

# **CONJUNTO EXTRAVASOR**

# FICHA TÉCNICA DA USINA DE IGARAPAVA

Minas Gerais

## ORÇAMENTO

- Original (em 24/07/94) US\$ 270 milhões

## RESERVATÓRIO

- Área de Inundação 36,51 km<sup>2</sup>  
- Capacidade 234,5 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> de água

## BARRAGENS DE TERRA

- Comprimento 740 metros, na margem direita  
125 metros, na margem esquerda  
- Largura da Crista 10 metros, em ambas as margens  
- Altura Máxima 32 metros, na margem direita  
10 metros, na margem esquerda

## VERTEDOIRO

- Tipo	Superfície
- Dissipação	Por ressalto
- Comportas	06 unidades
- Comprimento	123 metros
- Largura de cada vão	13,5 metros
- Altura das Comportas	18,15 metros
- Bacia de Dissipação	60 metros

## TOMADA D'ÁGUA

- Tipo	Bloco de Gravidade
- Tipo de Comportas	Ensecadeira (stoplogs)
- Altura da Estrutura	45,6 metros (máxima)
- Largura de Cada Bloco	18 metros
- Comprimento total	90 metros

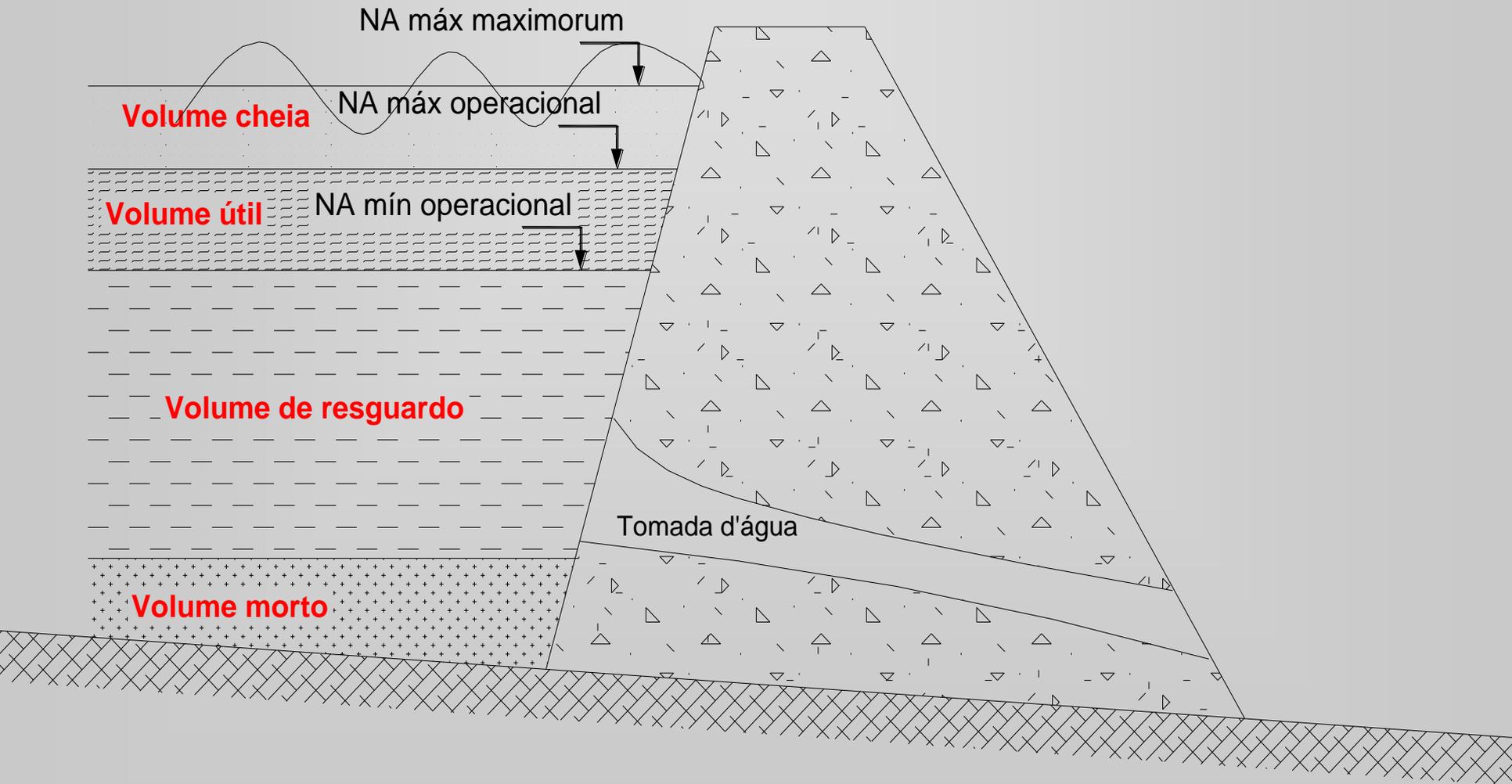
## CASA DE FORÇA

- Comprimento	90 metros
- Turbinas / Geradores	05 unidades tipo "Bulbo"
- Potência nom. Gerador	44,2 MVA
- Velocidade de Rotação	112,5 rpm
- Vazão nom. por turbina	275 m <sup>3</sup> /s
- Fator de Potência	0,95
- Tensão Nominal	6,9 kV
- Freqüência	60 Hz
- Subestação	SF.6 Blindada

## ENERGIA

- Potência Instalada 210,0 MW  
- Energia Firme 129,7 MW médios  
- Queda Bruta Máxima 18,30 metros

São Paulo



# COMPONENTES

- Canal de aproximação
- Estrutura de controle
- Estrutura de condução
- Estrutura de dissipação
- Canal de restituição

# Canal de Aproximação

- Conduz a água do reservatório à estrutura de controle
- Geometria do canal - coeficiente de vazão
- Velocidades
- Transições





# Estruturas de controle

Relações carga e vazão

$$Q = C_Q LH^{3/2}$$

Q - vazão de cheia (associada ao período de retorno T)

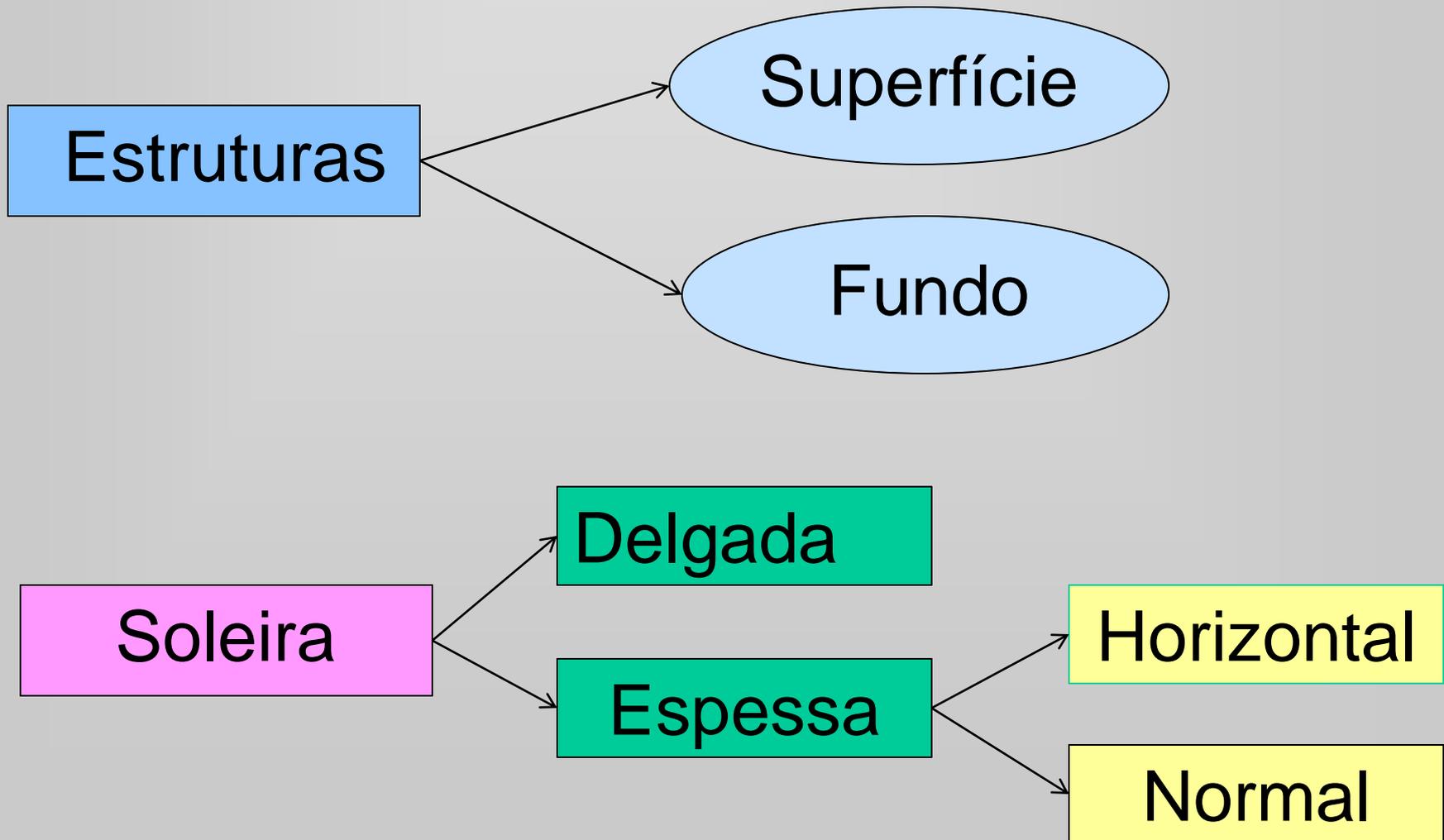
$C_Q$  – coeficiente de vazão

L – largura do vertedor (comprimento da soleira)

H – carga sobre o vertedor

# Estruturas de controle

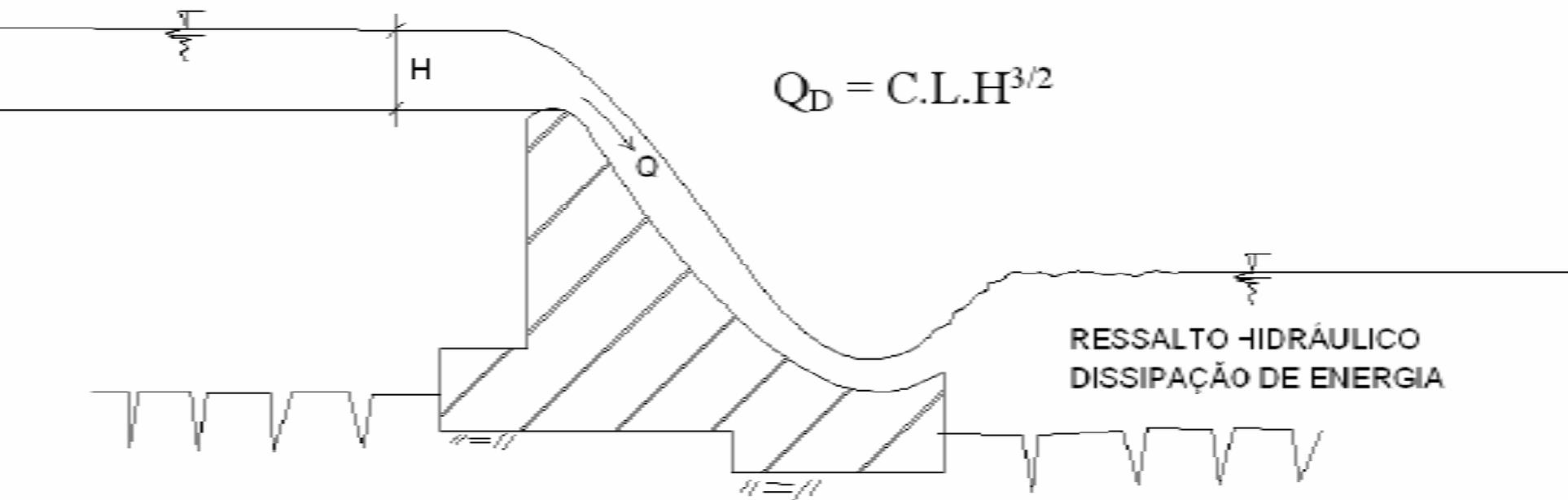
$C_Q$  – depende do tipo da estrutura, forma, ...



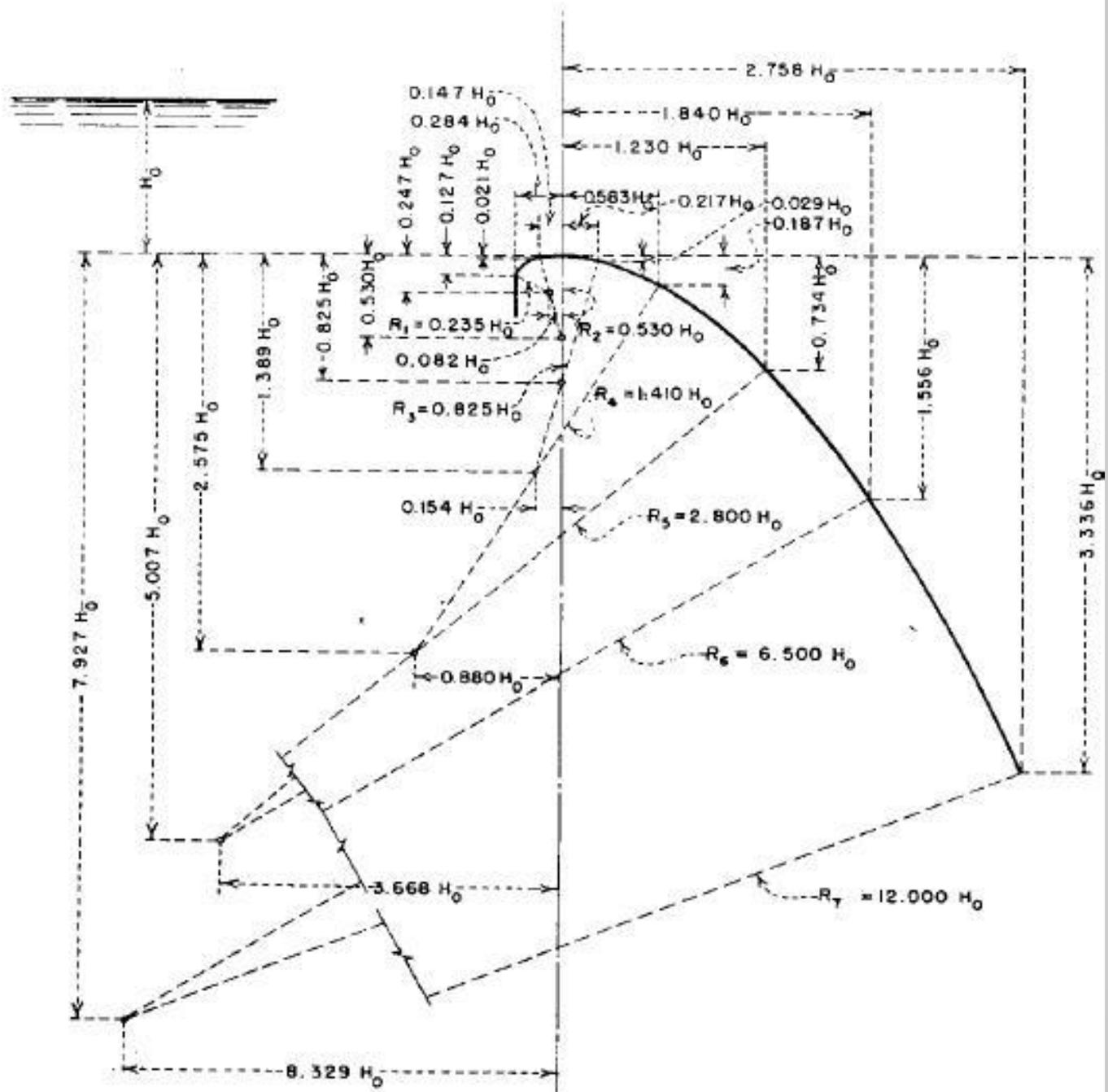
# VERTEDORES DE SUPERFÍCIE

- Queda livre – gabiões , alvenaria de pedra argamassada
- Soleira Normal
  - forma de “S”
  - Forma da parte inferior veia líquida – p atm
  - Dimensionamento – carga de projeto
  - $Q = CLH^{3/2}$





