ha.

A equação acima foi ajustada com $R^2 = 0,997$.

Foram utilizados os dados do censo 2000 do IBGE e Saúde 2002, pois possuem a mesma metodologia de pesquisa.

No estudo foi utilizada uma condição atual e futura para um horizonte de 25 anos, aplicando a taxa de crescimento populacional para este período para os bairros (América, Anita Garibaldi, Buecarein, Centro, Floresta, Nova Brasília e São Marcos) que compõem a bacia, obtendo os resultados sintetizados na tabela 3:

Tabela 3 – Crescimento populacional

Bairro	Área (km ²)	População 2000	População 2002	Variação 00-02	Taxa de Crescimento a.a.	População 2008	População 2033
América	4,54	9.877	10.341	464	2,32%	10.381	15.324
Anita Garibaldi	3,05	7.663	7.671	8	0,05%	7.751	11.442
Bucarein	2,04	5.227	5.401	174	1,65%	5.398	7.968
Centro	1,32	4.431	4.932	501	5,50%	4.964	7.328
Floresta	5,01	16.990	17.308	318	0,93%	16.878	24.915
Nova Brasília	9,33	11.211	11.753	542	2,39%	12.725	18.784
São Marcos	4,97	2.477	2.544	67	1,34%	2.648	3.909

Fonte: IBGE 2000 – SMS 2002.

Tabela 4 – Percentual de área impermeável por sub-bacia para condição atual

Sub Bacias	Área das Sub-Bacias (km ²)	Percentual Impermeável Situação Atual	Percentual Impermeável Situação Futura
Sub-Bacia 1	0,69	2,63%	3,88%
Sub-Bacia 2	0,21	2,61%	3,85%
Sub-Bacia 3	0,23	2,96%	4,37%
Sub-Bacia 4	0,75	9,25%	13,65%
Sub-Bacia 5	0,92	10,84%	16,00%
Sub-Bacia 6	0,62	6,67%	9,84%
Sub-Bacia 7	0,87	6,98%	10,31%
Sub-Bacia 8	0,44	15,22%	22,46%
Sub-Bacia 9	0,88	13,78%	20,34%
Sub-Bacia 10	0,51	11,48%	16,95%
Sub-Bacia 11	0,20	11,23%	16,91%
Sub-Bacia 12	0,71	12,09%	17,75%
Sub-Bacia 13	0,34	12,42%	18,33%
Sub-Bacia 14	0,30	12,43%	18,34%
Sub-Bacia 15	0,30	12,64%	18,66%
Sub-Bacia 16	0,15	15,38%	22,70%
Sub-Bacia 17	0,24	14,80%	21,84%
Sub-Bacia 18	0,13	12,93%	19,09%
Bacia	8,49	10,01%	14,78%

2.5 Classificação Hidrológica do Solo da Bacia

Para a caracterização pedológica da região da bacia em estudo, foi utilizado em conjunto o Atlas Ambiental da Região de Joinville (2003, p. 15-18) e o trabalho sobre geologia de Gonçalves (1993). Após consulta a autora foi adotado de acordo com Tucci *et. al.* (1995, p.116) a classificação hidrológica do solo da bacia em estudo como Tipo C.

2.6 Uso e Ocupação do Solo da Bacia

Conforme a Lei de Uso e Ocupação do Solo Consolidada (Jan, 2005), através da Lei Complementar nº 27 de 27 de março de 1996, fica o território do Município de Joinville dividido em:

I. Área Rural: área não ocupada ou não prevista para ocupação por funções urbanas, sendo destinadas às atividades agrosilvopastoris que dependem de localização específica e está subdividida em:

a. Área Rural de Conservação e Preservação (ARCP), que se subdivide em Área de Proteção Ambiental da Serra do Mar (APSM) e Área de Preservação Permanente dos Mangues (APPM).

A Área de Proteção Ambiental da Serra do Mar (APSM), que se subdivide em Área de Preservação Permanente das Encostas (APPE) e Área de Proteção dos Mananciais e Preservação Cultural Paisagística (APMC) que fica subdividida em APMC1 e APMC2.

b. Área Rural de Utilização Controlada (ARUC).

II. Área Urbana: área prevista para ocupação por funções urbanas, sendo destinadas às atividades residenciais, industriais e comerciais e está subdividida em:

III. Área Urbana de Ocupação Não Prioritária (AUNP);

IV. Área Urbana de Ocupação Prioritária (AUP), que se subdivide em Zonas Urbanas e Setores Especiais, conforme a seguinte classificação:

- Zonas residenciais (ZR);
- Zona central (ZC);
- Zonas corredor diversificado (ZCD);
- Zona industrial (ZI);
- Zona de proteção de áreas rodoviárias (ZPR);
- Setores Especiais (SE).

Para o estudo da bacia hidrográfica em questão, foi verificado que a mesma apresenta diferentes tipos de zoneamentos como ZR, ZC, ZCD e SE, sendo que o ZC e ZCD foram considerados como área comercial.

