

**Capítulo 66**  
**Método de I- PAI-WU**

## Capítulo 66- Método I-PAI-WU

### 66.1 Introdução

O DAEE São Paulo adota os seguintes métodos conforme a área de drenagem (AD):

- Método Racional (  $AD \leq 2\text{km}^2$  )
- Método I-PAI-WU (  $2 < AD \leq 200 \text{ km}^2$  )
- Método do prof. Kokei Uehara (  $200 < AD \leq 600 \text{ km}^2$  )
- Hidrograma unitário- Propagação (  $AD > 600 \text{ km}^2$  )

Vamos comentar o Método I-PAI-WU, 1963 usando os ensinamentos do prof. Hiroshi Yoshizane da Unicamp de Limeira.

Para os engenheiros que gostam do método Racional, o Método de I-PAI-WU é o método Racional que sofre algumas modificações, permitindo cálculos de bacias hidrográficas  $2 \text{ km}^2$  até  $200\text{km}^2$ . Existem órgãos do Estado de São Paulo que recomendam a adoção deste método, embora não aceito por todos.

O método de I-PAI-WU modificado elaborado pelo prof. dr. Kokei Uehara pode ser usado até área de  $600\text{km}^2$ , entretando não vamos apresentá-lo neste capítulo.

Pelo Método I-PAI-WU conforme PMSP, 1999 pode ser construído um hidrograma que poderá ser usado em *routing* de reservatórios, porém, o autor quando faz o *routing* prefere usar o método do SCS.

### 66.2 Equação básica

A equação básica do Método I-PAI-WU é:

$$Q = (0,278 \cdot C \cdot I \cdot A^{0,9}) \cdot K$$
$$Q_{\text{pico}} = Q_b + Q$$

Sendo:

Q= vazão de pico ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

Q<sub>b</sub>= vazão base ( $\text{m}^3/\text{s}$ ). Se não tiver informação adotar  $0,1 \times Q$ .

I= intensidade de chuva (mm/h)

C= coeficiente de escoamento superficial (adimensional)

A= área da bacia ( $\text{km}^2$ )  $\leq 200\text{km}^2$

K= coeficiente de distribuição espacial da chuva (adimensional)

Para achar o coeficiente K precisamos de um ábaco especial feito pelo DAEE no Estado de São Paulo.

### 66.3 Cálculo do coeficiente C de escoamento superficial

O coeficiente C é calculado pela seguinte equação:

$$C = (C_2 / C_1) \cdot 2 / (1 + F)$$

Sendo,:

C= coeficiente de escoamento superficial

C<sub>2</sub>= coeficiente volumétrico de escoamento

C<sub>1</sub>= coeficiente de forma

F= fator de forma da bacia

### Coefficiente de forma $C_1$

Conforme Kather, 2006 em bacias alongadas, o tempo de concentração é superior ao tempo de pico, pois a chuva que cai no ponto mais distante da bacia chegará tarde o suficiente para não contribuir para a vazão máxima. Assim em bacias alongadas, deve-se esperar um valor de  $C_1 < 1$  de acordo com a equação:

$$C_1 = t_p / t_c = 4 / (2 + F)$$

$t_p$  = tempo de pico de ascensão (h)

$t_c$  = tempo de concentração (h)

$$C = 2 \cdot C_2 / (1 + F \cdot C_1)$$

### Fator de forma da bacia

$$F = L / [2 (A/\pi)^{0,5}]$$

Sendo:

L = comprimento do talvegue (km)

A = área da bacia (km<sup>2</sup>)

F = fator de forma da bacia

Conforme Morano, 2006 quando:

F=1 a bacia tem formato circular perfeito

F<1 a bacia tem forma circular para a elíptica e o seu dreno principal está na transversal da área.

F>1 a bacia foge da forma circular para elíptica e o seu dreno principal está na longitudinal da área.

### Coefficiente $C_2$

O coeficiente volumétrico de escoamento ocorre em função do grau de impermeabilidade da superfície conforme DAEE, São Paulo, 1994.

Podemos adotar  $C_2=0,30$  para grau baixo de impermeabilização;  $C_2=0,50$  para grau médio e  $C_2=0,80$  para grau alto conforme Tabela (66.1).

Para estimar o coeficiente  $C_2$  consultar a Tabela (66.1) e (66.2).