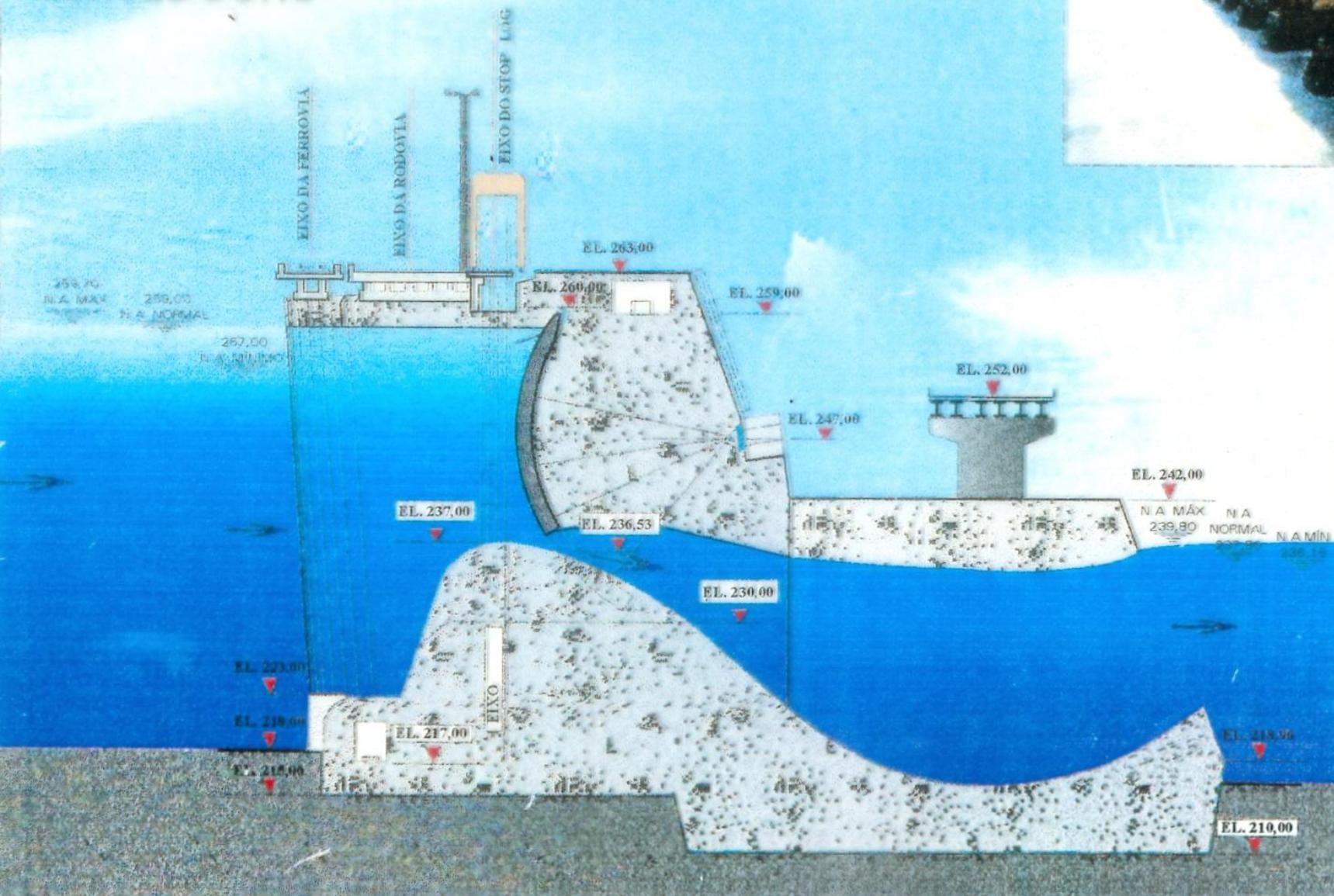




- $C_Q$  – coeficiente de vazão; depende da profundidade do canal de aproximação, da carga sobre a soleira, da geometria do paramento a montante e do NA a jusante
- Vertedor com comportas – escoamento por orifício; depressões.

# SEÇÕES TÍPICAS

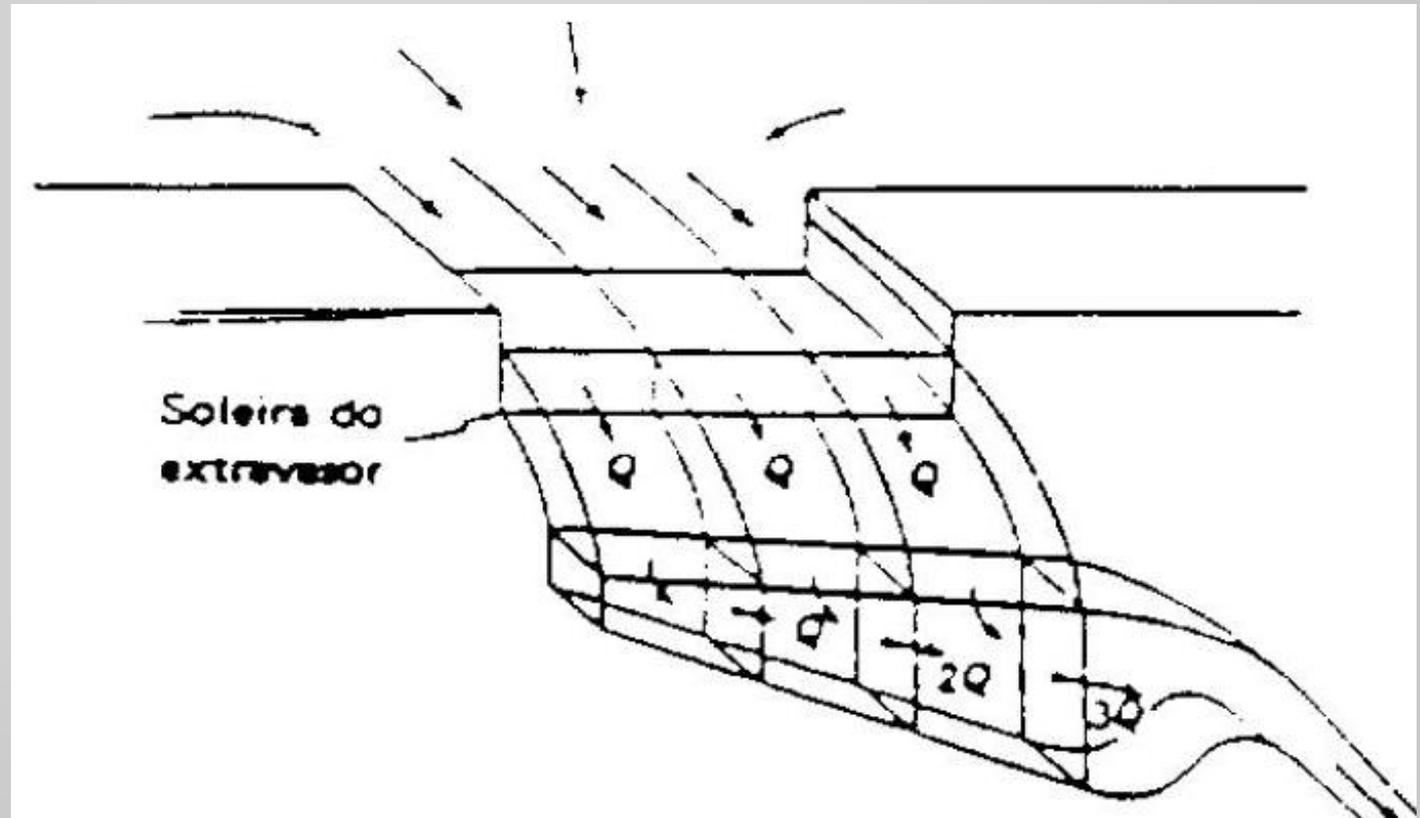
## VERTEDOURO

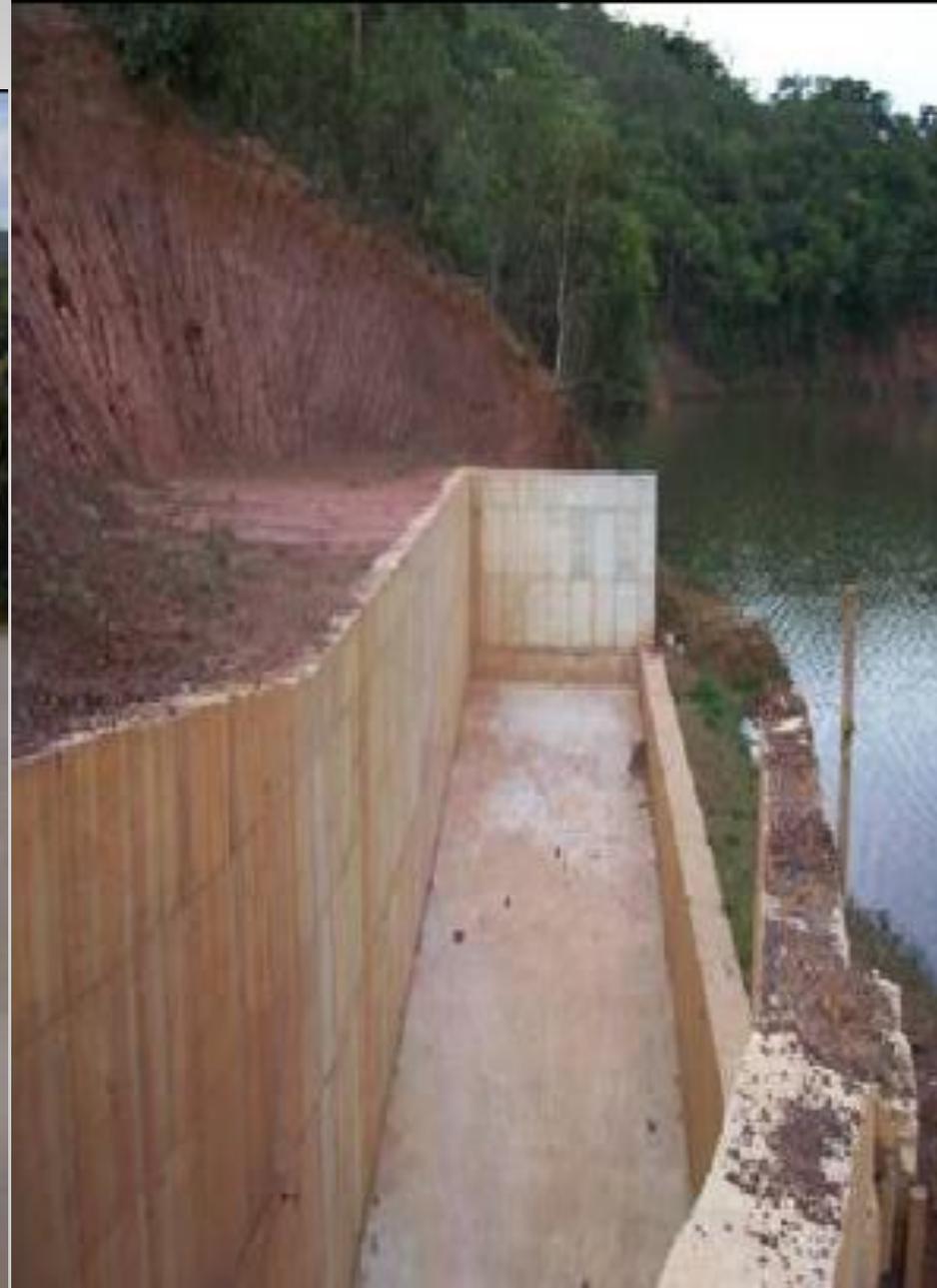




- Vertedor canal lateral

- Capacidade de vazão do vertedor e do canal







- Vertedor tulipa

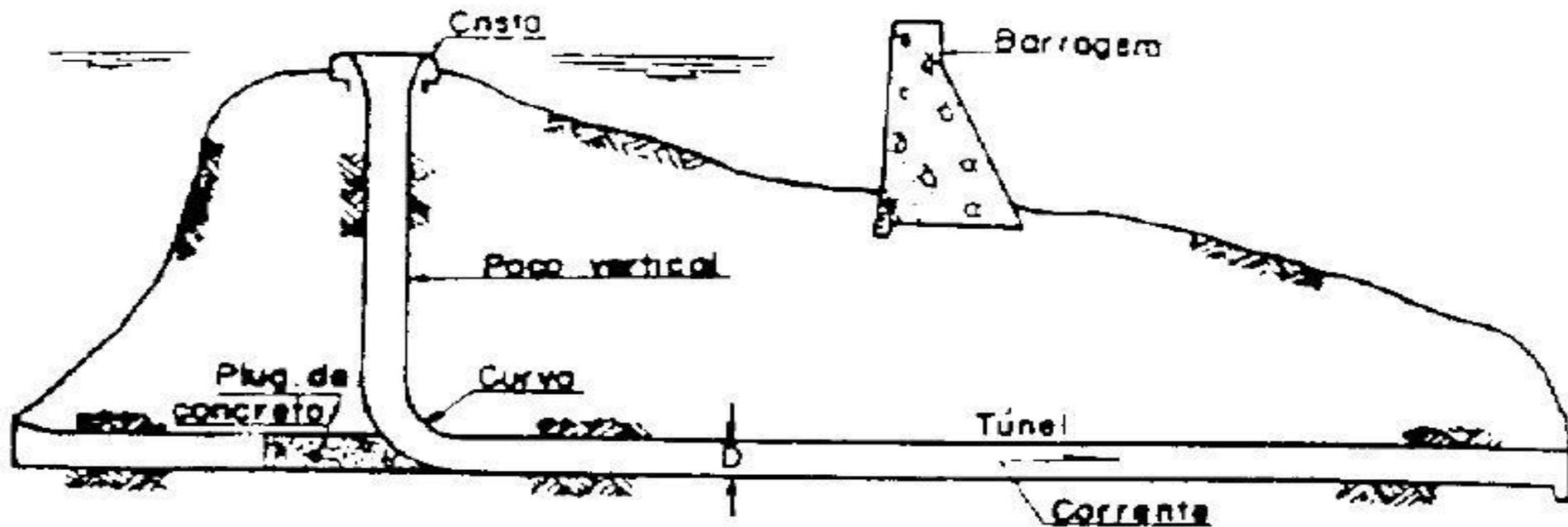
- Estrutura de controle horizontal e circular, poço vertical e conduto ou túnel com baixa declividade
- Controle variável conforme a carga