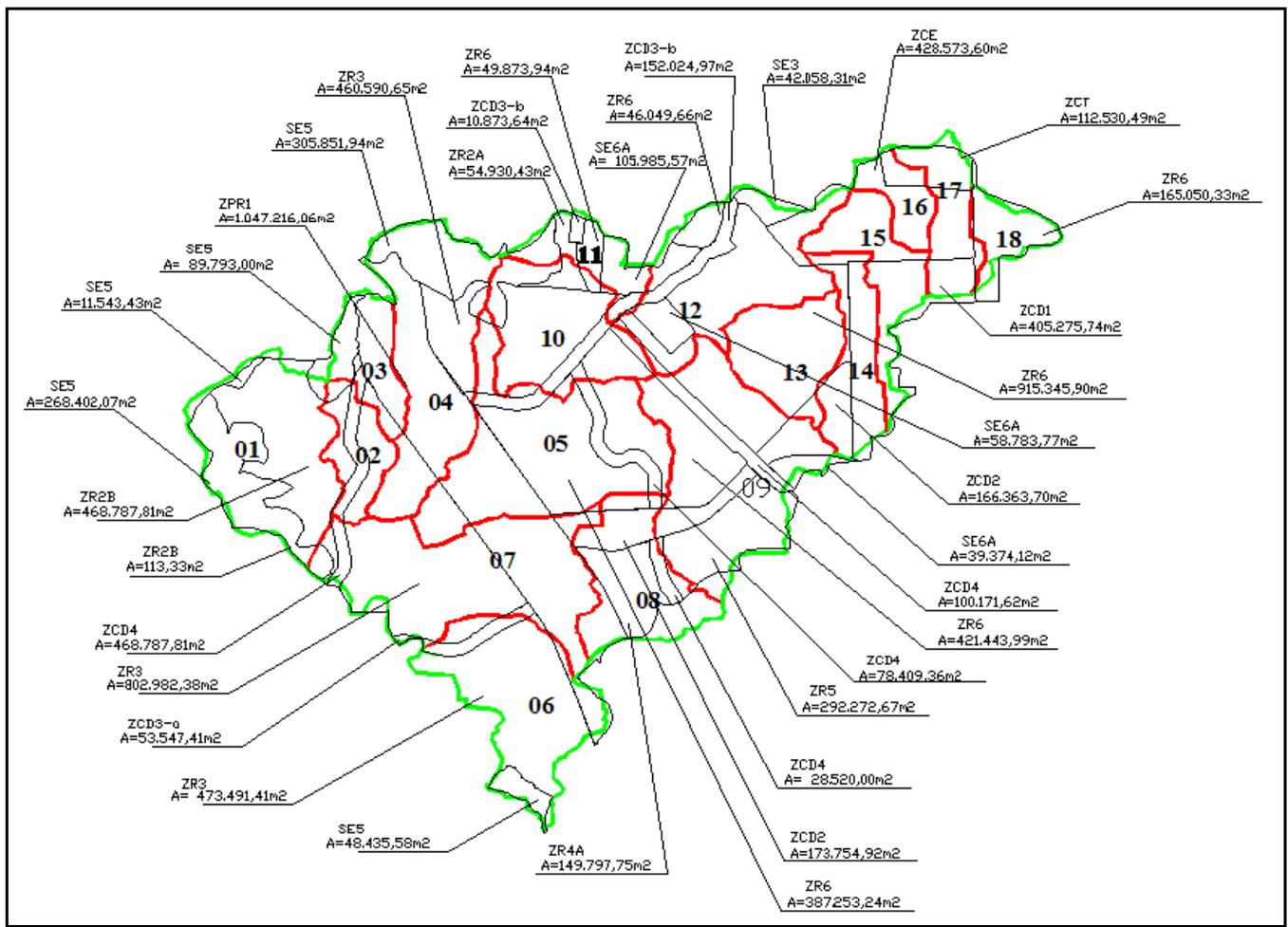


Figura 3 – Zoneamento da Bacia Hidrográfica do Rio Jaguarão

2.7 Determinação Do Número De Curva

Segundo a metodologia proposta pelo SCS (1986) para estimativa do valor do número da curva (CN), deve-se observar os valores tabelados disponíveis em função do tipo de solo, do uso e ocupação existentes na área de interesse.

Para a condição II de umidade antecedente, os valores do CN foram obtidos de acordo com o uso e ocupação do solo e da classificação hidrológica do solo. É importante registrar que os valores obtidos referem-se exclusivamente à área permeável.

Tabela 5 – Valores de CN

OCUPAÇÃO	CN
Área Residencial < 500 m ²	76
Área Comercial	78
Área Verde (Floresta Média)	55

Tendo em vista que, em geral, as bacias urbanas são compostas por diversas sub-bacias de características hidrológicas diferentes, realizou-se uma média ponderada dos valores de CN com relação às respectivas áreas.

