

P. Menides de Rocha

ANDRÉ PÉREZ VELASCO

**Estudo sobre o deflúvio  
Sua regularização por  
meio de barragens  
Aplicação na defesa das  
cidades contra inundações**

**Tese para inscrição ao concurso  
de professor catedrático da 11a.  
cadeira (Hidráulica; Hidráulica  
Urbana e Saneamento) da Escola  
Politécnica da Universidade de  
São Paulo**

*Arquivo da Faculdade de Arquitetura  
e Urbanismo da UFSCar*

**São Paulo - 1940**

PHD  
FT-229

**Estudo sobre o deflúvio.  
Sua regularização por  
meio de barragens.  
Aplicação na defesa das  
cidades contra inundações**



## I N T R O D U Ç Ã O

Algumas das cidades paulistas do século passado estabelecidas junto aos cursos d'água, o que aliás foi a regra geral, ficaram, até hoje, à mercê das inundações, de que, de vez em quando, se tem conhecimento pelo noticiário dos jornais. E, como essas cidades paulistas, quantas mais pelo Brasil afóra! É o que se conclui do inquérito oficial procedido recentemente em todos os municípios brasileiros, que revelou ser o problema das enchentes periódicas comum a 259 municípios.

As alterações havidas na situação agrícola de nossa terra vêm acarretando porém o reflorecimento daquelas velhas cidades paulistas, e já cuidam elas hoje de melhorar as suas condições de salubridade.

Surge assim um problema importante, que nos propomos a estudar nesta tese: a defesa contra as inundações das cidades atravessadas por pequenos cursos de regime torrencial, dentro das suas possibilidades econômicas, evitando-se as dispendiosas obras de retificação e aumento de secção dos cursos d'água.

O presente trabalho, confecionado em cerca de dois meses, procurará condensar, de forma que nos pareça bastante clara e metódica, o que sobre o assunto dizem os autores. Representa ele também a orientação que seguimos, no desempenho de nossa atividade profissional, na solução do importante problema.

## **PRELIMINARES**

### **PLUVIOMETRIA**

#### **Registro pluviométrico**

O registro pluviométrico consiste em anotarem-se sistemàticamente as características das chuvas: a *intensidade*, a *duração* e a *frequência*.

A *intensidade* é a quantidade de chuva caída na unidade de tempo. A quantidade se exprime em milímetros, os quais significam a altura a que subiria a água caída, sem escoamento, sobre o solo suposto impermeável. A unidade de tempo adotada é a *hora*, extendendo-se a êste período as precipitações de menor duração. A *frequência* é o número de vezes, dentro de um dado período, que uma determinada chuva tem lugar.

#### **Pluviômetros registradores**

A intensidade e a duração das chuvas determinam-se por meio de aparelhos especiais que registram automàticamente essas características.

O *pluviômetro registrador* (Fig. 1) (\*) consiste, em suas linhas gerais, em um funil receptor da água de

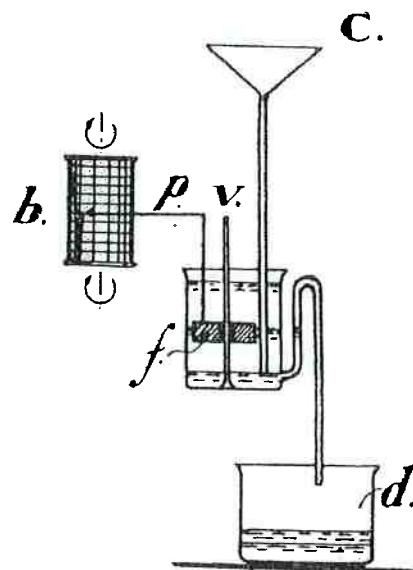


Fig. 1 — Esquema de um pluviômetro registrador.

(VELA HUERGO — Las obras de desagües pluviales de la ciudad de Buenos Aires)

chuva (c), e um flutuador (f) solidário a uma pena provida de tinta (p), a qual deixa assinalado um gráfico sobre o papel que envolve um cilindro (b) movido por meio de um mecanismo de relojoaria.

Há diversos tipos de pluviômetros registradores, com diversas modalidades construtivas. Assim, a descarga da água, que no caso da figura 1 é produzida

---

(\*) Por falta de tempo, as figuras do presente trabalho foram extraídas das obras citadas.

por meio de um sifão, pode ser realizada automaticamente por diversos processos.

A área da superfície do funil receptor tem influência muito pequena nas determinações pluviométricas.

A colocação do pluviômetro deve obedecer a certas regras. Deve-se evitar a influência do vento e a proximidade de obstáculos, tais como, edifícios, árvores, etc. O aparelho deve ser colocado próximo ao solo e à distância de obstáculos pelo menos igual à altura dêstes.

### Gráfico pluviométrico

O gráfico fornecido pelo pluviômetro (Fig. 2) apresenta, em ordenadas, a altura de água

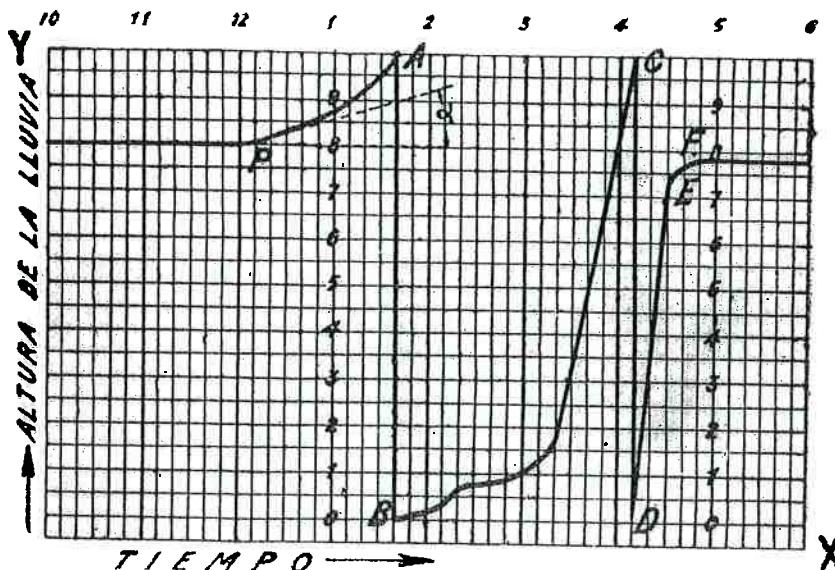


Fig. 2 — Gráfico pluviométrico.  
(VELA HUERGO — Obra citada)

caída e, em abscissas, o tempo correspondente a essa precipitação. No caso da figura 2, que corresponde a uma chuva caída durante oito horas, a altura total é igual à soma das alturas parciais,  $y_A - y_P, y_C - y_B, y_F - y_D$ , ou sejam,  $2+10+7,8 = 19,8$  mms.

A *intensidade instantânea* é expressa pelo valor de  $\frac{dy}{dx} = tg^a$ , em mms./hora. A *intensidade absoluta* corresponde à intensidade média entre dois instantes, expressa em mms./hora. Assim, a intensidade absoluta entre os pontos  $D$  e  $E$  é  $i = \frac{60 \text{ h}}{t} = \frac{60 \times 7,4}{20} = 22,2$  mms./hora.

A intensidade média  $\frac{h}{t}$  entre êsses dois pontos corresponde à intensidade instantânea de qualquer dos pontos intermédios, por se tratar de uma reta.

### Curvas de intensidade-duração

Consignando-se no sistema cartesiano ortogonal as características das chuvas observadas em um determinado lugar e durante um certo período de tempo, — as intensidades ( $i$ ) em abscissas e os tempos ( $t$ ) em ordenadas —, a envolvente dos pontos assim obtidos, de equação  $i = f(t)$ , será a curva de *intensidade-duração* (Fig. 3).

Essas curvas são hipérboles equiláteras asintóticas aos eixos coordenados, da forma  $i \cdot t = C$ , onde  $i$  repre-

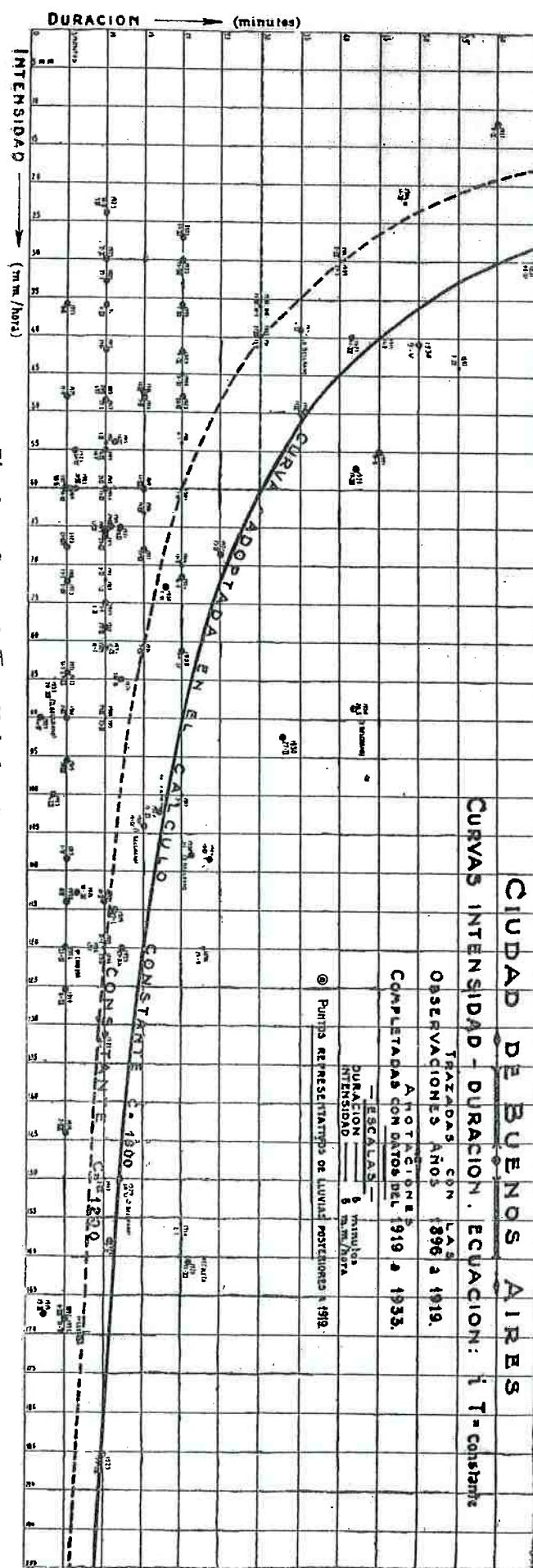


Fig. 3 — Curvas de Intensidad-duración. (VELA HUERGO — Obra citada)

senta a intensidade da chuva em milímetros por hora,  $t$  a duração em horas ou, geralmente, em minutos e  $C$  uma constante. F. E. Nipher, um dos que primeiro estabeleceram essas equações, deduziu, das observações pluviométricas em Saint Louis (E. U.) du-

rante 47 anos, a formula:  $i = \frac{360}{t}$

Geralmente se determinam três curvas: uma para *condições extremas* ou pouco frequentes, outra para *condições máximas* ou normalmente severas e, finalmente, a terceira para *condições frequentes*. Além dessas condições, existem as provocadas por chuvas excepcionais, que os norte-americanos chamam "acts of God", as quais ultrapassam toda e qualquer previsão.

No projeto de esgotamento pluvial de Buenos Aires, foi adotada a constante  $C = 1.800$  e uma única chuva de uma só curva: *a chuva de intensidade de 60 mms. por hora e de duração de 30 minutos*. Essa intensidade é igual a 0,50 da intensidade das chuvas de 120 mms. "de alguma frequência", como diz o memorial daquele projeto, o qual cita os coeficientes análogos para algumas cidades: Paris — 0,365; Londres — 0,25; Berlim — 0,34; Roma — 0,50 e 0,82; Nápoles — 0,36.

### Curvas de intensidade-duração-frequência

Ao projetar-se uma obra para determinadas intensidade e duração de chuva, é de toda conveniência conhecer-se a frequência com que se apresentarão, pro-

vàvelmente, essas características, pois não é possível atender-se a tôdas as chuvas que possam ocorrer.

Em Boston (E. U.) determinou-se a probabilidade de chuvas de intensidade superior a uma polegada por hora, tendo-se obtido os seguintes resultados, colhidos em 26 anos de observação:

QUADRO N.º 1

<i>Duração em minutos</i>	<i>Número de chuvas por ano</i>
5	2,54
10	1,85
20	1,04
30	0,77
40	0,50
50	0,39
60	0,35
70	0,15
85	0,12
130	0,08

Si o registro das chuvas abrange um período suficiente, por exemplo, de 20 anos, admite-se que a intensidade máxima observada, para cada duração de chuva, provàvelmente será igualada ou excedida uma vez naquele período. Considera-se a segunda intensidade registrada igualada ou excedida, provavelmente,

duas vezes em 20 anos ou, em média, uma vez em 10 anos. E assim semelhantemente para as demais intensidades.

Levando-se então em um sistema de coordenadas cartesianas ortogonais os valores de  $i$  (em ordenadas) para cada duração  $t$  (em abcissas), as curvas que ligarem os pontos da mesma frequência representarão as intensidades que foram igualadas ou excedidas, em média, uma vez em 20 anos, 10 anos, 5 anos, etc. Comumente, diz-se que tais intensidades têm as frequências de 20 anos, 10 anos, etc.