Vertedor tulipa com poço vertical



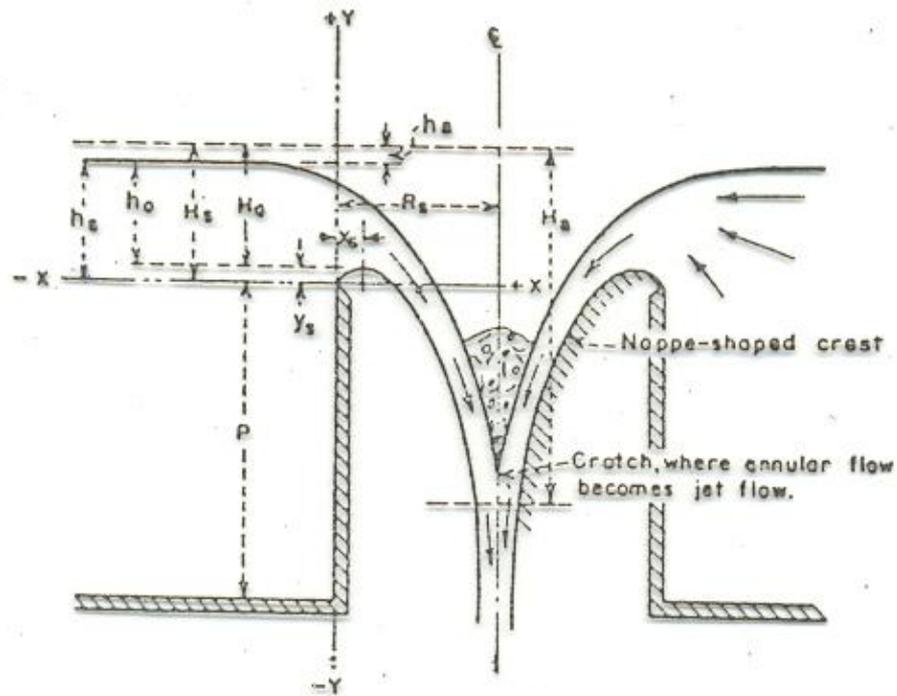


Fig. 3 - Elementos de uma seção com a forma da lâmina vertente para uma soleira circular

# Descarregador de fundo



# Descarregador de fundo



# Estruturas de condução

- função de conduzir a água até as estruturas de dissipação



# Estruturas de dissipação

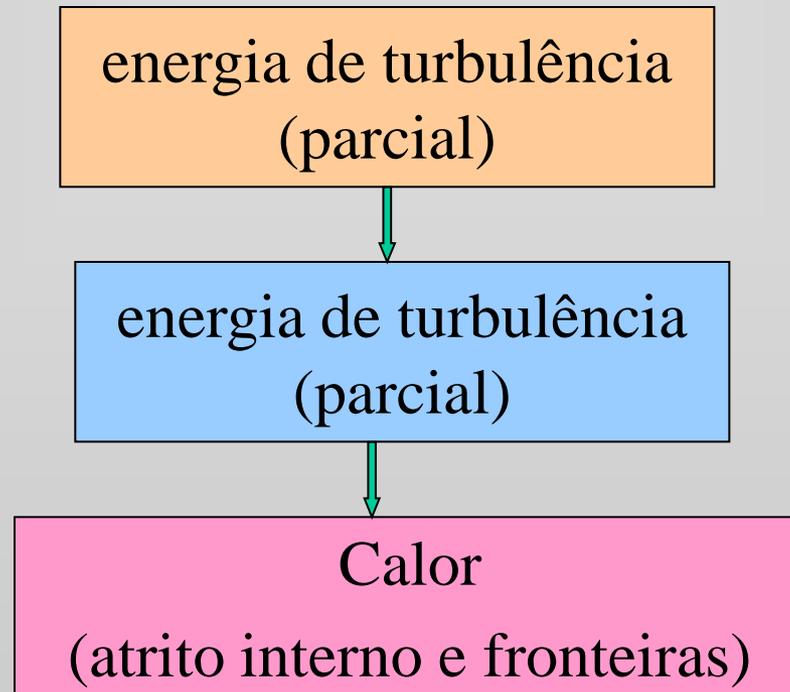
Projetadas para permitir que o escoamento retorne ao curso d'água com as condições mais próximas do original

## Canal de restituição

# Dissipação de energia

- Aproveitamentos de pequeno, médio ou grande porte
- Alta energia cinética
  - erosão a jusante
  - estabilidade da obra
  - dissipação

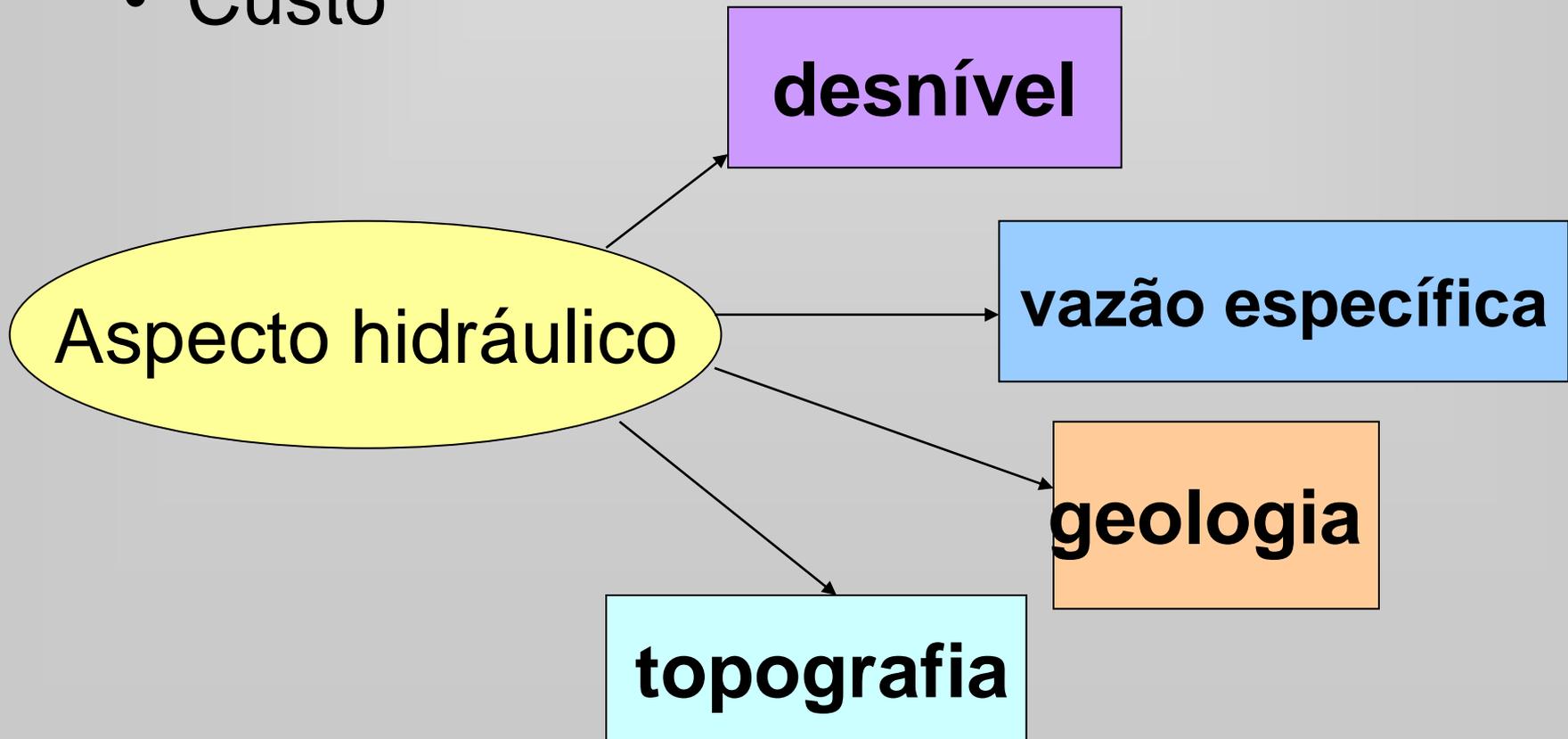
# Física do processo de dissipação de energia



Eficiência: determinada pelo escoamento a jusante

# Escolha da estrutura de dissipação:

- Eficiência hidráulica
- Custo



# Concepção de estruturas de dissipação de energia

- estruturas que dissipam em seu interior grande parte da energia
- estruturas concebidas para dissipar em seu interior apenas parte da energia, e o restante será dissipada ao longo do leito a jusante
- estruturas projetadas para lançar o escoamento proveniente do vertedor

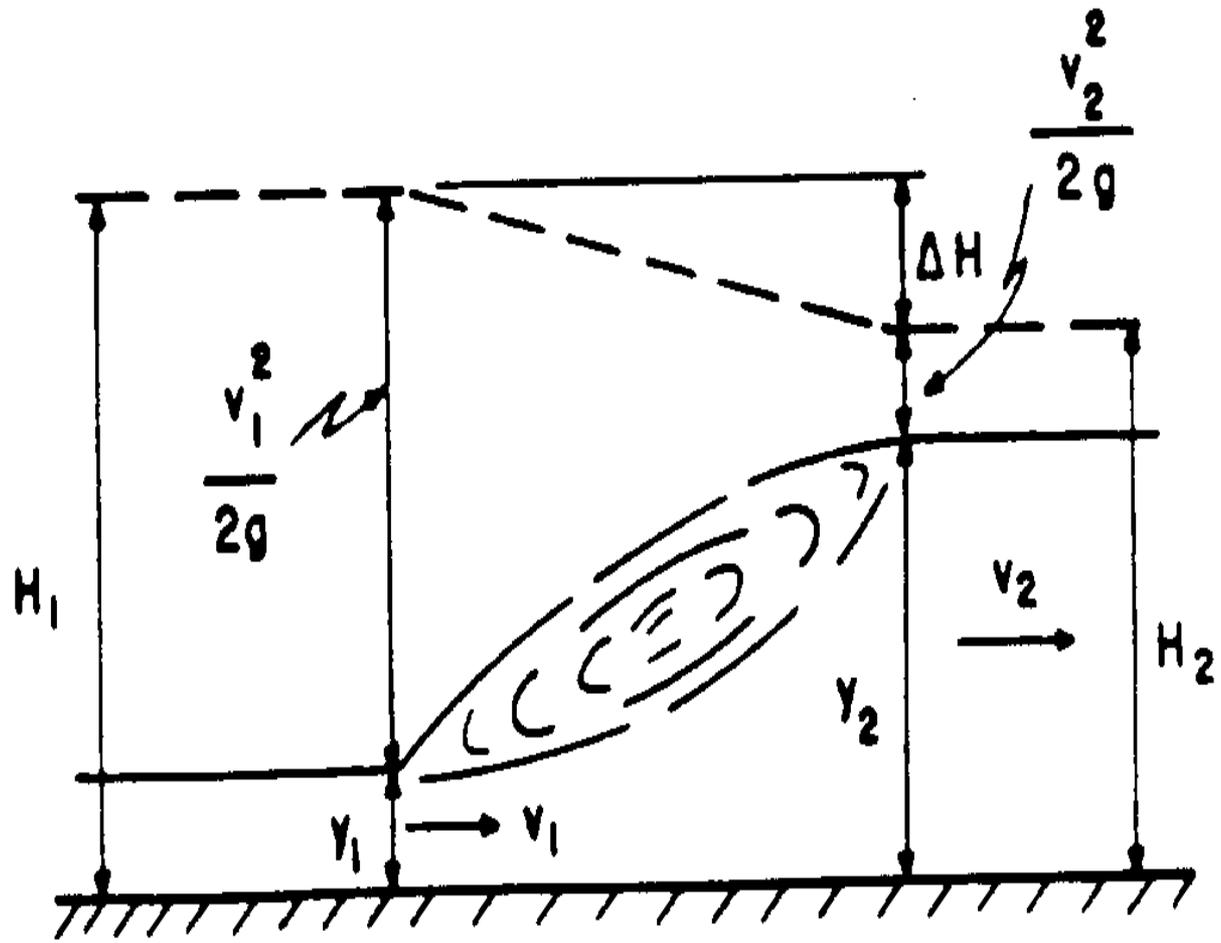
# Bacias de dissipação com ressalto hidráulico

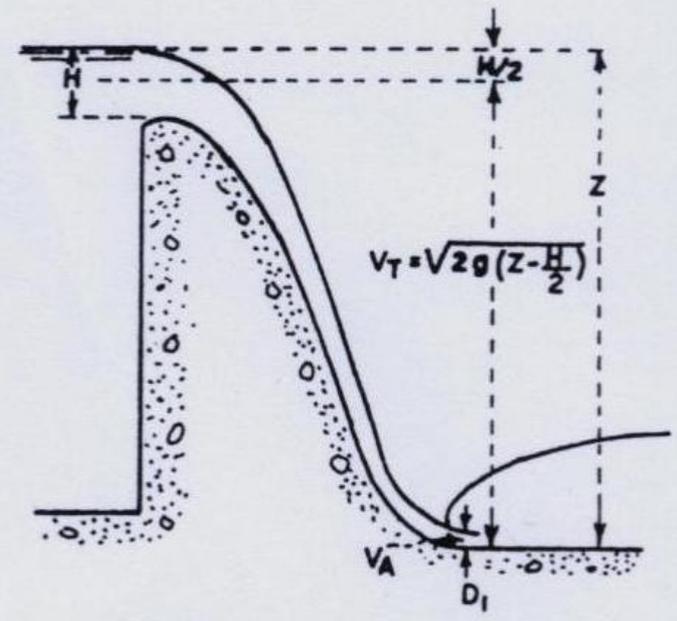
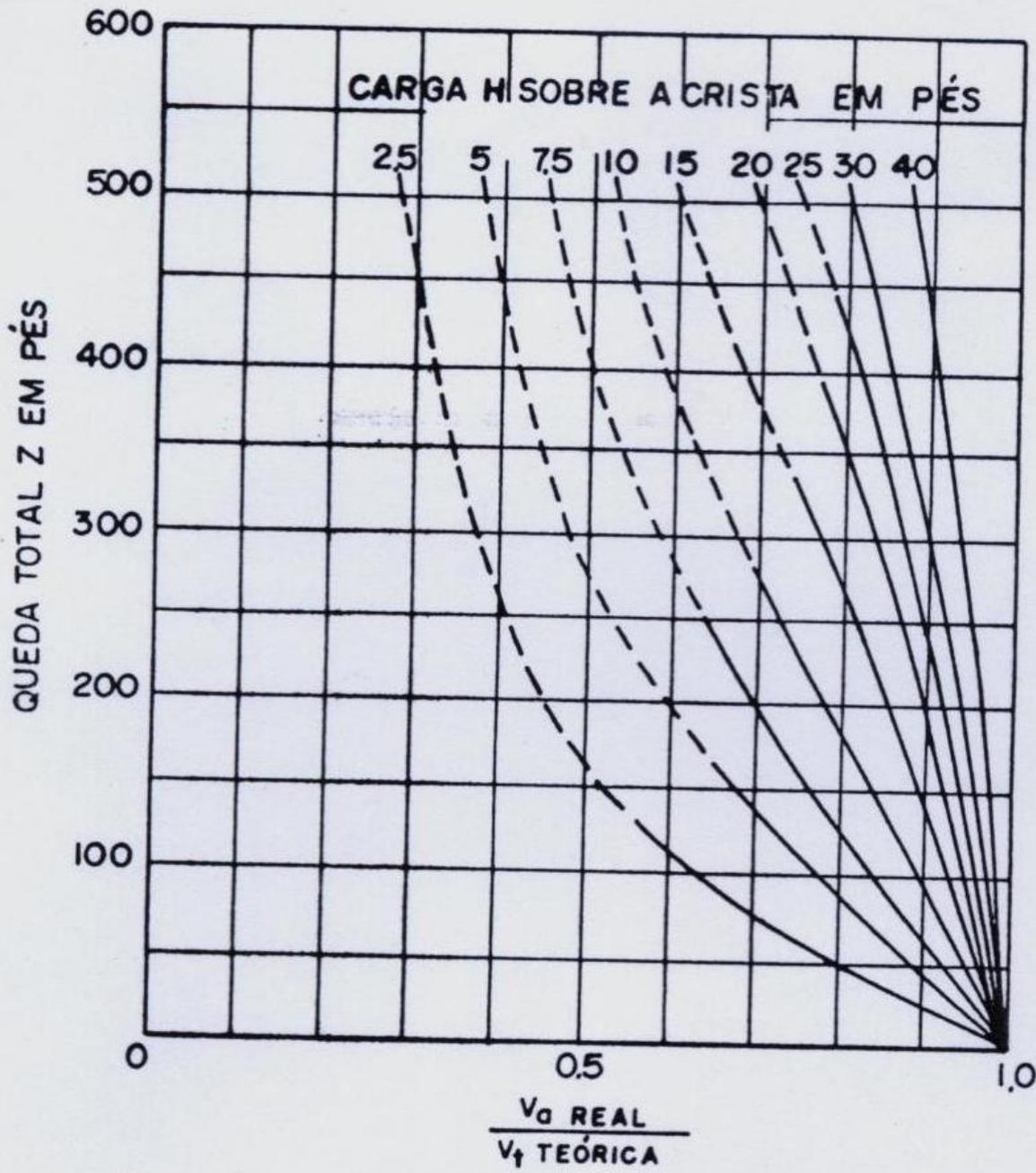
Característica do ressalto:

- grande turbulência no escoamento e conseqüentemente uma intensa dissipação de energia
- profundidades conjugadas

Estruturas de concreto - laje horizontal, com ou sem blocos







# Bacias definidas a partir de estudos pelo USBR

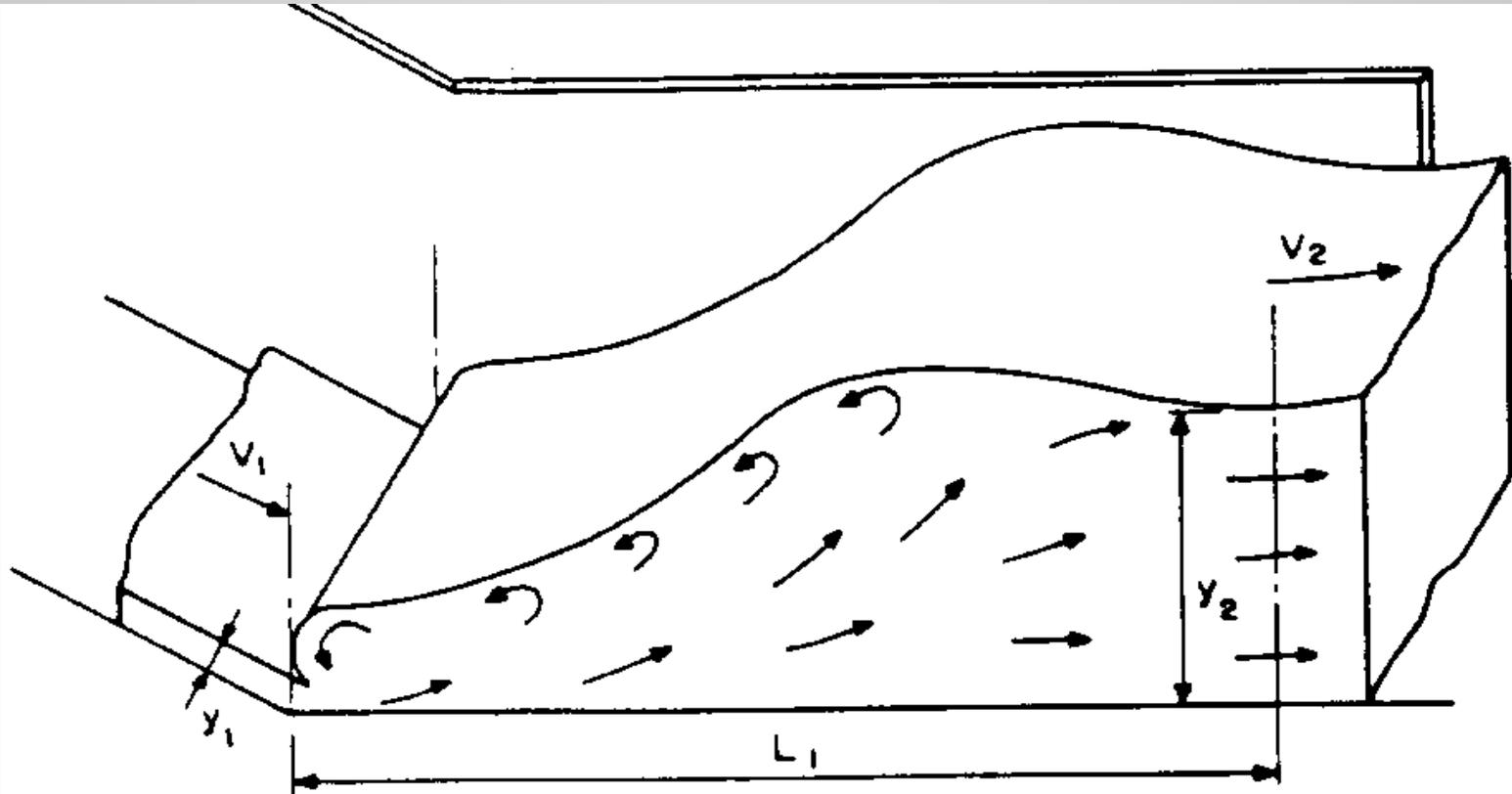
**Bacia Tipo I:** livre sem blocos.

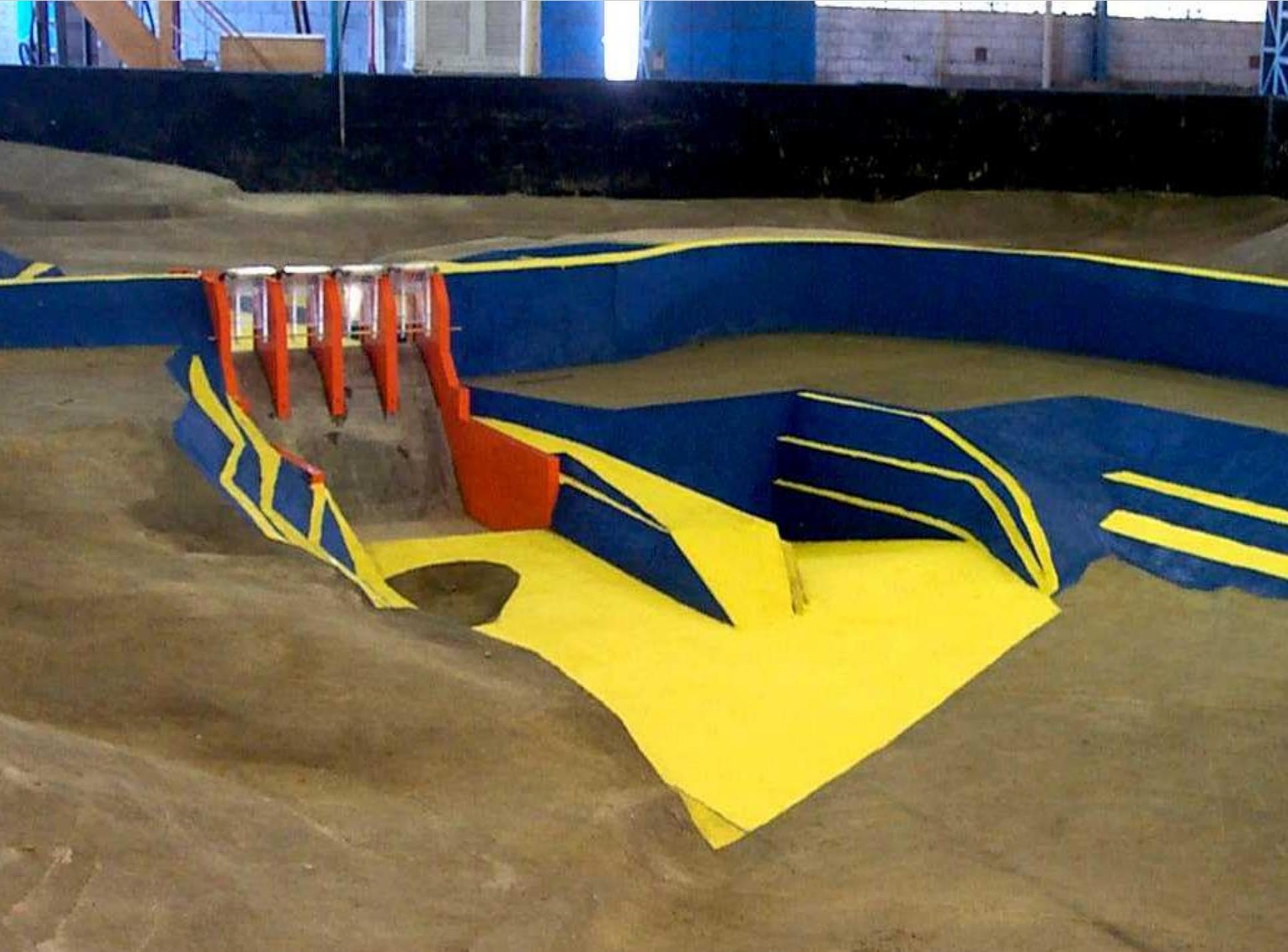
**Bacia Tipo II:** com blocos de queda e soleira de saída dentada.