Tabela 6 – Valores de CN

Bacias Hidrográficas	Áreas das Bacias (km ²)	CN
Sub-Bacia 1	0,69	67
Sub-Bacia 2	0,21	73
Sub-Bacia 3	0,23	71
Sub-Bacia 4	0,75	68
Sub-Bacia 5	0,92	76
Sub-Bacia 6	0,62	73
Sub-Bacia 7	0,87	75
Sub-Bacia 8	0,44	76
Sub-Bacia 9	0,88	77
Sub-Bacia 10	0,51	73
Sub-Bacia 11	0,20	72
Sub-Bacia 12	0,71	77
Sub-Bacia 13	0,34	78
Sub-Bacia 14	0,30	79
Sub-Bacia 15	0,30	80
Sub-Bacia 16	0,15	80
Sub-Bacia 17	0,24	80
Sub-Bacia 18	0,13	75
Bacia	8,49	75

2.8 Levantamento das Características Geométricas dos Cursos da Água

Através de levantamentos topográficos foram recolhidas características geométricas das seções transversais dos cursos da água da bacia, foi considerada a distância máxima entre seções levantadas 50m além de serem recolhidas as características dos dispositivos de estrangulamentos, juntamente com o levantamento das seções transversais foi levantado o perfil longitudinal dos cursos da água. Na modelagem computacional foi adotado como seção característica da propagação a seção com menor capacidade hidráulica inserida no trecho correspondente a cada propagação.

3 MODELAGEM COMPUTACIONAL DO SISTEMA DE DRENAGEM

De posse das características fisiográficas das sub-bacias hidrográficas e da relação IDF foi desenvolvida a modelagem computacional do sistema de macro-drenagem da bacia hidrográfica do rio Jaguarão utilizando o programa computacional HEC-HMS (disponível no site <http://www.hec.usace.army.mil>) para as condições atual e futura.

3.1 Síntese das Características Fisiográficas da Bacia

A tabela 7 apresenta um resumo das características fisiográficas das sub-bacias do Rio Jaguarão. Esta tabela inclui o tempo de retardo (Tr) cuja relação com o tempo de concentração sugerida pelo Soil Conservation Service (SCS) é a seguinte:

$$Tr = 0.6 \cdot Tc$$

(5)

Tabela 7 – Características fisiográficas da bacia do Rio Jaguarão

Sub-Bacias	Área (km ²)	Tc (min)	Tr (min)	Área Impermeável Atual	Área Impermeável Futura	CN
Sub-Bacia 1	0,69	17,95	10,77	2,63%	3,88%	67
Sub-Bacia 2	0,21	11,69	7,014	2,61%	3,85%	73
Sub-Bacia 3	0,23	11,13	6,678	2,96%	4,37%	71
Sub-Bacia 4	0,75	18,89	11,334	9,25%	13,65%	68
Sub-Bacia 5	0,92	17,06	10,236	10,84%	16,00%	76
Sub-Bacia 6	0,62	7,84	4,704	6,67%	9,84%	73
Sub-Bacia 7	0,87	24,49	14,694	6,98%	10,31%	75
Sub-Bacia 8	0,44	19,89	11,934	15,22%	22,46%	76
Sub-Bacia 9	0,88	21,17	12,702	13,78%	20,34%	77
Sub-Bacia 10	0,51	13,05	7,83	11,48%	16,95%	73
Sub-Bacia 11	0,20	15,55	9,33	11,23%	16,91%	72
Sub-Bacia 12	0,71	28,07	16,842	12,09%	17,75%	77
Sub-Bacia 13	0,34	15,15	9,09	12,42%	18,33%	78
Sub-Bacia 14	0,30	26,29	15,774	12,43%	18,34%	79
Sub-Bacia 15	0,30	26,73	16,038	12,64%	18,66%	80
Sub-Bacia 16	0,15	16,96	10,176	15,38%	22,70%	80
Sub-Bacia 17	0,24	18,92	11,352	14,80%	21,84%	80
Sub-Bacia 18	0,13	23,16	13,896	12,93%	19,09%	75
Bacia	8,49	85,02	51,012	10,01%	14,78%	75

3.2 Modelagem Computacional

Para a modelagem da bacia hidrográfica do rio Jaguarão através do programa HEC-HMS foram estabelecidos pontos de junção e propagações conforme figura abaixo.

