

**Universidade Federal de Santa Catarina
Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental**

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE VAZÕES DE PICO ESTIMADAS
PELO MÉTODO RACIONAL E PELO MÉTODO DO SCS PARA A
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BOM RETIRO EM JOINVILLE-SC**

Ana Cristina Hoepfner

FLORIANÓPOLIS, (SC)

**Universidade Federal de Santa Catarina
Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental**

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE VAZÕES DE PICO ESTIMADAS
PELO MÉTODO RACIONAL E PELO MÉTODO DO SCS PARA A
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BOM RETIRO EM JOINVILLE-SC**

Ana Cristina Hoepfner

**Trabalho apresentado à Universidade Federal de
Santa Catarina para Conclusão do Curso de
Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental**

**Orientador
Roberto Valmir da Silva**

**FLORIANÓPOLIS, (SC)
NOVEMBRO/2007**

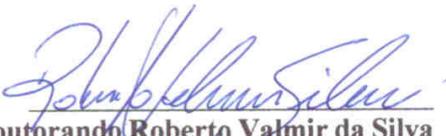
**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL**

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE VAZÕES DE PICO ESTIMADAS PELO
MÉTODO RACIONAL E PELO MÉTODO DO SCS PARA A BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO BOM RETIRO EM JOINVILLE-SC**

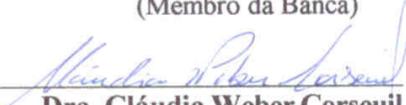
ANA CRISTINA HOEPFNER

**Trabalho submetido à Banca Examinadora como parte dos requisitos para
Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental-
TCC II**

BANCA EXAMINADORA :


Doutorando Roberto Valmir da Silva
(Orientador)


Dr. Masato Kobiyama
(Membro da Banca)


Dra. Cláudia Weber Corseuil
(Membro da Banca)

**FLORIANÓPOLIS, (SC)
NOVEMBRO/2007**

**VERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL**

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE VAZÕES DE PICO ESTIMADAS PELO MÉTODO
RACIONAL E PELO MÉTODO DO SCS PARA A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO
BOM RETIRO EM JOINVILLE-SC**

ANA CRISTINA HOEPFNER

**Trabalho submetido à Banca Examinadora como parte dos requisitos para
Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental–TCC
II**

BANCA EXAMINADORA :

Doutorando Roberto Valmir da Silva
(Orientador)

Dr. Masato Kobiyama
(Membro da Banca)

Dra. Cláudia Weber Corseuil
(Membro da Banca)

**FLORIANÓPOLIS, (SC)
NOVEMBRO/2007**

RESUMO

Todos os anos são observados enchentes e alagamentos em grandes centros urbanos, acarretando problemas econômicos, sociais e de saúde pública. Estas enchentes ocorrem após chuvas intensas, porque o escoamento superficial destas águas é alterado devido ao crescente processo de urbanização, e conseqüente impermeabilização dos solos. Além disso, a ocupação de áreas ribeirinhas, que estão sujeitas a alagamentos sazonais, suprime o leito natural dos rios, ocorrendo um grande aumento dos picos de vazão. Este trabalho se propõe a estimar as vazões de pico na Bacia Hidrográfica do Rio Bom Retiro, localizada na cidade de Joinville. Essas vazões serão utilizadas posteriormente para o desenvolvimento de projetos de macrodrenagem nesta área, visando o controle e prevenção das enchentes. Para as estimativas de vazão, foi feita uma comparação entre dois métodos de cálculos diferentes utilizados na Prefeitura Municipal de Joinville, o método racional e o método do Soil Conservation Service (SCS). O método racional é amplamente difundido e de fácil aplicação, porém apresenta limitações por não ser adequado para bacias maiores que 2 km². O método do SCS envolve estudos mais complexos da região em estudo, e é mais adequado para bacias hidrográficas maiores. O método racional apresentou valores das vazões de pico em torno de 45% maiores que o método do SCS. O método do SCS é mais indicado para estimar as vazões de enchente para os projetos de macrodrenagem, pois considera características específicas da bacia hidrográfica e também a variação temporal da intensidade da chuva.

PALAVRAS-CHAVE: Método Racional – Método SCS – Controle de Inundações

ABSTRACT

Every year floods and overflows are observed in great urban centers, causing economic, social and public health problems. These floods occur after intense rains because the runoff of these waters is modified in consequence of increasing process of urbanization and ground waterproofing. Moreover, the occupation of coastal areas, which are subject to seasonal overflows, suppresses natural bed of the rivers, with a big increase in peak flow. This study is proposed to estimate the peak flows in the watershed of the Bom Retiro River, located in Joinville. These outflows will be used later for flood control works development in this area, to the control and prevention of floods. For estimates of outflow, a comparison will be made between two different methods of calculation used in the city of Joinville, the rational method and the Soil Conservation Service (SCS) method. The rational method has easy application, but presents limitations because it is not appropriate for basins larger than 2 km². The method of SCS involves more studies of the region under study, and is more appropriate for larger watersheds. The rational method presented values of the outflows around 45% larger than the method of the SCS. The SCS method is more indicated to estimate the flood outflows for the flood control works, therefore considers specific characteristics of the watershed and also the temporal variation of the intensity of rain.

KEY WORDS: Rational Method – SCS Method – Flood Control

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Hidrograma.....	19
Figura 2 - Perdas de Precipitação	24
Figura 3 - HUS do SCS e o corresponde hidrograma triangular.....	30
Figura 4 - Divisão da Bacia Hidrográfica do Rio Bom Retiro em Sub-bacias.....	33
Figura 5 - Divisão por bairros da sub-bacia do Rio Bom Retiro.....	34
Figura 6 - Zoneamento da Bacia do Rio Bom Retiro	34
Figura 7 - Vazões de Pico Estimadas pelo Método Racional.....	37
Figura 8 - Gráfico da Relação IDF	38
Figura 9 - Distribuição Temporal de Huff - 1º quartil – probabilidade 50%.....	38
Figura 10 -Gráfico da Distribuição Temporal da Precipitação	40
Figura 11 -Distribuição Espacial da Precipitação.....	40
Figura 12 -Esquema da Sub-bacia do Rio Bom Retiro no programa HEC-HMS	44
Figura 13 -Hidrograma da Sub-bacia 1 – T = 25 anos, t = 60 min.....	45
Figura 14 -Hidrograma da Sub-bacia 2 – T = 25 anos, t = 60 min.....	45
Figura 15 -Hidrograma da Sub-bacia 3 – T = 25 anos, t = 60 min.....	46
Figura 16 -Hidrograma da Sub-bacia 4 – T = 25 anos, t = 60 min.....	46
Figura 17 -Hidrograma da Sub-bacia 5 – T = 25 anos, t = 60 min.....	47
Figura 18 -Hidrograma da Bacia do Rio Bom Retiro – T = 25 anos, t = 60 min.....	47
Figura 19 -Gráfico das Vazões de Pico Estimadas pelo Método do SCS.....	48
Figura 20 -Comparação entre Método Racional e Método do SCS para Tempo de Retorno de 5 anos.....	49
Figura 21 -Comparação entre Método Racional e Método do SCS para Tempo de Retorno de 10 anos.....	50

Figura 22 -Comparação entre Método Racional e Método do SCS para Tempo de Retorno de 15 anos.....	51
Figura 23 -Comparação entre Método Racional e Método do SCS para Tempo de Retorno de 25 anos.....	52
Figura 24 -Comparação entre Método Racional e Método do SCS para Tempo de Retorno de 50 anos.....	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Fator de redução	16
Tabela 2 - Valores do Coeficiente de Escoamento Superficial.....	22
Tabela 3 - Valores de CN em função da cobertura e do tipo hidrológico de solo (Condição II de umidade).....	26
Tabela 4 - Valores de CN em função da cobertura e do tipo hidrológico de solo desconsiderando a área impermeável (Condição II de umidade).	27
Tabela 5 - HU Adimensional do SCS.....	30
Tabela 6 - Características da bacia e sub-bacias.	33
Tabela 7 - Intensidade da Chuva de Projeto	35
Tabela 8 - Coeficiente de Escoamento Superficial da Bacia	36
Tabela 9 - Valores de C de acordo com os períodos de retorno	36
Tabela 10 - Vazões de Pico estimadas pelo Método Racional	36
Tabela 11 - Distribuição Temporal de Huff - 1º quartil – probabilidade 50%.	39
Tabela 12 - Crescimento Populacional.....	41
Tabela 13 - Impermeabilidade por bairros.....	41
Tabela 14 - Área Impermeável por sub-bacia.....	42
Tabela 15 - Valores de CN utilizados.....	42
Tabela 16 - CN da bacia e sub-bacias	42
Tabela 17 - Tempo de Concentração e Tempo de Retardo para cada Sub-bacia.....	43
Tabela 18 - Vazões de Pico Estimadas pelo Método do SCS.....	48
Tabela 19 - Comparação entre Método Racional e Método do SCS para Tempo de Retorno de 5 anos.....	49
Tabela 20 - Comparação entre Método Racional e Método do SCS para Tempo de Retorno de 10 anos.....	50

Tabela 21 - Comparação entre Método Racional e Método do SCS para Tempo de Retorno de 15 anos.....	51
Tabela 22 - Comparação entre Método Racional e Método do SCS para Tempo de Retorno de 25 anos.....	52
Tabela 23 - Comparação entre Método Racional e Método do SCS para Tempo de Retorno de 50 anos.....	53

LISTA DE SIGLAS

BID – Banco Interamericano de Desenvolvimento

HEC-HMS - Hydrologic Engineering Center - Hydrologic Modeling System

HUS – Hidrograma Unitário Sintético

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IPPUJ – Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Joinville

PMJ – Prefeitura Municipal de Joinville

SCS – Soil Conservation Service

SE – Setor Especial

SEINFRA – Secretaria de Infra-Estrutura Urbana

SMS – Secretaria Municipal de Saúde

ZC – Zona Comercial

ZCD – Zona Corredor Diversificado

ZI – Zona Industrial

ZPR – Zona de Proteção de Áreas Rodoviárias

ZR – Zona Residencial

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	12
2.	OBJETIVOS	13
2.1.	OBJETIVO GERAL	13
2.2.	OBJETIVO ESPECÍFICO	13
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
3.1.	PRECIPITAÇÕES MÁXIMAS	13
3.1.1.	Precipitação Máxima Pontual	14
3.1.2.	Equação de Chuvas Intensas.....	15
3.1.3.	Distribuição Temporal.....	15
3.1.4.	Distribuição Espacial	16
3.1.5.	Escolha do Período de Retorno.....	17
3.2.	TEMPO DE CONCENTRAÇÃO	17
3.3.	TEMPO DE RETARDO.....	18
3.4.	ESCOAMENTO SUPERFICIAL.....	18
3.4.1.	Métodos de Análise.....	20
3.4.2.	Determinação da Precipitação Excedente	20
3.4.3.	Hidrogramas	20
3.5.	MÉTODO RACIONAL.....	21
3.5.1.	Coeficiente de Escoamento Superficial.....	22
3.6.	MÉTODO DO SOIL CONSERVATION SERVICE.....	23
3.6.1.	Chuva Excedente	23
3.6.2.	Número de Curva	25
3.6.2.1.	Uso e Ocupação do Solo.....	27
3.6.3.	Área Impermeável.....	29
3.6.4.	Hidrograma Unitário Sintético - SCS	30
3.6.5.	Modelo Computacional HEC-HMS.....	31
4.	METODOLOGIA	32
4.1.	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA	32
4.2.	APLICAÇÃO DO MÉTODO RACIONAL	35
4.2.1.	Chuvas Intensas	35
4.2.2.	Características Fisiográficas.....	35
4.2.2.1.	Coeficiente de Escoamento Superficial.....	35
4.2.3.	Estimativa da Vazão.....	36
4.3.	APLICAÇÃO DO MÉTODO DO SCS	37
4.3.1.	Chuvas Intensas	37
4.3.1.1.	Equação de Chuvas Intensas	37
4.3.1.2.	Distribuição Temporal.....	38
4.3.1.3.	Distribuição Espacial.....	40
4.3.2.	Características Fisiográficas.....	41
4.3.2.1.	Área Impermeável	41
4.3.2.2.	Número de Curva	42
4.3.2.3.	Tempo de Concentração e Tempo de Retardo.....	43
4.3.3.	Modelagem Computacional.....	43
4.3.3.1.	Hidrogramas do Método do SCS	44
5.	COMPARAÇÃO DAS VAZÕES DE PICO ENTRE O MÉTODO RACIONAL E O MÉTODO DO SCS.....	48
6.	CONCLUSÃO	54
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	55

1. INTRODUÇÃO

O Brasil apresentou ao longo das últimas décadas, um crescimento significativo da população urbana. Esta corresponde hoje a cerca de 80% da população total, contra 40% na década de 40. Este processo de urbanização acelerado gerou uma população urbana praticamente sem infra-estrutura, principalmente na década de 80, quando os investimentos foram reduzidos (TUCCI, 2002).

Em decorrência do crescimento urbano desenfreado, a ocorrência de inundações nas áreas urbanas tem se tornado mais freqüente, acarretando problemas sociais, econômicos e de saúde pública.

O desenvolvimento das cidades ocorre geralmente ao longo dos rios, causando inundações principalmente nas áreas de jusante em face da ocupação das regiões de montante, causando muitos prejuízos. Estas inundações ocorrem devido à crescente impermeabilização dos solos, que provoca um aumento da velocidade dos escoamentos, diminuindo seu tempo de concentração e aumentando o pico da vazão. Além disso, a ocupação urbana de áreas ribeirinhas suprime o leito natural dos rios, ocasionando também um aumento dos picos de vazão.

Para minimizar os danos das inundações, podem ser tomadas medidas de controle estruturais e não estruturais (CANHOLI, 2005).

As medidas não estruturais têm caráter preventivo, como a regulamentação do uso e ocupação do solo. São necessárias medidas de regulamentação de faixas de proteção não edificáveis; aumento da fiscalização; elaboração de uma legislação que controle a taxa de impermeabilização do solo na implantação de novos loteamentos e que desestime a ocupação de áreas inundáveis; declarar áreas de inundações freqüentes como áreas de utilidade pública; impedir a expansão de outros serviços públicos, como água, esgoto, iluminação pública; e fixação de incentivos fiscais para que os terrenos inundáveis permaneçam ociosos. Esses controles devem ser estabelecidos na elaboração do Plano Diretor de Drenagem Urbana do município (CANHOLI, 2005).

As medidas estruturais compreendem as obras de engenharia, e visam à correção ou prevenção dos problemas decorrentes de inundações. Para isso, são necessários métodos para a estimativa das vazões de projeto, contemplando a urbanização atual e a do crescimento futuro da região (CANHOLI, 2005).

O método racional para a estimativa das vazões é amplamente difundido, por ser de fácil aplicação. Esse método é utilizado para os projetos de macrodrenagem da Unidade de Drenagem da Prefeitura Municipal de Joinville (PMJ), em Santa Catarina.

A cidade apresenta problemas de inundações devido à urbanização e à sua densa malha fluvial. Para minimizar os problemas, firmou com o Banco Interamericano de Desenvolvimento um programa de redução de riscos de inundações. Por isso, começou-se a elaborar estudos mais complexos, a partir do uso do método do SCS visando gerar economia nos custos que envolvem as obras de macrodrenagem.

Algumas particularidades foram determinantes na escolha deste trabalho, tais como, a possibilidade de acompanhar o desenvolvimento da aplicação prática do método do SCS na elaboração do Plano Diretor de Macrodrenagem do município de Joinville, exigência do BID, para definição de execução de obras através da modelagem hidrológica e hidráulica dos rios da bacia do rio Cachoeira; a comparação dos dados obtidos por este método com o Método Racional até então utilizado pela Unidade de Drenagem; ter a oportunidade de conhecer a

estrutura técnica formada na área de drenagem urbana na maior cidade do estado de Santa Catarina. A comparação entre os dois métodos utilizados faz parte do trabalho que está sendo executado pela equipe da Prefeitura Municipal de Joinville e precisará ser desenvolvida posteriormente para os demais rios integrantes da bacia do rio Cachoeira, para que fique confirmada a viabilidade econômica das obras a serem futuramente executadas dentro do convênio firmado.