**Bacia Tipo III:** com blocos de queda, de amortecimento e soleira de saída.

**Bacia Tipo IV:** com blocos de queda e soleira de saída.

# Bacia Tipo I





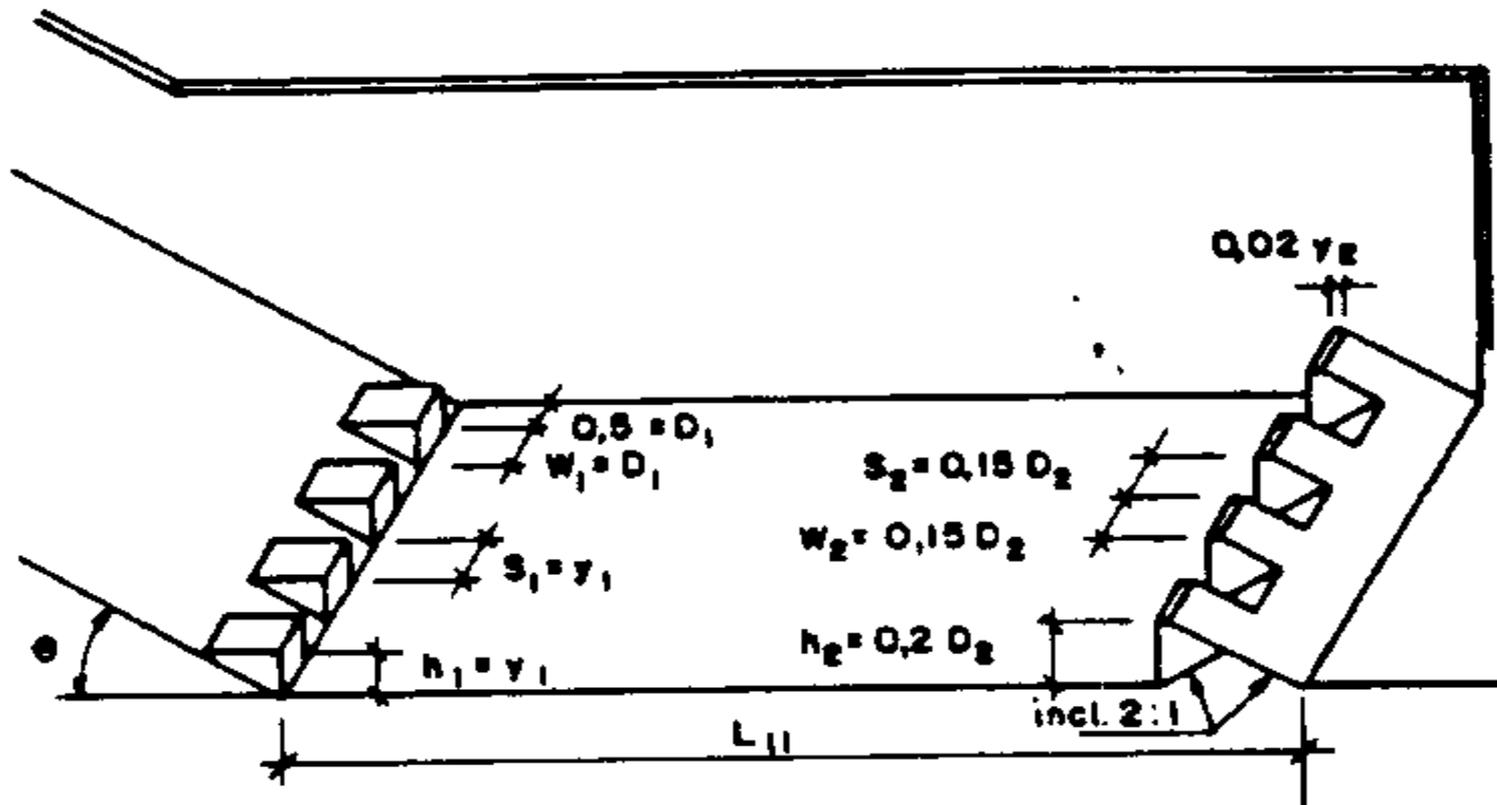


VERTEDOR Q-4358

25/8/2000



# Bacia Tipo II

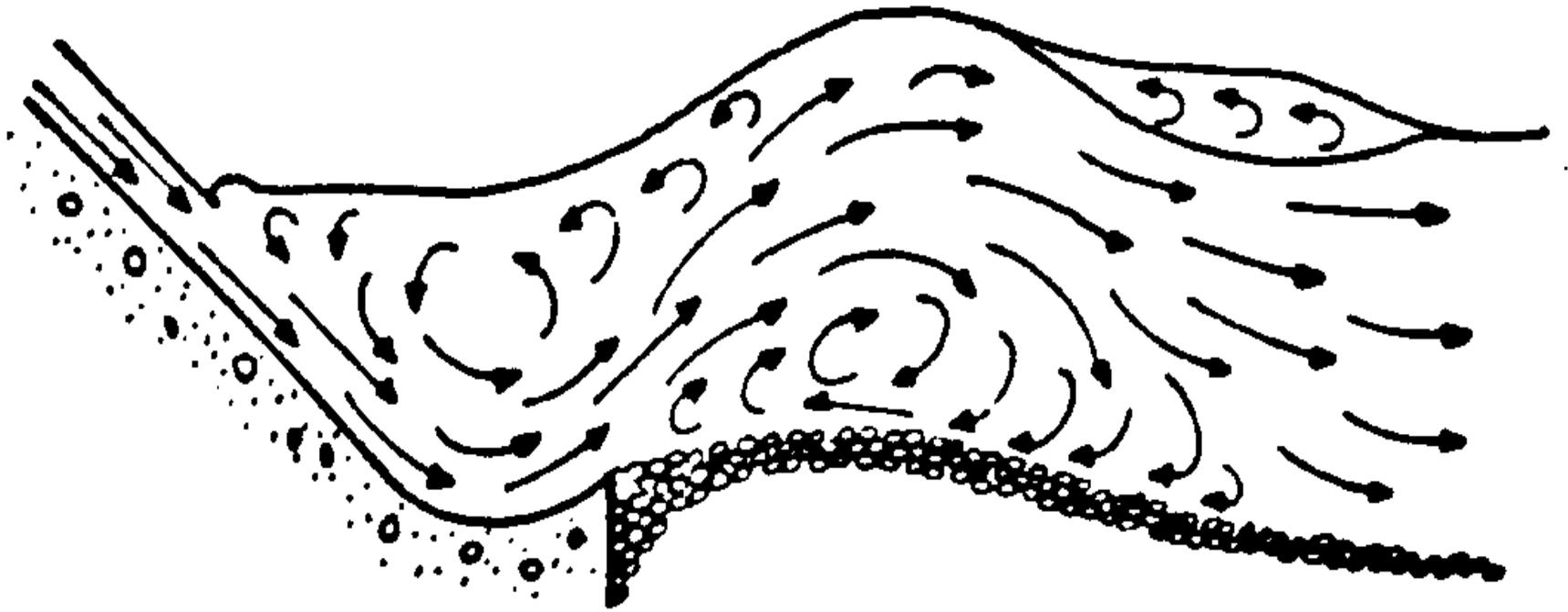


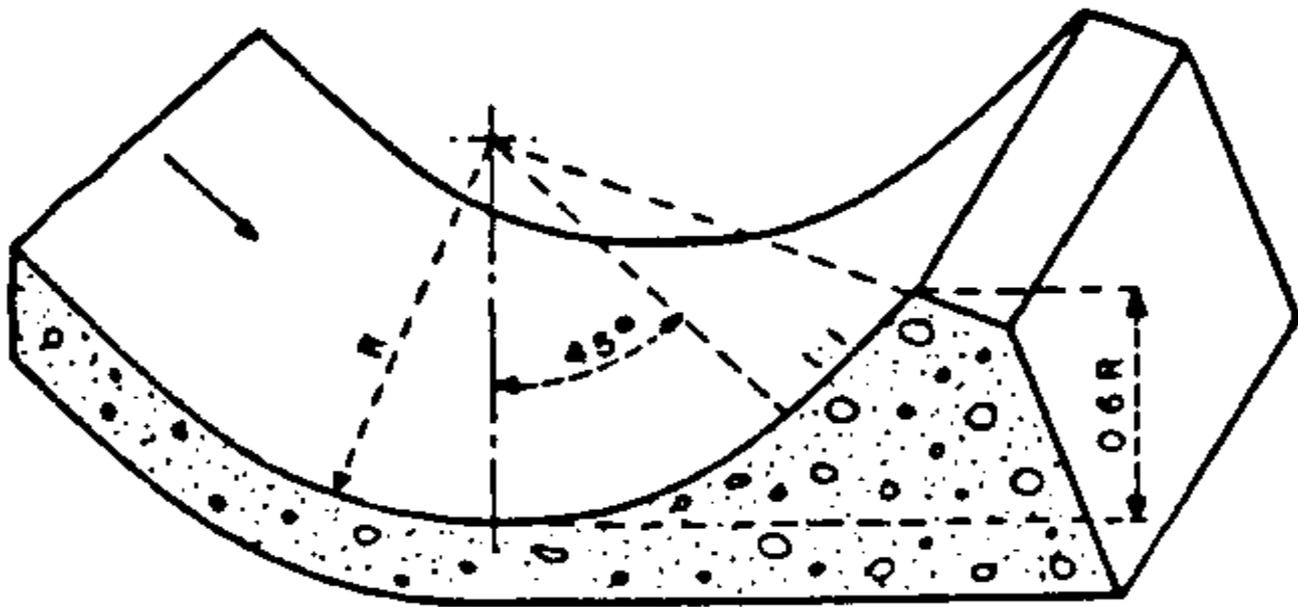


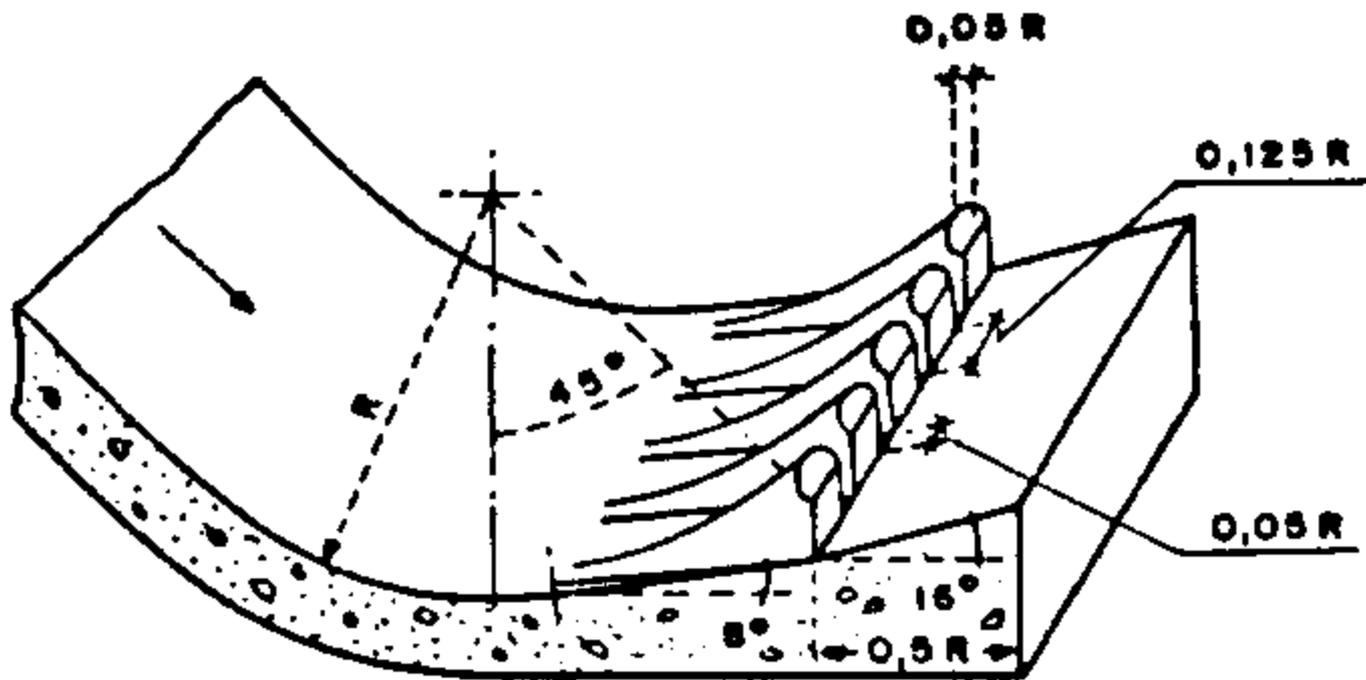


# Dissipador em concha - Roller Bucket

- Concha abaixo do leito natural - funcionamento afogado
- Dois grandes “rolos”: um sobre a estrutura e outro no leito natural
- Estrutura compacta, normalmente mais econômica
- Menor índice de dissipação de energia







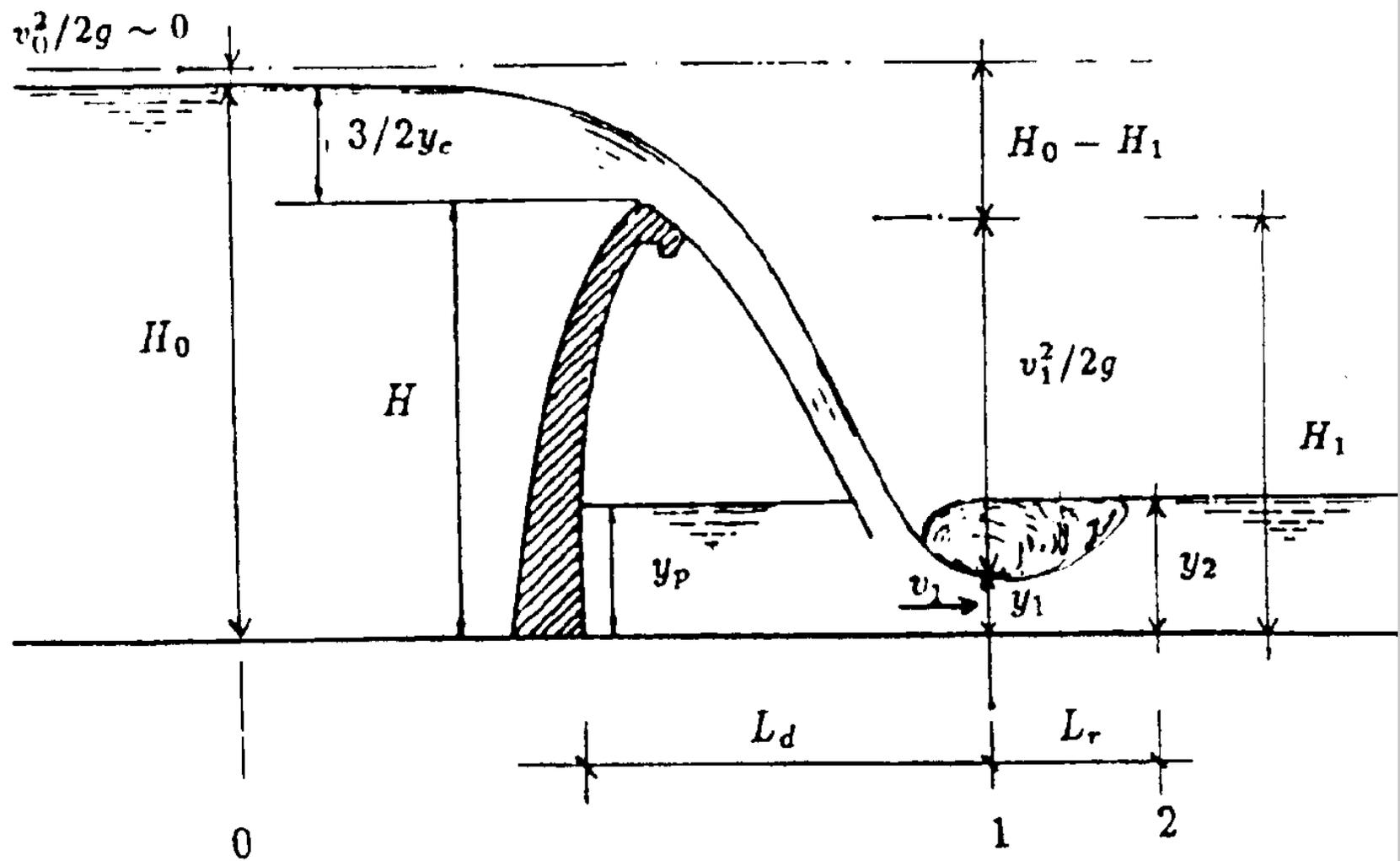
# Dissipadores com lançamento do jato

## Queda livre

Alta queda e baixa vazão específica

Barragens em concreto

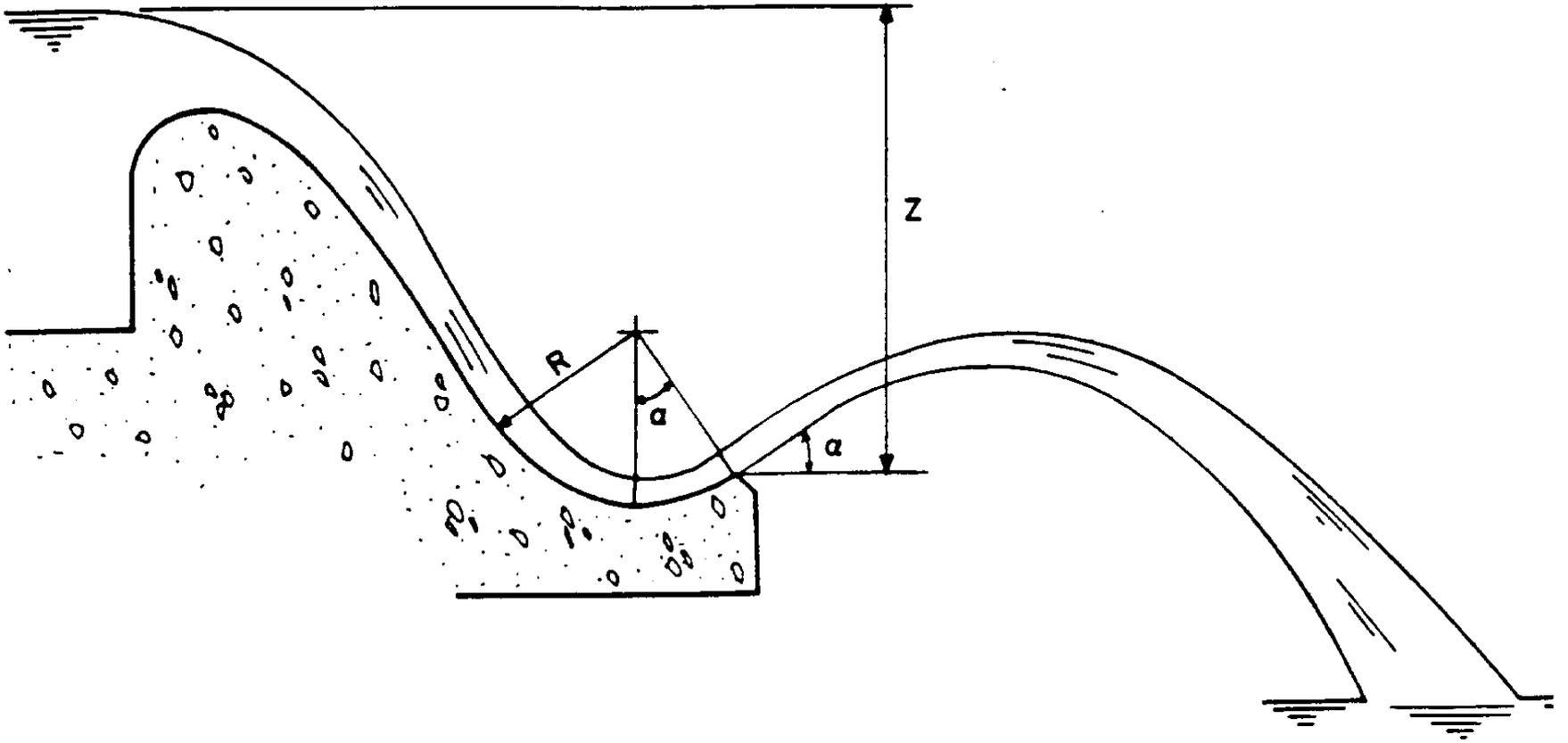
Rochas resistentes





# Jato lançado

- escoamento direcionado através de um canal ou túnel, e depois lançado em direção ao leito do rio.
- Diversas formas de lançamento, visando melhores condições de dissipação.
- Estruturas versáteis
- Vazões específicas altas ou baixas  $\Rightarrow$  energia para lançar o jato



# Tipos de dissipadores com jato lançado

Função de:

- características da superfície lançadora
- forma do lançamento

Salto esqui, concha defletora e trampolim espalhador





UHE Água Vermelha

# [ Caruachi ] 2.280 MW

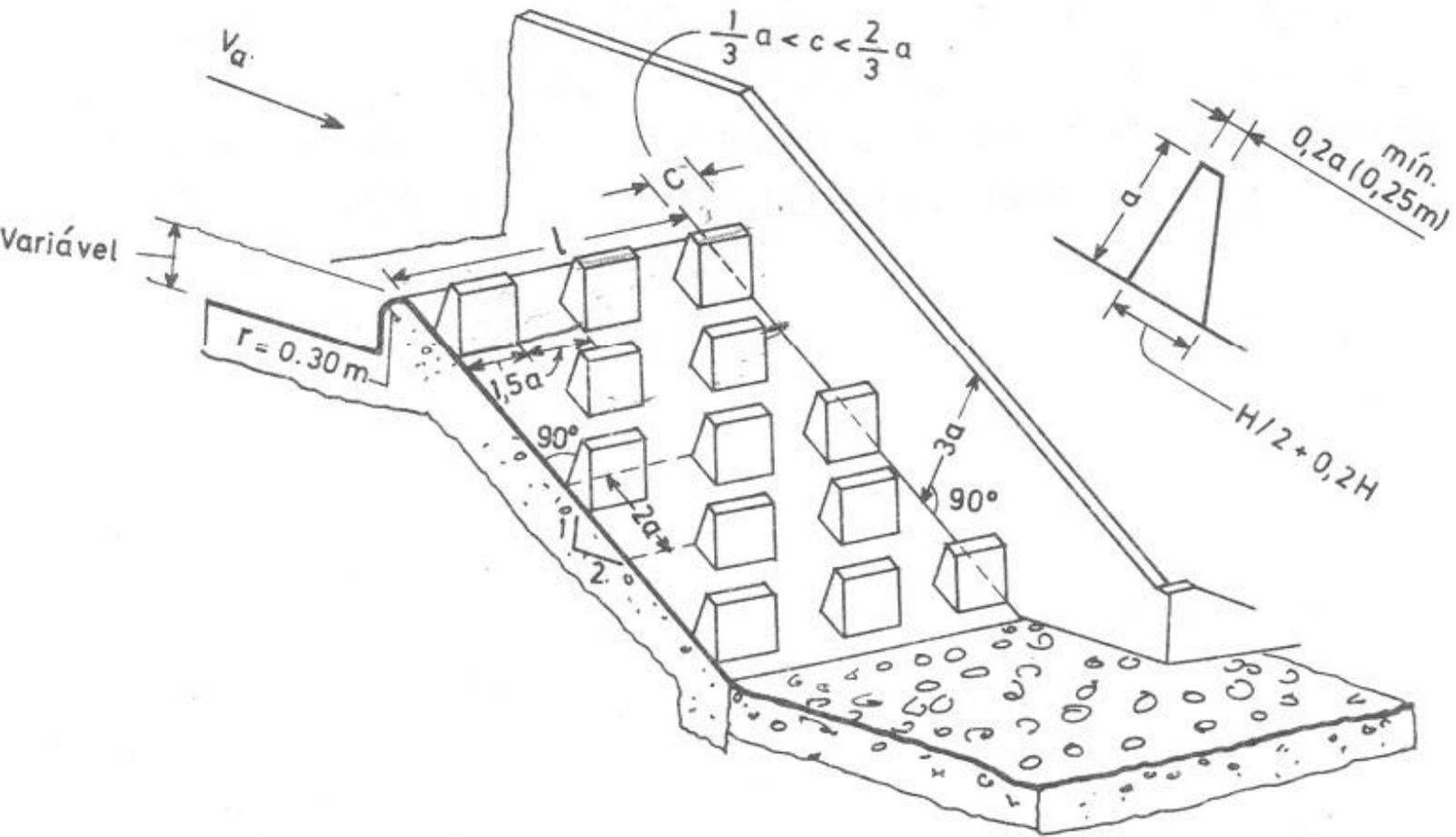


# Outros dissipadores

Vertedor em degraus

Rampa dentada

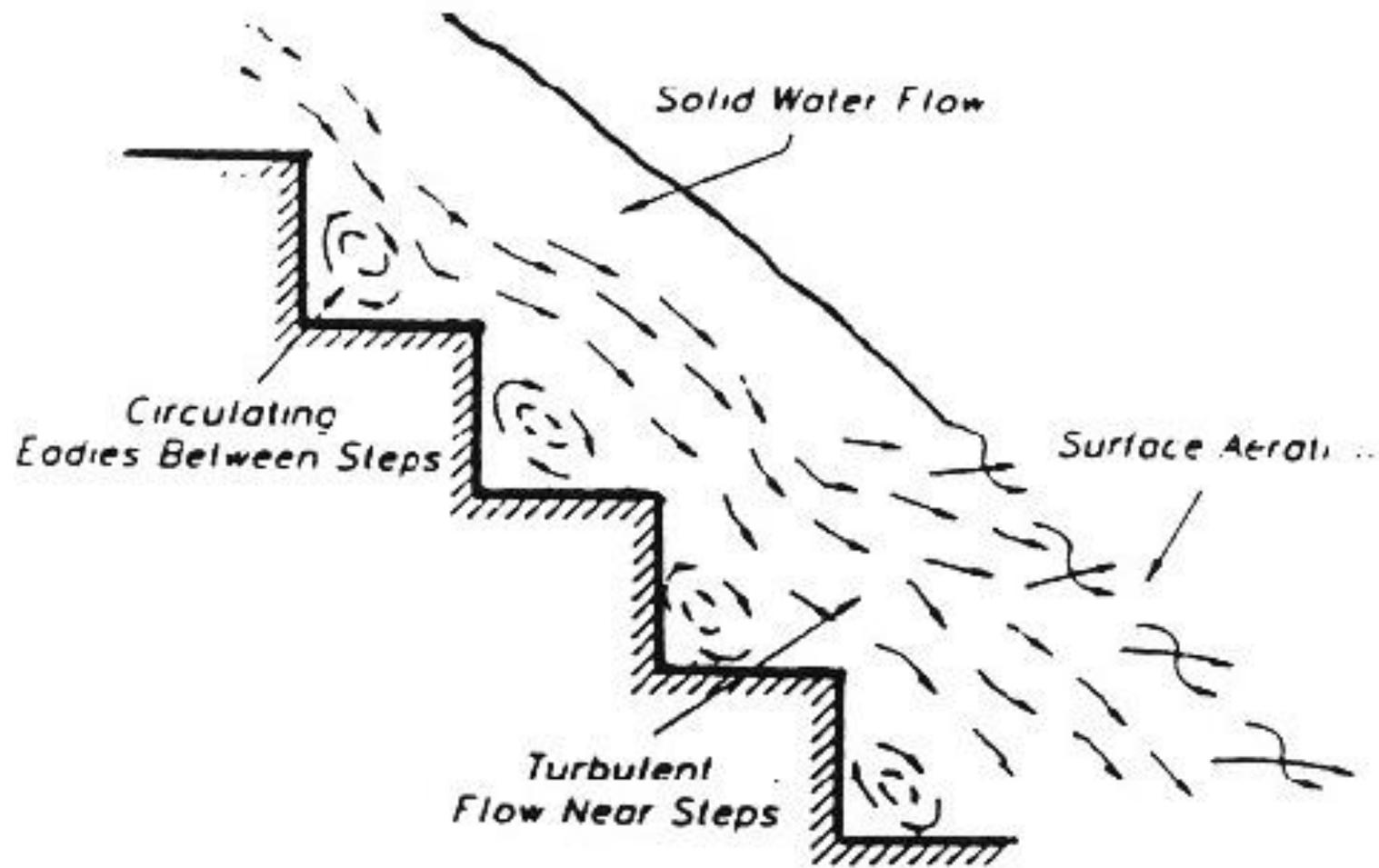
Caixa de dissipação por impacto



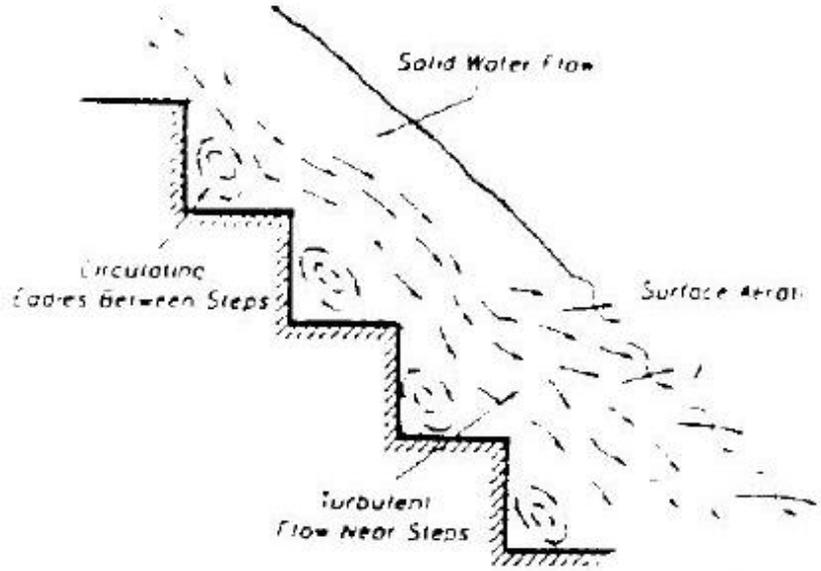


# DISSIPADORES EM DEGRAUS

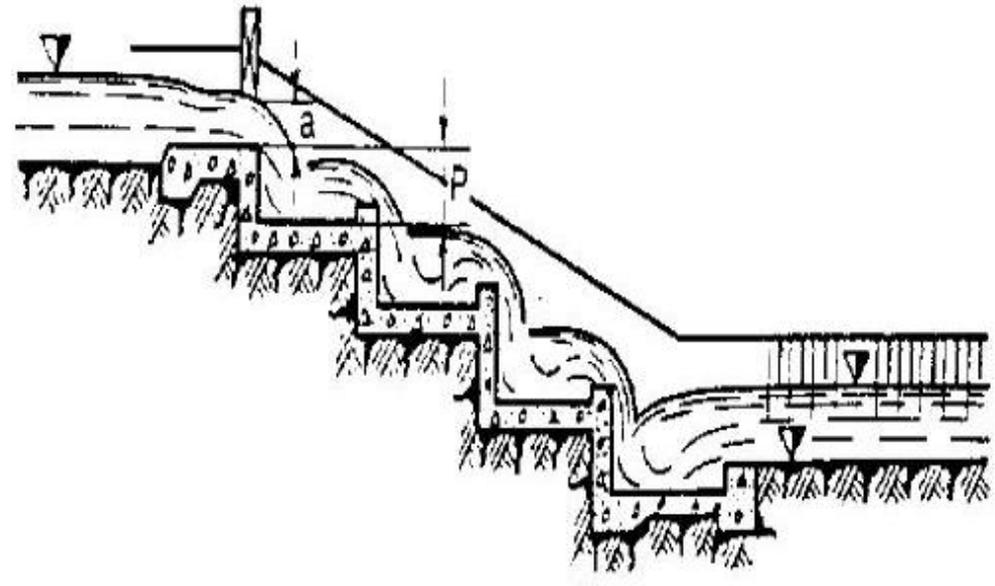
- Só se aplica para os casos em que a barragem é do tipo CCR - Concreto Compactado a Rolo.
- A vantagem em relação aos casos anteriores é que, teoricamente, dispensa o dissipador de energia.
- A desvantagem é que só se pode operar para vazões específicas baixas -  $q < 12\text{m}^3/\text{s.m}$
- A utilização de uma lâmina de água no pé da estrutura para auxiliar na dissipação de energia é desejável

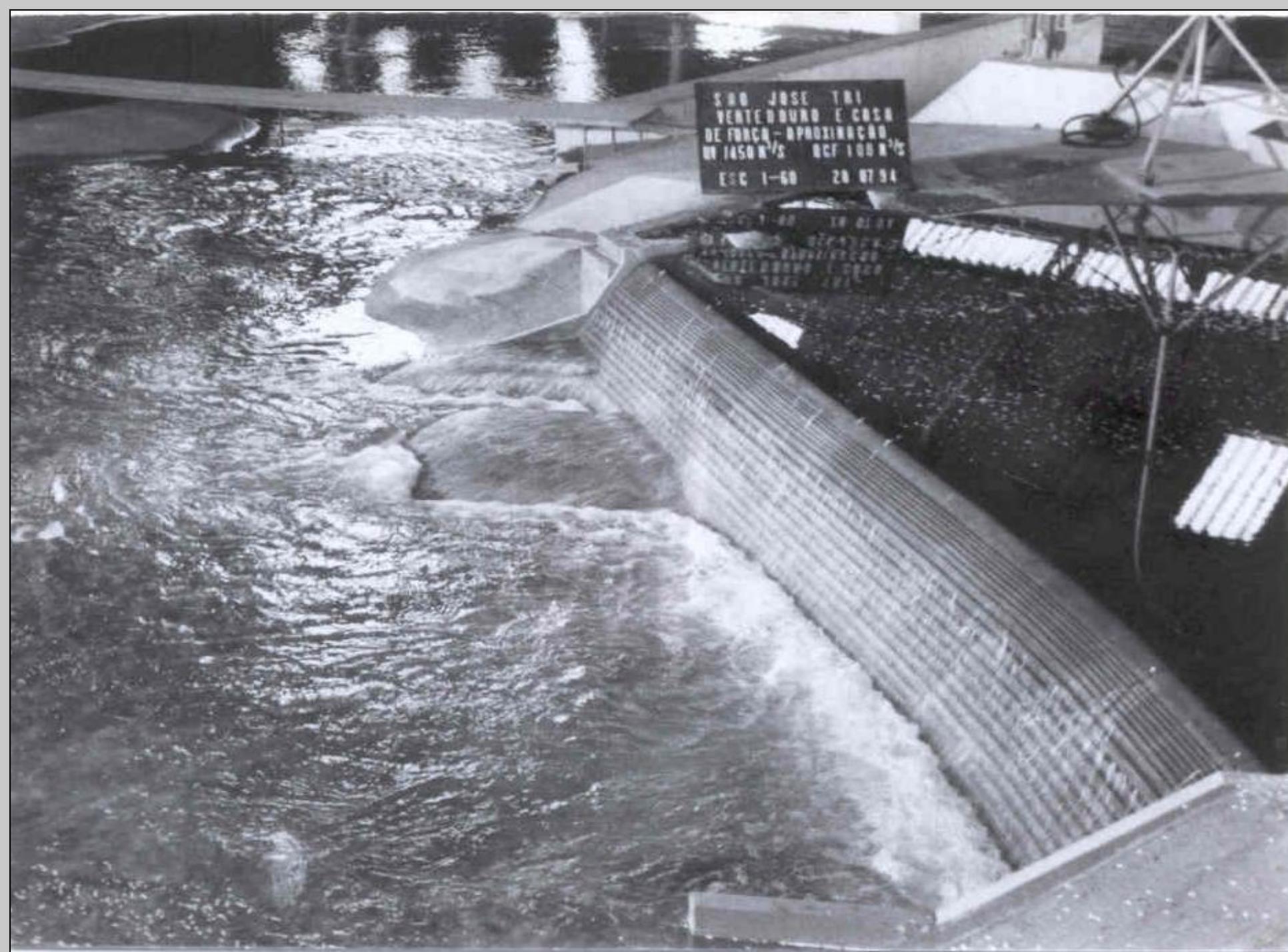


- Stepped spillway flow conditions.