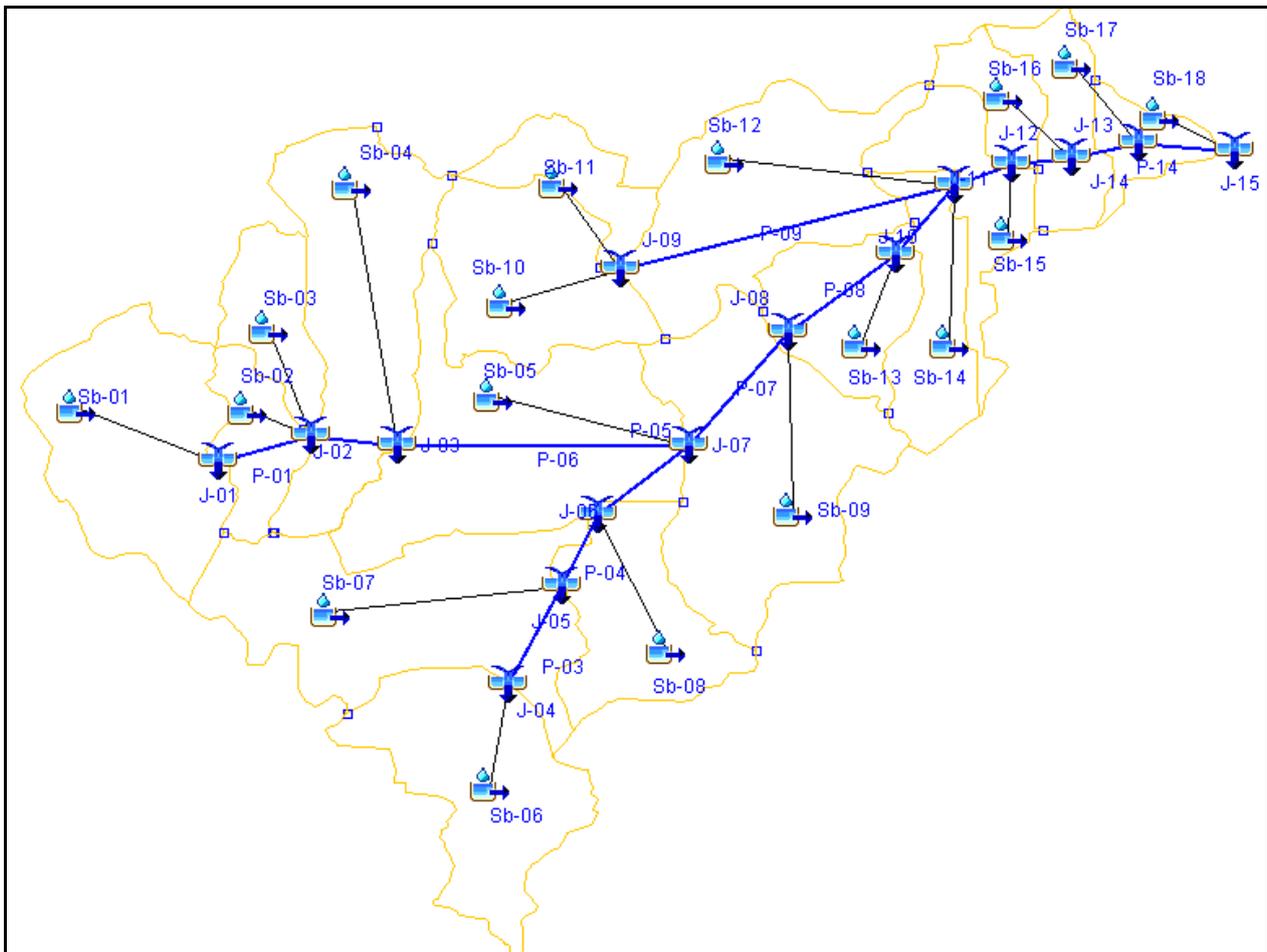


Figura 4 – Apresentação Esquemática da Bacia Hidrográfica do Rio Jaguarão

São denominados como junção, os pontos onde se insere uma área de contribuição no talvegue principal servindo de ligação de dois ou mais elementos, somando os hidrogramas hidrológicamente, e propagando o hidrograma de um ponto a outro.

3.3 Parâmetros Adotados nas Simulações

Nas propagações foi utilizado o método Muskingum-Cunge onde se insere além da geometria, o comprimento, a declividade e o coeficiente de rugosidade (n) de Manning (tabela 8). Para representar cada trecho foi utilizada a seção de estrangulamento na definição da geometria.

Tabela 8 – Valores do coeficiente de rugosidade da fórmula de Manning

Natureza das Paredes	n
Galeria pré-moldada	0,014
Tubo de concreto	0,015
Canal em pedra revestida de argamassa	0,013
Canal em pedra revestida de argamassa alisada	0,012
Canal em pedra sem revestimento	0,020
Canal em terra	0,030
Canal em terra com vegetação nos taludes	0,035
Canal em gabião*	0,026

Fonte: Hidráulica básica (Porto, 2003, p.273)

Para seções com rugosidade variável, utiliza-se uma rugosidade equivalente calculada como segue:

$$n_e = \left[\frac{\sum_{i=1}^N (\eta_i^{3/2} \cdot P_i)}{P} \right]^{2/3} \quad (6)$$

Onde:

n_e = coeficiente de rugosidade equivalente;

N = número de subseções;

P = perímetro molhado total da seção.

Tabela 9 – Características dos trechos de propagação dos hidrogramas

Propagações	Extensão (m)	Declividade (m/m)	Geometria da Seções	Base ou	Coeficiente de Manning
				Diametro	
Propagação 1	251	0,01040	Circular	2,00	0,016
Propagação 2	619	0,00276	Circular	2,50	0,016
Propagação 3	380	0,01121	Retangular	3,50	0,016
Propagação 4	481	0,00046	Retangular	3,95	0,020
Propagação 5	468	0,00363	Retangular	2,90	0,020
Propagação 6	1279	0,00321	Trapezoidal	2,75	0,020
Propagação 7	832	0,00313	Trapezoidal	3,60	0,020
Propagação 8	840	0,00174	Retangular	2,40	0,023
Propagação 9	1463	0,00496	Retangular	3,72	0,020
Propagação 10	213	0,00019	Trapezoidal	5,05	0,016
Propagação 11	259	0,00058	Trapezoidal	5,90	0,016
Propagação 12	216	0,00060	Retangular	5,65	0,020
Propagação 13	229	0,00013	Trapezoidal	5,45	0,020
Propagação 14	505	0,00044	Retangular	12,05	0,016

Nas simulações foi adotado um tempo de simulação de 6 horas com intervalo de 2 minutos para uma melhor determinação dos hidrogramas gerados.