Para a análise dos métodos utilizados foi estudada a bacia hidrográfica do Rio Bom Retiro, pertencente à bacia hidrográfica do Rio Cachoeira. O Rio Cachoeira drena a maior parte da área urbana da cidade de Joinville, atingindo aproximadamente 85 km²; e tem um elevado grau de poluição devido ao despejo de esgotos domésticos e efluentes no sistema de drenagem pluvial (JOINVILLE, 1998). A bacia hidrográfica do rio Bom Retiro encontra-se inserida na área urbana de Joinville, e abrange os bairros Bom Retiro, Saguaçu e Santo Antônio.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho é analisar os métodos Racional e SCS utilizados para estimativas de vazões de pico pela Unidade de Drenagem da Secretaria de Infra-estrutura Urbana da Prefeitura Municipal de Joinville (SEINFRA).

2.2. OBJETIVO ESPECÍFICO

- Comparar as vazões de pico estimadas pelo Método Racional e pelo Método do SCS.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. PRECIPITAÇÕES MÁXIMAS

As chuvas intensas ou precipitações máximas são definidas como aquelas chuvas cujas intensidades ultrapassam um determinado valor mínimo. O estudo das precipitações máximas é um dos caminhos para conhecer a vazão de enchente de uma bacia (TUCCI, 1995).

A construção de obras de drenagem urbana envolve custos associados a riscos, portanto seu dimensionamento deve proporcionar segurança efetiva à população e a aplicação justa dos recursos públicos. A escolha da chuva de projeto e de seu período de retorno definirá o risco da obra (TUCCI, 1995).

3.1.1. Precipitação Máxima Pontual

“A precipitação máxima pontual pode ser caracterizada através das relações intensidade-duração-freqüência. Essas relações são obtidas através de uma série de dados de chuvas intensas, suficientemente longas e representativas do local de interesse.” (TUCCI et al, 1995).

A partir dos dados de precipitação, observa-se que quanto maior a duração da chuva, menor é sua intensidade; e também que os maiores valores de intensidade são menos freqüentes. Estas relações podem ser traduzidas por curvas de intensidade-duração com determinada freqüência (período de retorno). As curvas também podem ser expressas por equações genéricas com a seguinte forma (BACK, 2002):

$$i = \frac{a \times Tr^b}{(t + c)^d} \quad (01)$$

Onde:

i = intensidade (mm.h⁻¹);

Tr = período de retorno (anos);

t = duração da precipitação (minutos);

a, b, c e d = parâmetros que devem ser determinados para cada local.

Segundo Tucci (2004), Pfafstetter (1957) apresentou um trabalho pioneiro para diferentes regiões brasileiras na determinação das relações intensidade-duração-freqüência. Estas relações foram estabelecidas para 98 postos pluviográficos espalhados no Brasil, e para cada posto obteve-se a seguinte equação empírica:

$$P = R \times [a \times t + b \times \log(1 + c \times t)] \quad (02)$$

Onde:

P = precipitação máxima (mm);

t = duração da precipitação (horas);

a, b e c = constantes para cada posto;

R = fator de probabilidade.

$$R = Tr^{(\alpha + \beta/Tr^\gamma)} \quad (03)$$

Onde:

Tr = período de retorno (anos);

α e β = valores que dependem da duração da precipitação;

γ = constante.

3.1.2. Equação de Chuvas Intensas

A equação de chuvas intensas que vinha sendo utilizada para a cidade de Joinville era a desenvolvida por Pfafetter (1957), para a cidade de São Francisco do Sul. Foi realizado um estudo comparativo por Lopes (2006) das equações existentes para a região, a partir de dados de duas estações pluviométricas que ainda estão em operação na zona urbana de Joinville.

Foi escolhida a equação de Back (2002), que utilizou a estação pluviométrica localizada na estação ferroviária do município, com uma série de dados compreendidos entre os anos de 1938 e 1998 para determinar as equações de chuvas intensas apresentadas a seguir:

$$i = \frac{641,7 \times Tr^{0,2290}}{(t + 8,8)^{0,6859}} \quad \text{para } t \leq 120 \text{ minutos} \quad (04)$$

$$i = \frac{1201,9 \times Tr^{0,2270}}{(t + 23,3)^{0,8025}} \quad \text{para } 120 < t \leq 1440 \text{ minutos} \quad (05)$$

Onde:

i = intensidade da chuva ($\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$);

Tr = período de retorno (anos);

t = duração da chuva (min).

3.1.3. Distribuição Temporal

O hietograma mostra a intensidade de uma chuva ao longo de sua duração. Pode ser representado de forma contínua no tempo; em intervalos constantes de tempo, onde se mostram as intensidades médias em cada intervalo; ou ainda relacionando a chuva acumulada desde o início da precipitação com a duração (TUCCI et al, 1995).

“A interação entre a distribuição temporal da chuva e o tempo de resposta da bacia hidrográfica vai determinar os valores da vazão máxima do hidrograma gerado por uma chuva e o instante de ocorrência. Em função das curvas de infiltração da bacia, que dependem da condição de umidade inicial e do uso e tipo de solo; e da

distribuição temporal da chuva, haverá variação do volume do escoamento superficial da bacia.” (TUCCI et al, 1995).

Um modelo de distribuição temporal das chuvas é o método de Huff. Neste método, cada tormenta teve sua duração dividida em quatro partes, chamadas quartis. Assim, as tormentas foram classificadas e agrupadas de acordo com o quartil em que a chuva mais intensa ocorreu. Fez-se então uma análise estatística para os dados de chuva de cada quartil, com o objetivo de se obter as curvas de distribuição temporal, associadas a uma probabilidade de ocorrência (TUCCI et al, 1995).

Para a obtenção destes dados a região monitorada foi a Centro-Leste do Estado de Illinois (EUA), onde foram analisados onze anos de registros de chuva de 49 postos pluviográficos de uma área de cerca de 1.000 km² (CANHOLI, 2005).

3.1.4. Distribuição Espacial

“Conforme a área aumenta, a precipitação média para a área diminui. Utilizando dados selecionados do U.K. Meteorological Office (1982), a Tabela 1 foi desenvolvida para ilustrar a diminuição do fator de redução da chuva com o aumento de áreas para durações variadas de tempestades. O fator de redução da chuva é calculado como a proporção da área média de precipitação em relação à máxima precipitação medida em um ponto da área.” (U.K. INSTITUTE OF HYDROLOGY FLOOD STUDIES REPORT, 1975, tradução SEINFRA).

Tabela 1 - Fator de redução

Duração	Área da Bacia Hidrográfica (km ²)									
	1	5	10	30	100	300	1.000	3.000	10.000	30.000
5 min	0,9	0,82	0,76	0,65	0,51	0,38	–	–	–	–
10 min	0,93	0,87	0,83	0,73	0,59	0,47	0,32	–	–	–
15 min	0,94	0,89	0,85	0,77	0,64	0,53	0,39	0,29	–	–
30 min	0,95	0,91	0,89	0,82	0,72	0,62	0,51	0,41	0,31	–
60 min	0,96	0,93	0,91	0,86	0,79	0,71	0,62	0,53	0,44	0,35
2 h	0,97	0,95	0,93	0,9	0,84	0,79	0,73	0,65	0,55	0,47
3 h	0,97	0,96	0,94	0,91	0,87	0,83	0,78	0,71	0,62	0,54
6 h	0,98	0,97	0,96	0,93	0,9	0,87	0,83	0,79	0,73	0,67
24 h	0,99	0,98	0,97	0,96	0,94	0,92	0,89	0,86	0,83	0,8
48 h	–	0,99	0,98	0,97	0,96	0,94	0,91	0,88	0,86	0,82

Fonte: U.K. Institute of Hidrology Flood Studies Report (1975).

3.1.5. Escolha do Período de Retorno

Período de retorno é entendido como o tempo no qual um determinado evento hidrológico pode ser igualado ou excedido em um ano qualquer.

A escolha do período de retorno da tormenta de projeto significa a escolha de um risco aceitável para a obra desejada. Devem-se levar em conta os riscos envolvidos quanto à segurança da população e as perdas materiais, lembrando que quanto maior a segurança da obra, mais elevado o custo da mesma.

“Ao se decidir, portanto, que uma obra será projetada para uma vazão com período de retorno T anos, automaticamente, decide-se o grau de proteção conferido à população. Trata-se, portanto, de escolher qual o “risco aceitável” pela comunidade.” (PORTO, 1995).

3.2. TEMPO DE CONCENTRAÇÃO

Tempo de concentração é o tempo que leva para que toda a bacia considerada contribua para o escoamento superficial (TOMAZ, 2002).

Silveira (2005) avaliou o desempenho de 23 fórmulas de tempo de concentração, e observou que as fórmulas de tempo de concentração “urbanas” mostraram maior dificuldade de estimação em bacias urbanas do que as fórmulas rurais tiveram em bacias rurais. Apenas três delas foram coerentes com as magnitudes de áreas de bacia teoricamente recomendáveis para elas, que foram as fórmulas de Schaake (1967), Carter (1961) e Desbordes (1974).

Destas, as fórmulas de Carter e de Desbordes se mostraram coerentes com as características da região em estudo. A fórmula de Carter é apresentada a seguir:

$$T_c = 0,0997 \times L^{0,6} \times I^{-0,3} \quad (06)$$

Onde:

T_c = tempo de concentração (horas);

L = comprimento do talvegue (km);

I = declividade média (m/m).

A equação proposta por Desbordes é a seguinte:

$$T_c = 0,0869 \times A^{0,3039} \times I^{-0,3832} \times A_{imp}^{-0,4523} \quad (07)$$

Onde:

T_c = tempo de concentração (horas);

A = área da bacia (km²);

I = declividade média (m/m);

A_{imp} = área impermeável da bacia (km²).

3.3. TEMPO DE RETARDO

O tempo de retardo é o intervalo de tempo entre o centro de massa do hietograma da precipitação excedente e a ocorrência da vazão de pico do hidrograma (PORTO, 1995).

Este tempo de retardo intervém nos modelos de alguns hidrogramas unitários sintéticos, como os hidrogramas de Snyder e do SCS (PORTELA, 2006). O Soil Conservation Service propõe a seguinte relação entre este parâmetro e o tempo de concentração:

$$t_R = 0,6 \times T_c \quad (08)$$

Onde:

t_R = tempo de retardo (horas);

T_c = tempo de concentração (horas).

3.4. ESCOAMENTO SUPERFICIAL

“A análise criteriosa do escoamento superficial, que inclui a determinação da vazão de pico, o volume e a forma do hidrograma, bem como o período de retorno associado a esses valores, constitui um dos mais importantes fatores de sucesso de um projeto de drenagem urbana. Erros cometidos nessa fase poderão introduzir incoerências graves no planejamento da bacia e acarretarão obras sub ou superdimensionadas.” (PORTO, 1995).

A vazão que atravessa a seção transversal de um rio após a ocorrência de precipitação não provém inteiramente desta precipitação que atingiu a bacia hidrográfica, afinal já existe um escoamento no curso d'água, que se mantém após o término da precipitação. Assim, podem-se distinguir duas componentes fundamentais do hidrograma; o escoamento de base e o escoamento superficial (PORTELA, 2006).

O comportamento do hidrograma típico de uma bacia é apresentado na Figura 1. O nível do hidrograma começa a se elevar após um intervalo de tempo do início da precipitação. Isto ocorre devido às perdas iniciais por interceptação vegetal, armazenamento em depressões do solo, infiltração e também pelo tempo de deslocamento da água na bacia. Então, de acordo com a distribuição da precipitação, o hidrograma atinge um ponto máximo, e a seguir

apresenta um ramo descendente, onde se observa um ponto de inflexão, que caracteriza o fim do escoamento superficial (TUCCI, 2004).

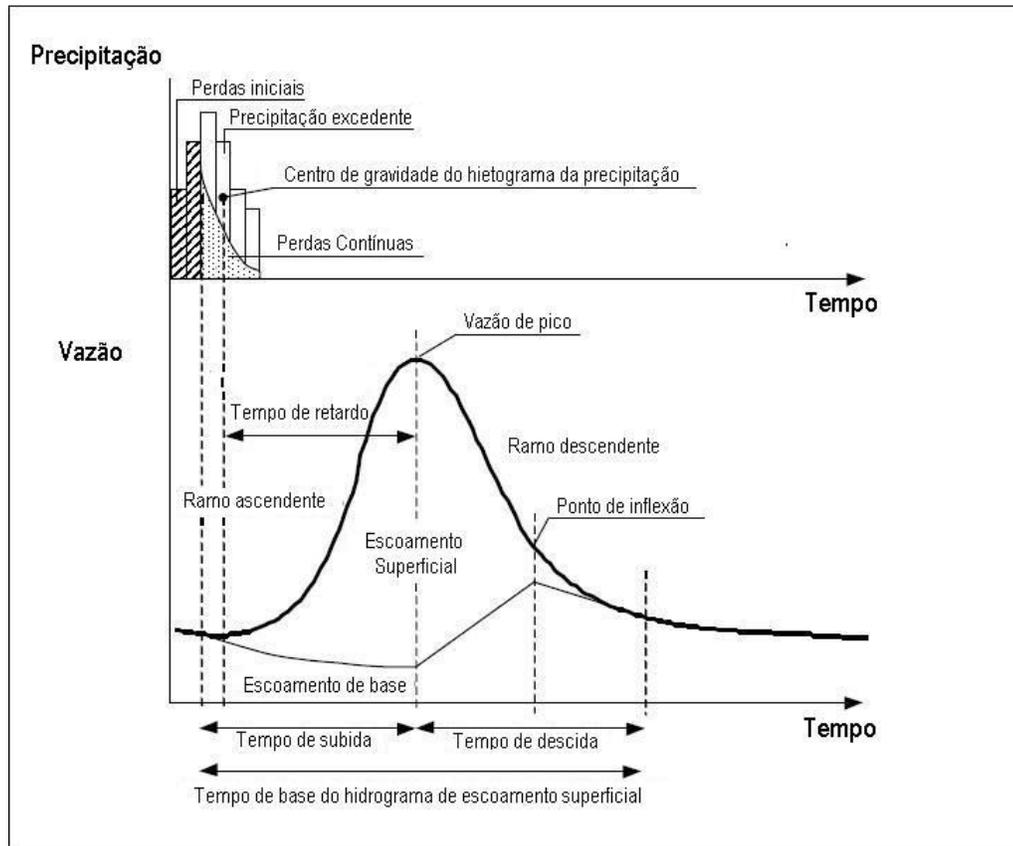


Figura 1 - Hidrograma.
Fonte: Portela (2006).

Vários fatores influenciam a forma do hidrograma, como (TUCCI, 2004):

- Relevo;
- Forma da bacia;
- Cobertura da bacia;
- Modificações artificiais no rio;
- Distribuição, duração e intensidade da precipitação;
- Solo.

3.4.1. Métodos de Análise

Costumam ser utilizados na hidrologia urbana o método racional, aplicável em pequenas bacias urbanas, e os métodos baseados na teoria do hidrograma unitário. Neles, a vazão de projeto e/ou hidrograma de cheias são determinados a partir de uma tormenta de projeto, da qual são descontadas as diversas perdas que ocorrem na bacia. O período de retorno das vazões é, por hipótese, considerado igual ao período de retorno da tormenta de projeto, apesar de nem sempre as mesmas tormentas apresentarem as mesmas vazões. Isso se deve às condições antecedentes de umidade do solo e as modificações das condições de escoamento da bacia alterarem as relações entre as chuvas e as vazões (PORTO, 1995).