Essas curvas, — eliminados os pontos muito discordantes, que correspondem a anormalidades, — poderão ser consideradas como curvas de intensidade-duração de várias frequências, ou, como se dizem geralmente, curvas de *intensidade-duração-frequência*.

Extraímos da obra de Metcalf e Eddy, "American Sewerage Practice", o resultado dos estudos realizados por êsses autores para a cidade de Louisville, Kentucky, baseados nas precipitações ocorridas no período de 1897 a 1920. O quadro n.º 2 dá-nos as alturas das chuvas em polegadas e as intensidades em polegadas por hora, ordenadas segundo a frequência, isto é, segundo o número de vezes que suas características foram igualadas ou excedidas. Os números da primeira linha desse quadro, que encabeçam outras tantas colunas, representam o número de vezes que as alturas e as intensidades, correspondentes às diferentes durações consignadas nas linhas sucessivas, foram igualadas ou excedidas no período de 24 anos. A segunda

QUADRO N.º 2

INTENSIDADE, DURAÇÃO E FREQUÊNCIA DA PRECIPITAÇÃO EM LOUISVILLE, KY. (24 ANOS, 1897-1920)

Número de vezes que as características são igualadas ou excedidas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Frequência media (anos)	24	12	8	6	$4 \frac{4}{5}$	4	$3 \frac{3}{7}$	3	$2 \frac{2}{3}$	$2 \frac{4}{10}$	
Duração (minutos)											
$t = 5$	$\frac{h}{N}$	0.77 9.24	0.74 8.88	0.61 7.32	0.57 6.84	0.49 5.88	0.48 5.76	0.45 5.40	0.42 5.04	0.41 4.92	0.38 4.56
$t = 10$	$\frac{h}{N}$	1.14 6.90	1.14 6.84	0.87 5.22	0.76 4.56	0.69 4.14	0.67 4.02	0.66 3.96	0.65 3.90	0.64 3.84	0.61 3.66
$t = 15$	$\frac{h}{N}$	1.40 5.60	1.33 5.32	1.05 4.20	1.00 4.00	0.95 3.80	0.90 3.60	0.84 3.36	0.78 3.12	0.77 3.08	0.77 3.08
$t = 20$	$\frac{h}{N}$	1.59 4.77	1.44 4.32	1.24 3.72	1.16 3.48	1.14 3.42	1.09 3.27	0.96 2.88	0.96 2.88	0.93 2.79	0.90 2.70
$t = 25$	$\frac{h}{N}$	1.68 4.03	1.49 3.58	1.45 3.48	1.33 3.19	1.32 3.17	1.14 2.74	1.10 2.64	1.05 2.52	1.03 2.47	1.00 2.40
$t = 30$	$\frac{h}{N}$	1.72 3.44	1.71 3.42	1.54 3.08	1.44 2.88	1.44 2.88	1.24 2.48	1.18 2.26	1.10 2.20	1.09 2.18	1.09 2.18
$t = 45$	$\frac{h}{N}$	1.82 2.43	1.81 2.41	1.69 2.26	....	1.47 1.96	1.45 1.98	1.39 1.85	1.29 1.72	1.27 1.69	1.24 1.65
$t = 60$	$\frac{h}{N}$	2.00 2.00	1.98 1.93	....	1.73 1.73	1.53 1.53	1.47 1.47	1.41 1.41	1.39 1.39	1.36 1.36	1.33 1.33
$t = 80$	$\frac{h}{N}$	2.43 1.82	2.38 1.79	1.99 1.49	....	1.58 1.19	1.57 1.18	1.57 1.18	1.57 1.18	1.53 1.15	1.49 1.12
$t = 100$	$\frac{h}{N}$	2.70 1.62	2.44 1.46	2.02 1.21	....	1.67 1.00	1.65 0.99	1.61 0.97	1.61 0.97	1.60 0.96	1.58 0.95
$t = 120$	$\frac{h}{N}$	2.72 1.96	2.46 1.23	2.05 1.03	....	1.73 0.87	1.72 0.86	1.72 0.86	1.66 0.83	....	1.62 0.81
$t = 180$	$\frac{h}{N}$	3.01 1.00	2.49 0.88	2.28 0.76	2.13 0.71	2.09 0.70	1.86 0.62	1.85 0.62	1.85 0.62	1.80 0.60	1.74 0.58
$t = 240$	$\frac{h}{N}$	3.16 0.79	....	2.48 0.62	2.25 0.56	2.14 0.54	2.10 0.52	2.03 0.51	1.93 0.48	1.90 0.48	1.89 0.47
$t = 300$	$\frac{h}{N}$	3.21 0.64	2.60 0.52	2.52 0.50	2.28 0.46	2.20 0.44	2.19 0.44	....	1.98 0.40		
$t = 360$	$\frac{h}{N}$	....	2.82 0.47	2.69 0.45	2.38 0.40						

$h$  = Quantidades, em polegadas.

$t$  = Intensidades, em polegadas por hora.

linha indica o quociente de 24 pelos números da primeira linha.

Consignando os dados do quadro em um sistema cartesiano ortogonal, onde as abcissas representem o tempo e as ordenadas a intensidade (no caso da figura o tempo em minutos e a intensidade em polegadas por hora), e unindo-se os pontos da mesma frequência, obtem-se a série das curvas de intensidade-duração-frequência, como nos indica a figura 4, onde estão consignadas as curvas que correspondem às frequências: 5, 10, 15 e 24 anos. Segundo Metcalf e Eddy, a equação representativa da curva de frequência 5 é:

$$i = \frac{168}{(t+24)^{1,033}}; \text{ a equação da curva de frequência 10 é:}$$

$$i = \frac{75}{(t+10)^{0,86}}; \text{ à curva de frequência 15 corresponde a equação: } i = \frac{33,3}{t^{0,683}}$$

Tais curvas permitem atender à parte econômica dos projetos, visto que nos dão a frequência provável com que se verificará a insuficiência da capacidade das obras projetadas para determinadas precipitações. Poderemos então, adotadas as bases pluviométricas fornecidas por diversas curvas, fazer um estudo de ordem econômica, levando em conta o custo das instalações, o serviço de juros e amortização e as despesas de reparação dos prejuizos acarretados pela falta de capacidade das obras.

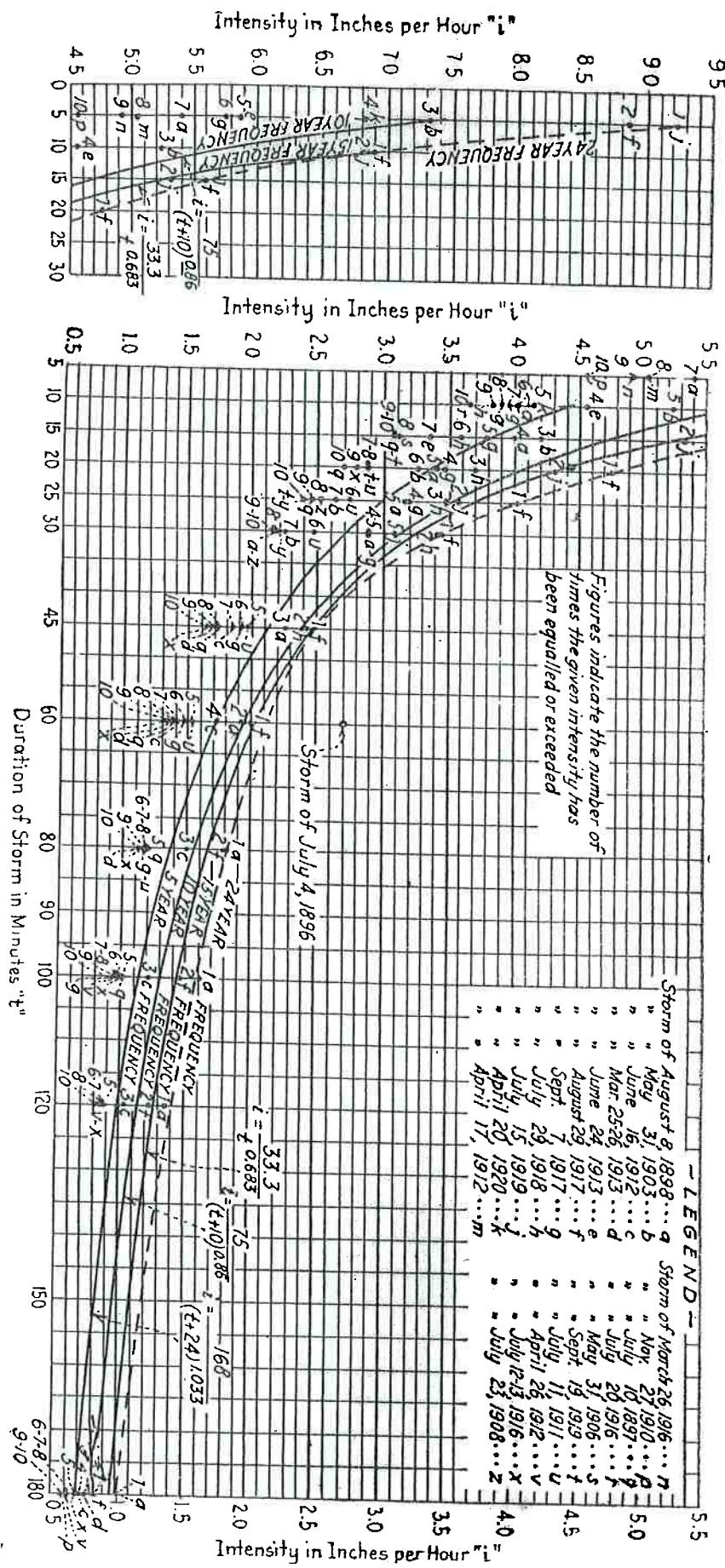


Fig. 4 — Curvas de intensidade-duração-freqüência.  
 (METCALF e EDDY — American Sewerage Practice)

Na prática, todavia, tais estudos ficam subordinados a condições de caráter local e financeiro. Entretanto, quando fôr pequena a diferença entre as ordenadas de duas curvas de frequências bastante distintas, pode-se adotar a curva de maior frequência, a qual nos dará, assim, com um custo de execução sensivelmente igual, uma capacidade das obras bem maior. É o que se verifica na figura 4, onde se nota a pequena diferença entre as curvas de 15 e de 10 anos; no período compreendido entre durações de 20 e de 60 minutos. Correspondente à abcissa de 45 minutos, verifica-se também uma aproximação sensível entre as curvas de 10, 15 e 24 anos.

O conhecimento das curvas de intensidade-duração-frequência permite, pois, um estudo mais completo, quanto à segurança e à eficácia de funcionamento, das obras que devem ser projetadas.

Alguns autores, com o emprego do “papel de probabilidades” e aplicando a estatística e a teoria das probabilidades, constroem curvas que nos dão a porcentagem dos anos em que uma precipitação de determinadas características deve ser esperada. Tais curvas são de grande utilidade, pois permitem a aplicação, a um período qualquer, de ocorrências observadas durante um período limitado.

#### Distribuição da precipitação

Quando dois ou mais pluviômetros são colocados a certa distância um do outro, observa-se uma diferen-

ça sensível entre os seus registros. Assim, no caso de áreas extensas, pôde haver um erro grosseiro em considerar-se uniforme a precipitação.

O modo de distribuição das chuvas tem provocado uma série de estudos de especialistas no assunto. Entre estes cumpre destacar Frühling, que determinou a seguinte lei parabólica para a distribuição da chuva:  $y^2 = \frac{q^2 \cdot x}{12.000}$ , cujos elementos estão representados na figura 5.

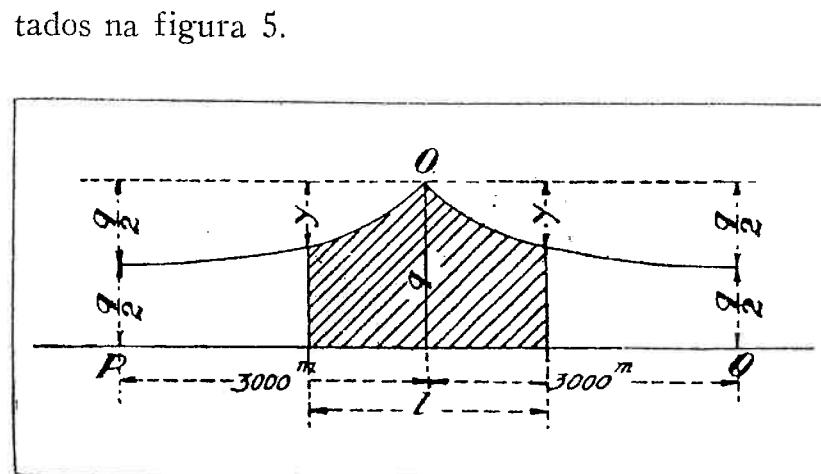


Fig. 5 — Lei parabólica de distribuição da chuva de Frühling.  
(VELA HUERGO — Obra citada)

Admite Frühling que as chuvas de grande intensidade abrangem um círculo de 24.000 ms. de diâmetro e que a intensidade vai diminuindo, a partir do centro da precipitação, segundo a lei acima. Assim, a 3.000 ms. do foco a intensidade acha-se reduzida à metade, sendo então a intensidade média, para essa área de 6.000 ms. de diâmetro, de 0,61 da intensidade máxima.