3.4 Determinação dos Hidrogramas no Cenário Atual

Os hidrogramas de projeto foram definidos de acordo com o hidrograma unitário pelo SCS. A chuva excedente foi determinada considerando o grupo hidrológico do solo, a condição antecedente de umidade II do solo e o uso e ocupação urbana presente. As vazões de projeto foram obtidas através dos hidrogramas gerados para uma chuva com período de retorno de 25 anos e duração de 90 min.

Tabela 10 – Resumo dos resultados da Simulação para o cenário atual

Sub-Bacia	Área de Drenagem (km ²)	Vazão de Pico (m ³ /s)	Tempo para o Pico (min)	Volume (1000m ³)
J-01	0,69	4,80	00:34	12,7
J-02	1,13	9,1	00:31	23,3
J-03	1,88	15,4	00:34	40,9
J-04	0,62	8,7	00:25	17,2
J-05	1,49	15,9	00:30	43,7
J-06	1,93	18,7	00:32	55,3
J-07	4,73	42,7	00:36	126,7
J-08	5,61	53	00:38	158,4
J-09	0,71	9,4	00:28	21,3
J-10	5,95	42,6	00:40	154,4
J-11	7,67	62,3	00:38	207,9
J-12	7,97	62,7	00:39	217
J-13	8,12	60,3	00:39	217,7
J-14	8,36	62,1	00:39	221,4
J-15	8,49	55,6	00:42	220,5
Sb-01	0,69	4,8	00:34	12,7
Sb-02	0,21	2,5	00:28	5,3
Sb-03	0,23	2,5	00:28	5,3
Sb-04	0,75	6,7	00:33	17,7
Sb-05	0,92	13,3	00:30	31,1
Sb-06	0,62	8,7	00:25	17,2
Sb-07	0,87	9,7	00:36	26,5
Sb-08	0,44	6,4	00:32	15,9
Sb-09	0,88	12,8	00:33	32,2
Sb-10	0,51	7	00:28	15,5
Sb-11	0,2	2,5	00:30	5,8
Sb-12	0,71	8,9	00:38	25,4
Sb-13	0,34	5,7	00:28	12,7
Sb-14	0,3	4,3	00:36	11,6
Sb-15	0,3	4,4	00:36	12,1
Sb-16	0,15	2,7	00:29	6,2
Sb-17	0,24	4,2	00:30	9,9
Sb-18	0,13	1,9	00:34	4,9

3.5 Diagnóstico

Comparando as capacidades hidráulicas com as vazões de pico referente aos hidrogramas gerados da modelagem para cenário atual, pode-se observar 22 pontos de estrangulamento uma vez que são insuficientes para o hidrograma de projeto conforme tabela 11.

Os pontos críticos de estrangulamentos coincidem com as manchas de inundação identificadas pelo levantamento topográfico.

Tabela 11 – Verificação dos dispositivos com seções insuficientes para o cenário atual