3.4.2. Determinação da Precipitação Excedente

“O escoamento superficial direto, ou precipitação excedente, é a parcela da precipitação total que escoia inicialmente pela superfície do solo, concentrando-se em enxurradas e, posteriormente, em cursos de água maiores e mais bem definidos. A chuva excedente é a maior responsável pelas vazões de cheia, principalmente em bacias pequenas e urbanizadas.” (PORTO, 1995).

A lâmina de chuva excedente, multiplicada pela área de drenagem, fornece o volume do escoamento superficial direto. A chuva excedente é calculada levando em conta o total precipitado, o tipo de solo, sua ocupação, umidade antecedente, entre outros.

Por se basearem normalmente em relações empíricas, alguns dos métodos são de frágil fundamentação teórica. Apesar disso, são largamente utilizados, por serem de uso fácil e fornecerem resultados satisfatórios quando empregados com discernimento. Exemplos típicos destes métodos são o método do número da curva do SCS e o método do coeficiente de escoamento superficial, utilizado para a estimativa das vazões de pico no método racional (PORTO, 1995).

3.4.3. Hidrogramas

Hidrograma é o gráfico das vazões ao longo do tempo. Como consequência, a área abaixo dessa curva é o volume de escoamento superficial direto, causado por uma chuva excedente sobre a área de drenagem. Um hidrograma é caracterizado pelo seu volume e pela sua forma, que determinam o valor da vazão de pico. (PORTO, 1995).

O hidrograma unitário é o hidrograma produzido por uma unidade de chuva excedente distribuída uniformemente sobre a bacia com uma duração especificada. Ele pode ser determinado pela análise de dados de precipitação e vazão, ou por meio de fórmulas empíricas, chamados de hidrogramas sintéticos. Na hidrologia urbana prevalecem os hidrogramas sintéticos, muitas vezes pelos dados em áreas urbanas serem escassos, e também pela necessidade de se determinar o hidrograma para condições futuras de ocupação (PORTO, 1995).

Os hidrogramas unitários sintéticos (HUS) são determinados a partir de características da bacia hidrográfica; como exemplo, os HUS de Snyder, de Clark e do SCS.

Snyder (1938) foi um dos primeiros a estabelecer um hidrograma unitário sintético, com dados dos Apalaches (EUA) com bacias de 30 a 30.000 km² de área de drenagem. Para definir o hidrograma unitário, estabeleceu equações para o cálculo do tempo de retardo, da vazão de pico e da duração total do escoamento (TUCCI, 2004).

Clark (1945) desenvolveu um hidrograma unitário instantâneo, em que considera dois componentes do movimento da água precipitada na bacia hidrográfica, sendo eles a translação e o amortecimento. A translação é o movimento da água ao longo dos canais em direção paralela ao fundo, e consiste em garantir que todas as subáreas da bacia contribuam na vazão; e o segundo corresponde ao armazenamento, onde o movimento da água é perpendicular ao fundo do canal e representa uma parcela da chuva excedente que fica retida na bacia. O amortecimento corresponde então à simulação de um reservatório linear para considerar a contribuição quando encerrada a chuva (PORTO, 1995).

O HUS do SCS é um hidrograma adimensional, em que as vazões e instantes de ocorrência são apresentados como frações relativas à vazão de pico do hidrograma e do tempo de pico (PORTELA, 2006). Este hidrograma unitário estará descrito mais detalhadamente no item 3.6.4 do presente trabalho.

3.5. MÉTODO RACIONAL

A primeira apresentação da fórmula racional é datada de 1851 e atribuída a Mulvaney, engenheiro irlandês, sendo que a mesma foi completamente ignorada até 1889, quando o engenheiro Emil Kuichling a utilizou intitulando-a de fórmula racional. Ela estabelece uma relação entre a chuva e o escoamento superficial (deflúvio). É usado para calcular a vazão de pico de uma determinada bacia, considerando uma seção de estudo. Na Inglaterra, o método racional é usado com o nome de método de Lloyd-Davis (TOMAZ, 2002).

O método racional é muito utilizado na estimativa da vazão máxima de projeto para bacias pequenas (até 2 km²). Este método segue alguns princípios básicos, como considerar a duração da precipitação intensa de projeto igual ao tempo de concentração; adotar um coeficiente único de perdas, estimado com base nas características da bacia; e não avaliar o volume da cheia e a distribuição temporal das vazões (TUCCI, 2004).

A vazão de pico para uma dada duração da chuva excedente, igual ao tempo de concentração, é calculada pela fórmula apresentada a seguir:

$$Q_p = \frac{C \times i \times A}{3,6} \quad (09)$$

Onde:

Q_p = vazão de pico (m³/s);

C = coeficiente de escoamento superficial;

i = intensidade da precipitação (mm.h^{-1});

A = área da bacia (km^2).

3.5.1. Coeficiente de Escoamento Superficial

O coeficiente de escoamento superficial considera vários fatores físicos da bacia hidrográfica, como o grau de impermeabilização da região, o tipo de solo e sua ocupação, a intensidade da chuva incidente na bacia, entre outros. Para maior facilidade de uso, este coeficiente foi convencionado de acordo com o tipo de utilização do solo (PORTO, 1995).

A Tabela 2 mostra valores do coeficiente de escoamento superficial para os diferentes tipos de utilização do solo (TOMAZ, 2002).

Tabela 2 - Valores do Coeficiente de Escoamento Superficial.

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

Fonte: Tomaz (2002).

Quando a bacia apresenta uma ocupação do solo muito variada, deve ser usada a média ponderada dos diferentes valores de coeficiente de escoamento em relação às suas respectivas áreas:

$$C = \frac{\sum C_i \times A_i}{A} \quad (10)$$

Onde:

C = coeficiente de escoamento superficial;

A = área total da bacia (km²);

C_i = coeficiente de escoamento superficial correspondente à ocupação i ;

A_i = área da bacia correspondente à ocupação i (km²).

Os coeficientes de escoamento “ C ” da Tabela 2 são válidos para um período de retorno de 10 anos. Para outros períodos deve-se usar a equação (PORTO, 1995):

$$C_T = 0,8 \times Tr^{0,1} \times C_{10} \quad (11)$$

Onde:

C_t = coeficiente de escoamento para o período de retorno Tr ;

Tr = período de retorno (anos);

C_{10} = coeficiente de escoamento superficial para o período de retorno de 10 anos.

3.6. MÉTODO DO SOIL CONSERVATION SERVICE

O método do Soil Conservation Service (SCS) é um método de distribuição temporal determinado pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos, em 1986. Ele especifica um hidrograma unitário adimensional, e resulta da análise de várias bacias nos Estados Unidos.

Este método foi adaptado para os solos do estado de São Paulo, e é suficientemente abrangente para ser aplicado em solos de outros estados (PORTO, 1995).

3.6.1. Chuva Excedente

Deve-se definir a parcela de precipitação que contribui para o escoamento superficial, chamada de precipitação excedente. A diferença entre esta e a precipitação total é a perda de precipitação, causada pelos processos de interceptação, infiltração, armazenamento em depressões do solo, evaporação e evapotranspiração.

O método do SCS admite que após uma precipitação, a razão entre a altura de precipitação retida na bacia hidrográfica após o início do escoamento superficial e a capacidade máxima de retenção de água na bacia é igual à razão entre a precipitação excedente e o escoamento superficial potencial. O escoamento superficial potencial é definido como sendo a diferença entre a precipitação e as perdas iniciais que ocorrem até o encharcamento da superfície (PORTELA, 2006).

$$\frac{F_a}{S} = \frac{P_e}{P - I_a} \quad (12)$$

Onde:

P = Precipitação (mm);

P_e = Precipitação excedente (mm);

F_a = altura da precipitação retida na bacia hidrográfica após o início do escoamento superficial (perdas contínuas de precipitação) (mm);

S = retenção potencial máxima (mm);

I_a = perdas iniciais (perdas por interceptação, armazenamento em depressões, evapotranspiração e infiltração que antecedem o encharcamento da superfície e a formação do escoamento à superfície do terreno) (mm);

$P - I_a$ = escoamento superficial potencial (mm).

Dessa forma, como pode ser visualizado na Figura 2, as perdas da precipitação seguem a equação 13.

$$P = P_e + I_a + F_a \quad (13)$$

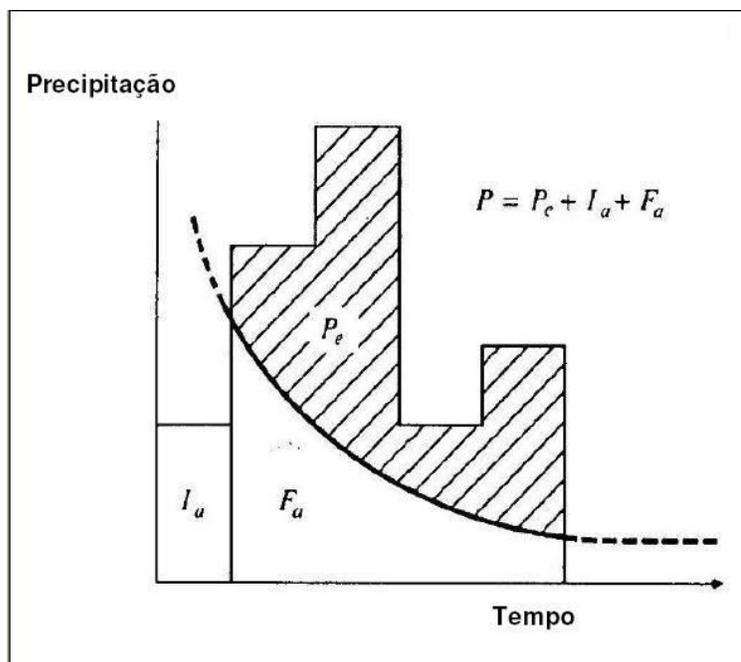


Figura 2 - Perdas de Precipitação

FONTE: Portela (2006).

Assim, obtém-se a equação do SCS para o escoamento superficial:

$$P_e = \frac{(P - 0,2S)^2}{P + 0,8S} \quad (14)$$

A quantidade de 20% da retenção potencial máxima de água na bacia é uma estimativa das perdas iniciais, com base em estudos experimentais. Assim, a equação é válida para a condição $P > 0,2S$ (PORTO, 1995).

Para determinar o valor da retenção potencial máxima, utiliza-se a equação 15 que relaciona este parâmetro com o número de curva (CN), que depende do tipo de solo, da ocupação e da umidade antecedente.

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (15)$$

Onde:

S = retenção potencial máxima (mm);

CN = número de curva.

3.6.2. Número de Curva

O número de curva depende do tipo de solo, condições de uso e ocupação do solo e da umidade antecedente. O SCS distingue quatro grupos hidrológicos de solos e três condições de umidade antecedente do solo (PORTO, 1995).

- *Grupo A – Solos arenosos com baixo teor de argila total, inferior a uns 8%, não havendo 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, esse limite pode subir a 20% graças à maior porosidade. Os dois teores de húmus podem subir, respectivamente, 1,2 e 1,5%. Não pode haver pedras e nem camadas argilosas até 1,5 m, mas é, quase sempre, presente camada mais densificada que a camada superior.*
- *Grupo C – Solos barrentos com teor total de argila de 20 a 30%, mas sem camadas argilosas impermeáveis ou contendo pedras até profundidades de 1,2 m. No caso de terras roxas, esses dois limites máximos podem ser de 40% e 1,5 m. 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 50 cm de profundidade. Ou solos arenosos como B, mas com camada argilosa quase impermeável, ou horizonte de seixos rolados. (PORTO, 1995).*
- *CONDIÇÃO I – Solos secos – As chuvas, nos últimos cinco dias, não ultrapassaram 15 mm.*

- *CONDIÇÃO II – Situação média na época das cheias – As chuvas, nos últimos cinco dias, totalizaram de 15 a 40 mm.*
- *CONDIÇÃO III – Solo úmido (próximo da saturação) - As chuvas, nos últimos cinco dias, foram superiores a 40 mm, e as condições meteorológicas foram desfavoráveis a altas taxas de evaporação.*

A determinação do CN é realizada em função do tipo de uso e do grupo hidrológico do solo para a condição II por meio da Tabela 3.

Tabela 3 - Valores de CN em função da cobertura e do tipo hidrológico de solo (Condição II de umidade).

Tipos de uso do solo/Tratamento/Condições Hidrológicas		Grupo Hidrológico			
		A	B	C	D
Uso Residencial					
Tamanho Médio do Lote	% Impermeável				
até 500 m ²	65	77	85	90	92
1000 m ²	38	61	75	83	87
1500 m ²	30	57	72	81	86
Estacionamentos pavimentados, telhados		98	98	98	98
Ruas e estradas:					
pavimentadas, com guias e drenagem		98	98	98	98
com cascalho		76	85	89	91
de terra		72	82	87	89
Áreas comerciais (85% de impermeabilização)		89	92	94	95
Distritos industriais (70% de impermeabilização)		81	88	91	93
Espaços abertos, parques, jardins:					
boas condições, cobertura de grama > 75%		39	61	74	80
condições médias, cobertura de grama > 50%		49	69	79	84
Pasto	condições ruins				
	médias	68	79	86	89
	boas	49	69	79	84
	boas	39	61	74	80
curva de nível	condições ruins	47	67	81	88
	médias	25	59	75	83
	boas	6	35	70	79
Campos	condições boas	30	58	71	78
Florestas	condições ruins	45	66	77	83
	médias	36	60	73	79
	boas	25	55	70	77

Fonte: Porto (1995).

Esta tabela foi ajustada desconsiderando a área impermeável, resultando na Tabela 4.

Tabela 4 - Valores de CN em função da cobertura e do tipo hidrológico de solo desconsiderando a área impermeável (Condição II de umidade).

Tipos de uso do solo/Tratamento/Condições Hidrológicas	Grupo Hidrológico			
	A	B	C	D
Uso Residencial				
Tamanho Médio do Lote				
até 500 m ²	38	61	75	81
1000 m ²	38	61	74	80
1500 m ²	39	61	74	81
Estacionamentos pavimentados, telhados	98	98	98	98
Ruas e estradas:				
pavimentadas, com guias e drenagem	98	98	98	98
com cascalho	76	85	89	91
de terra	72	82	87	89
Áreas comerciais	38	58	71	78
Distritos industriais	37	62	73	80
Espaços abertos, parques, jardins:				
boas condições, cobertura de grama	19	49	66	74
condições médias, cobertura de grama	0	40	60	70
Pasto				
condições ruins	68	79	86	89
médias	49	69	79	84
boas	39	61	74	80
curva de nível				
condições ruins	47	67	81	88
médias	25	59	75	83
boas	6	35	70	79
Campos				
condições boas	30	58	71	78
Florestas				
condições ruins	45	66	77	83
médias	36	60	73	79
boas	25	55	70	77

Uma forma de aplicação do método do SCS em áreas urbanizadas é fazer uso de tabelas que consideram os tipos de ocupação do solo, característicos de áreas urbanas. Se a bacia apresentar diversos tipos de solo e ocupação, deve-se adotar um valor de CN obtido pela média ponderada dos CNs correspondentes às áreas homogêneas (PORTO, 1995).

