



**PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO**

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

**SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS**

EMITENTE

**SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS**

REFERÊNCIA	ASSUNTO	DATA
DP-H03	DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM Diretrizes de Projeto para Estudos Hidrológicos – Método Racional	30/06/99

**DP-H03**

**DIRETRIZES DE PROJETO PARA ESTUDOS  
HIDROLÓGICOS  
MÉTODO RACIONAL**



# PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

REFERÊNCIA	ASSUNTO	DATA
DP-H03	DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM Diretrizes de Projeto para Estudos Hidrológicos – Método Racional	30/06/99

## ÍNDICE

PÁG.

1.	OBJETIVO .....	55
2.	METODOLOGIA – DAEE.....	55
2.1	MÉTODO RACIONAL .....	55
3.	APLICABILIDADE DO MÉTODO – FCTH .....	57
3.1	PREMISSAS BÁSICAS .....	57
3.2	LIMITAÇÕES .....	57
3.3	DADOS E INFORMAÇÕES PARA APLICAÇÃO .....	58
4.	TEMPO DE CONCENTRAÇÃO – FCTH .....	58
5.	INTENSIDADE – FCTH .....	60
6.	COEFICIENTE DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL DIRETO (COEFICIENTE DE “RUNOFF”) – FCTH.....	61



# PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

REFERÊNCIA	ASSUNTO	DATA
DP-H03	DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM Diretrizes de Projeto para Estudos Hidrológicos – Método Racional	30/06/99

## 1. OBJETIVO

Esta diretriz tem por objetivo a apresentação do método racional para a determinação da vazão de projeto, bem como suas diretrizes e condições de aplicação nos projetos desenvolvidos para a SVP/PMSP.

## 2. METODOLOGIA – DAEE

Transcrição do “Manual de Cálculo das Vazões Máximas, Médias e Mínimas nas Bacias Hidrográficas do Estado de São Paulo” – Departamento de Água e Energia Elétrica do Estado de São Paulo – DAEE, 1994.

### 2.1 MÉTODO RACIONAL

Para bacias que não apresentam complexidade e que tenham até 2 km<sup>2</sup> de área de drenagem, é usual que a vazão de projeto seja determinada pelo Método Racional. Esse método foi introduzido em 1889 e é largamente utilizado nos Estados Unidos e em outros países. Embora tenha sido freqüentemente sujeito a críticas acadêmicas por sua simplicidade, nenhum outro método foi desenvolvido dentro de um nível de aceitação geral. O Método Racional, adequadamente aplicado, pode conduzir a resultados satisfatórios em projetos de drenagem urbana que tenham estruturas hidráulicas como galerias, bueiros etc., e ainda para estruturas hidráulicas projetadas em pequenas áreas rurais.

O Método pode ser colocado sob a seguinte fórmula:

$$Q = 166,67 C.i.A.D.$$



# PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

REFERÊNCIA	ASSUNTO	DATA
DP-H03	DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM Diretrizes de Projeto para Estudos Hidrológicos – Método Racional	30/06/99

onde:

$Q$  = vazão máxima; [ $Q$ ] = l/s;

$C$  = coeficiente de escoamento superficial, função das características da bacia em estudo;

Apresentam-se na Tabela 2.1 alguns valores típicos de projeto;

$I$  = intensidade da chuva crítica; [ $i$ ] = mm/min;

$A$  = área da bacia de contribuição; [ $A$ ] = ha;

$D$  = coeficiente de distribuição da chuva.

Para:  $A < 50$  ha  $D = 1$

$A > 50$  ha  $D = 1 - 0,009 \cdot \frac{L}{2}$

onde:

$L$  = comprimento de talvegue, em km

**Tabela 2.1**

**Coeficiente de escoamento superficial ("RUNOFF")**

USO DO SOLO OU GRAU DE URBANIZAÇÃO	VALORES	
	MÍNIMOS	MÁXIMOS
Área totalmente urbanizada Urbanização futura	0,50	0,70
Área parcialmente urbanizada Urbanização moderada	0,35	0,50
Área predominantemente de plantações, pastos, etc. Urbanização atual	0,20	0,35



# PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

REFERÊNCIA	ASSUNTO	DATA
DP-H03	DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM Diretrizes de Projeto para Estudos Hidrológicos – Método Racional	30/06/99

### 3. APLICABILIDADE DO MÉTODO – FCTH

Transcrição de parte do item 3.2.3 do Cap. 3 da Publicação “Diretrizes Básicas para Projeto de Drenagem Urbana no Município de São Paulo” – 1995 – FCTH – USP – São Paulo.