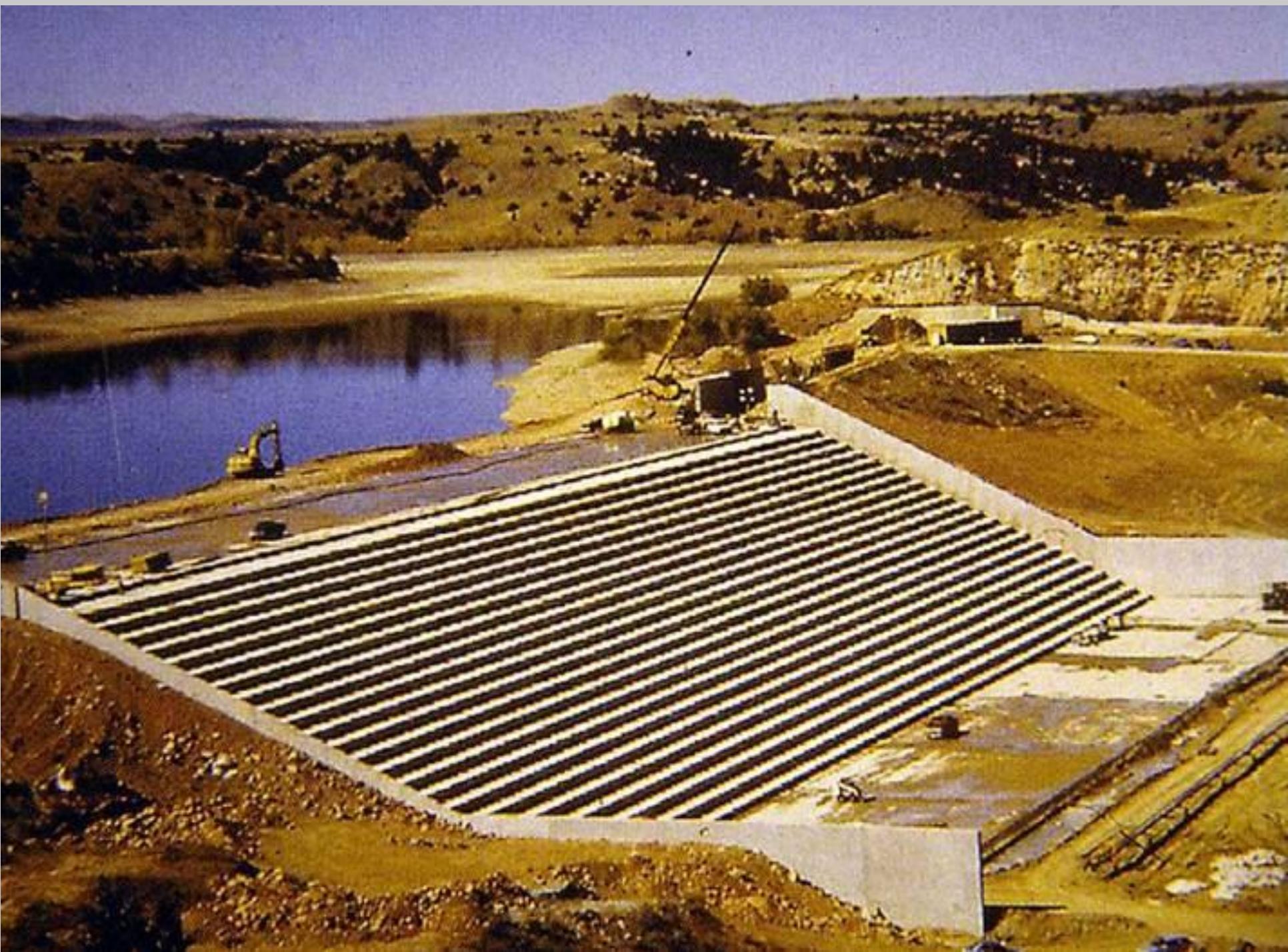


- Stepped spillway flow conditions.

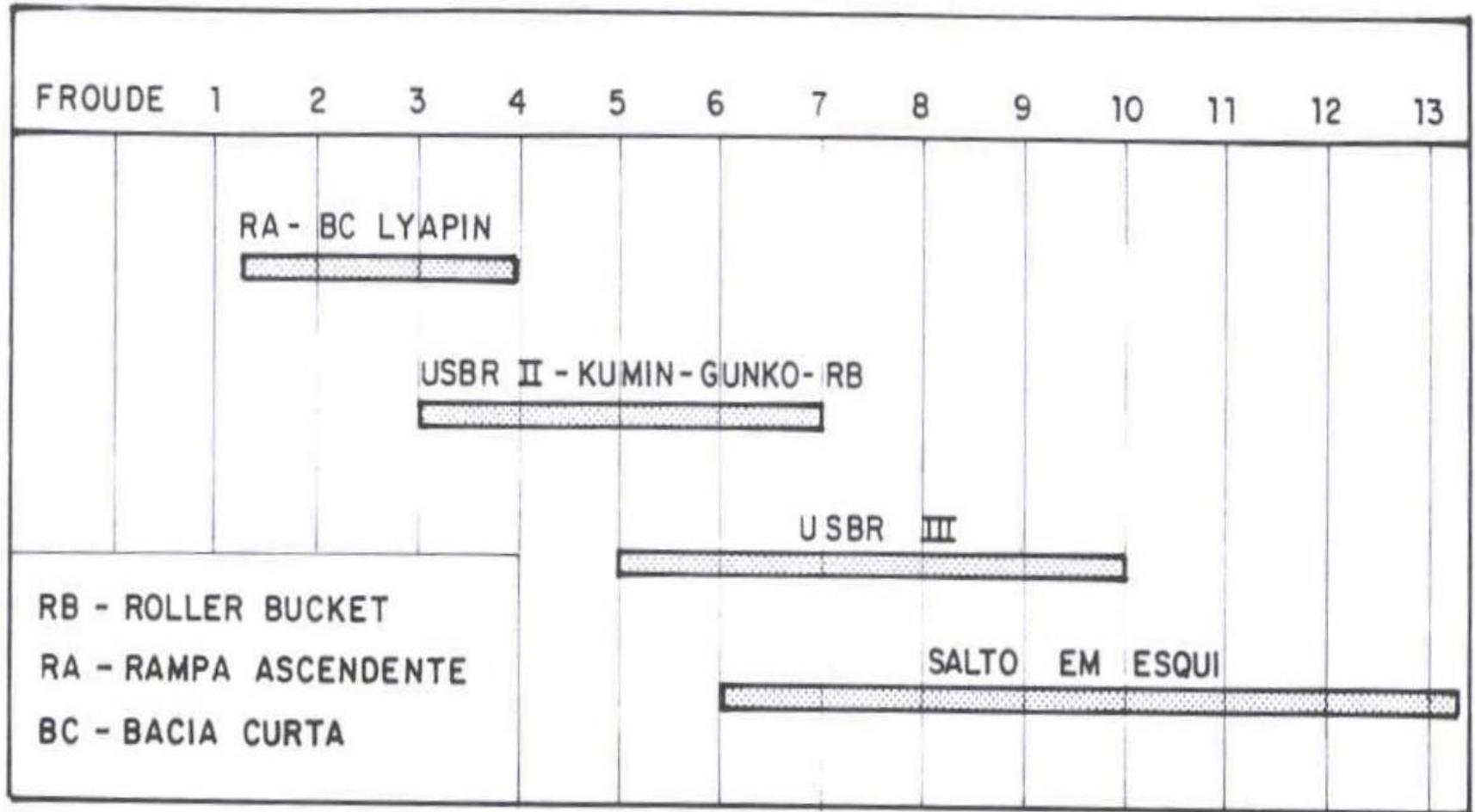




S. JOSE TRV  
VENTE D'AURO E CASA  
DE FORÇA - APROXIMACAO  
M 1450 N<sup>o</sup>S BCF 100 N<sup>o</sup>S  
ESC 1-60 28 07 94



# Escolha do tipo de dissipador



# Dissipador tipo salto esqui

Destaca-se por ser uma das estruturas mais econômicas

Bom desempenho

Versátil

Bom funcionamento para operações parciais do vertedor

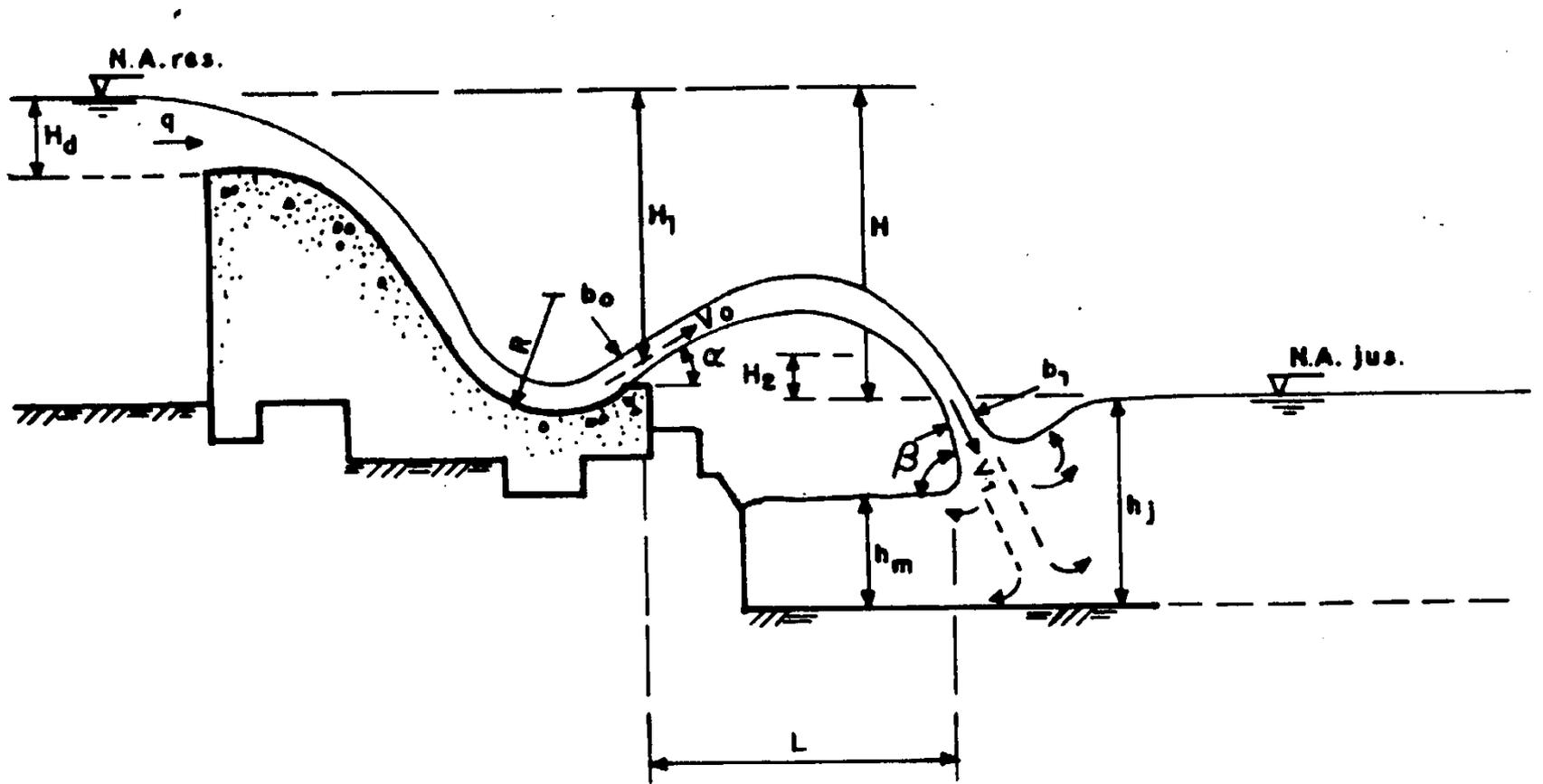
Existência de condições hidráulicas para bom lançamento do jato

# Caracterização do salto esqui

## Estrutura de lançamento

### *Geometria da concha*

- sem transições bruscas
- profundidade constante
- raio de curvatura único (3 a 5 vezes a profundidade)





# Processo de dissipação de energia no salto esqui

- Trajetória do jato
- Turbulência no escoamento
- Esforços na região de incidência do jato
  - Massa de água
  - Solo

# Dificuldades encontradas

- *Vazão mínima de lançamento do jato (expulsão)*
- *Fossa de erosão*
  - tipo de solo/rocha a jusante
  - profundidade - fórmulas empíricas
  - flutuações de pressão
- *Pré-escavação (plunge-pool)*