**Tabela 66.1- Grau de impermeabilização do solo em função do uso.**

Grau de impermeabilidade da superfície	Coefficiente volumétrico de escoamento $C_2$
Baixo	0,30
Médio	0,50
Alto	0,80

Fonte: DAEE, 1994

Tabela 66.2- Valores de  $C_2$  conforme Morano, 2006

	Coefficiente volumetrico de escoamento $C_2$
Zona rural	0,25
Zona Suburbana	0,40
Zona Urbana	0,60
Zona Urbana Central	0,80

#### 66.4 Ábaco para determinar o coeficiente K

Nas Figuras (66.1) e (66.2) entrando na abscissa com área da bacia em  $\text{km}^2$  e interpolando o tempo de concentração em horas, achamos o valor de K em fração.

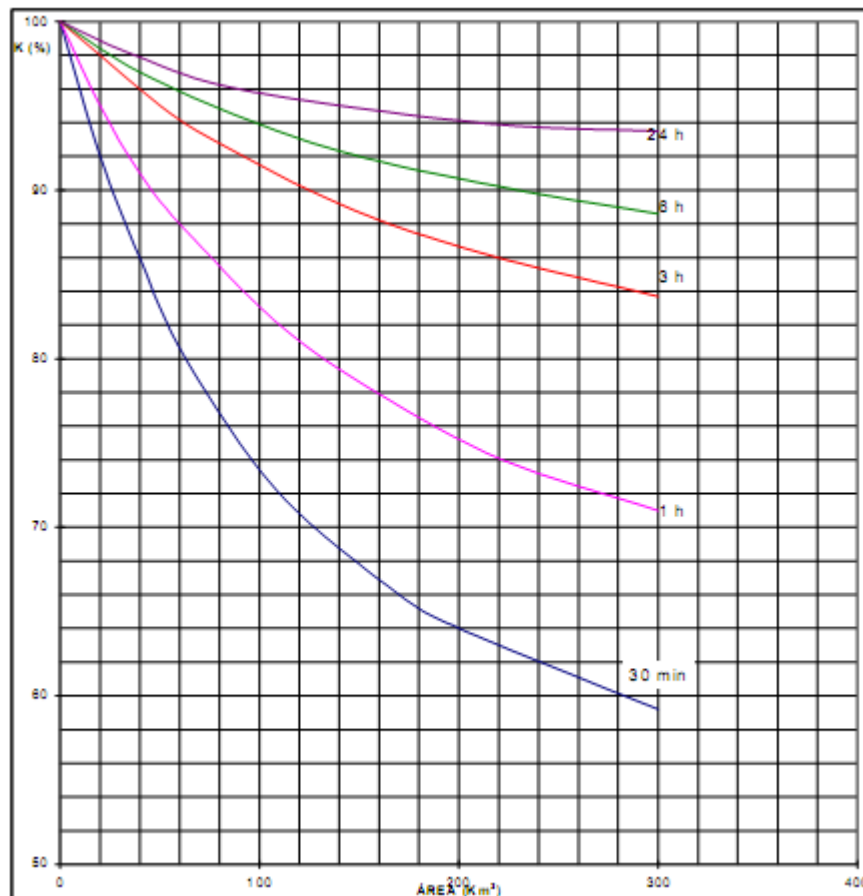


Figura 66.1- Ábaco para achar o valor de K. Fonte: PMSP, 1999  
Entrar com área da bacia em  $\text{Km}^2$  e com  $t_c$  achar K