Da fórmula acima deduz-se que a redução da intensidade máxima da chuva, será, chamando-se  $l$  o comprimento do talvegue:  $1 - 0,005 \sqrt{l}$ .

### Diagramas integrais

Dossi e Massari idearam a integração dos diagramas individuais, deduzidos dos gráficos de cada registrador levando-se, em ordenadas, as intensidades absolutas correspondentes aos períodos em que podem ser consideradas constantes e, em abcissas, os períodos respectivos. Há registradores que dão, diretamente, tais diagramas. O diagrama integral obtém-se superpondo os diagramas individuais, desenhados na mesma escala e referidos a uma origem comum dos tempos; para ordenadas tomam-se as intensidades médias correspondentes a cada intervalo (Fig. 6). Interpreta-se o diagrama integral como correspondendo a uma chuva uniformemente distribuída e equivalente, em quantidade, às chuvas locais registradas nos diversos registradores instalados na bacia. Para que essa interpretação fosse exata, seria necessário que as áreas correspondentes a cada registrador fossem iguais. Marston levou em conta esse fator de desigualdade por meio de coeficientes que variam com a área da zona tributária e com a duração da chuva.

### Intensidades uniformes e variáveis

Quasi todas as precipitações intensas não conservam uma intensidade uniforme durante todo o tempo

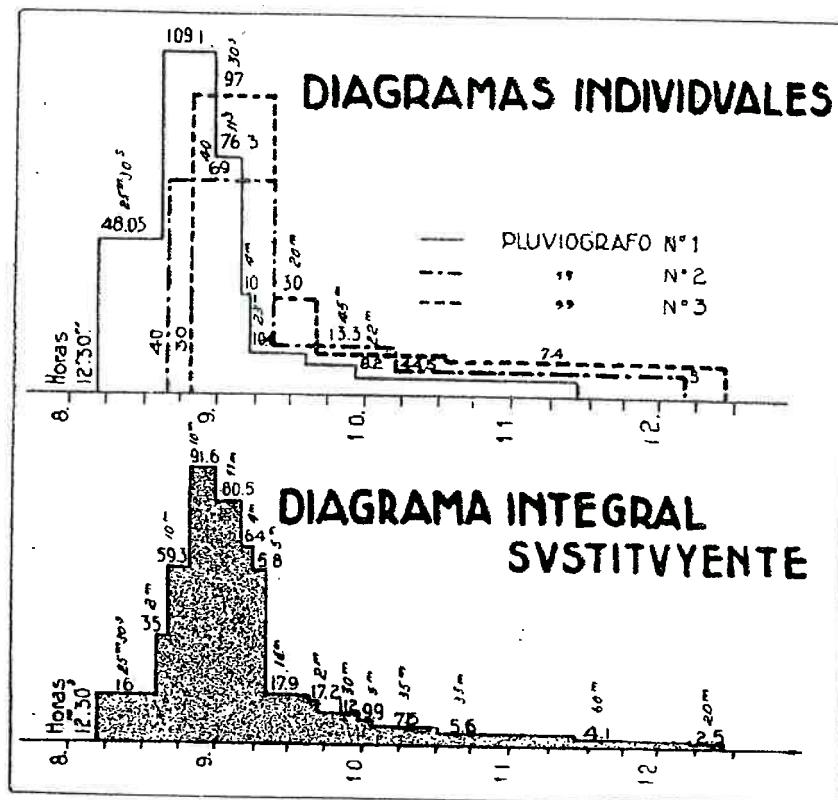


Fig. 6 — Integração dos diagramas individuais.  
(VELA HUERGO — Obra citada)

de concentração, exceto no caso de curtos períodos. Em geral, principalmente no caso de precipitações de longa duração, alternam-se períodos de maior e menor intensidade, ocorrendo as intensidades maiores mais perto do início da precipitação.

Na prática, adotam-se, geralmente, intensidades médias, de modo que a intensidade máxima durante um certo período seja representada pela intensidade média correspondente à maior precipitação havida nesse período.

## II

# DEFLÚVIO

### Generalidades

Da água da chuva caída ao solo, uma parte perde-se por evaporação, outra enche as depressões da superfície, outra penetra na terra, onde é retida por capilaridade, percola suavemente para alimentar o lençol freático ou é absorvida pela vegetação; o resto, finalmente, corre a favor da declividade do terreno até ser recolhido pelos cursos d'água ou pelos emissários artificiais. Esta parte constitúe o que se denomina, em sentido lato, *deflúvio*.

Esta parte da precipitação que se escôa de uma dada superfície varia com a duração e a intensidade da chuva, com o grau de saturação e as características do terreno, como já vimos. É necessário um certo período de tempo para que a água caída em tôdas as partes da bacia chegue, depois de encher as depressões e de saturar o terreno, ao ponto de concentração, isto

---

(\*) Empregamos também, no decorrer do presente trabalho, o termo *deflúvio* no sentido de descarga.

é, ao ponto fixado para a implantação de determinada obra hidráulica.

Em bacias de pequena extensão, essa hipótese pode ser satisfeita. O deflúvio máximo será obtido com uma chuva de intensidade máxima e uniforme durante o tempo necessário para que a água percorra a distância do ponto mais afastado da bacia até o ponto de concentração considerado.

Em bacias de grande extensão, o deflúvio máximo ocorre geralmente quando algumas partes da bacia estão contribuindo em menor proporção do que outras, devido às variações da intensidade da precipitação nas diferentes partes da bacia.

Se a precipitação, de intensidade variável, for distribuída uniformemente e com igual duração em toda a superfície, o deflúvio total será a reunião dos deflúvios parciais, de diferentes intensidades, das diversas zonas.

Admitindo-se iguais as áreas e os coeficientes de deflúvio, a intensidade a introduzir na fórmula do deflúvio seria neste caso igual à intensidade média sobre toda a superfície, durante o tempo considerado.

## AVALIAÇÃO DO DEFLÚVIO

### Fórmulas empíricas

Os primeiros estudos sobre a questão foram baseados em observações de vazão de cursos d'água, donde resultaram fórmulas empíricas. Verificou-

se mais tarde que os fatores que mais diretamente afetam o deflúvio são a intensidade da precipitação e o tempo de concentração, o que foi levado em conta com o emprêgo de diversos coeficientes. Resultaram assim as fórmulas de Hawksley, Bürkli-Ziegler, Adams, Mac Math, Hering, Parmesley, Gregory, Murphy, Metcalf e Eddy, Kuichling, Fuller, etc.

### Método racional

O método chamado “racional” admite a seguinte relação entre a precipitação e o deflúvio:

$$Q = \varphi \cdot N \cdot S,$$

onde,

$Q$  é o deflúvio total, em litros por segundo;

$\varphi$ , o coeficiente de deflúvio;

$N$ , a intensidade da precipitação, em litros por segundo e por hectare;

$S$ , a superfície do solo, em hectares.

A superfície  $S$  é determinada por levantamentos que compreendam toda a bacia hidrográfica. É conveniente que êsses levantamentos incluam todos os obstáculos que possam se opor ao livre escoamento das águas, bem como a altimetria do solo, as suas condições geológicas, a sua vegetação e as demais características do seu revestimento, das quais dependerá o coeficiente de deflúvio.

### Tempo de concentração

Como já o definimos, o tempo de concentração é o tempo necessário para que a água percorra a distância entre o ponto mais afastado da bacia e o ponto de concentração. Como já vimos também, comprehende êle o tempo necessário para encher as depressões, saturar o solo e estabelecer a corrente líquida, a qual é função das declividades superficiais e dos obstáculos opostos ao seu livre escoamento.

Metcalf e Eddy distinguem dois tempos de concentração, o *tempo mínimo* e o *tempo atual*.

O *tempo mínimo* corresponde às condições para as quais as obras devem ser projetadas.

O *tempo atual* corresponde às condições existentes no momento de uma dada precipitação. Si esta for de fraca intensidade, a velocidade do deflúvio será baixa e, a menos que a chuva tenha caído previamente durante algum tempo, será necessário um longo período de tempo para que se produza o enchimento das depressões e seja adquirida a carga necessária ao deflúvio.

O engenheiro George Ribeiro, partindo da hipótese de que a velocidade da água é proporcional à raiz quadrada da declividade do terreno, propôs a seguinte equação para determiná-la :

$$v = 1,6 K \sqrt{S},$$

onde,

$v$  = velocidade da gota d'água sobre o terreno,  
em metros por minuto;

$S$  = declividade do terreno;

$K$  = coeficiente variável com o revestimento do  
terreno e cujos valores admitidos são:

- 1) Terreno limpo, pedregoso ..... 10 a 15 e mais;
- 2) Terreno com herba curta e escassa 8;
- 3) Terreno com vegetação ..... 5 a 1 e menos.

Levando em conta a velocidade dentro do curso d'água, o engenheiro acima diz que a velocidade média da gota de chuva percorrendo os dois caminhos, isto é, a distância desde o espingão divisor até à nascente do curso d'água e desta até o ponto de concentração, pôde ser tomada entre 4 e 6 Kms./hora.

Admitida a hipótese acima, o tempo de concentração, em minutos, estaria compreendido entre  $\frac{60L}{4}$  e  $\frac{60L}{6}$ , isto é, 15  $L$  e 10  $L$ , onde  $L$  é o caminho total, em quilómetros, percorrido pela água da chuva, desde o ponto mais afastado da bacia hidrográfica até o ponto de concentração em estudo.

George Ribeiro, em um trabalho recente, publicado na Revista do Clube de Engenharia do Rio de Janeiro, apresenta a seguinte fórmula para o cálculo do tempo de concentração:

$$T = \frac{A^{1/2} U^{1/5}}{KS^{1/2}},$$

onde,

$$U = \frac{L}{A};$$

$A$  = área da bacia hidrográfica em Kms.<sup>2</sup>;

$L$  = comprimento, em Kms., do percurso seguido pela água da chuva desde o ponto mais distante da bacia até o ponto de concentração;

$S$  = declividade média do terreno.

$K$  = coeficiente variável com a natureza do terreno e da vegetação, e cujos valores são:

- 1) Terrenos de areia com vegetação ..... 1;
- 2) Terrenos com vegetação densa ..... 3;
- 3) Terrenos com vegetação ..... 4;
- 4) Terrenos sem vegetação ou com vegetação rala 5;
- 5) Terrenos de rocha limpa ..... 8.

### Coeficiente de deflúvio ("run-off")

O *coeficiente de deflúvio*  $\varphi$  é chamado: *coeficiente de rugosidade* no manual "Hütte"; *coeficiente de absorção* por Foerster; "*versicherungsbeiwert*" por Brix; "*abflussbeiwert*" por Schoklitsch; "*coefficient de déperdition*" por diversos autores franceses e "*coefficiente di disperdimento*" pelos italianos. Os americanos chamam-no "*run-off coefficient*", incluindo nele o *retardamento*.

(\*) Alguns autores, entre eles Metcalf e Eddy, incluem aqui um quarto coeficiente, o coeficiente de distribuição da precipitação. A influência desse coeficiente é distinguida por nós considerada como um fator de redução da intensidade da chuva, assim, deve ser levada em conta no cálculo de  $N$ .

1 — Coeficiente de impermeabilidad. Este coe-  
ficiente corresponde a porcentaje da área total

Podemos admitir o coeficiente de efetividade em funções de três principais fatores, que podem ser assim chamados: os coeficientes de impermeabilidade, de retenção e de rearmamento (\*).

O coeficiente de deffívito é de determinação muito difícil, sujeito, como é, a variações com as alterações artificiais da bacia, tais como, a devastação das matas, as culturas, o resgestimento do solo, as construções, etc. Depende esse coeficiente de um grande número de fatores e não é constante para uma determinada área, mesmo para uma unica chuva. Admitiu-se que representava elle a porcentagem de superfícies impermeáveis na área total considerada, de modo que, se toda a área fosse impermeável, o coeficiente seria 1,00. Raramente, porém, pode elle ser igual a 1,00, mesmo no caso de superfícies inteiramente impermeáveis, porque, como já vimos, uma parte da chuva é gastada em molhar e saturar o solo, outra se evapora e, finalmente, as irregularidades da superfície também retêm parte da precipitação, impedindo o seu escoamento. Assim, o coeficiente de deffívito cresce gradativamente, a partir do inicio da precipitação, até que o solo estaja seco.

que pode ser considerada impermeável, a qual se determina avaliando as áreas de diferentes revestimentos e a sua impermeabilidade relativa. Devem-se também levar em conta as alterações prováveis das superfícies, dentro do período de vida útil admitido para as obras projetadas.

2 — *Coeficiente de retenção.* Este coeficiente leva em conta a água perdida pela evaporação durante a chuva e pela absorção do solo, a água retida em irregularidades da superfície e pela vegetação, etc. Essas influências são mais acentuadas no início da chuva e variam também com as estações, de modo que o valor do coeficiente não é constante.

3 — *Coeficiente de retardamento.* Já vimos que, nos casos em que a duração da chuva for menor do que o tempo de concentração, se dá o deflúvio máximo quando apenas uma parte da bacia estiver contribuindo no ponto de concentração. A relação, entre a duração da precipitação e o tempo de concentração, é o que se chama *coeficiente de retardamento*.