Ponto	Descrição	Declividade I (m/m)	Seção (m)	Capacidade Hidráulica (m³/s)	Vazão de Projeto (m³/s)	Verif.
1	Rua Tupi	0,0048	φ 1.00 e φ 1.50	6,09	4,80	OK
2	Rua Guaporé	0,0048	φ 1.50 e φ 1.50	9,09	9,10	INSUFICIENTE
3	BR 101	0,0043	φ 1.75 e φ 2.00	15,00	15,40	INSUFICIENTE
4	Rua Bagé	0,0029	5.00 x 2.50	34,32	15,40	OK
5	Rua Marieta Stock	0,0029	Galeria Dupla	34,07	15,40	OK
6	Rua Caxias do Sul	0,0029	Galeria Dupla	31,93	15,40	OK
7	Rua João Enterlein	0,0029	Galeria Dupla	33,00	15,40	OK
8	Condominio Portal	0,0029	(5.40/4.80) x 2.45	31,57	24,40	OK
9	Rua Independência	0,0029	(2.90/2.75) x 1.92	10,49	24,40	INSUFICIENTE
10	Escola Municipal A. G.	0,0029	(6.10/5.70) x 1.90	25,66	24,40	OK
11	Rua Max Heiden	0,0029	(4.20/3.38) x 3.30	33,53	42,70	INSUFICIENTE
12	Estação de Tratamento	0,0029	(6.75/6.5) x 3.10	66,84	42,70	OK
13	Malharia Iracema	0,0029	(6.90/6.60) x 3	65,10	42,70	OK
14	Rua Liberdade	0,0029	(4.10/3.70) x 2.16	18,95	42,70	INSUFICIENTE
15	Rua Marquês Olinda	0,0029	Galeria Dupla	68,98	42,70	OK
16	Rua Paraiba	0,0029	(4.30/4.00) x 2.17	20,48	53,00	INSUFICIENTE
17	Rua Alagoas	0,0024	(4.65/4.55) x 2.16	20,52	53,00	INSUFICIENTE
18	Rua Porto União	0,0024	(4.50/4.35) x 1.92	16,56	53,00	INSUFICIENTE
19	Rua Diringshoffer	0,0024	(4.70/4.65) x 1.90	18,99	53,00	INSUFICIENTE
20	Rua Coronel Santiago	0,0024	(3.25/3.05) x 2.48	15,53	53,00	INSUFICIENTE
21	Rua Rio Grande do Sul	0,0024	(3.12/2.85) x 2.74	16,60	53,00	INSUFICIENTE
22	Rua Bahia	0,0024	Seção em Arco	12,51	53,00	INSUFICIENTE
23	Rua Paraná	0,0024	(4.80/4.70) x 2.02	19,37	53,00	INSUFICIENTE
24	Galeria entre Parana e Alexandre Schlemm	0,0009	(5.35/5.05) x 2.85	22,07	53,00	INSUFICIENTE
25	Rua Alexandre Schlemm	0,0009	(5.95/5.90) x 2.12	16,68	62,30	INSUFICIENTE
26	Rua Sai	0,0009	(6.18/5.90) x 1.69	13,15	62,30	INSUFICIENTE
27	Selbeti	0,0009	(5.40/5.35) x 2.65	20,33	62,30	INSUFICIENTE
28	Rua Getulio Vargas	0,0009	5.85 x 1.84	13,28	62,30	INSUFICIENTE
29	Rua Placido Gomes	0,0009	(5.45/5.30) x 2.30	16,80	62,70	INSUFICIENTE
30	Rua São Paulo	0,0009	(5.50/5.35) x 2.05	14,36	60,30	INSUFICIENTE
31	Avenida Procópio Gomes	0,0009	(5.65/5.45) x 2.40	18,61	62,10	INSUFICIENTE
32	Rua Urussanga	0,0009	12.05 x 2.03	36,64	55,60	INSUFICIENTE
33	Rua Minas Gerais	0,0039	3.50 x 2.00	18,81	8,70	OK
34	Rua Anita Garibaldi	0,0039	3.95 x 1.80	16,75	15,90	OK
35	Rua João Enterlein	0,0039	5.78 x 2.31	38,19	18,70	OK
36	Rua Copacabana	0,0078	2.90 x	22,69	18,70	OK
37	Rua Caçador	0,0072	3.29 x 2.75	32,52	9,40	OK
38	Rua Araçá	0,0072	3.56 x 2.47	31,12	9,40	OK
39	Rua Paraiba	0,0072	3.43 x 2.33	27,37	9,40	OK
40	Rua Corupá	0,0072	3.80 x 2.30	30,63	9,40	OK
41	Rua Porto União	0,0072	3.47 x 2.34	27,95	9,40	OK
42	Rua Guilherme Welter	0,0072	3.72 x 1.60	17,77	9,40	OK
43	Rua Coronel Santiago	0,0072	4.15 x 1.63	20,83	18,10	OK
44	Rua Concórdia	0,0072	(3.30/3.00) x 2.30	24,53	18,10	OK
45	Rua Rio Grande do Sul	0,0072	3.65 x 2.55	33,59	18,10	OK
46	Rua Pernambuco	0,0072	3.07 x 2.68	28,66	18,10	OK
47	Rua Miguel Couto	0,0072	2.70 x 2.85	26,18	18,10	OK

4 PROGNÓSTICO DA SITUAÇÃO FUTURA DO SISTEMA DE DRENAGEM

4.1 Determinação dos Hidrogramas no Cenário Futuro

Os hidrogramas de projeto foram definidos de acordo com o hidrograma unitário pelo SCS (1986). A chuva excedente foi determinada considerando o grupo hidrológico do solo, a condição antecedente de umidade II do solo e o uso e ocupação urbana futura. As vazões de projeto foram

obtidas através dos hidrogramas gerados para uma chuva com período de retorno de 25 anos e duração de 90 min.

Tabela 12 – Resumo dos resultados da Simulação para o cenário futuro

Sub-Bacia	Área de Drenagem (km ²)	Vazão de Pico (m ³ /s)	Tempo para o Pico (min)	Volume (1000m ³)
J-01	0,69	5	00:33	19,13
J-02	1,13	9,4	00:31	21,42
J-03	1,88	16,5	00:33	23,29
J-04	0,62	9,2	00:25	29,51
J-05	1,49	17	00:30	31,11
J-06	1,93	20,4	00:31	30,74
J-07	4,73	46,4	00:35	28,75
J-08	5,61	57,8	00:37	30,4
J-09	0,71	10,4	00:28	33,16
J-10	7,37	66	00:37	29,37
J-11	7,67	68,3	00:37	29,02
J-12	7,97	68,6	00:38	29,13
J-13	8,12	66,1	00:38	28,67
J-14	8,36	68,2	00:37	28,35
J-15	8,49	61,2	00:40	27,8
Sb-01	0,69	5	00:34	19,13
Sb-02	1,13	9,1	00:34	21,31
Sb-03	0,62	9,1	00:26	29,51
Sb-04	1,49	13,2	00:31	28,06
Sb-05	1,93	20	00:34	30,62
Sb-06	1,88	15,5	00:40	23,05
Sb-07	4,73	45,2	00:39	28,63
Sb-08	5,61	42,8	00:40	27,08
Sb-09	0,71	10,2	00:34	33,08
Sb-10	7,37	63,7	00:37	28,52
Sb-11	7,67	63,9	00:38	28,59
Sb-12	7,97	63,9	00:38	28,37
Sb-13	8,12	64,5	00:38	27,88
Sb-14	8,36	59,4	00:40	27,6
Sb-15	0,69	5	00:33	19,13
Sb-16	0,21	2,6	00:28	26,17
Sb-17	0,23	2,5	00:28	23,97
Sb-18	0,75	7,5	00:32	26,27