3.6.2.1. Uso e Ocupação do Solo

A Lei Complementar nº 27/ 96 e suas alterações instituem o regime urbanístico do uso, ocupação e parcelamento do solo. De acordo com esta normatização, o zoneamento do uso do solo de Joinville tem a seguinte estruturação (JOINVILLE, 1996):

- **Zonas Residenciais (ZR)**

Destinadas à função residencial unifamiliar ou multifamiliar, facultado outros usos complementares, subdivididos em:

- I- Zona Residencial Unifamiliar em área de Uso e Ocupação Restrita (ZR1);*
- II- Zona Residencial Unifamiliar em área de Uso Restrito (ZR2);*
- III- Zona Residencial Multifamiliar em área de Uso e Ocupação Restrita (ZR3);*
- IV- Zona Residencial Multifamiliar em área de Uso Restrito (ZR4);*
- V- Zona Residencial Multifamiliar Prioritária (ZR5);*
- VI- Zona Residencial Multifamiliar Diversificada (ZR6);*

- **Zonas Corredor Diversificado (ZCD)**

Destinadas à concentração de usos residenciais, comerciais e de serviços, caracterizando:

- I- Corredor Diversificado de expansão da área Central (ZCD1);*
- II- Corredor Diversificado de Centro de Bairros (ZCD2);*
- III- Corredor Diversificado Principal (ZCD3);*
- IV- Corredor Diversificado Secundário (ZCD4);*
- V- Corredor Diversificado de Acesso Turístico (ZCD5).*

- **Zona Central (ZC)**

Destinada principalmente às funções de administração pública, comércio e serviços de âmbito geral, subdividida em:

- I- Zona Central Tradicional (ZCT);*
- II- Zona Central Expandida (ZCE).*

- **Setores Especiais (SE)**

São áreas que em função de programas e/ou projetos de interesse público previsto, existência de características ambientais ou da sua posição na estrutura urbana, requeiram um tratamento de uso e ocupação específico, caso a caso, de maneira diferenciada das demais zonas. Classificam-se em:

- I- Setor Especial do Patrimônio Ambiental Urbano (SE1) - compreende as áreas que apresentam conjuntos arquitetônicos ou elementos naturais de interesse histórico, paisagístico ou cultural que devem ser preservados;*
- II- Setor Especial de Urbanização Específica (SE2) - compreende as áreas destinadas ao desenvolvimento de assentamentos urbanos vinculados a programas de habitação popular ou programas de regularização fundiária, na forma estabelecida em lei, que em função de suas características requeiram tratamento urbanístico específico;*
- III- Setor Especial Militar (SE3) - compreende as áreas destinadas às instalações militares e/ou segurança, bem como suas faixas de proteção quando existentes;*
- IV- Setor Especial Educacional (SE4) - compreende a área destinada à implantação do complexo do "campus" universitário e demais equipamentos educacionais que pelo seu porte requeiram tratamento especial;*
- V- Setor Especial de áreas Verdes (SE5) - compreende as áreas que, pela sua situação e atributos naturais, devam ser preservados e/ou requeiram um regime de ocupação especialmente adaptado a cada caso, podendo constituir reservas biológicas, áreas residenciais de ocupação restrita, áreas de lazer, complexos turísticos, recreação e turismo;*
- VI- Setor Especial de Interesse Público (SE6) - destina-se à proteção do entorno de equipamentos urbanos existentes ou de locais onde devem ocorrer programas ou projetos de interesse público que, por suas características, requeiram um regime urbanístico específico, adequado à valorização da obra de interesse público ou do programa;*
- VII- Setor Especial de Controle de Ocupação de Várzeas (SE7) - compreende as áreas sujeitas a inundações, onde devem ocorrer programas ou projetos*

governamentais, que por suas características, requeiram um regime de ocupação específico.

- **Zona Industrial (ZI)**

Destinada à localização de atividades industriais e complementares.

- **Zona de Proteção de áreas Rodoviárias (ZPR)**

Destinada à proteção das rodovias, contenção da ocupação intensiva de caráter residencial e à localização preferencial de usos compatíveis com as atividades rodoviárias, subdividida em:

I- Zona de Proteção da Faixa Rodoviária da BR-101 (ZRP1) - faixa linear igual a 200m (duzentos metros) de largura para ambos os lados, contados a partir do eixo da rodovia;

II- Zona de proteção da Faixa Rodoviária da SC- 301 (ZPR2) - faixa linear igual a 150m

III- (cento e cinquenta metros) de largura para ambos os lados, contados a partir do eixo da rodovia;

IV- Zona de Proteção da Faixa rodoviária da antiga SC- 415 (ZRP2) - faixa linear de 150m

V- (cento e cinquenta metros) de largura para ambos os lados a partir do eixo da Avenida Santos Dumont (FONTE: IPPUJ, 2007).

3.6.3. Área Impermeável

As bacias urbanas necessitam ser planejadas considerando os futuros desenvolvimentos, mas na maioria delas não existe o detalhamento de como será a ocupação futura da bacia. Os modelos matemáticos hidrológicos utilizam a área impermeável como um parâmetro para a simulação do escoamento com base na precipitação, enquanto o planejamento urbano utiliza a densidade habitacional como indicador do desenvolvimento urbano (CAMPANA e TUCCI, 1994).

O coeficiente de escoamento pode ser relacionado com a densidade habitacional (DH), calculando a área impermeável de uma bacia hidrográfica a partir da seguinte equação (TUCCI, 2000):

$$A_{imp} = 0,00489 \times DH \quad (16)$$

Onde:

A_{imp} = parcela impermeável da área total (variando de 0 a 1);

DH = densidade habitacional (hab/ha).

Esta relação é válida para DH menor que 120 habitantes/ha, e deve ser utilizada para bacias acima de 2 km², com ocupação predominantemente residencial.

3.6.4. Hidrograma Unitário Sintético - SCS

O hidrograma unitário sintético do SCS é um hidrograma curvilíneo adimensional, onde as vazões e seus respectivos tempos de ocorrência são apresentados como frações da vazão de pico do hidrograma (Q_p) e do tempo relativo à ocorrência desta vazão (t_p). Assim, conhecendo os valores de t_R e Q_p pode-se determinar as outras ordenadas utilizando a Tabela 5 (TUCCI, 2004).

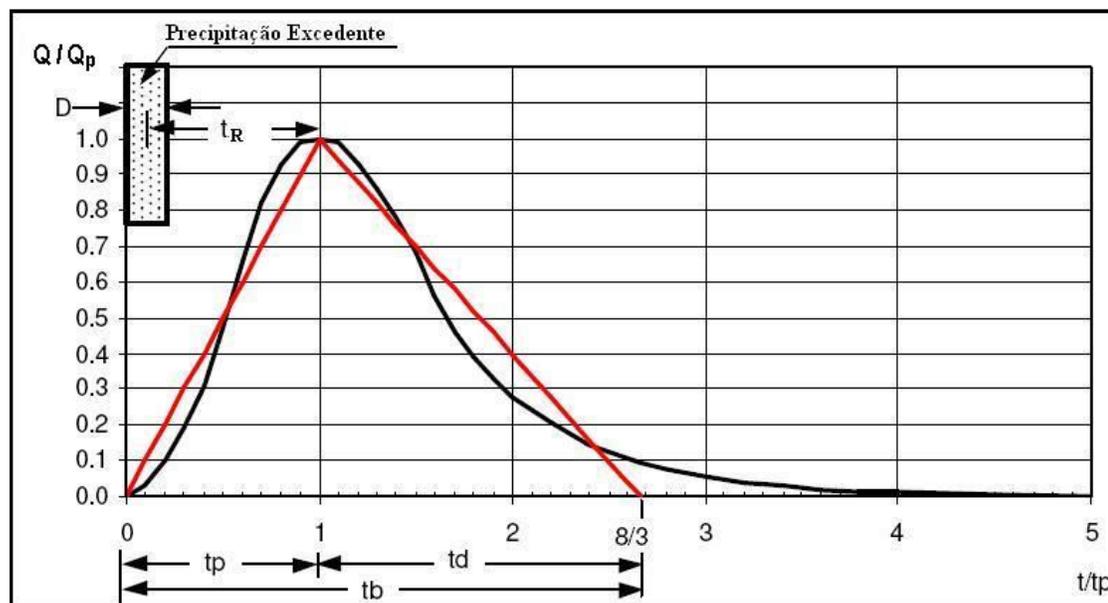


Figura 3 - HUS do SCS e o correspondente hidrograma triangular.

Fonte: Portela (2006).

Tabela 5 - HU Adimensional do SCS

t/t_p	Q/Q_p	t/t_p	Q/Q_p	t/t_p	Q/Q_p
0	0	1	0,97	2,2	0,32
0,1	0,015	1,1	1	2,4	0,24
0,2	0,075	1,2	0,989	2,6	0,18
0,3	0,16	1,3	0,92	2,8	0,13
0,4	0,28	1,4	0,84	3	0,098
0,5	0,43	1,5	0,75	3,5	0,075
0,6	0,6	1,6	0,66	4	0,036
0,7	0,77	1,8	0,56	4,5	0,018
0,8	0,89	2	0,42	5	0

Fonte: TUCCI (2004).

O hidrograma unitário curvilíneo pode ser aproximado pelo hidrograma unitário triangular, que tem um menor tempo de base, mas que apresenta semelhante porcentagem do volume de cheia no ramo ascendente (PORTELA, 2006).

Para a precipitação unitária de 1 mm, a vazão de pico do hidrograma unitário é definida pela seguinte equação:

$$Q_p = \frac{2,08 \times A}{t_p} \quad (17)$$

Onde:

Q_p = vazão de pico (m³/s);

A = área da bacia hidrográfica (km²);

t_p = tempo de pico (horas).

O tempo de pico do hidrograma é o tempo contado do início da precipitação:

$$t_p = \frac{t}{2} + t_R \quad (18)$$

Onde:

t = duração da precipitação (horas);

t_R = tempo de retardo (horas).

O tempo de retardo pode ser obtido pela seguinte equação:

$$t_R = 0,6 \times Tc \quad (19)$$

3.6.5. Modelo Computacional HEC-HMS

O programa computacional HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center - Hydrologic Modeling System) será utilizado para estimar as vazões pelo método do SCS. Este programa foi desenvolvido pelo Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos, e projetado para simular os processos de escoamento a partir dos dados de precipitação em uma bacia hidrográfica ramificada. É aplicável em uma larga escala de áreas geográficas, desde grandes bacias naturais até pequenas bacias urbanas.

A representação física da bacia é feita através de elementos hidrológicos, como sub-bacias, propagações, junções, reservatórios; que são conectados entre si para a simulação do escoamento superficial.

Os dados de entrada do programa são:

- Dados fisiográficos da bacia
 - Área drenante;
 - Numero de Curva;
 - Percentual de área impermeável;
 - Tempo de retardo;
 - Geometria das propagações (seção transversal, rugosidade, comprimento e declividade);

- Dados da precipitação de projeto
 - Curva da distribuição temporal e espacial acumulada da precipitação;

- Dados de Controle
 - Intervalos de tempo da simulação.

A partir desses dados é efetuada a simulação computacional que resulta como dados de saída os hidrogramas de cheia gerados pela precipitação de projeto em cada elemento inserido na estrutura da bacia.

4. METODOLOGIA

4.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

A bacia hidrográfica do Rio Bom Retiro pertence à bacia hidrográfica do Rio Cachoeira, que drena a maior parte da área urbana de Joinville. O Rio Cachoeira e seus principais afluentes drenam uma área de aproximadamente 85 km², tendo o principal curso 14 km de extensão (JOINVILLE, 1998).

A delimitação da sub-bacia hidrográfica foi feita a partir de bases cartográficas na escala 1:2.000, com curvas de nível de um em um metro; 1:10.000 com curvas de nível de dez em dez metros; visitas a campo e consultas aos projetos de microdrenagem e macrodrenagem das ruas existentes na região em estudo. Para a delimitação foi utilizado o programa computacional AutoCAD, pelo qual foi possível calcular as áreas das sub-bacias e dos seus respectivos zoneamentos e bairros.

A bacia do Rio Bom Retiro tem uma área de 2,12 km², possuindo 2,40 km em seu talvegue principal. A área compreendida por esta bacia pode ser visualizada no Anexo I, que apresenta a escala 1:10.000.

Esta bacia foi dividida em cinco sub-bacias, que se encontram delimitadas na figura 4. As características de cada sub-bacia, como as áreas, cotas e declividade, determinadas a partir das bases cartográficas com o auxílio do programa AutoCAD são apresentadas na tabela 6.

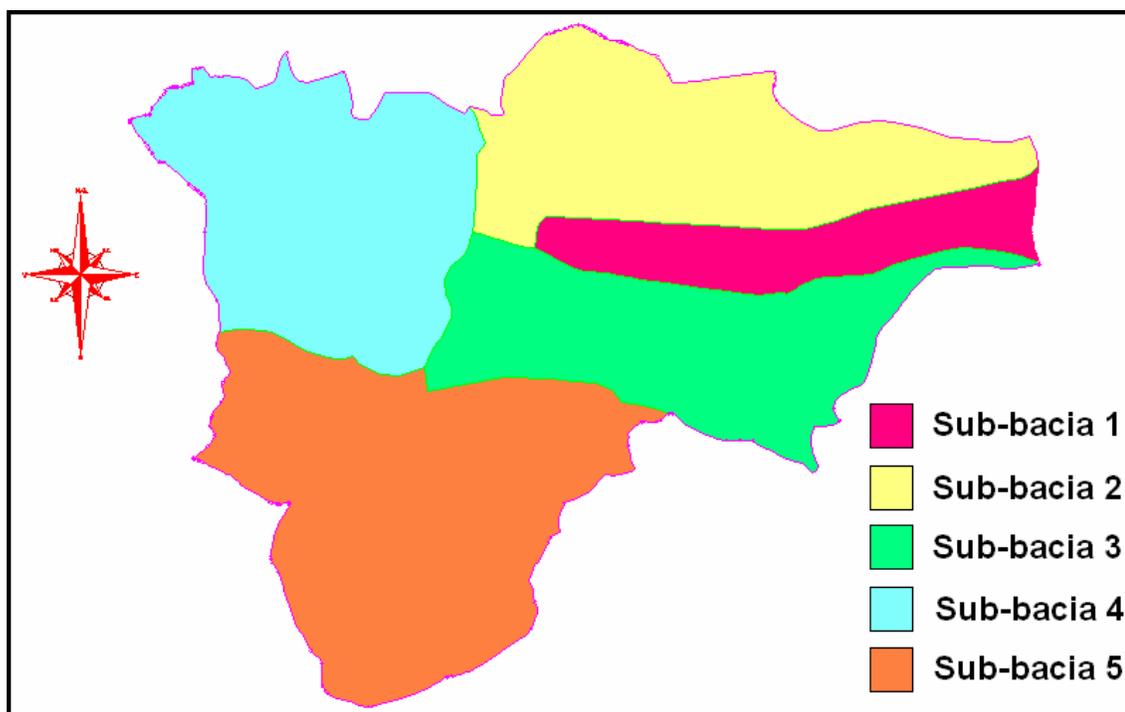


Figura 4 - Divisão da Bacia Hidrográfica do Rio Bom Retiro em Sub-bacias

Tabela 6 - Características da bacia e sub-bacias.

Sub-Bacias	Área (ha)	Cotas (m)		Extensão (km)	Declividade (m/m)
		Montante	Jusante		
1	19,01	75	8,55	0,9	0,0736
2	43,57	79	8,23	1,05	0,0676
3	39,9	60	5,92	1,26	0,0428
4	46,59	19,8	5,92	1,14	0,0122
5	63,07	17,1	0,91	1,5	0,0108
Bacia	212,14	75	0,91	2,3	0,0322

A bacia em estudo é constituída em sua maior parte pelo bairro Bom Retiro, correspondendo a aproximadamente 83%. Também fazem parte da sub-bacia os bairros Santo Antônio (10%) e Saguacu (7%). Esta divisão é apresentada na figura 5.