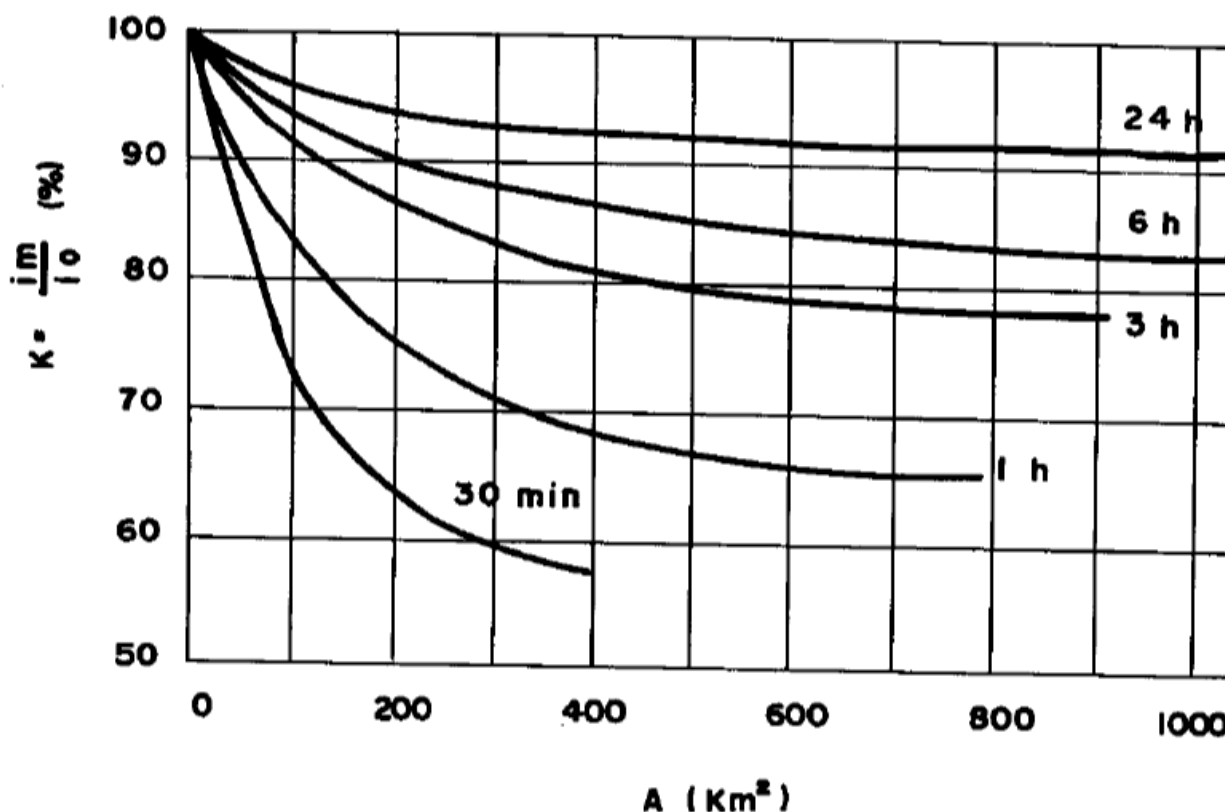


Figura 66.2- Coeficiente de distribuição espacial da chuva K em função da area da bacia e do tempo de concentração.

### 66.5 Tempo de concentração

Usamos normalmente a equação *Californica Culverts Practice* que foi recomendada pelo prof. dr. Kokei Uehara em 1969 para uso no método de I- PAI-WU.

$$t_c = 57 \times (L^2 / S)^{0,385}$$

Sendo:

$t_c$  = tempo de concentração (min)

L = comprimento do talvegue (km)

S = declividade equivalente do talvegue (m/Km)

### 66.6 Volume do hidrograma

O volume do hidrograma conforme prof Hiroshi Yoshizane da UNICAMP, pode ser calculado pela equação:

$$V = (0,278 \times C_2 \times I \times t_c \times 3600 \times A^{0,9} \times K) \times 1,5$$

Sendo:

V = volume do escoamento (m³)

$C_2$  = coeficiente volumétrico do escoamento (adimensional)

I = intensidade da chuva crítica (mm/h)

$t_c$  = tempo de concentração (h)

A = área da bacia (km²)

K = coeficiente de distribuição espacial (adimensional)

### Hidrograma do Método de I-PAI-WU

Conforme PMSP, 1999 I-PAI-WU demonstrou que:

$$C = f \cdot C_2 / C_1$$

**Tirando-se o valor de f temos:**

$$f = C \cdot C_1 / C_2$$

Na Figura (66.3) temos o hidrograma admitido no método de I-PAI-WU, notando-se que o volume total  $V$  e o volume do trecho ascendente  $V_1$ .