Já vimos também que, continuando a precipitação com intensidade uniforme durante um tempo superior ao tempo de concentração, o deflúvio máximo ocorrerá quando tôdas as partes da bacia estiverem contribuindo no ponto de concentração, não havendo então retardamento.

A composição do coeficiente de deflúvio, por nós já examinada, pode ser reduzida, na prática, ao produto de dois coeficientes:

superfície, os seguintes valores:

O manual "Hütté" dá, para diversas categorias de

5.º) Zonas de parques, campos, etc. 0,00 a 0,10.
4.º) Zonas de subúrbios com alguma edificaçāo ..... 0,10 a 0,25;
3.º) Zonas de edificaçāo com superfície densa ..... 0,25 a 0,50;
2.º) Zonas de edificaçāo não muito densa ..... 0,50 a 0,70;
1.º) Zonas de edificaçāo muito densa 0,70 a 0,95;

baseado nos seguintes coeficientes:

Frieling, em suas observações em Breslau, estabeleceu os seguintes coeficientes:

em estudo com a que determinou o coeficiente é difícil estabelecer-se perfeitamente a analogia da superfície em cada caso valores de certo rigor, está em que sem impossibilidade de experiências diretas que nos desse. A dificuldade na aplicação de tais coeficientes, certe de dispersão para diversas naturezas de superfície. Vários autores têm determinado valores do coeficiente de dispersão

nos examinado.

$\beta = \text{coeficiente de retardamento, o mesmo já por tagāo dos vegetais e infiltrado;}$

$\alpha = \text{coeficiente de dispersão, o qual varia com a natureza das superfícies, levando em conta também as perdas por evaporação, alimen-}$

- 1.º) Telhados, coberturas ..... 0,85 a 0,95;
- 2.º) Calçamentos de paralelepípedos com juntas tomadas ..... 0,70 a 0,90;
- 3.º) Calçamentos ordinários de paralelepípedos ..... 0,50 a 0,70;
- 4.º) Macadame ..... 0,40 a 0,60;
- 5.º) Empedramento ..... 0,15 a 0,30;
- 6.º) Superfícies sem empedrar ..... 0,10 a 0,20;
- 7.º) Parques e jardins ..... 0,00 a 0,10.

Bryant e Kuichiing, em Boston, adotaram os seguintes coeficientes:

- 1.º) Telhados ..... 0,70 a 0,95;
- 2.º) Pavimentação de asfalto ..... 0,85 a 0,90;
- 3.º) Pavimentação de paralelepípedos, com juntas tomadas ..... 0,75 a 0,85;
- 4.º) Pavimentação de paralelepípedos, sem juntas tomadas ..... 0,50 a 0,70;
- 5.º) Macadame ..... 0,25 a 0,60;
- 6.º) Jardins e quintais ..... 0,05 a 6,25.

O saudoso engenheiro João Ferraz, ilustre chefe da extinta "Comissão de Saneamento da Capital", atribuiu, para diversas naturezas de superfície, em S. Paulo, os seguintes coeficientes:

- 1.º) Telhados comuns ..... 0,80;
- 2.º) Calçamento de paralelepípedos sem juntas tomadas ..... 0,60;
- 3.º) Jardins e quintais ..... 0,15.

Pela amplitude que têm os valóres dêsses coeficientes, para a mesma natureza de superfície, pôde-se de-

duzir a dificuldade da sua determinação rigorosa. É necessário, para cada caso particular, estudar as condições médias de impermeabilização da superfície, levando-se em conta as áreas de diferentes revestimentos e aplicando-se a cada uma delas o coeficiente mais adequado.

Deduzir-se-á então o coeficiente médio:

$$a = s_1 a_1 + s_2 a_2 + s_3 a_3 + \dots = \frac{\sum s_n a_n}{S},$$

onde,  $s_1, s_2, s_3$  são as frações da superfície total  $S$ , e  $a_1, a_2, a_3$ , os coeficientes de dispersão respectivos.

### Princípio de zona" ("Zone principle")

Si a precipitação for de curta duração, especialmente no caso de superfícies de forma irregular, o deflúvio pode ser proveniente apenas de parte da superfície total. Esta parte será máxima quando compreendida entre duas linhas *isoreócronas* cuja distância, medida em tempo, for igual à duração da chuva. Chamam-se isoreócronas as linhas que ligam os pontos dos quais a água caída se escoa no mesmo tempo até o ponto de concentração. Essas linhas são muito irregulares, em vista das irregularidades da superfície.

O "princípio de zona" simplifica o problema da determinação de coeficiente médio de dispersão, conside-

rando as zonas tributárias como figuras geométricas, subdivididas em partes de igual largura mediante arcos de círculo com centro no ponto de concentração. Fácilmente pode-se então determinar, por meio de diagramas, a porcentagem, sobre a área total, da área que está contribuindo no ponto de concentração, bem como a porcentagem dos tempos de concentração relativos a essas áreas.

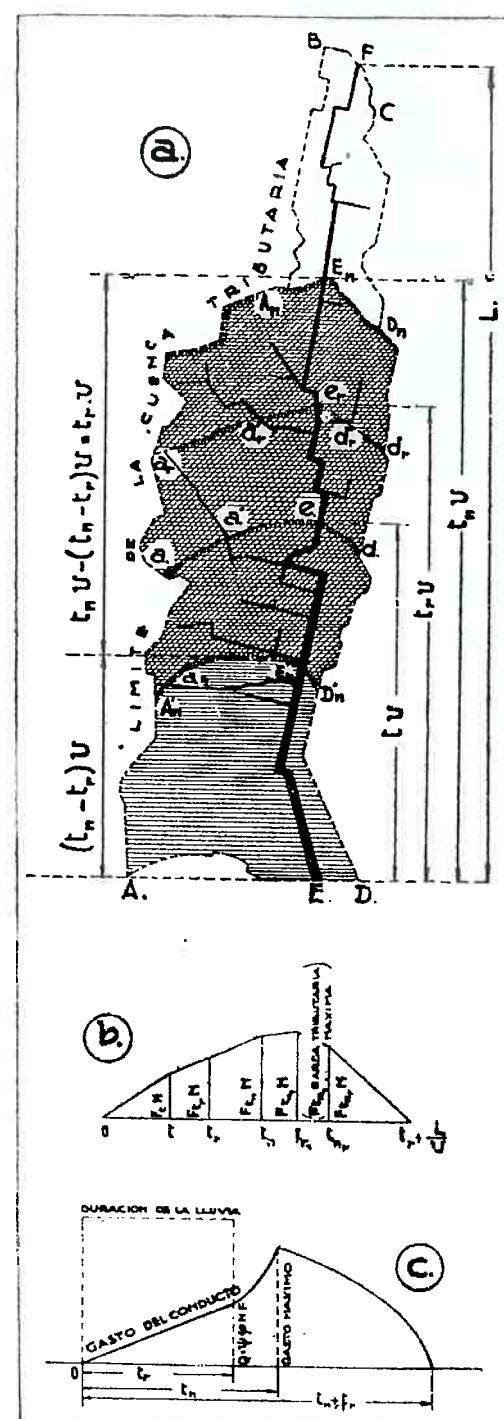
### Cálculo gráfico do retardamento

As fórmulas existentes para o cálculo do retardamento (Bürkli, Büsing, etc.) têm apenas valor local, isto é, só são válidas para onde foram determinadas. As fórmulas antigas de cálculo do deflúvio, como sejam, as de Metcalf e Eddy, Brix, Mac Math, Poggi, etc., levam em conta o retardamento por meio de um

coeficiente da forma  $K = \frac{1}{\sqrt[n]{S}}$ , onde  $S$  é a área da bacia hidrográfica em hectares e  $n = 4$  a 6.

Posteriormente, alguns autores, entre os quais Frühling, deram uma explicação mais racional do retardamento. Vejamos a interpretação dada por Frühling, a qual se baseia na determinação da área tributária máxima em função do tempo de escoamento para uma dada duração da precipitação.

Seja (Fig. 7)  $ABCD\bar{A}$  a bacia cujo escoamento se processa ao longo do talvegue  $FE$  e dos seus afluentes;



$t_r$  a duração da precipitação;  $F_r$ ,  $F_n$  as superfícies que contribuem no ponto de concentração;  $t_r$ ,  $t_r$  e  $t_n$  os tempos respectivos de concentração e tais que  $t < t_r < t_n$ .

As linhas de contorno das áreas  $F_r$ ,  $F_n$  e  $F$  são determinadas tomando-se, ao longo do talvegue e a partir do ponto de concentração, os comprimentos  $tU$ ,  $t_rU$  e  $t_nU$  das extensões percorridas pela água com uma velocidade  $U$  admitida constante.

Quando  $t_n > t_r$ , isto é, quando o tempo de escoamento for maior que a duração da chuva, a linha de contorno será  $A A_n E_n D_n D A$ . O deflúvio respectivo será calculado descontando-se da área total  $F_n t_n$  a área correspondente ao contorno  $(t_n - t_r) U$  que não tributa água no ponto de concentração conjuntamente com a área restante, pois, no fim do tempo  $t_r$  chega ao ponto  $E'_n$ , tal que  $E_n E'_n = t_r U$ , a água caída em  $E'_n$ . Essa contribuição, que, então, se concentrou em  $E'_n$  e correspondente à área que tem por linha limítrofe inferior  $A'_n a'_n E'_n D'_n$ , percorrerá o trecho  $E'_n E = (t_n - t_r) U$  no tempo  $t_n - t_r$ , não se considerando, nesse período, a contribuição da área a juzante de  $A'_n a'_n E'_n D'_n$ . Admite-se, assim, como o deflúvio correspondente ao tempo  $t_n$ , o deflúvio proveniente da área que tem por limite inferior  $A'_n a'_n E'_n D'_n$ .

Da mesma forma se determinam as superfícies contribuintes correspondentes a períodos de tempo  $t_x$

superiores a  $t$ , tomando-se para linhas de contorno inferior aquelas cuja distância desde  $E$  é igual a  $t, U$ .

Pode-se construir o gráfico do deflúvio levando em abcissas os tempos  $t$  e, em ordenadas, os deflúvios correspondentes  $\varphi, N, S$  (Fig. 7, c).

Quando a duração  $\frac{L}{U}$  do escoamento for igual à duração  $t$  da chuva, o deflúvio será máximo, pois que, como já vimos, não haverá superfície a descontar.

Vejamos, agora, a explicação do retardamento de Schoklitsch:

Consideremos a bacia hidrográfica  $ABCD$  e o curso d'água  $EF$  ao longo da mesma (Fig. 8), e admitamos a velocidade da água constante  $U$ . No início da precipitação, o deflúvio em  $E$  corresponde apenas a uma faixa estreita ao longo de  $AD$ , a qual vai se alargando para  $DC$ . Cessando a chuva, o limite inferior também começa a se deslocar para  $BC$ , com a mesma velocidade. Assim, ao cessar a chuva, o deflúvio atinge o valor máximo e mantém-se constante até que  $GH$  se confunda com  $BC$ , diminuindo então, a partir desse momento, até que o limite inferior  $JK$  atinja  $BC$ .

A figura 8 apresenta também o diagrama de deflúvio correspondente a uma chuva de duração  $t$ , sendo  $t = \frac{L}{U}$  o tempo que leva a água para percorrer o curso d'água  $EF$ .

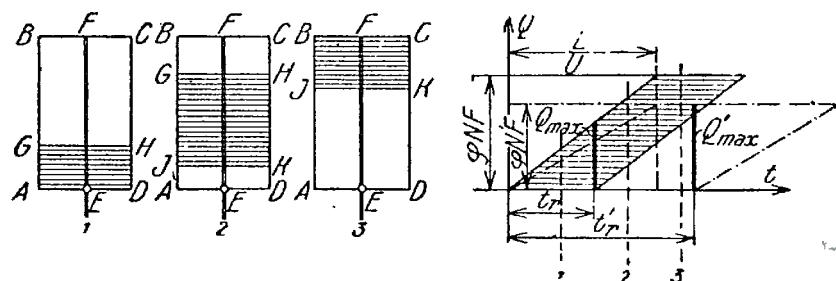


Fig. 8 — Explicação gráfica do retardamento.  
(SCHOKLITSCH — Tratado de Arquitetura Hidráulica)

Quando a duração da chuva  $t_r$  for inferior a  $t_a$ , o deflúvio será inferior a  $Q_NF$ , havendo, então, retardamento. É assim que uma chuva de menor intensidade, porém de maior duração, pode produzir maior deflúvio do que uma precipitação mais intensa porém de menor duração.