4.2 Prognóstico

Comparando as capacidades hidráulicas com as vazões de pico referentes aos hidrogramas gerados da modelagem para cenário futuro pode-se identificar os pontos de estrangulamento onde as capacidades hidráulicas são inferiores às vazões de pico, conforme apresentado na tabela 13.

Com a projeção para um cenário futuro de 25 anos houve um incremento das vazões de pico onde se identificando uma ineficiência ainda maior nos pontos com capacidades hidráulicas

insuficientes. Desta forma, ficou caracterizado que os problemas decorrentes das inundações serão agravados muito embora o processo de urbanização não seja tão intenso quanto em outros centros urbanos do Brasil.

Tabela 13 – Verificação dos dispositivos com seções insuficientes para o cenário futuro

Ponto	Descrição	Declividade I (m/m)	Seção (m)	Capacidade Hidráulica (m³/s)	Vazão de Projeto (m³/s)	Verif.
1	Rua Tupi	0,0048	φ 1.00 e φ 1.50	6,09	4,80	OK
2	Rua Guaporé	0,0048	φ 1.50 e φ 1.50	9,09	9,10	INSUFICIENTE
3	BR 101	0,0043	φ 1.75 e φ 2.00	15,00	15,40	INSUFICIENTE
4	Rua Bagé	0,0029	5.00 x 2.50	34,32	15,40	OK
5	Rua Marieta Stock	0,0029	Galeria Dupla	34,07	15,40	OK
6	Rua Caxias do Sul	0,0029	Galeria Dupla	31,93	15,40	OK
7	Rua João Enterlein	0,0029	Galeria Dupla	33,00	15,40	OK
8	Condominio Portal	0,0029	(5.40/4.80) x 2.45	31,57	24,40	OK
9	Rua Independência	0,0029	(2.90/2.75) x 1.92	10,49	24,40	INSUFICIENTE
10	Escola Municipal A. G.	0,0029	(6.10/5.70) x 1.90	25,66	24,40	OK
11	Rua Max Heiden	0,0029	(4.20/3.38) x 3.30	33,53	42,70	INSUFICIENTE
12	Estação de Tratamento	0,0029	(6.75/6.5) x 3.10	66,84	42,70	OK
13	Malharia Iracema	0,0029	(6.90/6.60) x 3	65,10	42,70	OK
14	Rua Liberdade	0,0029	(4.10/3.70) x 2.16	18,95	42,70	INSUFICIENTE
15	Rua Marquês Olinda	0,0029	Galeria Dupla	68,98	42,70	OK
16	Rua Paraiba	0,0029	(4.30/4.00) x 2.17	20,48	53,00	INSUFICIENTE
17	Rua Alagoas	0,0024	(4.65/4.55) x 2.16	20,52	53,00	INSUFICIENTE
18	Rua Porto União	0,0024	(4.50/4.35) x 1.92	16,56	53,00	INSUFICIENTE
19	Rua Diringshoffer	0,0024	(4.70/4.65) x 1.90	18,99	53,00	INSUFICIENTE
20	Rua Coronel Santiago	0,0024	(3.25/3.05) x 2.48	15,53	53,00	INSUFICIENTE
21	Rua Rio Grande do Sul	0,0024	(3.12/2.85) x 2.74	16,60	53,00	INSUFICIENTE
22	Rua Bahia	0,0024	Seção em Arco	12,51	53,00	INSUFICIENTE
23	Rua Paraná	0,0024	(4.80/4.70) x 2.02	19,37	53,00	INSUFICIENTE
24	Galeria entre Parana e Alexandre Schlemm	0,0009	(5.35/5.05) x 2.85	22,07	53,00	INSUFICIENTE
25	Rua Alexandre Schlemm	0,0009	(5.95/5.90) x 2.12	16,68	62,30	INSUFICIENTE
26	Rua Sai	0,0009	(6.18/5.90) x 1.69	13,15	62,30	INSUFICIENTE
27	Selbeti	0,0009	(5.40/5.35) x 2.65	20,33	62,30	INSUFICIENTE
28	Rua Getulio Vargas	0,0009	5.85 x 1.84	13,28	62,30	INSUFICIENTE
29	Rua Placido Gomes	0,0009	(5.45/5.30) x 2.30	16,80	62,70	INSUFICIENTE
30	Rua São Paulo	0,0009	(5.50/5.35) x 2.05	14,36	60,30	INSUFICIENTE
31	Avenida Procópio Gomes	0,0009	(5.65/5.45) x 2.40	18,61	62,10	INSUFICIENTE
32	Rua Urussanga	0,0009	12.05 x 2.03	36,64	55,60	INSUFICIENTE
33	Rua Minas Gerais	0,0039	3.50 x 2.00	18,81	8,70	OK
34	Rua Anita Garibaldi	0,0039	3.95 x 1.80	16,75	15,90	OK
35	Rua João Enterlein	0,0039	5.78 x 2.31	38,19	18,70	OK
36	Rua Copacabana	0,0078	2.90 x	22,69	18,70	OK
37	Rua Caçador	0,0072	3.29 x 2.75	32,52	9,40	OK
38	Rua Araça	0,0072	3.56 x 2.47	31,12	9,40	OK
39	Rua Paraiba	0,0072	3.43 x 2.33	27,37	9,40	OK
40	Rua Corupá	0,0072	3.80 x 2.30	30,63	9,40	OK
41	Rua Porto União	0,0072	3.47 x 2.34	27,95	9,40	OK
42	Rua Guilherme Welter	0,0072	3.72 x 1.60	17,77	9,40	OK
43	Rua Coronel Santiago	0,0072	4.15 x 1.63	20,83	18,10	OK
44	Rua Concórdia	0,0072	(3.30/3.00) x 2.30	24,53	18,10	OK
45	Rua Rio Grande do Sul	0,0072	3.65 x 2.55	33,59	18,10	OK
46	Rua Pernambuco	0,0072	3.07 x 2.68	28,66	18,10	OK
47	Rua Miguel Couto	0,0072	2.70 x 2.85	26,18	18,10	OK