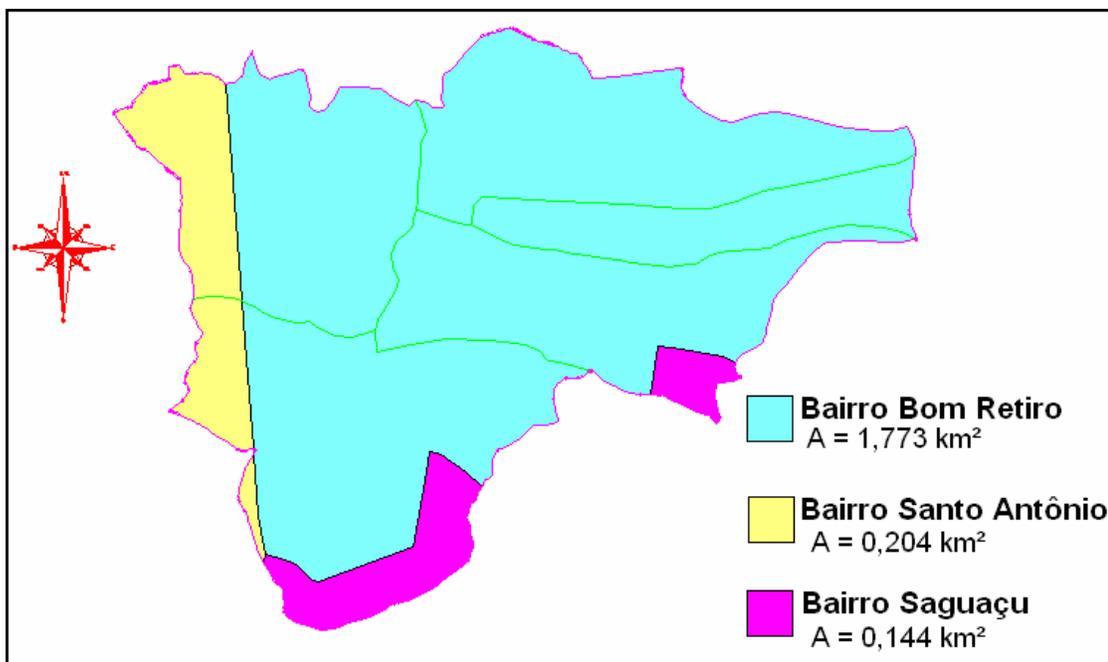


Figura 5 - Divisão por bairros da sub-bacia do Rio Bom Retiro.

A bacia hidrográfica apresenta os zoneamentos denominados zona residencial (ZR), zona corredor diversificado (ZCD) e setor especial de áreas verdes (SE5); que podem ser visualizados na figura 6. O ZCD foi considerado como área comercial. O zoneamento da área da bacia foi extraído de dados do IPPUJ.

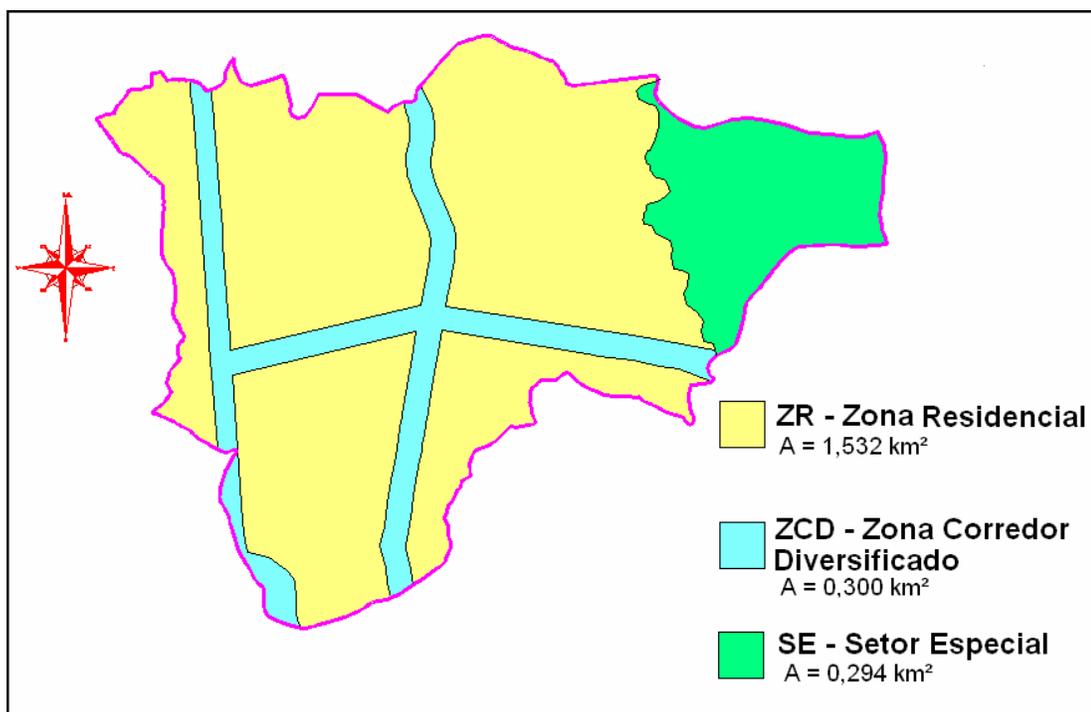


Figura 6 - Zoneamento da Bacia do Rio Bom Retiro

4.2. APLICAÇÃO DO MÉTODO RACIONAL

O método racional segue as hipóteses de que toda bacia contribui com o escoamento superficial, e por isso o tempo de duração da chuva deve ser igual ao tempo de concentração da bacia; de que a chuva é distribuída uniformemente sobre toda a área da bacia e de que todas as perdas estão incorporadas ao coeficiente de escoamento superficial (TUCCI, 2004).

4.2.1. Chuvas Intensas

Um dos princípios básicos do método racional é considerar a duração da chuva intensa de projeto igual ao tempo de concentração da bacia. Este é calculado a partir da equação de Carter (Equação 06), que considera a extensão do talvegue e sua declividade média. A Tabela 7 apresenta os valores da intensidade da chuva de projeto para cada sub-bacia e os tempos de retorno de 5, 10, 15, 25 e 50 anos. A equação de chuvas intensas utilizada é a de Back (Equação 04).

Tabela 7 - Intensidade da Chuva de Projeto

Sub-bacia	Tempo de Concentração (min)	Intensidade (mm.h ⁻¹)				
		5 anos	10 anos	15 anos	25 anos	50 anos
1	12,06	115,47	135,34	148,5	166,93	195,65
2	13,53	110,2	129,16	141,73	159,32	186,72
3	17,34	98,92	115,93	127,21	143	167,6
4	23,77	85,79	100,55	110,33	124,02	145,36
5	29,09	76,68	89,87	98,62	110,85	129,92
Bacia	29,09	76,68	89,87	98,62	110,85	129,92

4.2.2. Características Fisiográficas

O Método Racional adota um coeficiente único de perdas, denominado coeficiente de escoamento superficial (C). A estimativa deste coeficiente é baseada nas características da bacia.

4.2.2.1. Coeficiente de Escoamento Superficial

O coeficiente de escoamento superficial foi determinado com base nos valores da Tabela 2 do item 3.5.1, de acordo com o uso e ocupação do solo da região. Foi utilizada uma média ponderada devido aos diferentes tipos de ocupação do solo.

Tabela 8 - Coeficiente de Escoamento Superficial da Bacia

Uso e Ocupação do Solo	C	Área (ha)	C _{bacia}
Edificação com poucas superfícies livres	0,56	182,77	0,5
Matas, parques e campos de esportes	0,15	29,37	

Conforme já apresentado no item 3.5.1, o valor do coeficiente de escoamento superficial varia com o período de retorno. Os valores de C da bacia hidrográfica para cada período são apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 - Valores de C de acordo com os períodos de retorno

T (anos)	C
5	0,47
10	0,5
15	0,52
25	0,58
50	0,68

4.2.3. Estimativa da Vazão

Para a estimativa da vazão de pico pelo método racional foi utilizada a equação 9 do item 3.5. Os resultados são apresentados na Tabela 10, para cada sub-bacia e seus respectivos períodos de retorno.

Tabela 10 - Vazões de Pico estimadas pelo Método Racional

Sub-bacias	Área (km ²)	Q _p (m ³ /s) 5 anos	Q _p (m ³ /s) 10 anos	Q _p (m ³ /s) 15 anos	Q _p (m ³ /s) 25 anos	Q _p (m ³ /s) 50 anos
1	0,19	2,86	3,57	4,11	5,1	7,07
2	0,436	6,27	7,82	9	11,16	15,47
3	0,399	5,15	6,42	7,39	9,17	12,72
4	0,466	5,22	6,51	7,49	9,29	12,88
5	0,631	6,31	7,87	9,06	11,24	15,59
bacia	2,121	21,23	26,48	30,47	37,81	52,43

A Figura 7 apresenta o gráfico das vazões de pico, estimadas pelo Método Racional para cada sub-bacia e seus respectivos períodos de retorno.

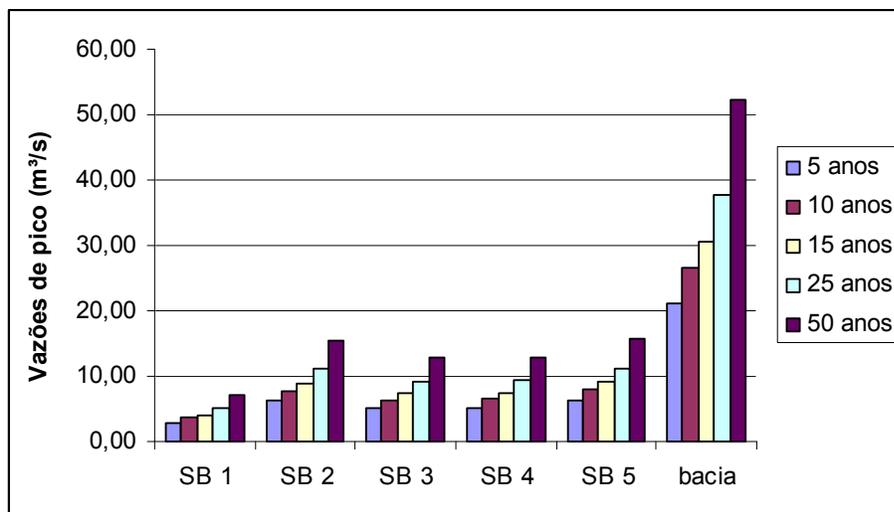


Figura 7 - Vazões de Pico Estimadas pelo Método Racional

4.3. APLICAÇÃO DO MÉTODO DO SCS

4.3.1. Chuvas Intensas

4.3.1.1. Equação de Chuvas Intensas

Foi utilizada a equação de Back (Equações 04 e 05) para a determinação da intensidade das chuvas. A Figura 8 apresenta o gráfico com os três aspectos da chuva, as relações intensidade-duração-freqüência. Pode-se observar que quanto maior a duração da precipitação, menor é a intensidade.

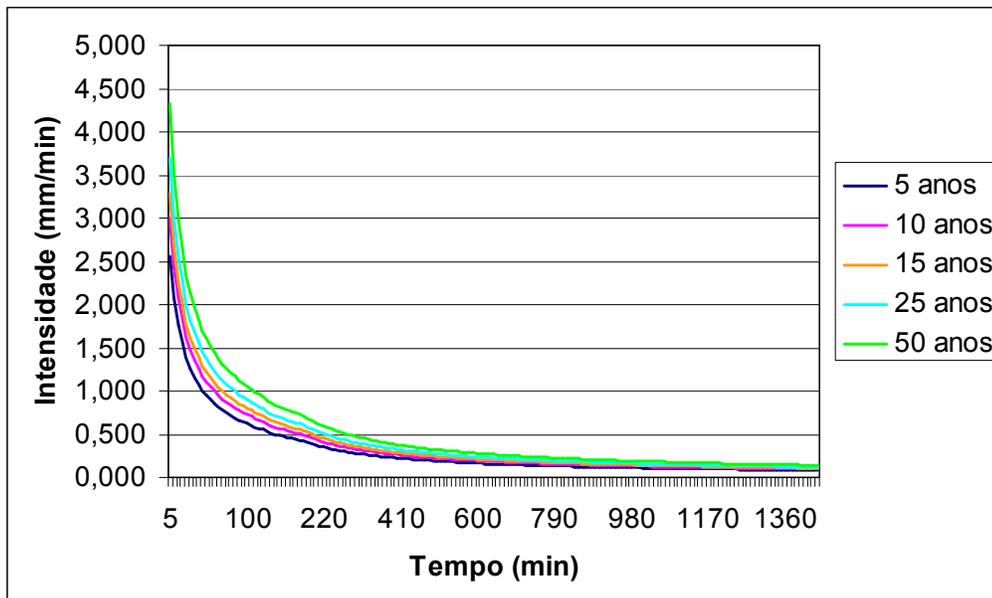


Figura 8 - Gráfico da Relação IDF

4.3.1.2. Distribuição Temporal

A distribuição temporal das chuvas foi calculada a partir da distribuição de Huff, que aconselha que para chuvas de duração menor que 12 horas sejam utilizadas as precipitações do primeiro ou segundo quartil. Para este estudo foi utilizado o primeiro quartil, onde as maiores intensidades ocorrem nos primeiros 25% da duração total, com probabilidade de 50% de ocorrência.

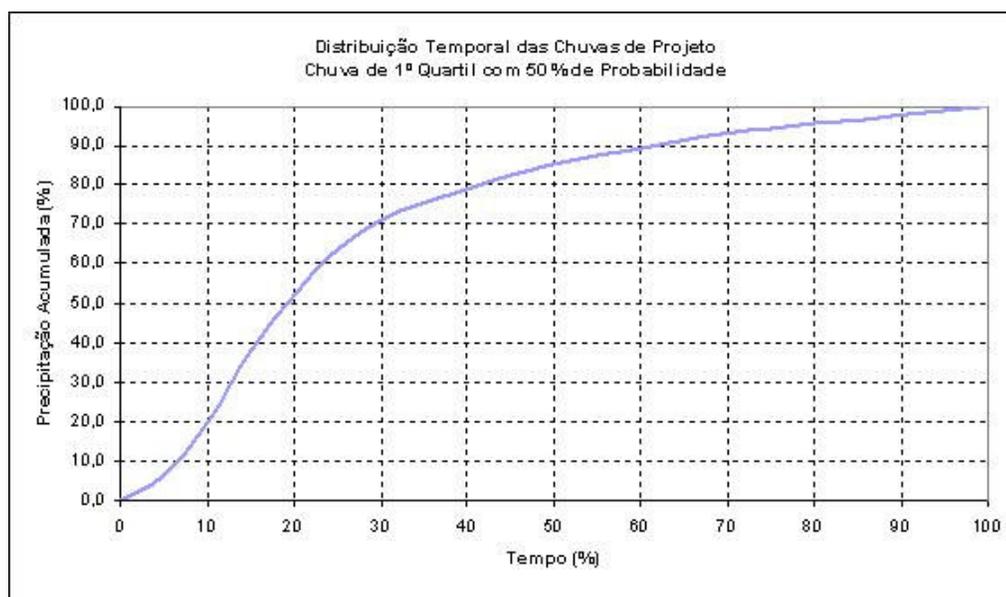


Figura 9 - Distribuição Temporal de Huff - 1º quartil – probabilidade 50%.

Tabela 11 - Distribuição Temporal de Huff - 1º quartil – probabilidade 50%.

Tempo (%)	Precipitação Acumulada (%)	Precipitação no Intervalo
0	0	0
5	6,3	6,3
10	20	13,7
15	37,8	17,8
20	52	14,2
25	63,8	11,8
30	71	7,2
35	75,6	4,6
40	79	3,4
45	82,6	3,6
50	85,3	2,7
55	87,5	2,2
60	89,4	1,9
65	91,4	2
70	93,1	1,7
75	94,4	1,3
80	95,6	1,2
85	96,5	0,9
90	97,8	1,3
95	99	1,2
100	100	1

Foi considerada uma chuva com duração de 60 minutos, pois supera o valor do tempo de concentração da bacia. A distribuição temporal foi obtida para os períodos de retorno de 5, 10, 15, 25 e 50 anos através do método de Huff, considerando a duração e a intensidade da precipitação.