Si se levar em consideração o tempo que a água gasta para se escoar desde o espião divisor da bacia hidrográfica até o curso dágua, as linhas limítrofes de zona farão com a normal a  $EF$  um ângulo  $\alpha = \text{arctg}$ .

$$\frac{U_1}{U_b} \text{ e a duração do escoamento será então } t_r = \frac{U_1}{U_b} + \frac{h}{U_b} \text{ (Fig. 9).}$$

Schoklitsch dá-nos um exemplo com as chuvas ultrapassadas uma só vez em Berlim, representadas na figura 10 (gráfico das chuvas equivalentes, isto é, das chuvas de 5, 10, 15, etc., minutos de duração e cujas intensidades foram ultrapassadas uma, duas ou mais ve-

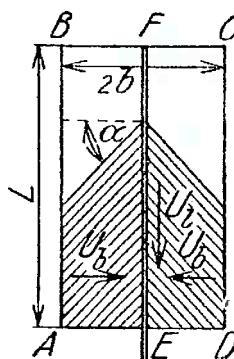


Fig. 9 — Inclinação das linhas limítrofes de zona levando-se em conta o tempo de escoamento desde o espião divisor até o curso d'água.  
(SCHOKLITSH — Obra citada)

zes por ano); a extensão do canal, ao longo do qual a água se escoa com a velocidade de 2ms./seg. é de 2.000 ms.; a área da bacia é de 10 Ha. e o coeficiente de deflúvio  $\varphi = 0,5$ . Aplicando-se o processo acima, obtém-se o gráfico da figura 11, onde se verifica que o deflú-

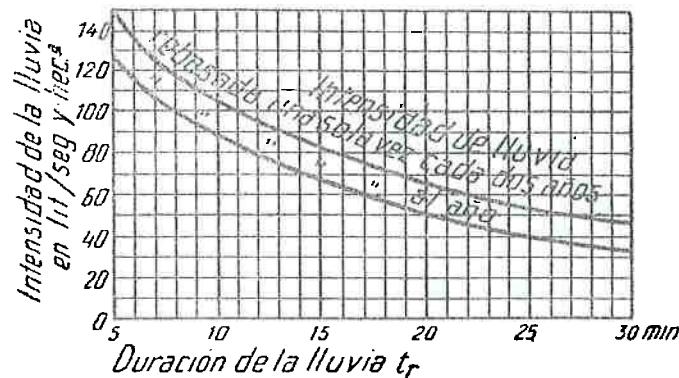


Fig. 10 — Gráfico das chuvas equivalentes em Berlim.  
(SCHOKLITSH — Obra citada)

vio máximo, 630 lts./seg., corresponde a uma chuva cuja duração é igual ao tempo de concentração, isto é, 16,67 minutos.

No caso de um curso d'água principal e de diversos afluentes, como indica esquemáticamente a figura 12,

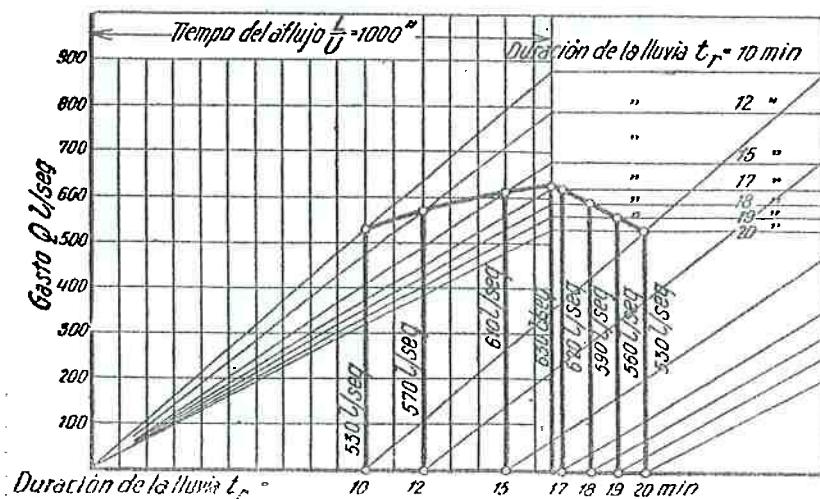


Fig. 11 — Determinação gráfica do defluvio.

(SCHOKLITSCH — Obra citada)<sup>4</sup>

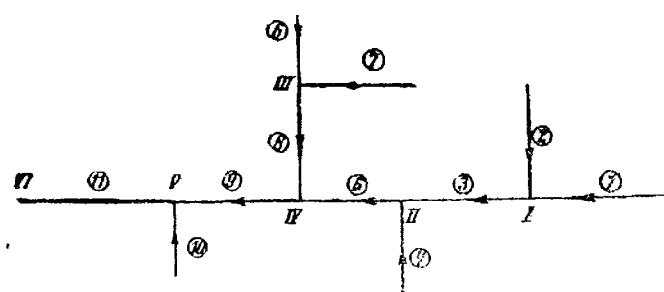


Fig. 12 — Esquema de um curso d'água e de uma série de afluentes.

(HUTTE — Manuel de l'Ingénieur)

o retardamento será calculado, pelo processo de Schoklitsch, mediante a justaposição dos diagramas parciais correspondentes aos diversos trechos, de modo que os vértices de origem dos diagramas dos trechos que concorrem no mesmo ponto tenham a mesma abscissa. O diagrama correspondente a um determinado trecho, com-

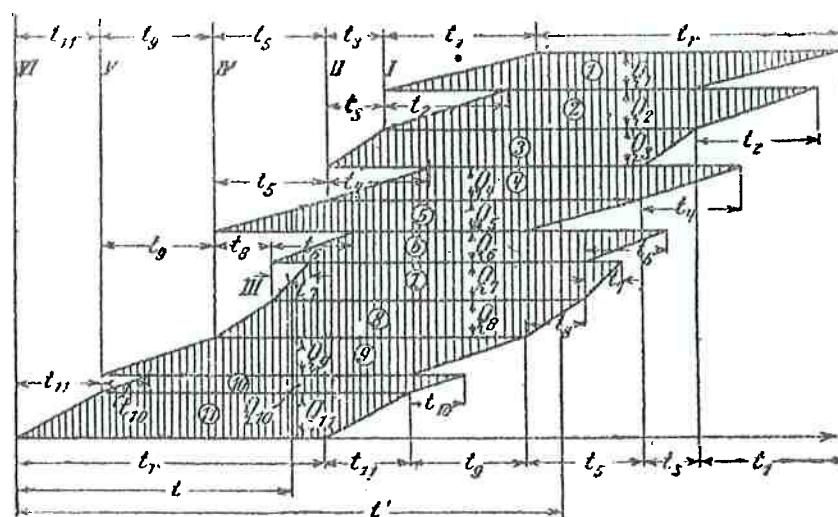


Fig. 7.

Fig. 13 — Diagrama total do deflúvio.

(HÜTTE — Obra citada)

preendido entre dois pontos de confluência sucessivos, desloca-se para a esquerda, em relação ao diagrama do trecho de montante, de um comprimento equivalente ao tempo que a água leva para percorrer aquele trecho.

Para traçar-se o diagrama total do deflúvio (Fig. 13), correspondente a uma determinada duração da

chuva, começa-se pelos afluentes mais afastados, justapondo-se os diagramas dos trechos sucessivos de acordo com as regras acima indicadas.

O diagrama da figura 13 indica-nos que o deflúvio no ponto de concentração VI, no fim do tempo  $t$ , é dado pela soma das ordenadas dos diagramas parciais das áreas 11 a 5, correspondentes à abcissa  $t$ . Verifica-se no diagrama que, no fim do tempo  $t'$ , as áreas 11 a 9 já não contribuem mais no ponto VI.

Na prática, afim de que se possa determinar com facilidade a posição a que corresponde a ordenada máxima, isto é, o deflúvio máximo, transforma-se o diagrama de modo que as linhas de afluência dágua e de escoamento formem curvas contínuas, projetando-se, para baixo, os vértices da linha de afluência e, para cima, os vértices da linha de escoamento, como nos mostra a figura 14. A superfície  $AB \dots MM' \dots B' A$ , que representa a superfície total tributária no ponto VI, é constituída pelas linhas  $AB \dots M$  de afluência e  $A' B' \dots M'$  de escoamento. Para o seu traçado, basta construir-se a linha  $AB \dots M$  e deslocar-se esta, horizontalmente, da abcissa  $t$ . Vemos no diagrama que o deflúvio máximo é dado pela ordenada máxima  $LN$ . O efeito do retardamento corresponde à diferença  $MP - LN$ , a qual representa a quantidade dágua que, em virtude do retardamento, não chega a concorrer no ponto de concentração VI.

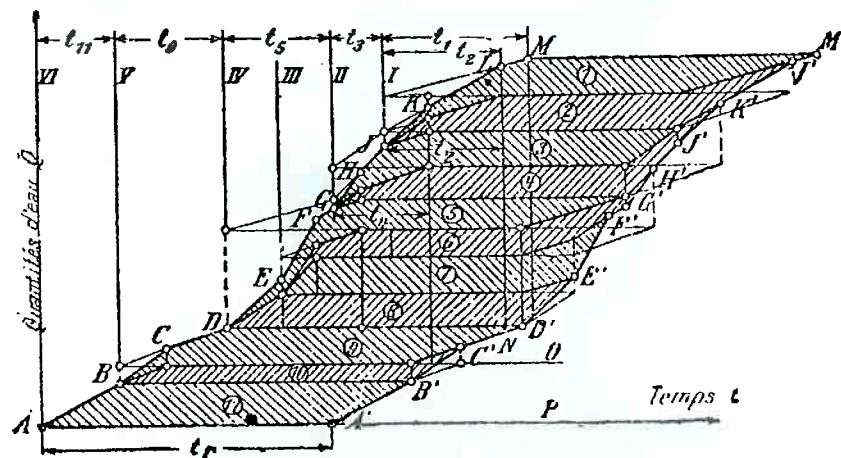


Fig. 14 — Diagrama total do deflúvio.

(HÜTTE — Obra citada)

### Frequência dos deflúvios

Weston E. Fuller, adotando como unidade o deflúvio máximo em 100 anos, em uma bacia de 100 milhas quadradas, organizou uma tabela dos deflúvios máximos para diferentes áreas dos Estados Unidos e para diversos períodos. As fórmulas deduzidas experimentalmente por Fuller são as seguintes:

$$Q_{\text{médio}} = c \cdot A^{0,8};$$

$$Q = Q_{\text{méd.}} (1 + 0,8 \log. T);$$

$$Q_{\text{máximo}} = Q \left( 1 + \frac{2}{A^{0,3}} \right);$$

onde,

$Q_{\text{médio}}$  = média do deflúvio diário, em pés cúbicos por segundo, durante uma série de anos;

$Q$  = o maior deflúvio diário em um período de  $T$  anos;

$Q_{\text{máx.}}$  = o maior deflúvio durante uma precipitação máxima;

$T$  = número de anos do período;

$A$  = área da bacia em milhas quadradas;

$c$  = coeficiente de deflúvio, constante para uma dada precipitação e uma dada zona (dos Estados Unidos).

Allen Hazen aplicou a estatística e a teoria das probabilidades na construção, em papel logarítmico de probabilidades, de curvas da frequência provável de de-

flúvios nos Estados Unidos, servindo-se dos coeficientes de *deflúvio*, de *variação* e de *asimetria*.

### Gráfico unitário

A determinação do deflúvio pelo método do gráfico unitário, chamado assim pelo seu autor, Sherman, baseia-se no seguinte:

O diagrama do deflúvio em um ponto determinado de um curso d'água, para uma chuva simples, apresenta-se geralmente com a forma triangular, sendo o trecho descendente da curva maior do que o trecho ascendente, em geral de duas a três vezes (Fig. 20).

Para a mesma bacia, é constante a duração da enchente, qualquer que seja a intensidade da precipitação.

Admitindo-se, em uma dada bacia, a precipitação unitária (1 milímetro ou 1 polegada na unidade de tempo — 1 hora, 1 dia, etc.), o gráfico do deflúvio correspondente será o gráfico unitário para aquela bacia. A área de tal gráfico representará o volume total escoado naquele tempo e será, numéricamente, igual à área da bacia.

Construído o gráfico unitário, para uma dada bacia, poderá ele ser empregado para qualquer precipitação ou sequência de precipitações de qualquer duração e intensidade.

Como vimos, o gráfico unitário supõe uma altura uniforme da precipitação em toda a área da bacia hidrográfica, o que, como já estudámos atrás,

não é exato. Baseia-se ele na hipótese de terem as curvas de descarga a forma aproximadamente triangular e de ser constante a duração da enche- te, qualquer que seja a duração e a intensidade da precipitação. Admite também que o valor do de- flúvio máximo é atingido no fim de um certo tempo do início da precipitação, decrescendo depois até à descarga normal do curso d'água. O tempo total é o correspondente à duração total da enche- te.

É necessário, para o traçado do gráfico unitá- rio, que se tenha, pelo menos, a medição direta de uma enche- te e das chuvas que a determinaram.

### Resumo

O estudo rigoroso do de- flúvio pelo método ra- cional requer, em resumo, a determinação dos se- guintes elementos básicos:

1 — A curva de intensidade-duração ou, si- possí- vel, a de intensidade-duração-frequê- ncia.

2 — A topografia e a área da bacia hidrográ- fica, bem como as suas condições geológicas e de revestimento.

3 — O coeficiente de de- flúvio.

Quanto ao método das fórmulas empíricas ou quanto à aplicação, a uma dada bacia, dos estudos e observações realizados em outra, não oferecem esses processos qualquer segurança, a não ser que fôssem aplicados a uma bacia de condições topográ-

ficas, geológicas e meteorológicas inteiramente semelhantes às das regiões que serviram para a determinação das fórmulas ou para os estudos e observações.

Em alguns casos, pode-se lançar mão de um processo de observação direta que consiste em determinar-se, pelos vestígios deixados, a declividade média superficial das águas da enchente entre duas secções conhecidas, como, por exemplo, entre duas pontes. Com o auxílio de qualquer fórmula, como seja a de Bazin, empregando-se coeficientes de atrito adequados à natureza do terreno, obtém-se então a velocidade da água e, portanto, o deflúvio.