5 CONCLUSÕES

Foram apresentados os estudos hidrológicos e hidráulicos desenvolvidos para a análise do sistema de macro-drenagem da bacia do Jaguarão nos cenários atual e futuro. Foi desenvolvida a seqüência metodológica que incluiu a obtenção das características fisiográficas das sub-bacias e da bacia hidrográfica do rio Jaguarão, a consolidação da relação IDF, a modelagem computacional do sistema de macro-drenagem e os resultados das simulações para a situação atual e futura de urbanização.

A aplicação desta metodologia permitiu a identificação das seções de estrangulamento do sistema de macro-drenagem na situação atual e futura que permitirá a análise de alternativas estruturais para solução dos problemas de inundações que afetam esta área de Joinville.

BIBLIOGRAFIA

- BECKER, P. “*Obtenção de informações para plano diretor de drenagem urbana utilizando SIG*”, 2006. 107 p. Tese (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.
- FUNDAÇÃO DO MEIO AMBIENTE. “*Atlas ambiental da região de Joinville: complexo hídrico da baía da Babitonga*”, 2. ed. Florianópolis: FATMA/GTZ, 2003. 152 p.
- GARCIA, L. A. V. “*Ajuda memória*”, [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <carla.cristina@joinville.sc.gov.br> em 26 jun. 2006.
- GONÇALVES, M. L. “*Geologia para planejamento de uso e ocupação territorial do município de Joinville*”, 1993. 70 p. Tese (Doutorado em Geologia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.
- LOPES, F. H. Y.; RAMOS, D. A. “*Comparação das equações de chuvas na área urbana de Joinville – SC*”, 2006. 42 p. Relatório técnico – Prefeitura Municipal de Joinville – Secretaria de Infra-Estrutura Urbana – Unidade de Drenagem, Joinville, 2006.
- PFASTETTER, O. “*Chuvas intensas no Brasil*”, 2. ed. Rio de Janeiro: DNOS, 1982. 426p.
- PORTO, R. de M. “*Hidráulica básica*”, 2. ed. São Carlos: EESC-USP, 2003. 540 p.
- SILVEIRA, A. L. L. Desempenho de fórmulas de tempo de concentração em bacias urbanas e rurais. “*Revista Brasileira de Recursos Hídricos*”, Porto Alegre, v.10, n.1, p.5-23, jan./mar. 2005.
- TUCCI, C. E. M. Gerenciamento da drenagem urbana. “*Revista Brasileira de Recursos Hídricos*”, Porto Alegre, v.7 n.1, p.5-27 jan./mar. 2002.
- TUCCI, C. E. M.; MARQUES, D. M. L. da M. (Org.). “*Avaliação e controle da drenagem urbana*”, 1. ed. Porto Alegre: Editora ABRH, 2001. 548 p.
- TUCCI, C. E. M. (Org.) et al. “*Drenagem urbana*”, 1. ed. Porto Alegre: Editora Universidade (UFRGS)/ABRH, 1995. 428 p. v. 2.
- U.K. INSTITUTE OF HYDROLOGY FLOOD STUDIES REPORT. “*National environmental research council*”, 1975. v. II. Wallingford, United King, 1975.
- US ARMY CORPS OF ENGINEERS. “*HEC-HMS 3.0.0*”, Disponível em: <http://www.hec.usace.army.mil> Acesso em: 22 June 2006, 10:55:54.
- US Soil Conservation Service, “*Urban Hydrology for Small Watersheds*”, Tech. Release 55 (2^o edition), junho de 1986