$$f = 2 \cdot V_1 / V_T$$

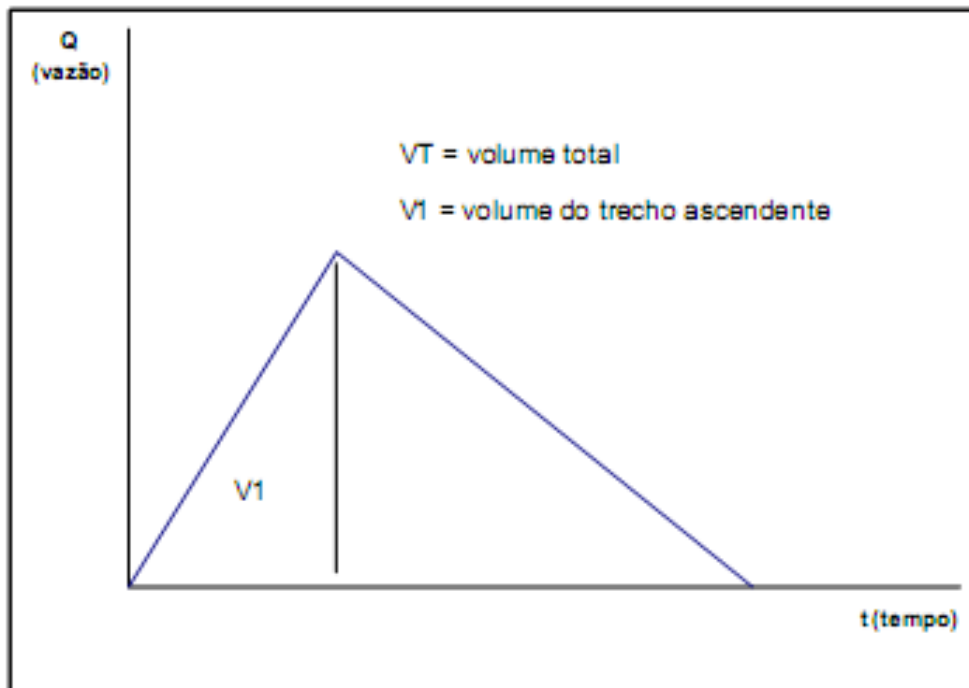


Figura 66.3- Hidrograma do Método de I-PAI-WU. Fonte: PMSP, 1999

**Exemplo 66.1**

Dimensionar a vazão do rio Baquirivu Guaçu junto a ponte da Via Dutra. A área tem 149,80km<sup>2</sup>, declividade média S=0,002825m/m, L= 22,3km (talvegue), tc= 6,95h.

**Tabela 66.3- Cálculos do I PAI WU**

<b>Tr (anos)</b>	<b>100</b>		
K	1747,9		
a	<b>0,181</b>		
b	15		
c	<b>0,89</b>		
<b>tc (min)</b>	<b>417,28</b>		
I (mm/h)	<b>18,14</b>		
Qb (m3/s)	<b>0,00</b>		
Talvegue(km)	<b>22,30</b>		
Decl (m/m)	<b>0,002825</b>		
Decl (m/km)	<b>2,8250</b>		
Kirpich tc (min)	<b>417,28</b>		
tc (horas)	<b>6,95</b>		
<b>A (km2)</b>	<b>149,8</b>		
F	1,61		
C <sub>1</sub>	1,11	C <sub>1</sub> =4/(2+F)	
C <sub>2</sub>	0,80	Adotado	
C	0,57	C=2.C <sub>2</sub> / (1+F.C <sub>1</sub> )	
Abaco K	0,95		
Q (m3/s)	<b>249,7</b>		
Qp (m3/s)	<b>249,70</b>		
VT(m3)=	13066964	<b>V= (0,278 x C<sub>2</sub> x I x tc x 3600 x A<sup>0,9</sup> x K) x 1,5</b>	
f=C.C <sub>1</sub> /C <sub>2</sub>	0,794		
V1=	5188625		
tb (s)	104659,6		
tb (h)	29,1		
t1= 2xV1/Qp=	41558,19	Segundos	
t1 (horas)=	11,5		

**tc calculado pelo método de *California Culverts Practice***

Qb= vazão base considerada 0,1Q. No caso vamos considerar Qb=0

$$Q_p = Q_b + Q$$

$$C_2 = 0,80$$

**Hidrograma conforme I-PAI-WU**

$$C = f \cdot C_2 / C_1$$

$$C_1 = 1,1$$

$$C_2 = 0,8$$

$$C = 0,57$$

$$f = C \cdot C_1 / C_2 = 0,57 \times 1,1 / 0,8 = 0,794 = 2 \cdot V_1 / V_T$$

$$V_1 = f \cdot V_T / 2$$

**Volume do hidrograma conforme I-PAI-WU**

$$V = (0,278 \times C_2 \times I \times t_c \times 3600 \times A^{0,9} \times K) \times 1,5$$

$$V = (0,278 \times 0,80 \times I \times 6,95 \times 3600 \times 149,8^{0,9} \times 0,95) \times 1,5 = 13.066.964 \text{ m}^3$$