## APLICAÇÃO DA TEORIA

Como aplicação do que expusemos, vejamos um caso bastante familiar a todos nós, qual seja o das inundações que, periódicamente, assolam algumas zonas desta Capital. Examinemos, por exemplo, a inundaçāo verificada, em data de 30 de março de 1939, na Praça das Guianas, bairro do Jardim América.

As causas dessa inundaçāo foram, principalmente, devidas à insuficiencia da galeria de águas pluviais existente, ao longo do talvegue da bacia hidrográfica, da Rua Estados Unidos para jusante, e que passa pelo ponto em questão (Fig. 15).

Essa galeria recebe, a montante do seu cruzamento com a Rua Honduras: as galerias ao longo da Avenida 9 de Julho e da Rua Estados Unidos (lado esquerdo do eixo da bacia), as quais, por sua vez, recebem outras menores; a galeria ao longo da Rua Estados Unidos (lado direito do eixo da bacia), a qual recebe, também, as águas de diversos trechos aferentes; as galerias ao longo da Rua Honduras, tanto à direita como à esquerda da Praça das Guianas.



A galeria principal acima tem, no ponto em questão, as seguintes características hidráulicas:

1. — *Secção* .....  $\Omega = 2,26 \text{ ms.}^2$
2. — *Perímetro* .....  $P = 5,40 \text{ ms.}$
3. — *Declividade* .....  $I = 0,009 \text{ ms./m.}$
4. — *Raio médio* .....  $R = \frac{\Omega}{P} = \frac{2,26 \text{ ms.}^2}{5,40 \text{ ms.}} = 0,418 \text{ ms.}$
5. — *Velocidade da água*  $U = C\sqrt{R \cdot I}$

I) Adotado para o coeficiente  $C$  o valor dado pela fórmula de Bazin, para  $\gamma = 0,06$ , isto é,

$$C = \frac{87}{1 + \frac{\gamma}{\sqrt{R}}} = 69,7,$$

teremos:

$$U = 69,7 \sqrt{0,418 \times 0,009} = 4,28 \text{ ms./seg.}$$

II) Admitindo-se o valor dado pela fórmula de Ganguillet e Kutter, para  $m = 0,35$ , isto é,  $C = \frac{100 \sqrt{R \cdot I}}{m + \sqrt{R}} = 64,8$ , teremos:

$$U = 64,8 \sqrt{0,418 \times 0,009} = 3,98 \text{ ms./seg.}$$

Adotemos a velocidade de 4,00 ms./seg. A vazão, para secção plena, será então:

$$Q = \Omega \cdot U = 2,26 \times 4,00 \text{ ms.}^3/\text{seg.} = 9,040 \text{ ms.}^3/\text{seg.}$$

Verifiquemos, agora, se essa capacidade da galeria é suficiente para dar vazão às águas concentradas no ponto em questão (cruzamento da galeria com a Rua Honduras).

### Bacia hidrográfica

A bacia tributária é limitada pelas linhas divisórias ao longo da Avenida Paulista, Rua Haddock Lobo, Avenida Brigadeiro Luiz Antônio, parte da Alameda Eugênio de Lima (entre a Alameda Jaú e a Rua José Maria Lisboa); a jusante, a bacia pode ser considerada limitada pela Rua Honduras, desprezando-se a parte da água que se escôa superficialmente além dessa rua e ao longo das ruas paralelas à galeria em questão, não coletada pelas bocas de descarga da Rua Honduras (Fig. 15).

A área dessa bacia é de 220 hectares, aproximadamente.

A distância do ponto de concentração (cruzamento da galeria com a Rua Honduras) até o ponto mais distante da bacia tributária é, mais ou menos, de 1.650 ms. em linha reta, e de 2.430 ms. ao longo das ruas.

### Pluviometria

As curvas de *intensidade-duração-freqüência*, que exigiriam observações durante um período muito longo, ainda não existem entre nós (\*). Possuimos, de

---

(\*) Segundo acabamos de saber, a Prefeitura Municipal de São Paulo, pela *Sub-Divisão de Águas Pluviais*, à qual está afeto, de dois anos a esta parte, o serviço de águas pluviais da Capital, vem procedendo a observações sistemáticas sobre todos os problemas de escoamento de águas pluviais. Infelizmente porém, os resultados dos seus estudos ainda não foram dados à publicidade.

algum tempo a esta parte, alguns pluviômetros registradores instalados nesta Capital.

Não havendo, porém, pluviômetro algum na bacia em questão, vamos adotar as características observadas, naquele dia, no pluviômetro do Bom Retiro:

$$N = 51 \text{ mms./hora}, \\ t = 27 \text{ minutos};$$

as quais não representam *condições frequentes*, mas também não *condições extremas* e, muito menos, *condições excepcionais*. Podemos classificá-las como *condições normalmente severas*. Basta lembrar, o que já citamos, que em Buenos-Aires é adotada, como chuva tipo, uma precipitação de 60 mms./hora de intensidade e de 30 minutos de duração. Em Louisville, Kentucky (E. U.), no período 1897-1920 (24 anos), a frequência de chuvas de uma polegada durante 25 minutos, isto é, de intensidade igual a 2,40 polegadas por hora (61 mms./hora) durante 25 minutos, foi igual a 10, o que quer dizer que precipitações de tal intensidade e duração caíram, em média, de 2,4 anos em 2,4 anos. Como já vimos também, em Boston (E. U.) a probabilidade de chuvas de intensidade superior a uma polegada por hora, com a duração de 30 minutos, é de 0,77 por ano. O saudoso engenheiro João Ferraz, que projetou e construiu algumas das nossas galerias de águas pluviais, adotou, no cálculo do desflúvio em diversos bairros desta Capital, a intensidade de 50 mms./hora, valor idêntico ao por nós admitido.

Quanto à redução da intensidade devida à distribuição da precipitação, o engenheiro João Ferraz assim se exprimiu:

“No caso de São Paulo, por exemplo, as bacias secundárias em que se poderá dividir a cidade não terão área superior a quatro ou cinco quilómetros quadrados. Para estes casos, a redução possível devida à intensidade, do centro para a periferia, não tem a importância prática nem econômica que se pode evidenciar em grandes áreas, mas permite, em todo caso, tomar como altura máxima da chuva uma intensidade menor do que os máximos observados”.

Adotemos o fator de redução de Frühling. Sendo, como já vimos, a distância do ponto de concentração até o ponto mais afastado da bacia igual a 1.650 ms., teremos para valor da intensidade média:

$$N = (1 - 0,005 \sqrt{t}) 51 \text{ mms./hora} = (1 - 0,005 \sqrt{1.650}) 51 \text{ mms./hora} \approx 40 \text{ mms./hora.}$$

### Cálculo do deflúvio

O deflúvio, calculado pelo método racional, será:

$$Q = \alpha \cdot \beta \cdot N \cdot S,$$

onde, como já vimos:

$\alpha$  = coeficiente de dispersão;

$\beta$  = coeficiente de retardamento;

$N$  = intensidade da chuva;

$S$  = área da bacia tributária.

### Coeficiente de dispersão

1. — Ruas .....  $s_1 = 25\%$ ;  $\alpha_1 = 0,70$ ;
2. — Edificações e pátios ·  $s_2 = 50\%$ ;  $\alpha_2 = 0,80$ ;
3. — Quintais e jardins .  $s_3 = 25\%$ ;  $\alpha_3 = 0,15$ .

O coeficiente médio de dispersão será:

$$\alpha = \frac{\sum s_n \alpha_n}{S} = 0,25 \times 0,70 + 0,50 \times 0,80 + 0,25 \times 0,15 = 0,6125.$$

### Coeficiente de retardamento

No caso de galerias de águas pluviais, devemos levar em conta no cálculo do tempo de concentração: o *tempo de admissão*, que compreende o tempo necessário para molhar as superfícies receptoras, encher as depressões e estabelecer a corrente líquida até às bocas de descarga das galerias, e que é função da declividade superficial, da densidade da edificação, da forma dos lotes, da natureza das superfícies e do espaçamento das bocas de descarga; o *tempo de circulação* nas galerias, função das suas características hidráulicas e da natureza das suas paredes.

Sendo, como já vimos, de 2.430 ms. a distância do ponto de concentração ao ponto mais afastado da bacia tributária, ao longo de ruas, para que haja concentração da água caída em toda a bacia e, portanto, possa ser desprezado o retardamento, basta que a velocidade

dade média da corrente líquida seja igual a 1,50 ms./seg., para a qual o tempo de concentração será de 27 minutos, isto é, justamente o tempo de duração da chuva considerada.

Ora, em vista da declividade do terreno e da natureza das superfícies da bacia tributária, podemos admitir uma velocidade média de escoamento superficial superior a 1,50 ms./seg.

(É necessário considerar ainda que, antes do período de tempo acima, já estava chovendo, com menor intensidade, havia alguns minutos, tendo havido também uma sequência de chuvas anteriores, de modo que o terreno já estava mais ou menos saturado).

Assim, podemos desprezar o retardamento, isto é, adotar o seu coeficiente igual a 1,00.

O deflúvio total será, finalmente:

$$Q = \alpha \cdot N \cdot S = \frac{0,6125 \times 0,040 \text{ ms./hora} \times 2.200.000 \text{ ms.}^2}{3.600 \text{ seg./hora}} \\ = 14,950 \text{ ms.}^3/\text{seg.}$$

Concluimos, assim, que a galeria de águas pluviais é insuficiente para esgotar a superfície tributária por ocasião de chuvas como a que ocorreu no dia 12 de março de 1939, donde a inundação então verificada.

### III

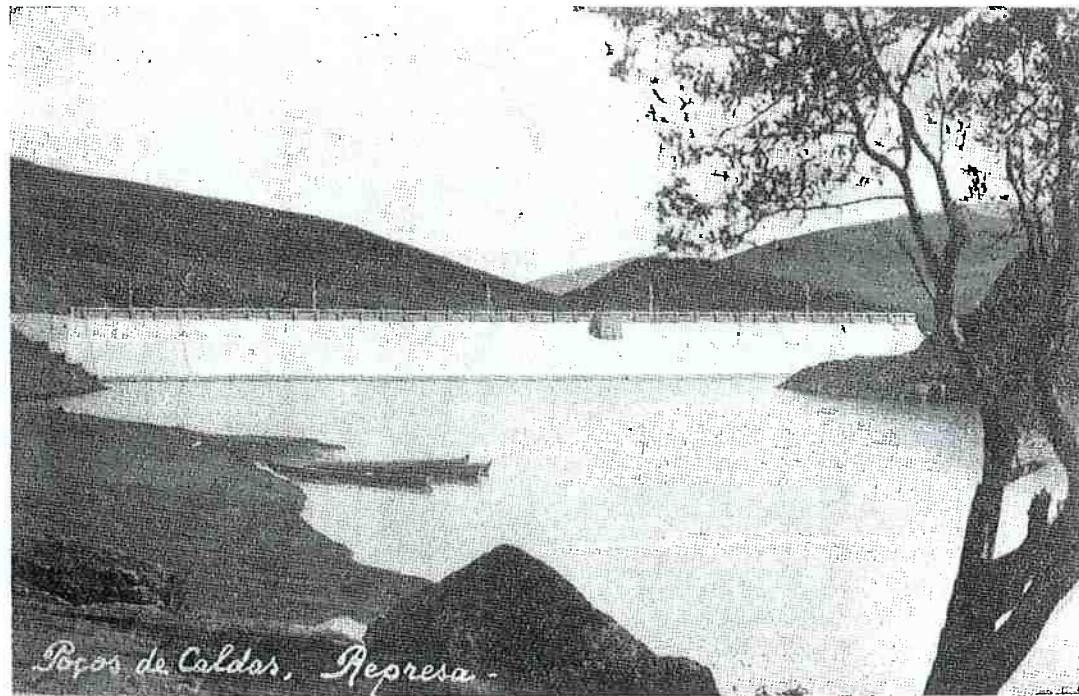
## **REGULARIZAÇÃO DO DEFLÚVIO POR MEIO DE BARRAGENS -- APLICAÇÃO NA DEFESA DAS CIDADES CONTRA INUNDAÇÕES**

### **Generalidades**

As várzeas inundáveis e os lagos constituem elementos naturais de regularização das enchentes nas localidades situadas a jusante, pois que retêm uma parte da água das chuvas, deixando-a escoar-se lentamente.

Um meio de se reproduzirem artificialmente tais condições naturais é a construção de barragens nos cursos d'água, de modo a ser regularizado o deflúvio por ocasião das grandes precipitações.

As barragens de defesa contra inundações só são exequíveis, econômicamente, quando construídas não muito distantes das cabeceiras dos cursos d'água. Seu papel é diverso do das barragens para abastecimento de água, irrigação e produção de energia elétrica, as quais deverão conservar-se cheias, o mais possível, ao passo que as barragens que vamos estudar deverão man-



*Poços de Caldas. Represa.*

Fig. 16 — Barragem de defesa de Poços de Caldas contra as inundações — Vista de montante.