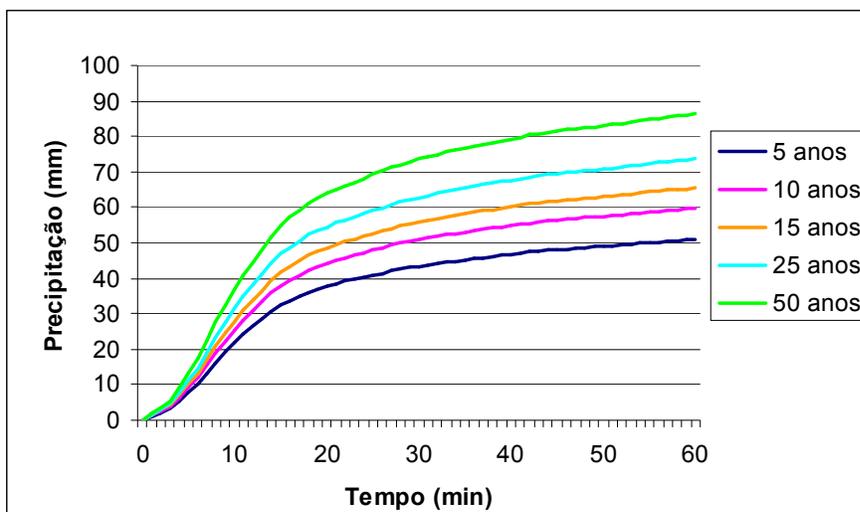


Figura 10 - Gráfico da Distribuição Temporal da Precipitação

4.3.1.3. Distribuição Espacial

A sub-bacia do Rio Bom Retiro tem uma área de 2,12 km², e o tempo de duração da chuva considerado é de 60 minutos. Assim, utilizando a tabela 1, tem-se o valor do fator de correção de 0,95. Este fator de redução para a precipitação na bacia é necessário devido à precipitação diminuir em virtude do aumento da área.

A Figura 11 apresenta um gráfico com os valores corrigidos da precipitação acumulada, que serão utilizados no programa HEC-HMS para a estimativa das vazões pelo método do SCS.

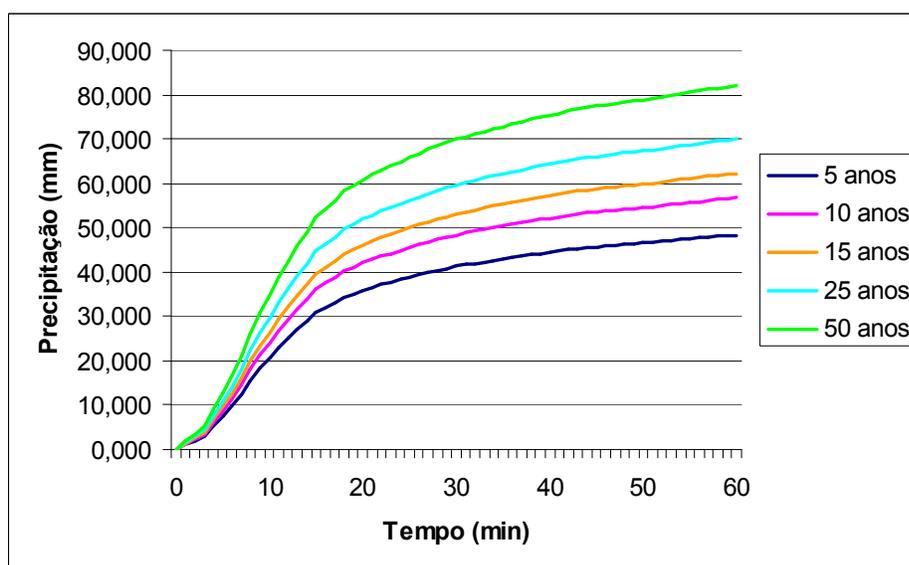


Figura 11 - Distribuição Espacial da Precipitação

4.3.2. Características Fisiográficas

4.3.2.1. Área Impermeável

Para estimar a área impermeável da bacia foi utilizada a equação 16, que considera a densidade habitacional do local. Para isso, foram utilizados os dados do censo 2000 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e da Secretaria Municipal de Saúde (SMS) do ano de 2002.

Os dados de crescimento populacional referenciados pelo IPPUJ (Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano do município) eram inconsistentes, pois foi aplicada a taxa de crescimento estimada pelo IBGE para o município em 2000, equivalente a 1,89%. Como os bairros não têm crescimento uniforme, a Unidade de Drenagem procurou obter dados mais confiáveis, sendo que, para tanto foram utilizados os dados da SMS, que são atualizados pelos agentes de saúde do Programa Saúde da Família. Foi adotado o ano de 2002 para o cálculo do crescimento populacional em virtude da descontinuidade dos dados referentes ao período de 2003 a 2005.

Na Tabela 12 foi calculado o crescimento populacional nos bairros para a estimativa da população no ano de 2006.

Tabela 12 - Crescimento Populacional

Bairro	População 2000	População 2002	Varição da População	Taxa de Crescimento a.a.	População 2006
Bom Retiro	9.479	10.322	843	4,35%	12.240
Saguaçu	11.122	11.297	175	0,78%	11.655
Santo Antônio	4.736	5.066	330	3,43%	5.797

Os valores percentuais calculados de impermeabilidade referentes aos bairros são apresentados na Tabelas 13.

Tabela 13 - Impermeabilidade por bairros

Bairro	Área (ha)	População (hab)	Densidade (hab/ha)	Percentual Impermeável
Bom Retiro	389	12.240	31	15,39%
Saguaçu	489	11.655	24	11,66%
Santo Antônio	220	5.797	26	12,88%

Na tabela 14 são apresentados os valores percentuais de impermeabilidade para cada sub-bacia. Estes valores foram calculados a partir da estimativa de permeabilidade dos bairros, de acordo com a área que as sub-bacias possuem de cada bairro.

Tabela 14 - Área Impermeável por sub-bacia

Sub-bacias	Área das Sub-bacias (ha)	Bom Retiro	Saguaçu	Santo Antônio	Área Impermeável
Sub-Bacia 1	19,01	100,00%			15,39%
Sub-Bacia 2	43,57	100,00%			15,39%
Sub-Bacia 3	39,9	91,84%	8,16%		15,08%
Sub-Bacia 4	46,59	72,44%		27,56%	14,70%
Sub-Bacia 5	63,07	70,39%	17,61%	12,01%	14,43%
Bacia	212,14	84,22%	7,03%	8,75%	14,90%

4.3.2.2. Número de Curva

Foi utilizada a condição II de umidade antecedente do solo e o grupo hidrológico C para a determinação do número de curva. A classificação do solo para a escolha do grupo hidrológico foi baseada nos estudos realizados por Gonçalves (1993).

Na tabela 15 são apresentados os valores de CN obtidos de acordo com a condição de umidade e o grupo hidrológico, e na tabela 16 os valores de CN para a bacia e cada sub-bacia, obtidos por média ponderada.

Tabela 15 - Valores de CN utilizados

Ocupação	CN
Área Verde (Floresta Boa)	70
Área Comercial	71
Área Residencial < 500 m2	75

Tabela 16 - CN da bacia e sub-bacias

Bacias Hidrográficas	Áreas das Bacias (ha)	Setor Especial Área Verde (ha)	Área Comercial (ha)	Área Residencial (ha)	CN
Sub-Bacia 1	19,01	10,09	0,03	8,88	72
Sub-Bacia 2	43,57	12,76	2,65	28,16	73
Sub-Bacia 3	39,9	6,52	9,67	23,71	73
Sub-Bacia 4	46,59	-	4,27	42,32	75
Sub-Bacia 5	63,07	-	13,21	49,86	74
Bacia	212,14	29,37	29,83	152,94	74

4.3.2.3. Tempo de Concentração e Tempo de Retardo

Para a determinação do tempo de concentração foi utilizada a equação de Carter (Equação 06), que considera a declividade média de cada trecho e a extensão do talvegue e do percurso que a água faz dentro da rede de microdrenagem.

O tempo de retardo corresponde a 60% do tempo de concentração, e seus valores são apresentados na Tabela 17.

Tabela 17 - Tempo de Concentração e Tempo de Retardo para cada Sub-bacia.

Sub-Bacias	Área (ha)	Cotas		Extensão (km)	Declividade (m/m)	T _c (min)	T _R (min)
		Montante	Jusante				
1	19,01	75	8,55	0,9	0,0736	12,06	7,24
2	43,57	79	8,23	1,05	0,0676	13,53	8,12
3	39,9	60	5,92	1,26	0,0428	17,34	10,41
4	46,59	19,8	5,92	1,14	0,0122	23,77	14,26
5	63,07	17,1	0,91	1,5	0,0108	29,09	17,45
Bacia	212,14	75	0,91	2,3	0,0322	29,09	17,45

4.3.3. Modelagem Computacional

O programa utilizado para fazer as estimativas de vazão pelo método do SCS foi o HEC-HMS, que é projetado para simular os processos de escoamento a partir dos dados de precipitação em uma bacia hidrográfica ramificada. A figura 7 apresenta o esquema da bacia hidrográfica do Bom Retiro no programa. Nela podem ser visualizadas as 5 sub-bacias (Sb1, Sb2, Sb3, Sb4 e Sb5); as junções (J1, J2 e J3), que são pontos que servem de ligação entre dois ou mais elementos; e as propagações (P1 e P2), que caracterizam o deslocamento do hidrograma de um ponto a outro.

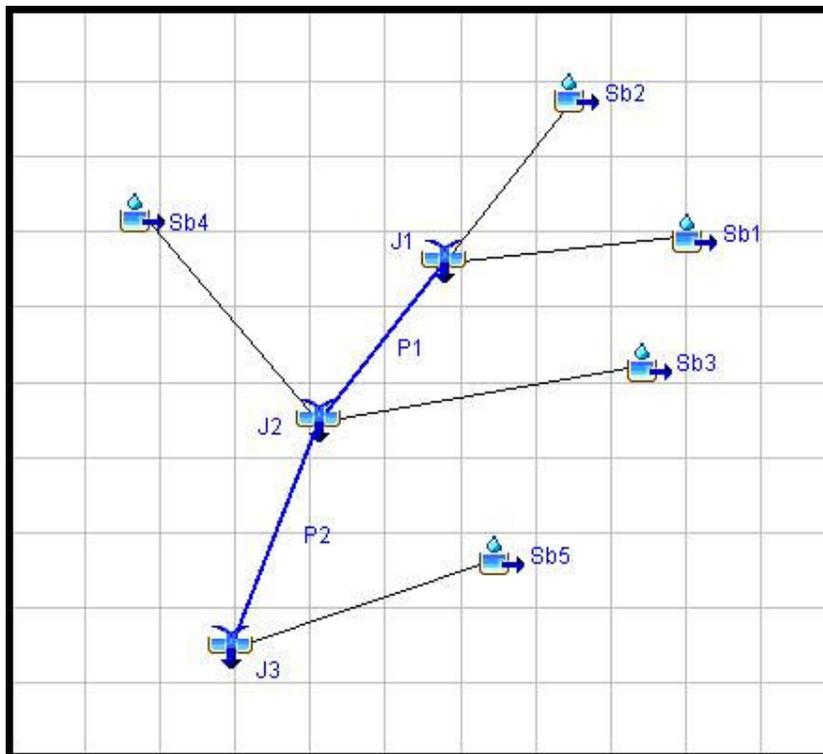


Figura 12 - Esquema da Sub-bacia do Rio Bom Retiro no programa HEC-HMS

A simulação computacional é efetuada a partir dos dados fisiográficos das sub-bacias e dos dados de precipitação de projeto, já definidos anteriormente. Para esta simulação foi adotado um período de análise de 6 horas com intervalos de 2 minutos.

O programa despreza as perdas por evaporação e transpiração, atendendo apenas as perdas por infiltração. Além disso, só associa estas perdas a áreas que não sejam impermeáveis, considerando toda precipitação como excedente nas áreas impermeáveis.

4.3.3.1. Hidrogramas do Método do SCS

Para a estimativa das vazões de pico pelo método do SCS foram gerados os hidrogramas através do programa computacional HEC-HMS, para os tempos de retorno de 5, 10, 15, 25 e 50 anos. Para a demonstração destes hidrogramas, foi escolhido como exemplo o tempo de retorno de 25 anos. Os hidrogramas sintéticos se baseiam em fórmulas empíricas que se relacionam com as características fisiográficas da bacia hidrográfica, e por isso apresentam hidrogramas semelhantes para a bacia, para todos os períodos de retorno.

Os hidrogramas de cada sub-bacia para o período de retorno de 25 anos são apresentados a seguir, nas Figuras 13, 14, 15, 16 e 17. Cada gráfico de saída do programa apresenta seu respectivo hietograma e hidrograma. O hietograma, gráfico da precipitação pelo tempo, apresenta duas partes distinguidas pelas cores vermelha e azul. A parte em vermelho é referente às perdas da precipitação, enquanto que a parte em azul se refere à precipitação excedente, que vai gerar o escoamento superficial, caracterizado pelo hidrograma.

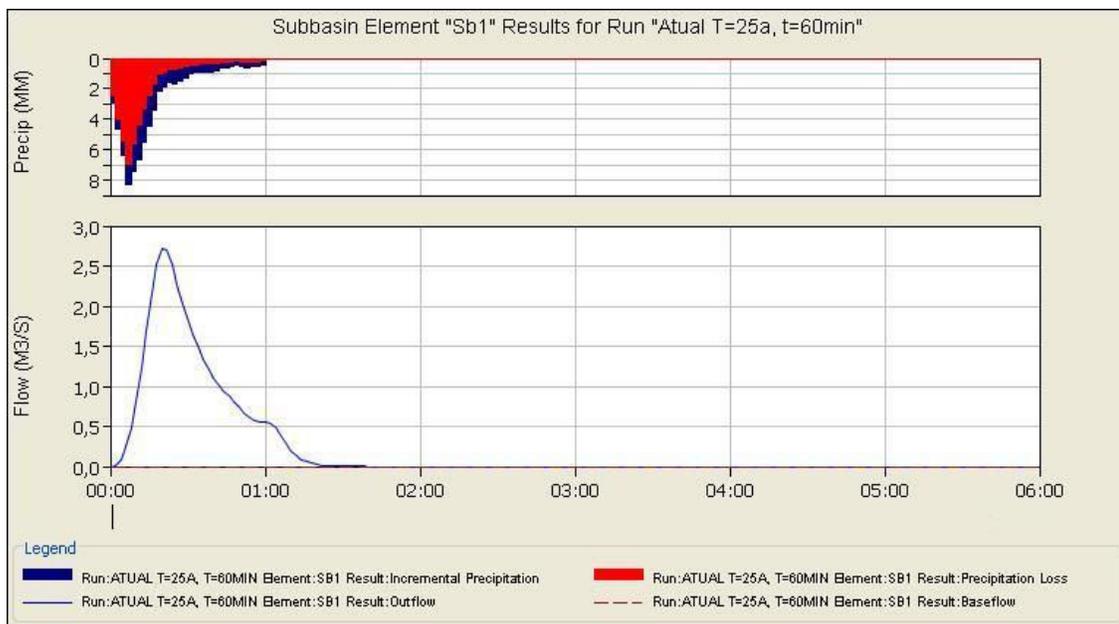


Figura 13 - Hidrograma da Sub-bacia 1 – T = 25 anos, t = 60 min.