$$V_1 = f \times V_T / 2$$

$$V_1 = 0,794 \times 13.066.964 / 2 = 5.188.625 \text{ m}^3$$

$$t_p \times Q_{\max} / 2 = V_1$$

$$t_p = 2V_1 / Q_{\max} = 2 \times 5188625 / 353,4 = 17365 \text{ s} = 4,82 \text{ h}$$

$$t_p = 0,6 \times t_c = 0,6 \times 6,95 \text{ h} = 4,17 \text{ h}$$

$$\text{Adotamos } t_p = 4,17 \text{ h}$$

**A base do hidrograma  $t_b$  obtêm-se:**

$$V = Q_{\max} \times t_b / 2$$

$$t_b = V \times 2 / Q_{\max} = 13.066.964 \times 2 / 249,7 = 73939,63 \text{ s} = 20,54 \text{ h}$$

$$C = f \cdot C_2 / C_1$$

$$0,81 = f \cdot 0,80 / 0,60$$

$$f = 0,61$$

$$V_1 = V \cdot f / 2 = 13.066.964 \text{ m}^3 \times 0,61 / 2 = 3.982.160 \text{ m}^3$$

$$t_1 \times Q_p / 2 = V_1$$

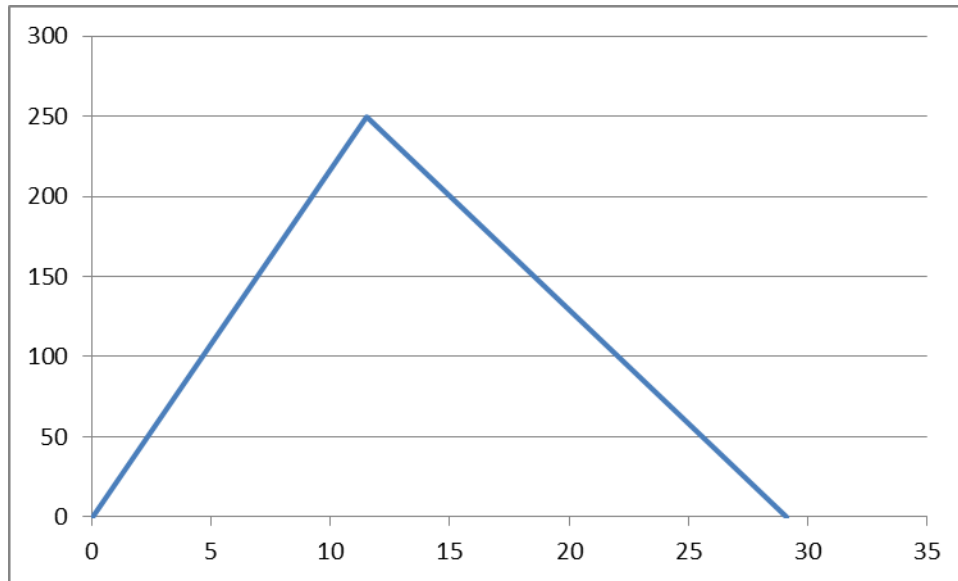
$$t_1 = V_1 \times 2 / Q_p = 3.982.160 \times 2 / 249,70 = 249,70 \text{ s} = 11,5 \text{ h}$$

**O hidrograma ficará desta maneira:**

**Tabela 66.4- Dados para o gráfico**

Abcissa (h)	Ordenada (m <sup>3</sup> /s)
0	0
t <sub>1</sub> =11,5	249,7
t <sub>b</sub> =29,1	0





**Figura 66.4- Hidrograma triangular do Método de I-PAI-WU**

### **66.5 Bibliografia e livros consultados**

- GENOVEZ, ABEL MAIA. *Avaliação dos métodos de estimação de vazões de enchente para pequenas bacias rurais do Estado de São Paulo*. Unicamp, Campinas, Dissertação de Mestrado, outubro de 1991, 245 páginas.
- KATHER, CHRISTIAN. *Uso do solo e da água na bacia do ribeirão Serragem*, Vale do Paraíba, janeiro de 2006
- MORANO, JOSÉ ROBERTO. *Pequenas barragens de terra. Metodologia para projetos e obras*. Edição Codasp, 2006, 103 páginas.
- PMSP (PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO). *Diretrizes de projetos de hidráulica e drenagem*. Secretaria de Vias públicas, 30/06/99, referencia DP-H06- Diretrizes de projeto para estudos hidrológicos- Método de I-PAI-WU.
- YOSHIZANE, HIROSHI. *Hidrologia e Drenagem*. CESET. Unicamp, Limeira, 2006.