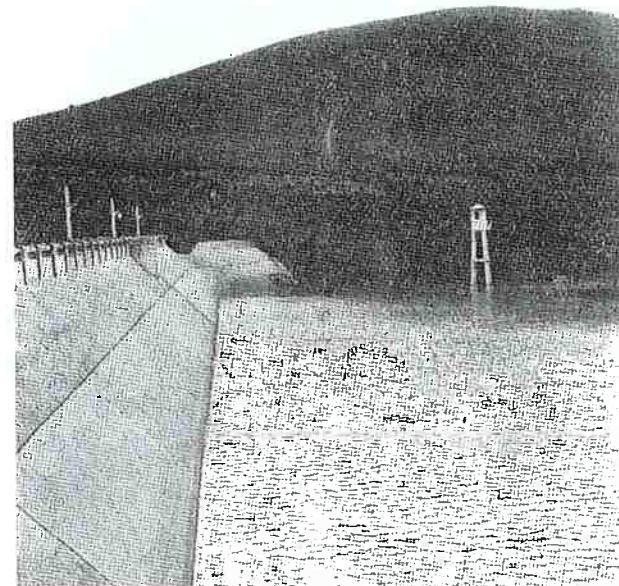


Fig. 17 — Barragem de Poços de Caldas — Paramento de montante.

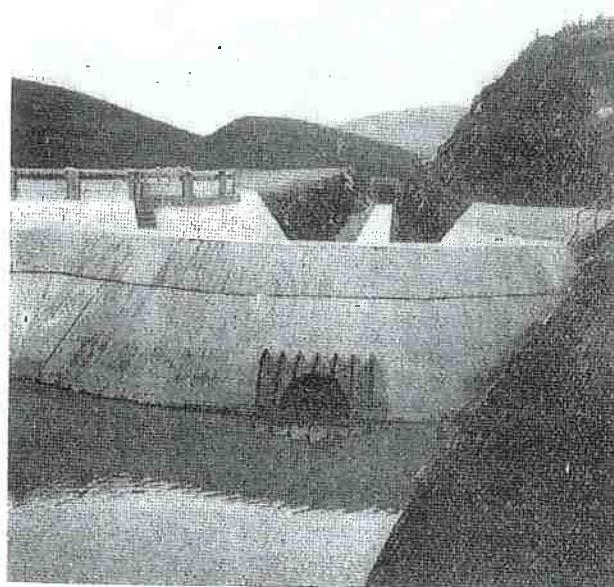


Fig. 18 -- Barragem de Poços de Caldas — Descarga vista de montante.



Fig. 19 -- Barragem de Poços de Caldas — Descarga vista de jusante.

ter-se vazias, de modo a ter a sua capacidade útil disponível por ocasião das enchentes.

Tive a oportunidade de examinar a barragem de defesa da cidade de Poços de Caldas contra as inundações (Figs. 16 a 19), talvez a única obra desse gênero existente no Brasil, projetada e construída pelo ilustre engenheiro Saturnino de Brito Filho. Essa barragem, que vem funcionando admiravelmente, representa uma importante obra da engenharia nacional, pela forma feliz como foi concebida e realizada.

## MÉTODO DE CÁLCULO

### Diagramas do deflúvio e da descarga do rasgão

Verificada a capacidade do canal dentro da cidade, fixa-se a descarga máxima da barragem de modo a evitarem-se inundações.

Constrói-se, então, o diagrama do deflúvio em função do tempo, com os elementos de que se dispuser, para o cálculo do deflúvio, como já estudámos detalhadamente na segunda parte do nosso trabalho. Representamos esse diagrama, esquemáticamente, na figura 20.

Em face das dimensões do rasgão, fixadas pela descarga máxima, constrói-se também o diagrama da descarga do rasgão em função da altura d'água, ado-

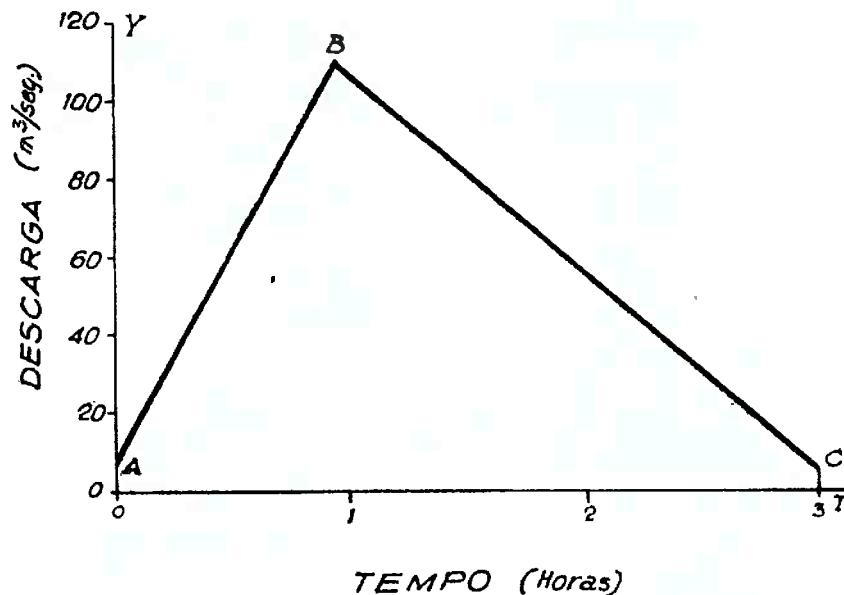


Fig. 20 — Diagrama do deflúvio.

tando-se um coeficiente de atrito correspondente à natureza das paredes (Fig. 21).

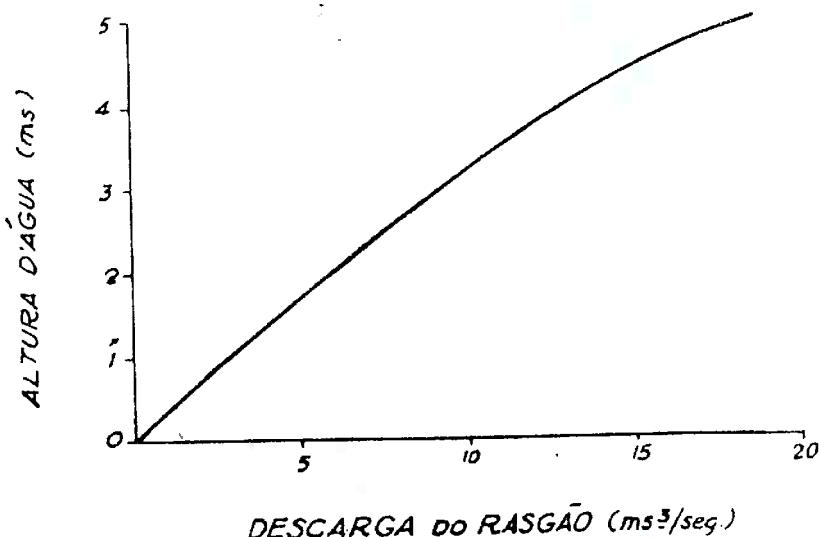


Fig. 21 — Descarga do rasgão em função da altura d'água.

### Regime de represamento e altura da barragem

Resta estudar uma barragem que estrangule convenientemente a secção de vazão do curso d'água, regularizando a descarga por meio de uma abertura vertical, chamada "pertuis" pelos franceses e "rasgão" por Saturnino de Brito, ou por um canal fechado, como foi executado em Poços de Caldas (Figs. 18 e 19). (É claro que deverá ser prevista também a construção de um vertedouro para enchentes excepcionais).

Vamos resolver o problema, estudando o "regime de represamento".

Determinada a lei  $f_1(t)$  do deflúvio em função do tempo (Fig. 20), bem como  $\varphi(h)$  da descarga do rasgão em função da altura d'água (Fig. 21), o problema se resume em obter  $f_2(t)$  da descarga do rasgão em função do tempo.

No tempo elementar  $dt$ , o volume represado pela barragem será:

$$dV = f_1(t) dt - \varphi(h) dt \quad (1)$$

Para resolver essa equação, teríamos que obter  $\varphi(h)$  em função de  $t$ .

Sendo  $V$  função da área represada  $S(h)$  e da altura da água  $h$ , podemos escrever a equação (1) da seguinte forma:

$$S(h) dh = f_1(t) dt - \varphi(h) dt, \quad (2)$$

onde  $S(h)$  é função de  $h$ . Teríamos agora que obter  $f_1(t)$  e  $dt$  em função de  $h$ .

As equações (1) e (2) só poderão ser resolvidas em casos particulares. Assim, no caso em que o deflúvio for constante,  $f_1(t) = q$ , teremos simplesmente:

$$dt = \frac{S(h) dh}{q - \varphi(h)}$$

O nosso caso, porém, é o de regimes torrenciais, em que o deflúvio  $f_1(t)$  só poderá ser admitido constante dentro de pequenos intervalos de tempo. Assim sendo, vamos resolvê-lo por meio das diferenças finitas, calculando os pequenos acréscimos da altura dágua,  $\Delta h = h_n - h_{n-1}$ , correspondentes a diminutos intervalos de tempo  $\Delta t$  e, em função dessas variações de  $h$ , determinando os acréscimos correspondentes de  $\varphi(h)$ .

Teremos então na equação (2), exprimindo  $\varphi(h)$  como função de função de  $t$ :

$$S(h) \Delta h = f_1(t) \Delta t - \varphi(h) \Delta h \frac{\Delta t}{\Delta h}. \quad (3)$$

$S(h) \Delta h = V$  pode ser obtido facilmente, em função da altura dágua na represa, pela área do diagrama das áreas (Fig. 22). Interessa-nos, porém, a determinação do volume represado em função do tempo, o que vamos fazer resolvendo gráficamente a expressão (3), por meio do diagrama do deflúvio, que nos dará  $f_1(t) \Delta t$ , e do diagrama da descarga do rast

gão em função do tempo, que nos dará  $\varphi(h) \Delta h \frac{\Delta t}{\Delta h}$ .

Resume-se assim o problema em obter-se a descarga do rasgão em função do tempo. Para isto, temos que determinar, preliminarmente, o diagrama das alturas d'água na represa em função do tempo, diagrama este que vamos traçar facilmente, empregando o método das aproximações sucessivas e por meio das diferenças finitas, na própria expressão (3), onde admitiremos, para valores de  $f_1(t)$  e de  $\varphi(h)$ , as descargas médias correspondentes à variação de nível  $\Delta h$  em um diminuto intervalo de tempo  $\Delta t$ .

Partamos do instante inicial  $t_0$  do represamento, ao qual corresponde a altura d'água  $h_0$  conhecida e, portanto, a superfície de represamento  $S_0$ , o deflúvio  $q_0$  e a descarga do rasgão  $r_0$  (desprezada a descarga normal do curso d'água), e démos ao tempo um acréscimo  $\Delta t_0$ .

Obtida no diagrama do deflúvio a descarga  $q_1$  no fim d'esse intervalo de tempo, teremos aproximadamente:

$$\Delta h_0 = \frac{\frac{1}{2} (q_0 + q_1) - r_0}{S_0}$$

A altura da água no fim d'esse período será então:

$$h_1 = h_0 + \Delta h_0.$$

Entrando com este valor  $h_1$  no diagrama das áreas (Fig. 22) e no diagrama da descarga do rasgão em

função da altura d'água (Fig. 21), obteremos os valores correspondentes da superfície de represamento  $S_1$  e da descarga do rasgão  $r_1$ .

Com êsses valores assim obtidos, poderemos recalcular  $\Delta h_o$ :

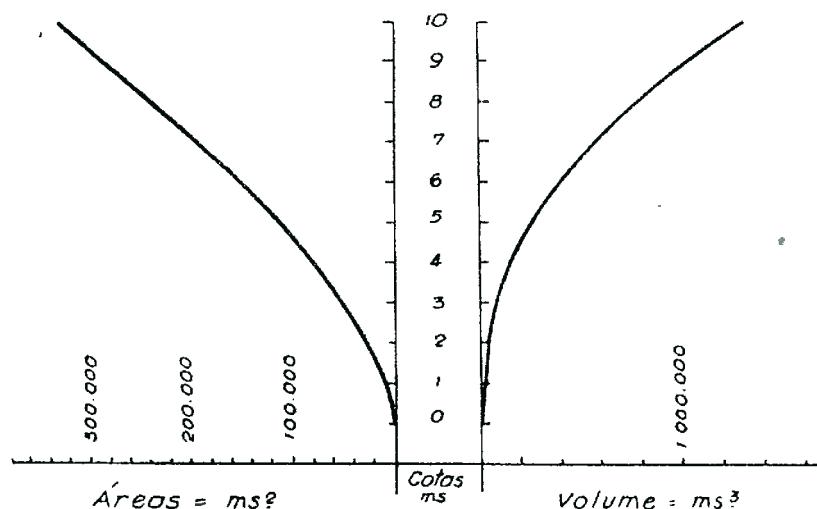


Fig. 22 — Diagrama das áreas e dos volumes.

$$\Delta h_o = \frac{\frac{1}{2} (q_o + q_1) - \frac{1}{2} (r_o + r_1)}{\frac{1}{2} (S_o + S_1)} \Delta t_o =$$
$$= \frac{q_o + q_1 - r_o - r_1}{S_o + S_1} \Delta t_o$$

Si o novo valor de  $\Delta h_o$  diferir muito do primeiro, teremos que refazer todos os cálculos para um acréscimo menor de  $t$ .

Consideraremos, em seguida, um segundo intervalo de tempo  $\Delta t_1$ . Seguindo o mesmo processo acima exposto, calcularemos  $\Delta h_1$ , obtendo então:

$$h_2 = h_1 + \Delta h_1.$$

Continuando da mesma forma, admitindo novos intervalos de tempo e calculando as alturas d'água correspondentes, obteremos os elementos necessários para traçar o diagrama da altura d'água na represa em função do tempo (Fig. 23).