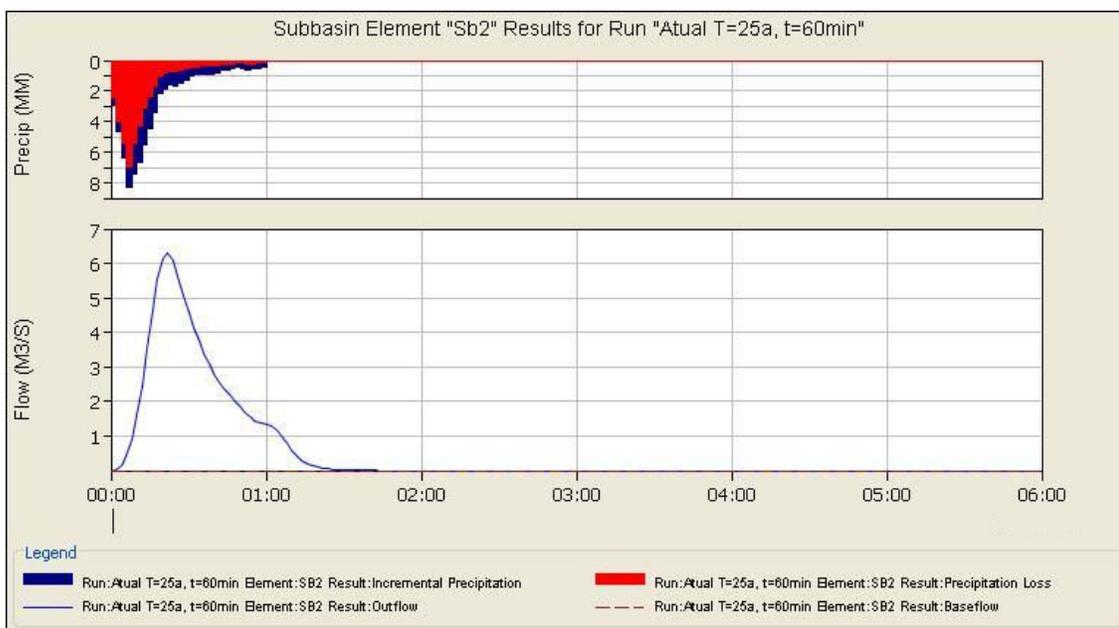


Figura 14 - Hidrograma da Sub-bacia 2 – T = 25 anos, t = 60 min.

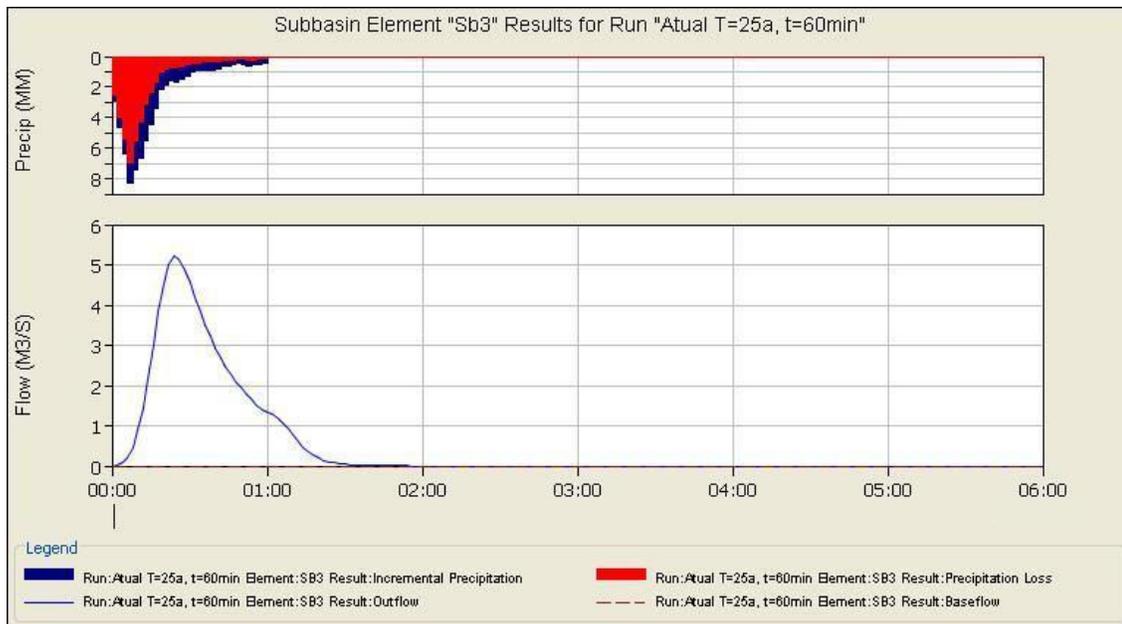


Figura 15 - Hidrograma da Sub-bacia 3 – T = 25 anos, t = 60 min.

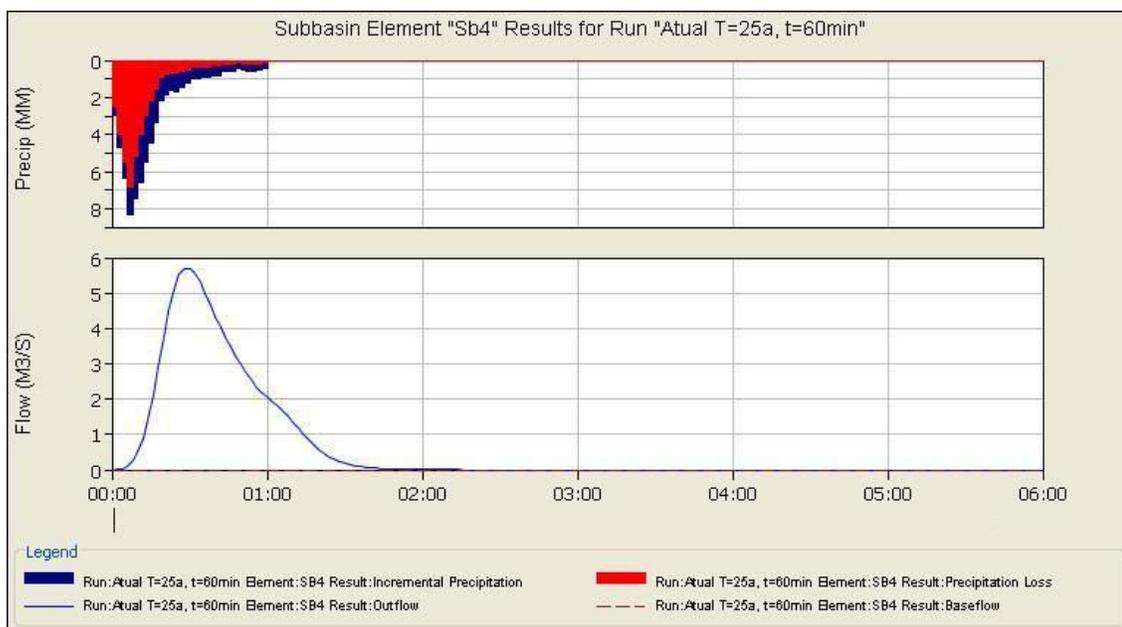


Figura 16 - Hidrograma da Sub-bacia 4 – T = 25 anos, t = 60 min.

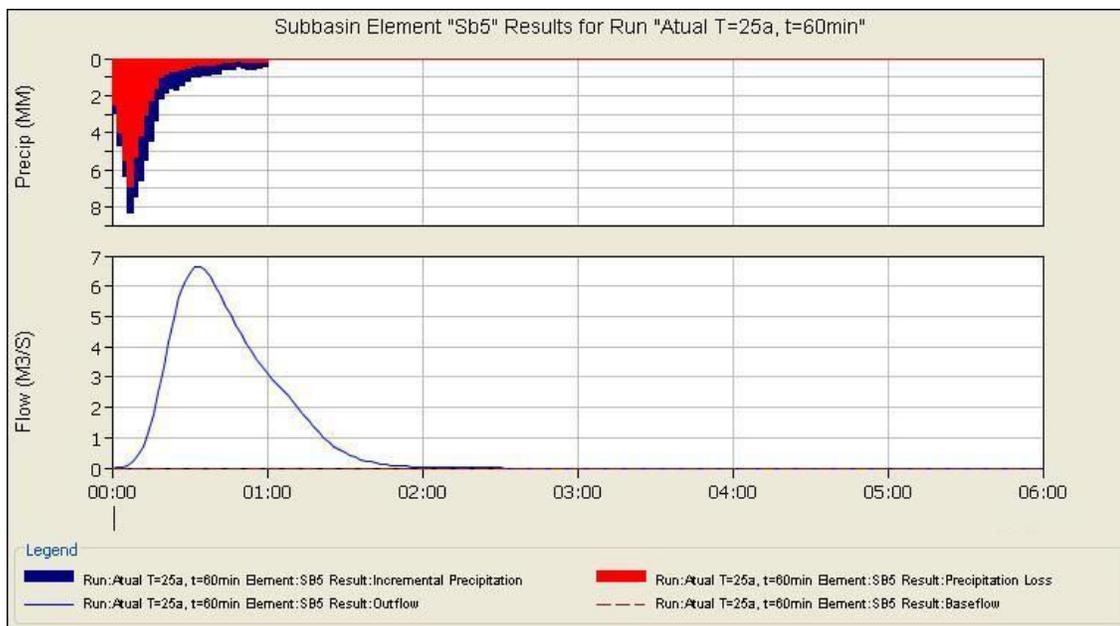


Figura 17 - Hidrograma da Sub-bacia 5 – T = 25 anos, t = 60 min.

O hidrograma referente a toda bacia hidrográfica do Rio Bom Retiro é apresentado na Figura 18. Como pode ser observado na Figura 12 do item 4.3.3, o elemento J3 é o ponto final da bacia hidrográfica, e seu hidrograma é gerado a partir de uma sobreposição dos hidrogramas referentes à sub-bacia hidrográfica 5 (Sb 5) e à propagação P2.

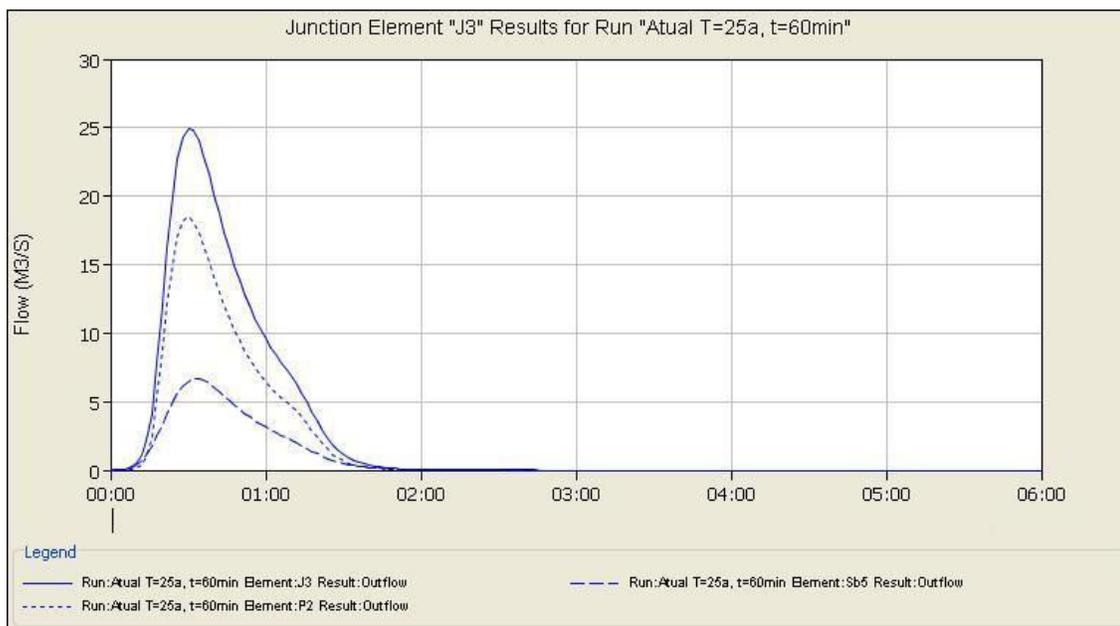


Figura 18 - Hidrograma da Bacia do Rio Bom Retiro – T = 25 anos, t = 60 min.

Então, a partir dos hidrogramas, pode-se definir a vazão de pico das sub-bacias para cada período de retorno, que são apresentados na Tabela 18 e na Figura 19.

Tabela 18 - Vazões de Pico Estimadas pelo Método do SCS.

Sub-bacias	Área (km ²)	Q _p (m ³ /s) 5 anos	Q _p (m ³ /s) 10 anos	Q _p (m ³ /s) 15 anos	Q _p (m ³ /s) 25 anos	Q _p (m ³ /s) 50 anos
SB 1	0,1901	1,3	1,8	2,1	2,7	3,7
SB 2	0,4357	3	4,2	5	6,3	8,5
SB 3	0,399	2,5	3,5	4,2	5,2	7
SB 4	0,4659	2,8	3,8	4,6	5,7	7,6
SB 5	0,6307	3,3	4,5	5,3	6,7	8,9
Bacia	2,1214	12,3	16,8	20,1	25	33,2

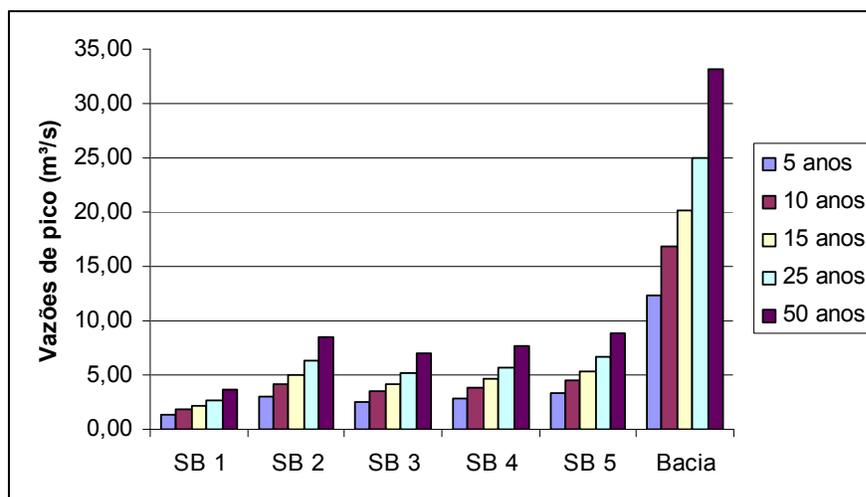


Figura 19 - Gráfico das Vazões de Pico Estimadas pelo Método do SCS

5. COMPARAÇÃO DAS VAZÕES DE PICO ENTRE O MÉTODO RACIONAL E O MÉTODO DO SCS

Na Figura 20 e na Tabela 19 são apresentadas as comparações entre os métodos Racional e do SCS, para cada sub-bacia, para o período de retorno de 5 anos.

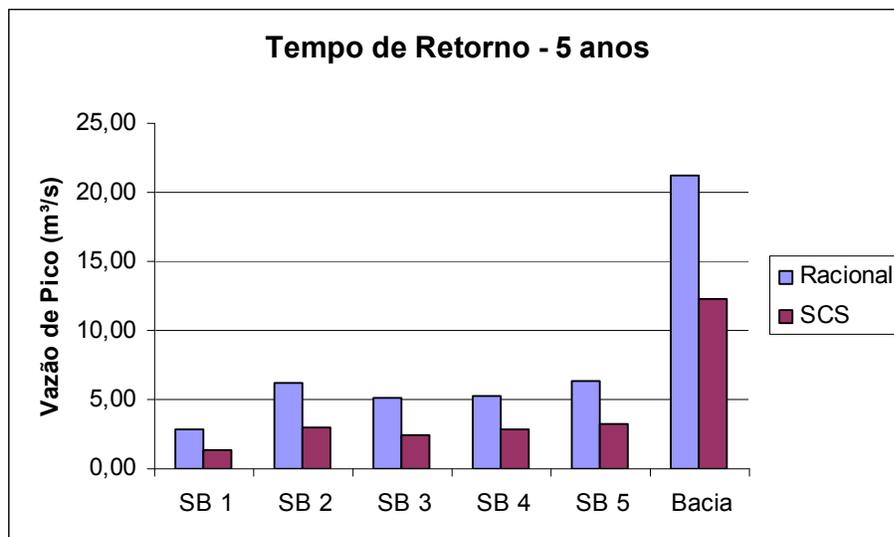


Figura 20 - Comparação entre Método Racional e Método do SCS para Tempo de Retorno de 5 anos

Tabela 19 - Comparação entre Método Racional e Método do SCS para Tempo de Retorno de 5 anos

T = 5 anos			
Sub-bacias	Racional Q_p (m³/s)	SCS Q_p (m³/s)	Diferença Percentual (%)
SB 1	2,86	1,3	54,6
SB 2	6,27	3	52,1
SB 3	5,15	2,5	51,5
SB 4	5,22	2,8	46,3
SB 5	6,31	3,3	47,7
Bacia	21,23	12,3	42,1

Na Figura 21 e na Tabela 20 são apresentadas as comparações entre os dois métodos para cada sub-bacia, para o período de retorno de 10 anos.