#### 3.1 PREMISSAS BÁSICAS

As seguintes premissas básicas são adotadas, quando se aplica o Método Racional:

- O pico do *ESD* (Escoamento Superficial Direto), relativo a um dado local de estudo, é função do respectivo tempo de concentração, assim como da intensidade da chuva, cuja duração é suposta como sendo igual ao referido tempo de concentração;
- As condições de permeabilidade da superfície da bacia permanecem constantes durante a ocorrência da chuva;
- O pico do *ESD* ocorre quando toda a área de drenagem, a montante do local em estudo, passa a contribuir no escoamento.

#### 3.2 LIMITAÇÕES

O Método Racional fornece somente um ponto do hidrograma do *ESD*, o pico. Sua aplicação em bacias complexas, com várias sub-bacias, tende a superestimar as vazões, resultando em obras de drenagem superdimensionadas.



## PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

REFERÊNCIA	ASSUNTO	DATA
DP-H03	DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM Diretrizes de Projeto para Estudos Hidrológicos – Método Racional	30/06/99

### 3.3 DADOS E INFORMAÇÕES PARA APLICAÇÃO

A aplicação do método depende dos seguintes dados e informações:

- Planimetria da bacia para determinação de sua área. É importante notar que, em áreas urbanas, nem sempre a área da bacia é determinada pelo seu divisor de águas, sendo de ocorrência relativamente comum a transposição de águas pluviais de bacias vizinhas através de tubos e galerias;
- Existência de uma relação intensidade-duração-freqüência representativa do regime de chuvas intensas na área;
- Escolha de um coeficiente de escoamento superficial representativo das condições futuras da bacia;
- Determinação do tempo de concentração, ou seja, o tempo de percurso da água desde o ponto mais distante da bacia hidrográfica até a seção de interesse. Após o tempo de concentração, toda a área da bacia estará contribuindo para o escoamento, desde que a duração da chuva excedente seja no mínimo igual ao tempo de concentração.

### 4. TEMPO DE CONCENTRAÇÃO – FCTH

Transcrição de parte do item 3.2.3 do Cap. 3 da Publicação "Diretrizes Básicas para Projeto de Drenagem Urbana no Município de São Paulo" – 1995 – FCTH – USP – São Paulo.

O tempo de concentração é, ao lado do coeficiente de escoamento superficial, um dos parâmetros cruciais do método racional, cuja determinação está também sujeita a incertezas e imprecisões.



# PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

REFERÊNCIA	ASSUNTO	DATA
DP-H03	DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM Diretrizes de Projeto para Estudos Hidrológicos – Método Racional	30/06/99

Diversas fórmulas têm sido propostas para determinar este parâmetro em função de características físicas da bacia, da sua ocupação e, eventualmente, da intensidade da chuva. É importante lembrar que a maioria destas expressões são empíricas e, portanto, só valem para condições semelhantes às de sua determinação. A adoção de qualquer destas fórmulas deve ser precedida de análise cuidadosa para evitar, por exemplo, *o equívoco de utilizar, em áreas urbanas, fórmulas originalmente desenvolvidas para áreas rurais.*

A forma mais correta de calcular o tempo de concentração é pelo método cinemático, ou seja, dividir a bacia em  $N$  trechos homogêneos e calcular a velocidade do escoamento em cada um deles. O tempo de concentração, em minutos, será dado por:

$$t_c = \frac{1}{60} \cdot \sum \frac{L_i}{V_i} \dots\dots\dots(4.1)$$

onde:

- $t_c$  = tempo de concentração em minutos;
- $L_i$  = comprimento de cada trecho homogêneo em metros;
- $V_i$  = velocidade do escoamento no trecho "i", em m/s.

Em áreas urbanas, o tempo de concentração pode ser dividido em duas parcelas: um tempo inicial  $t_0$ , tempo para a chuva atingir a primeira boca-de-lobo ou sarjeta, e um tempo  $t_t$  de translação na rede de drenagem (sarjetas, bueiros, galerias, canais, etc.)

$$t_c = t_0 + t_t \dots\dots\dots(4.2)$$

O tempo  $t_t$  usualmente corresponde a um escoamento sobre superfícies e pode ser estimado pela fórmula:



# PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

REFERÊNCIA	ASSUNTO	DATA
DP-H03	DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM Diretrizes de Projeto para Estudos Hidrológicos – Método Racional	30/06/99

$$t_i = \frac{0,65 \cdot (1,1 - C) \cdot L^{1/2}}{S^{1/3}} \dots\dots\dots(4.3)$$

onde:

- $t_i$  = tempo inicial ou tempo de escoamento em superfície ("overland flow"), em minutos;
- $C$  = coeficiente de escoamento superficial para período de retorno de 5 a 10 anos;
- $L$  = comprimento de escoamento em metros (no máximo 150 m);
- $S$  = declividade média da bacia, em porcentagem.