Poderemos então, com esse diagrama e com o da descarga do rasgão em função da altura d'água (Fig.

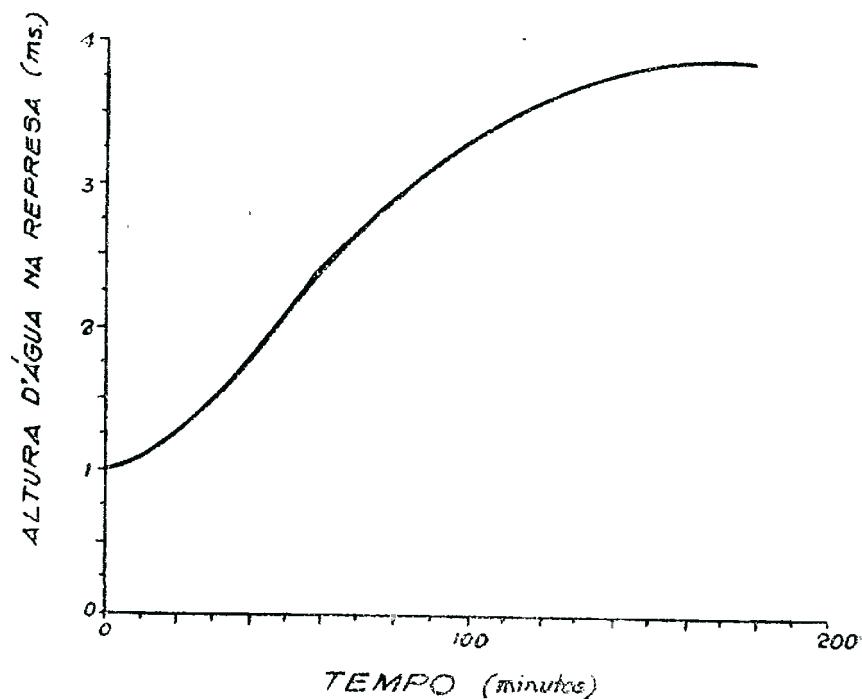


Fig. 23 — Diagrama da altura d'água em função do tempo.

21), construir o diagrama da descarga do rasgão em função do tempo (Fig. 24).

Os termos do segundo membro da expressão (3) podem, agora, ser facilmente calculados pelas áreas das duas curvas da figura 25, onde a curva *ABCD* é o diagrama do deflúvio (Fig. 20) e *ARSC* a curva da descarga do rasgão em função do tempo (Fig. 24). (Esta ultima curva passa por dois pontos conhecidos: o ponto *A*, correspondente ao início do represamento, em que a descarga é igual à vazão normal do curso d'água *OA*, e o ponto *C*, correspondente à intersecção

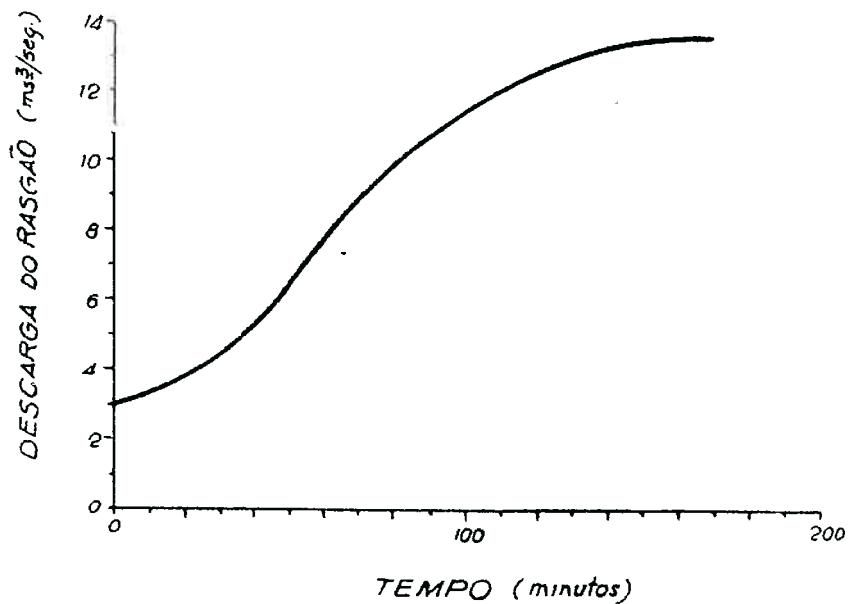


Fig. 24 — Diagrama da descarga do rasgão em função do tempo.

dos diagramas do deflúvio e da descarga do rasgão, e que, como já vimos, deve ser fixado de acordo com a capacidade do canal dentro da cidade).

Assim,  $f_1(t) \Delta t$  será representada pela área  $MNPQ$  e a expressão  $\varphi(h) \Delta h \frac{\Delta t}{\Delta h}$  pela área  $RSPQ$ .

$S(h) \Delta h$  será, portanto, expressa pela diferença dessas áreas, isto é, pela área  $MNRS$ .

O volume de represamento  $V$  será, assim, determinado pela área  $ABCSRA$ , isto é, pela diferença entre o volume entrado (área  $ABCUA$ ) e o volume escoado pelo rasgão (área  $ARSCUA$ ) durante o tempo  $T$ , não se considerando o volume comum correspondente à descarga normal do curso d'água (área  $OAUT$ ).

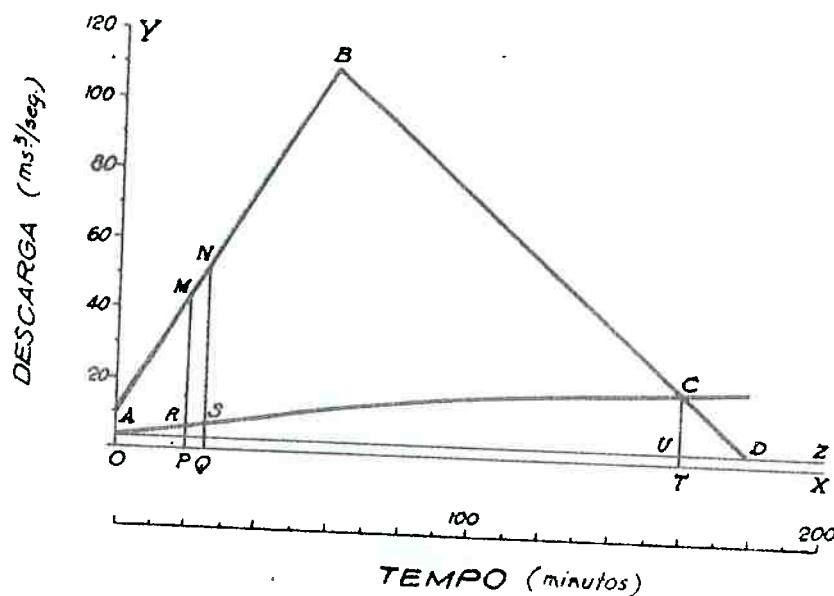


Fig. 25 — Determinação gráfica do volume de represamento.

Além do instante  $T$ , em que as curvas do deflúvio e da descarga do rasgão se cortam, o deflúvio torna-

se inferior à descarga do rasgão, iniciando-se então o esvaziamento da represa.

Obtido  $V$  e entrando com êsse valor no diagrama dos volumes (Fig. 22), determinaremos a cota do nível máximo dágua, com a qual calcularemos a altura da barragem, adotada a necessária altura de *revanche* ou de folga.

Podemos reunir, finalmente, todos os diagramas em um único, o *diagrama do regime de funcionamento da represa*, o qual nos dará, em função do tempo, o deflúvio, a altura dágua na represa e a descarga do rasgão (Fig. 26).

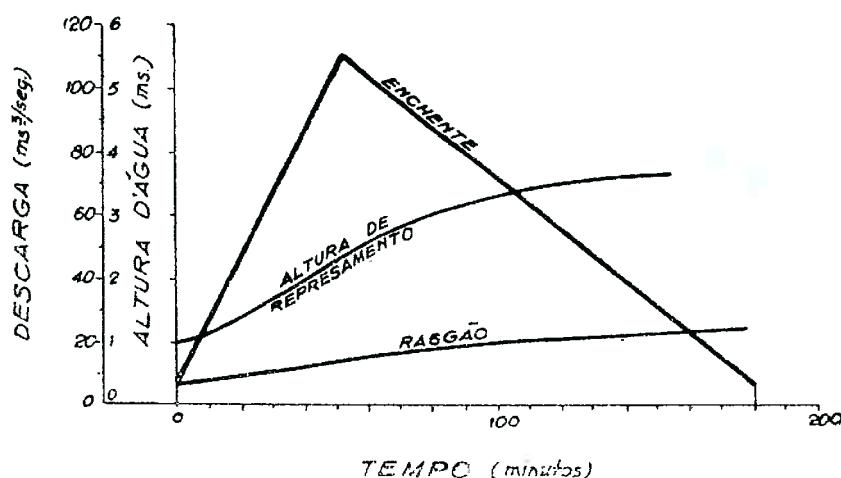


Fig. 26 — Diagrama do regime de funcionamento da represa.

Método análogo foi adotado pelo engenheiro Saturnino de Brito Filho no cálculo da barragem de Poços de Caldas, cujo diagrama, com algumas alterações, foram por nós aproveitados para maior clareza da exposição.

Julgo poder o sistema de regularização do deflúvio, por nós descrito, ser empregado em inúmeros casos, até hoje sem solução em vista do elevado custo das obras projetadas, tais como as retificações e o aumento de secção dos cursos d'água através das cidades, com as desapropriações necessárias e tôdas as suas obras complementares, avenidas marginais, pontes, etc., ou o desvio das águas do curso, total ou parcial, para jusante da localidade que se quer proteger.

A exposição por nós feita representa o método que seguiremos no estudo e projeto de uma barragem para a cidade paulista de São Carlos, que vem sofrendo, periódicamente, as consequências da inundação de pequeno curso d'água que a atravessa.

## BIBLIOGRAFIA

ALLEN HAZEN — Flood Flows.

BABBITT — Sewerage and sewage treatment.

BABBITT e NOLAN — Water Supply Engineering.

JOÃO FERRAZ — Esgotos Pluviais nas cidades (Revista Politécnica, São Paulo).

JOÃO FERRAZ — Memórias e documentos.

FORCHHEIMER — Tratado de Hidráulica (Editorial Labor).

WESTON E. FULLER — Flood Flows (Transactions Am. Soc. of C. E., vol. 77).

GRAEFF — Hidraulique.

R. L. GREGORY e C. E. ARNOLD — Run-off. Rational run-off formulas (Proceedings Am. Soc. of C. E., abril 1931).

VELA HUERGO — Las obras de desagües pluviales de la ciudad de Buenos Aires.

HÜTTE — Manuel de l'Ingénieur. (Tradução francesa).

ED. IMBEAUX — Hidrogeologie.

K. IMHOFF — Evacuation et traitement des eaux d'égout (Trad. por M. Fontaine).

DANIEL MEAD — Hydrology.

METCALF e EDDY — American Sewerage Practice.

F. E. NIPHER — American Engineering, 1885.

GEORGE RIBEIRO — Secção de vazão de obras d'arte.

GEORGE RIBEIRO — Dos caudais e das obras d'arte (Revista do Clube de Engenharia, ns. 47 a 53).

F. SATURNINO RODRIGUES DE BRITO — Relatório  
sobre os Melhoramentos do rio Tietê.

F. SATURNINO R. DE BRITO FILHO — Relatório do  
projeto de Defesa contra as inundações em Poços de  
Caldas.

SCIMEMI — Dighe.

L. K. SHERMAN — Streamflow from rainfall by unit-graph  
method (Engineering News Record, 7/4/932).

SCHOKLITSCH — Tratado de Arquitetura Hidráulica (Tra-  
dução espanhola).

GIULIO SUPINO — Le reti idrauliche.

## Í N D I C E

	Págs.
INTRODUÇÃO .....	3
<b>I — PRELIMINARES</b>	
<b>Pluviometria</b>	
Registro pluviométrico .....	5
Pluviômetros registradores .....	5
Gráfico pluviométrico .....	7
Curvas de intensidade-duração .....	8
Curvas de intensidade-duração-frequência	10
Distribuição da precipitação .....	16
Diagramas integrais .....	18
Intensidades uniformes e variáveis .....	18
<b>II — DEFLÚVIO</b>	
Generalidades .....	20
<b>Avaliação do deflúvio</b>	
Fórmulas empíricas .....	21
Método racional .....	22
Tempo de concentração .....	23
Coeficiente de deflúvio ("run-off") .....	25
Coeficientes de dispersão .....	28
Princípio de zona ("Zone Principle") .....	30
Cálculo gráfico do retardamento .....	31
Frequência dos deflúvios .....	41

Gráfico unitario .....	42
Resumo .....	43
<b>Aplicação da teoria .....</b>	<b>45</b>
<b>III — REGULARIZAÇÃO DO DEFLÚVIO POR MEIO DE BARRAGENS. APLICAÇÃO NA DEFESA DAS CIDADES CONTRA INUN- DAÇÕES</b>	
Generalidades .....	54
Método de cálculo .....	55
Diagramas do deflúvio e da descarga do rasgão .....	55
Regime de represamento e altura da bar- ragem .....	57
Bibliografia .....	67