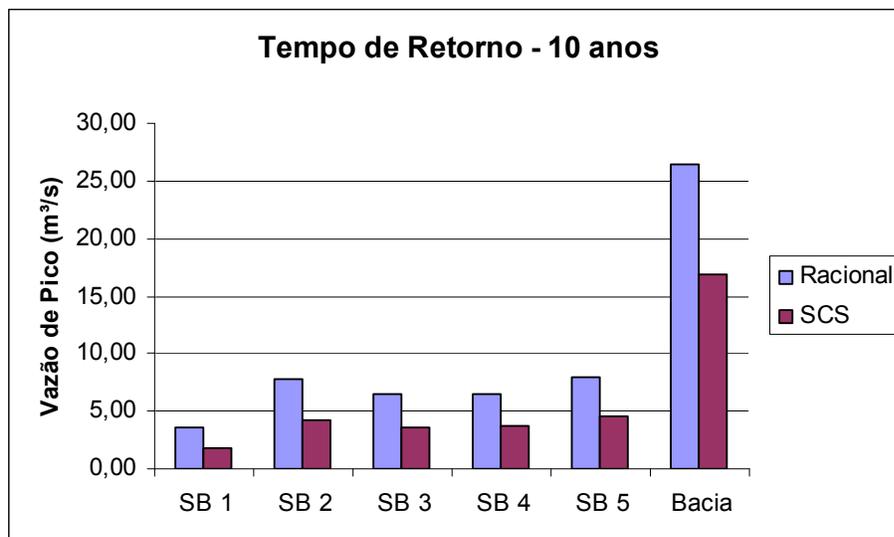


Figura 21 - Comparação entre Método Racional e Método do SCS para Tempo de Retorno de 10 anos

Tabela 20 - Comparação entre Método Racional e Método do SCS para Tempo de Retorno de 10 anos

T = 10 anos			
Sub-bacias	Racional Q_p (m³/s)	SCS Q_p (m³/s)	Diferença Percentual (%)
SB 1	3,57	1,8	49,6
SB 2	7,82	4,2	46,3
SB 3	6,42	3,5	45,5
SB 4	6,51	3,8	41,6
SB 5	7,87	4,5	42,8
Bacia	26,48	16,8	36,6

Na Figura 22 e na Tabela 21 são apresentadas as comparações para cada sub-bacia, para o período de retorno de 15 anos.

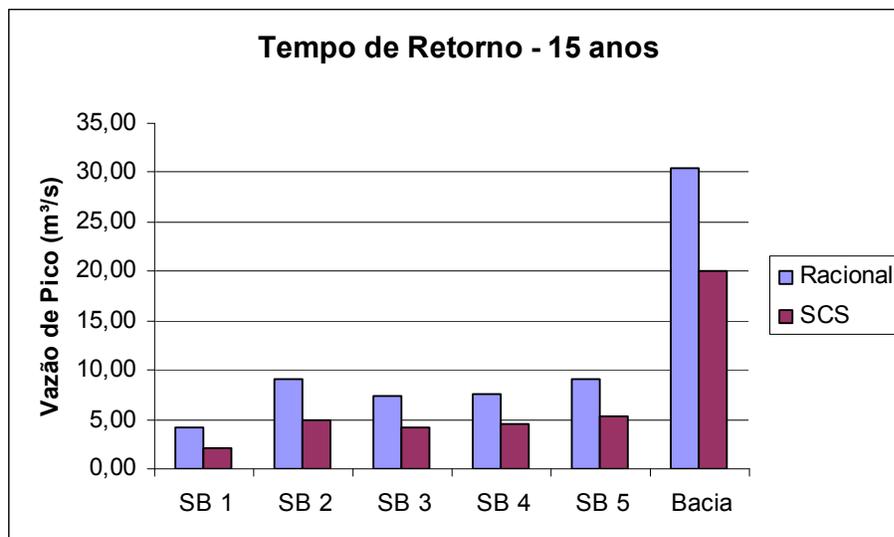


Figura 22 - Comparação entre Método Racional e Método do SCS para Tempo de Retorno de 15 anos

Tabela 21 - Comparação entre Método Racional e Método do SCS para Tempo de Retorno de 15 anos

T = 15 anos			
Sub-bacias	Racional Qp (m³/s)	SCS Qp (m³/s)	Diferença Percentual (%)
SB 1	4,11	2,1	48,9
SB 2	9	5	44,4
SB 3	7,39	4,2	43,2
SB 4	7,49	4,6	38,6
SB 5	9,06	5,3	41,5
Bacia	30,47	20,1	34,0

Na Figura 23 e na Tabela 22 são apresentadas as comparações entre os dois métodos para cada sub-bacia, para o período de retorno de 25 anos.

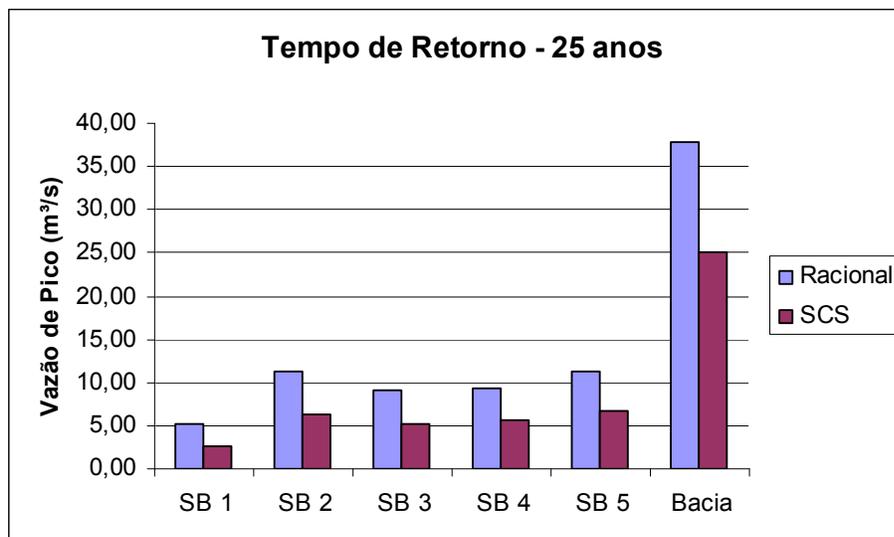


Figura 23 - Comparação entre Método Racional e Método do SCS para Tempo de Retorno de 25 anos

Tabela 22 - Comparação entre Método Racional e Método do SCS para Tempo de Retorno de 25 anos

T = 25 anos			
Sub-bacias	Racional Q_p (m³/s)	SCS Q_p (m³/s)	Diferença Percentual (%)
SB 1	5,1	2,7	47,1
SB 2	11,16	6,3	43,6
SB 3	9,17	5,2	43,3
SB 4	9,29	5,7	38,6
SB 5	11,24	6,7	40,4
Bacia	37,81	25	33,9

Na Figura 24 e na Tabela 23 são apresentadas as comparações entre os métodos para cada sub-bacia, para o período de retorno de 50 anos.

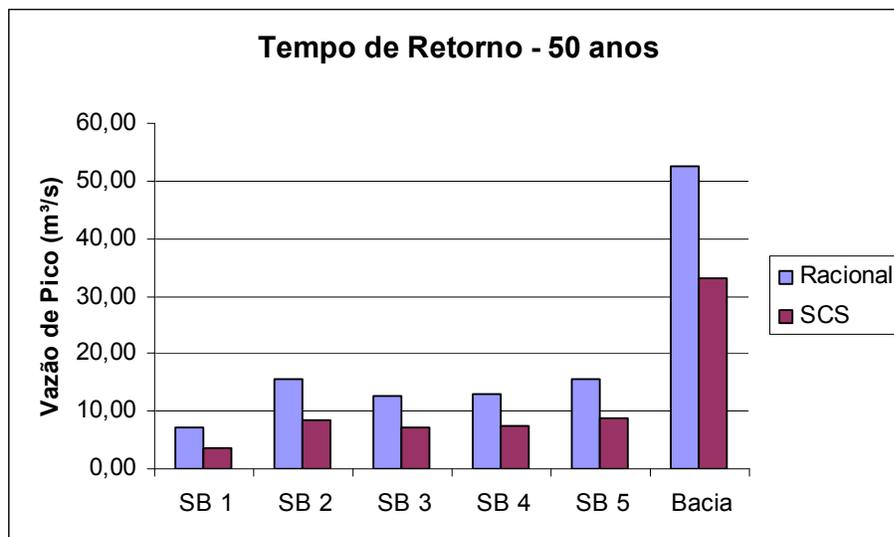


Figura 24 - Comparação entre Método Racional e Método do SCS para Tempo de Retorno de 50 anos

Tabela 23 - Comparação entre Método Racional e Método do SCS para Tempo de Retorno de 50 anos

T = 50 anos			
Sub-bacias	Racional Q_p (m³/s)	SCS Q_p (m³/s)	Diferença Percentual (%)
SB 1	7,07	3,7	47,7
SB 2	15,47	8,5	45,1
SB 3	12,72	7	45,0
SB 4	12,88	7,6	41,0
SB 5	15,59	8,9	42,9
Bacia	52,43	33,2	36,7

As diferenças percentuais entre as vazões estimadas pelos dois métodos variaram de 33,9% a 54,6%, sendo que em todos os casos as vazões do método racional foram superiores às do método do SCS.

As maiores diferenças percentuais foram observadas nas vazões estimadas para o menor período de retorno utilizado, ou seja, de 5 anos. As menores estão nos períodos de retorno de 15 e 25 anos, com diferenças percentuais muito próximas entre si.

6. CONCLUSÃO

Para a comparação entre os métodos Racional e do SCS foram observados os valores de vazão de pico da bacia e de suas sub-bacias, para os períodos de retorno de 5, 10, 15, 25 e 50 anos.

O método racional apresentou em todos os períodos de retorno valores superiores de vazão de pico, com variações uniformes de aproximadamente 34% até 55% entre os valores estimados pelos dois métodos.

O método do SCS considera características fisiográficas específicas da bacia hidrográfica, como a condição de umidade antecedente e o grupo hidrológico do solo, o tipo de uso e ocupação urbana, e a área impermeável. Essas características são levantadas analisando fatores que representam de forma mais adequada a realidade da bacia. Enquanto isso, o método Racional utiliza um coeficiente de escoamento superficial mais amplo, determinado apenas pelo tipo de ocupação da região. Por isso, pode não representar adequadamente as características da bacia hidrográfica em estudo.

Além das características fisiográficas mais detalhadas da bacia hidrográfica, o método do SCS também leva em consideração a variação temporal da intensidade da chuva, enquanto o método racional admite a intensidade constante durante a precipitação. Por estes motivos, as vazões de pico do método Racional podem ser superestimadas, não sendo recomendável a utilização deste método para bacias hidrográficas maiores que 2 km².

O método do SCS procura representar de forma coerente a realidade do comportamento hidrológico da bacia. Através da estrutura construída no programa HEC-HMS pode-se mostrar o comportamento do escoamento superficial da bacia, a partir das divisões em sub-bacias e da caracterização dos cursos d'água por propagações. Assim, o programa possibilita, utilizando o método do SCS, a simulação do escoamento contínuo em toda a bacia do rio Cachoeira, desde seus afluentes até o rio principal.

Como conclusão, o método do SCS utilizado na bacia do Rio Bom Retiro retrata de forma mais adequada a realidade do escoamento superficial da bacia, apresentando assim uma maior confiabilidade para obtenção de vazões de pico, que serão utilizadas para o dimensionamento das estruturas hidráulicas no leito do rio. A vantagem do uso do método racional é a facilidade de aplicação, envolvendo menos parâmetros a serem obtidos. O uso deste método tem demonstrado ser mais eficiente nas estimativas de vazão para projetos de microdrenagem.

A continuidade deste estudo seria o dimensionamento das seções de estrangulamento para as vazões correspondentes a cada período de retorno, e sua posterior análise econômica. Esta análise envolve os custos associados aos riscos a que poderá ficar sujeita a comunidade, sem que isto acarrete prejuízos materiais e em sua mobilidade. Através da análise econômica será indicado qual o período de retorno mais adequado a ser adotado, definindo-se desta forma a execução das obras.

Além disso, uma perspectiva de trabalhos futuros seria a calibração dos parâmetros envolvidos na modelagem computacional através de medições de grandezas hidrológicas como a precipitação e a vazão, que serão realizadas futuramente pela PMJ. Com essa calibração o modelo poderá retratar de forma ainda mais confiável o comportamento real da bacia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BACK, A.J. **Chuvas Intensas e Chuva de Projeto de Drenagem Superficial no Estado de Santa Catarina**. 1^a ed. Florianópolis: Epagri, 2002.

CAMPANA, N.A.; TUCCI, C. E. M. **Estimativa de Área Impermeável de Macro-bacias Urbanas**. Caderno de Recursos Hídricos. Porto Alegre, v.12, n.2, dezembro 1994.

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

GONÇALVES, M.L. **Geologia para Planejamento de Uso e Ocupação Territorial do Município de Joinville-SC**. Tese (Doutorado em Geociências). São Paulo: Universidade de São Paulo, 1993.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em 14 junho 2007.

IPPUJ – Instituto de Pesquisa e Planejamento para o Desenvolvimento Sustentável de Joinville. Disponível em <<http://www.ippuj.sc.gov.br/>>. Acesso em 14 junho 2007.

JOINVILLE. **Agenda 21 Municipal: Compromisso com o Futuro**. 2^aed. Revisada. Governo de Joinville, 1998.

JOINVILLE. **Lei Complementar nº27 de 27 de março de 1996**. Prefeitura Municipal de Joinville, 1996.

LOPES, F. H. Y.; RAMOS, D. A. **Estudo Comparativo entre Equações de Chuvas para o Município de Joinville, SC**. Joinville, 2006.

PFAFSTETTER, O. **Chuvas Intensas no Brasil**. Rio de Janeiro: DNOS, 1957.

PORTELA, M. M. **Modelação Hidrológica**. Instituto Superior Técnico. Lisboa, 2006.

PREFEITURA MUNICIPAL DE JOINVILLE. Disponível em <<http://www.joinville.sc.gov.br>>. Acesso em: 14 junho 2007.

TOMAZ, P. **Cálculos Hidrológicos e Hidráulicos para Obras Municipais:** Piscinões, Galerias, Bueiros, Canais. Métodos SCS, Denver, Santa Bárbara, Racional, TR-55. São Paulo: Editora Navegar, 2002.

TUCCI, C. E. M.; MARQUES, D. M. L. da M. **Avaliação e controle da drenagem urbana.** 1^a ed. Porto Alegre: Editora ABRH, 2001.

TUCCI, C.E.M. **Coefficiente de Escoamento e Vazão Máxima de Bacias Urbanas.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Porto Alegre, v.5, n.1, Jan/Mar 2000.

TUCCI, C.E.M. **Hidrologia:** Ciência e Aplicação. 3^a ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2004.

TUCCI, C.E.M.; PORTO, R.L.L.; BARROS, M.T. **Drenagem Urbana.** Porto Alegre: ABRH/Editora da Universidade/UFRGS, 1995.

U.K. INSTITUTE OF HYDROLOGY FLOOD STUDIES REPORT. **National Environmental Research Council**, 1975. v. II. Wallingford, United King, 1975.

US Army Corp of Engineers. HEC-HMS. Disponível em:
<<http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/>>

ANEXO I