O tempo  $t_i$  deve ser calculado a partir dos parâmetros hidráulicos da rede de drenagem, pela fórmula de Manning por exemplo, o que requer o pré-dimensionamento da mesma.

## 5. INTENSIDADE – FCTH

Baseada no item 3.2.3 do Cap. 3 da Publicação "Diretrizes Básicas para Projeto de Drenagem Urbana no Município de São Paulo" – 1995 – FCTH – USP – São Paulo.

Intensidade é a quantidade de chuva que ocorre na unidade de tempo adotada, para uma dada freqüência e com uma duração igual ao tempo de concentração.

Para os projetos de Obras de Drenagem desenvolvidos para a SVP/PMSP, a intensidade de precipitação deve ser calculada conforme apresentado na DP-H02 – Estudos Hidrológicos – Equação de Chuvas.





# PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

REFERÊNCIA	ASSUNTO	DATA
DP-H03	DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM Diretrizes de Projeto para Estudos Hidrológicos – Método Racional	30/06/99

## 6. COEFICIENTE DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL DIRETO (COEFICIENTE DE “RUNOFF”) – FCTH

Transcrição de parte do item 3.2.3 do Cap. 3 da Publicação “Diretrizes Básicas para Projeto de Drenagem Urbana no Município de São Paulo” – 1995 – FCTH – USP – São Paulo.

Coeficiente de escoamento superficial é função de uma série de fatores, dentre os quais, o tipo de solo, a ocupação da bacia, a umidade antecedente, a intensidade da chuva e outros de menor importância. A adoção, portanto, de um valor de  $C$  constante é uma hipótese pouco realista e deve ser feita com os seguintes cuidados:

- O valor de  $C$  deve ser determinado para as condições futuras de urbanização da bacia;
- Se a ocupação da bacia for muito heterogênea, deve-se estimar o valor de  $C$  pelo método da média ponderada, conforme exemplo neste capítulo;
- O efeito da intensidade da chuva sobre  $C$  deve ser levado em conta por meio de correção feita em função do período de retorno, como se explica a seguir.

Usualmente, o coeficiente de escoamento superficial é determinado em função da ocupação do solo, conforme se apresenta na Tabela 6.1. Esta tabela *fornece os valores de  $C$  para períodos de retorno da ordem de 5 a 10 anos.*

Para períodos de retorno maiores, recomenda-se corrigir o valor de  $C$ , o que pode ser feito através da expressão:

$$C_T = 0,8 \cdot T^{0,1} \cdot C_{10} \dots \dots \dots (6.1)$$



# PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

REFERÊNCIA	ASSUNTO	DATA
DP-H03	DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM Diretrizes de Projeto para Estudos Hidrológicos – Método Racional	30/06/99

onde:

$C_T$  = coeficiente de escoamento superficial para o período de retorno  $T_i$  em anos;

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

## 7 PERÍODO DE RETORNO, EM ANOS

Quando a bacia apresenta ocupação muito heterogênea, é recomendável calcular um valor médio de  $C$  pela média ponderada dos diversos valores de  $C$  para cada ocupação específica:

$$C = \frac{1}{A} \cdot \sum C_i \cdot A_i \dots\dots\dots(6.2)$$

onde:

$C$  = coeficiente médio de escoamento superficial;

$A$  = área de drenagem da bacia;

$C_i$  = coeficiente de escoamento superficial correspondente à ocupação " $i$ ";

$A_i$  = área da bacia correspondente à ocupação " $i$ ".



## PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

REFERÊNCIA	ASSUNTO	DATA
DP-H03	DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM Diretrizes de Projeto para Estudos Hidrológicos – Método Racional	30/06/99

Tabela 6.1

Valores do coeficiente de escoamento superficial direto adotados pela Prefeitura do Município de São Paulo (Paulo Sampaio Wilken, 1978)

Zonas	C
<b>Edificação muito densa:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>partes centrais, densamente construídas de uma cidade com ruas e calçadas pavimentadas</li></ul>	0,70 – 0,95
<b>Edificação não muito densa:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>partes adjacentes ao centro, de menos densidade de habitações, mas com ruas e calçadas pavimentadas</li></ul>	0,60 – 0,70
<b>Edificações com poucas superfícies livres:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>partes residenciais com construções cerradas, ruas pavimentadas</li></ul>	0,50 – 0,60
<b>Edificações com muitas superfícies livres:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>partes residenciais com ruas macadamizadas ou pavimentadas</li></ul>	0,25 – 0,50
<b>Subúrbios com alguma edificação:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>partes de arrabaldes e subúrbios com pequena densidade de construção</li></ul>	0,10 – 0,25
<b>Matas, parques e campos de esporte:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>partes rurais, áreas verdes, superfícies arborizadas, parques ajardinados, campos de esporte sem pavimentação</li></ul>	0,05 – 0,20