P. ESCAV.4 Q-1000

4/8/2000





# *Correntes de recirculação*

Ângulo de incidência do jato

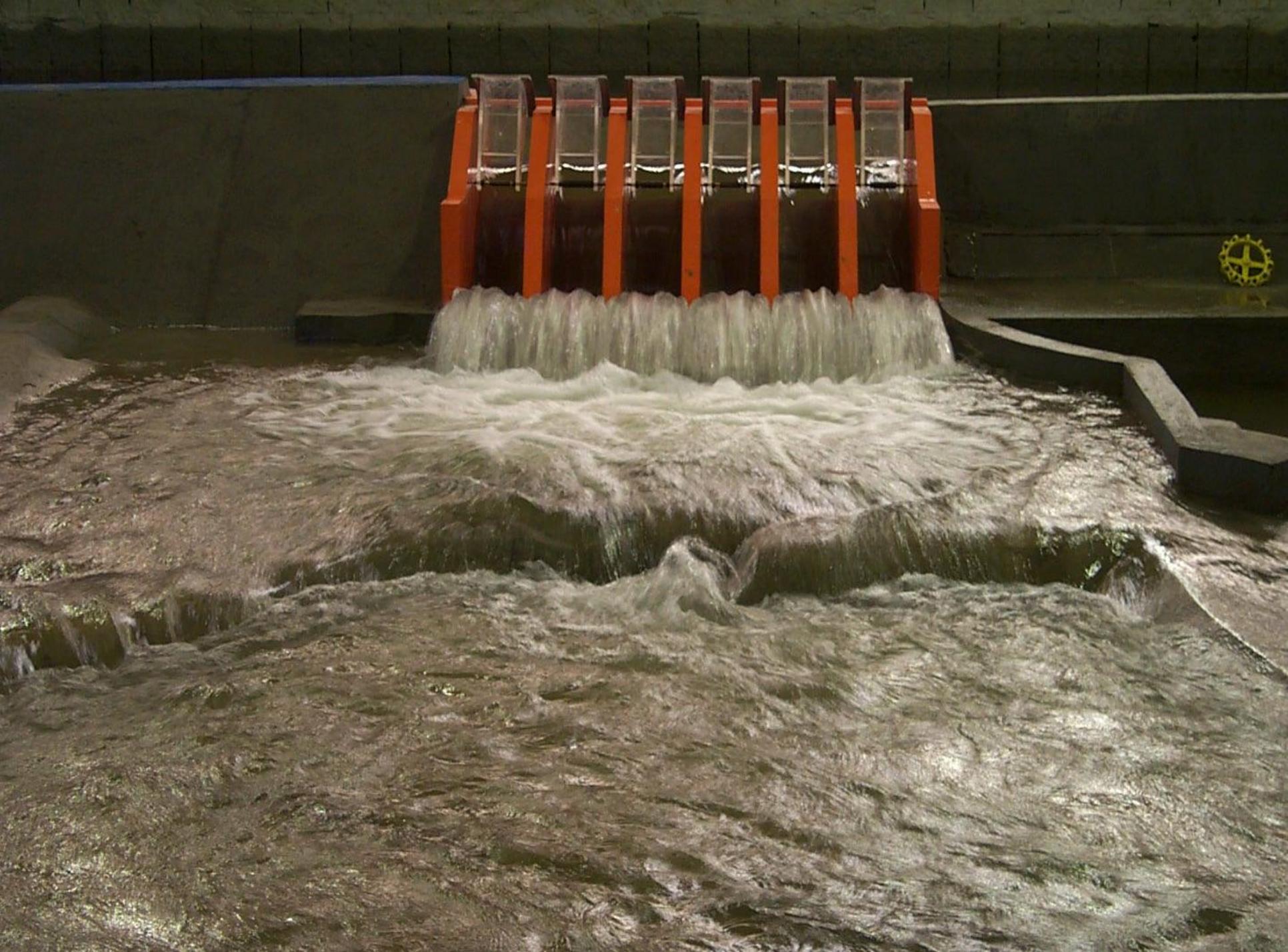
Vazão específica

Condições topográficas limítrofes

Espessura do colchão de água a jusante

Desnível extravasor e NA a jusante

Cota do fundo do leito





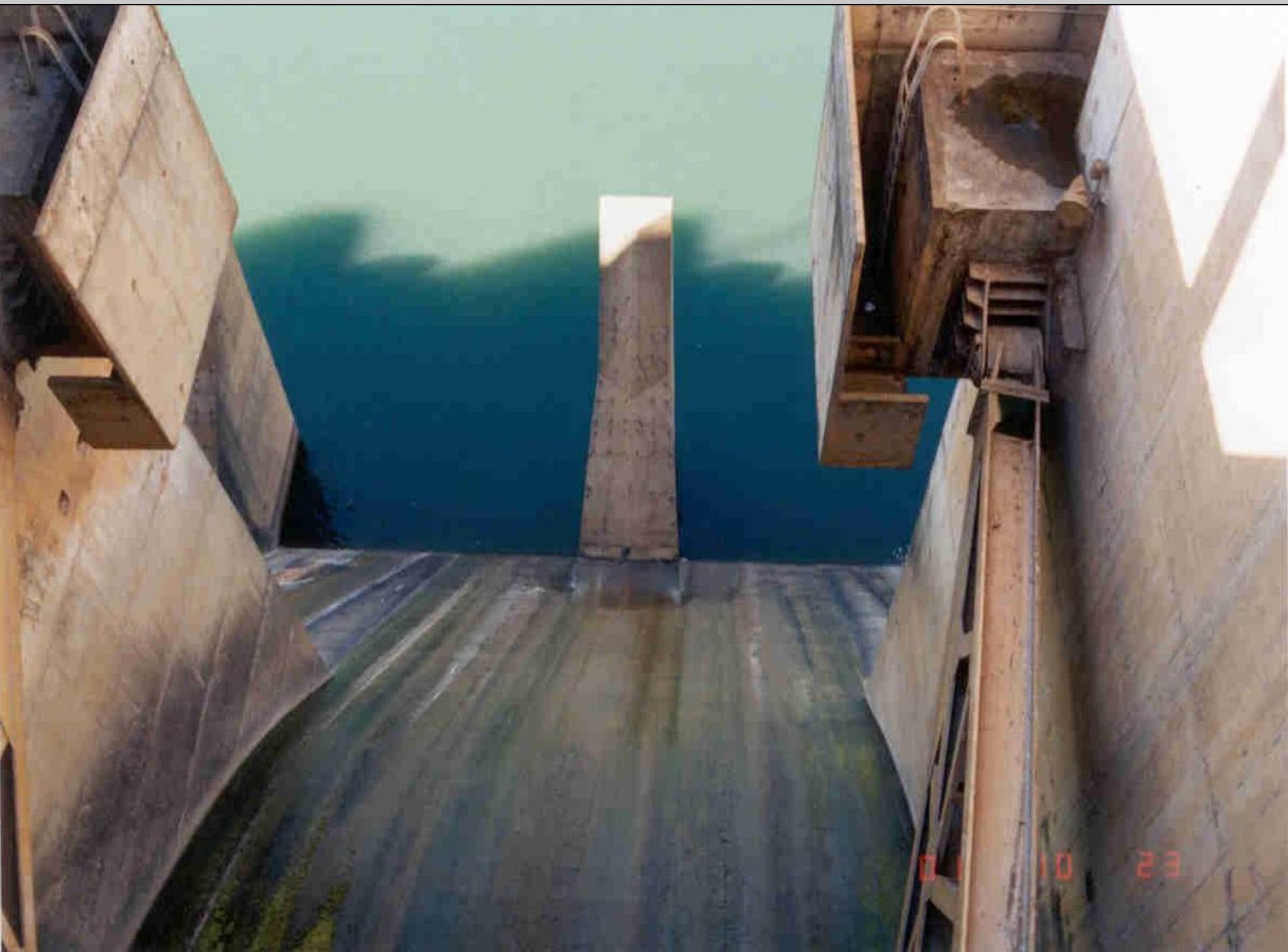
# **PROBLEMAS QUE PODEM SER GERADOS QUANDO O DISSIPADOR NÃO É ADEQUADAMENTE PROJETADO**

**Alguns casos onde surgiram problemas:**

- **Ilha Solteira - Cavitação**
- **Porto Colômbia - Cavitação**
- **Paulo Afonso IV - Ausência do Dissipador**
- **Moxotó - Formação de vórtices muito intensos junto às comportas**
- **Jaguara - Falta de pré-escavação e canal de restituição inexistente**
- **Itutinga - Ausência do dissipador e do canal de restituição**

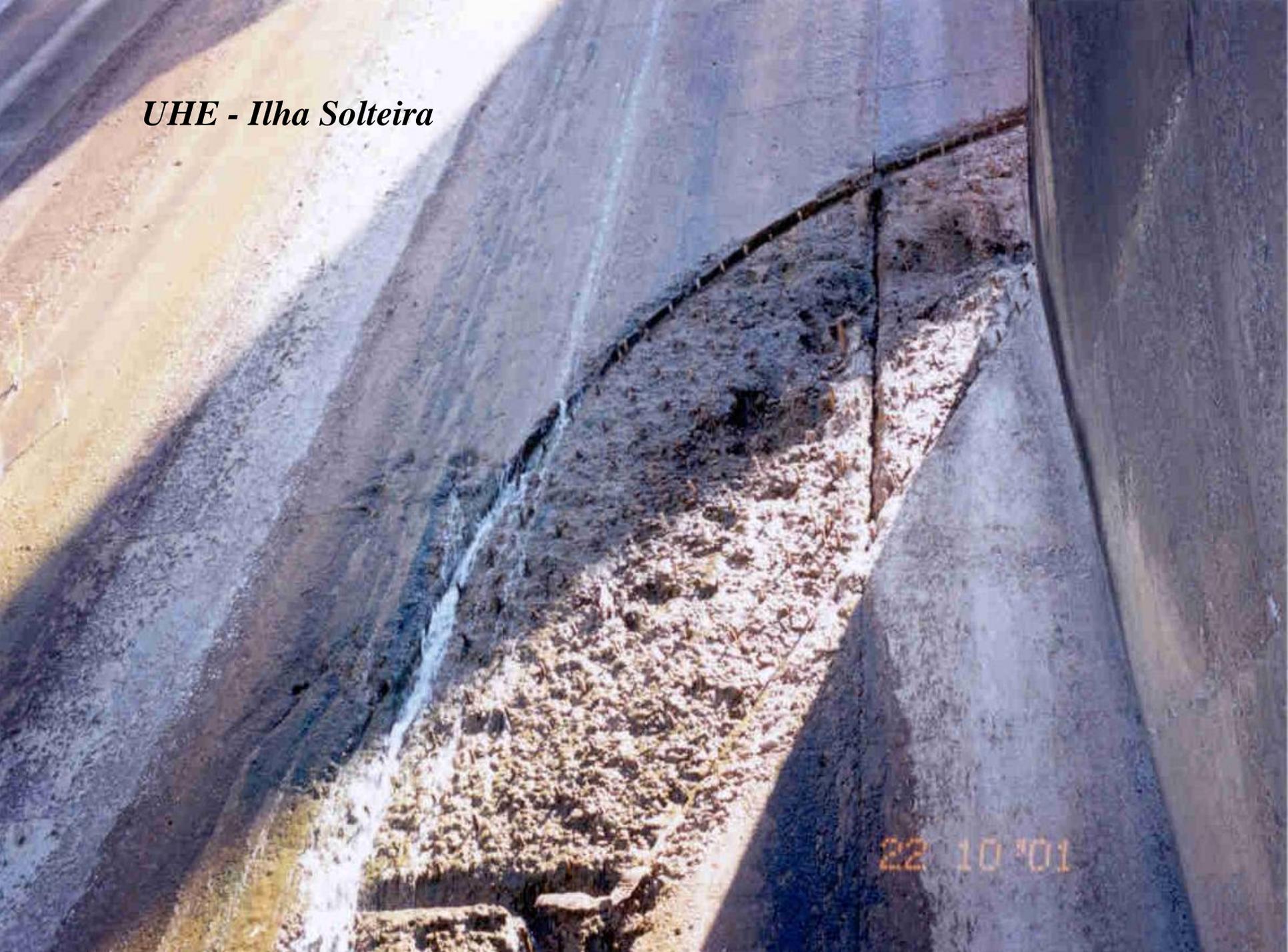






*UHE - Ilha Solteira*

22/10/01





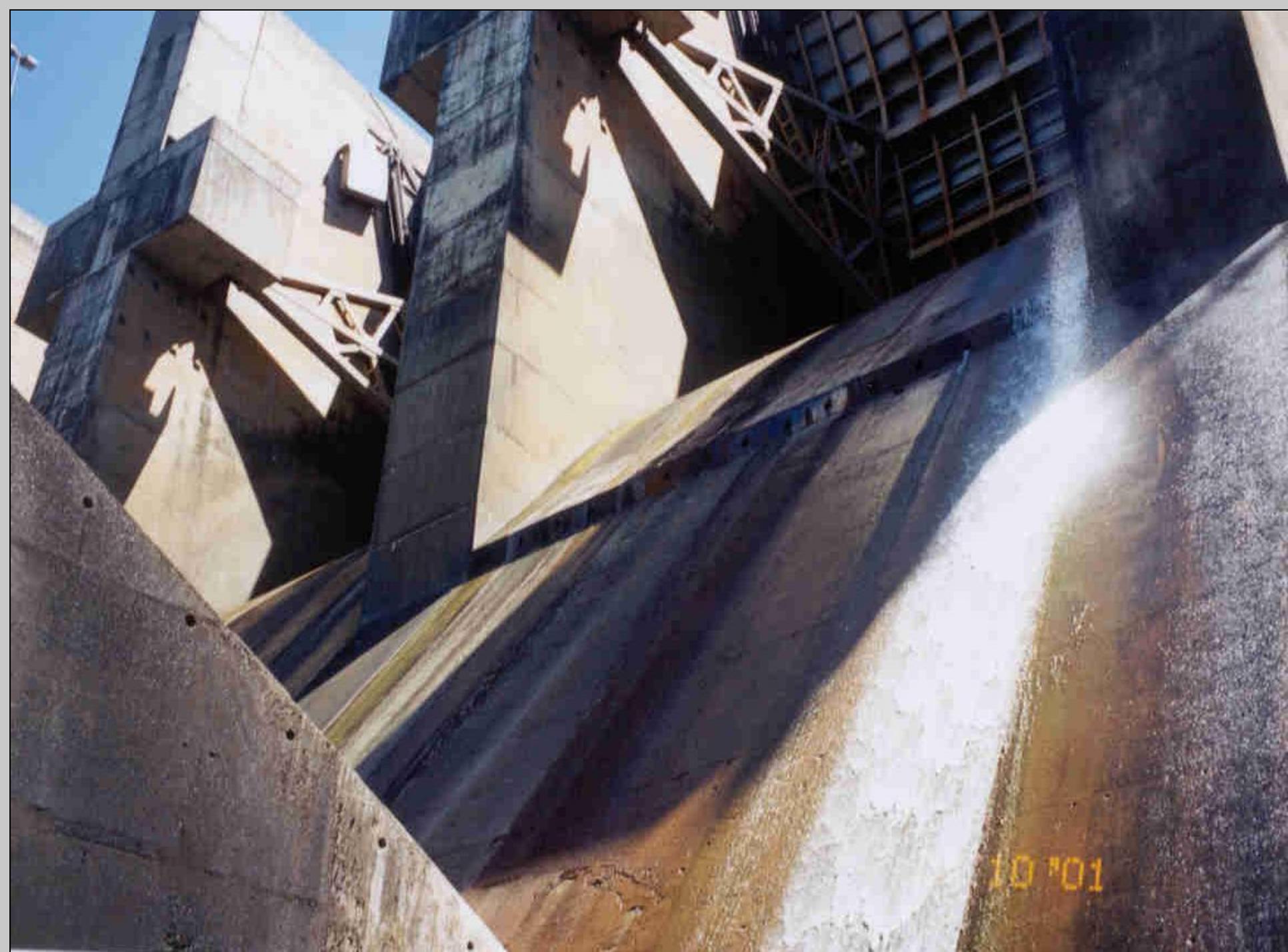
57 18 23



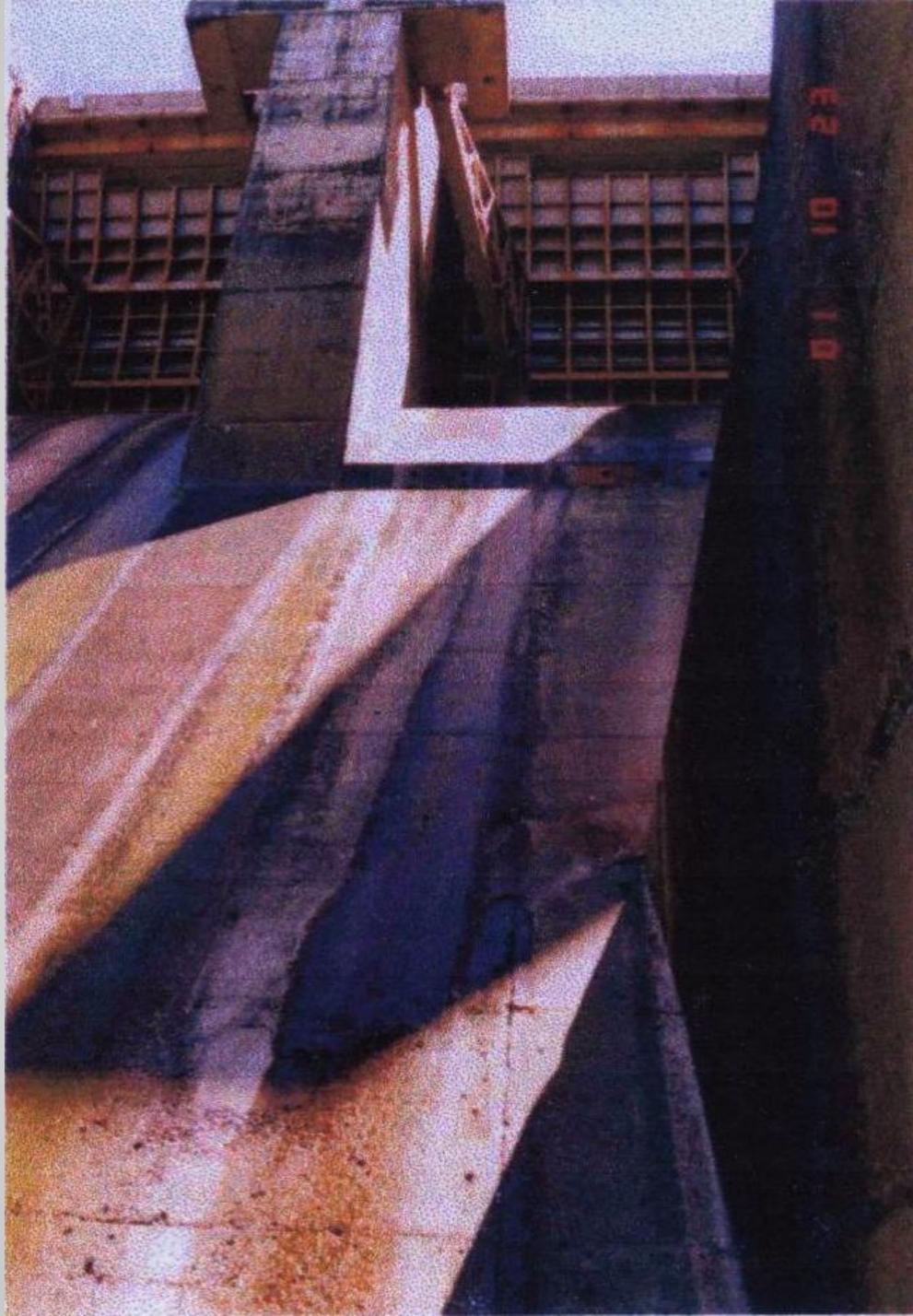
22 10 '01







10/01





PARAMENTO

3,443 m

DISPOSITIVO ANTI-VÓRTICE  
(ARCO DE ELIPSE)

ELIPSE:

$a = 2,70\text{m}$

$b = 3,90\text{ m}$

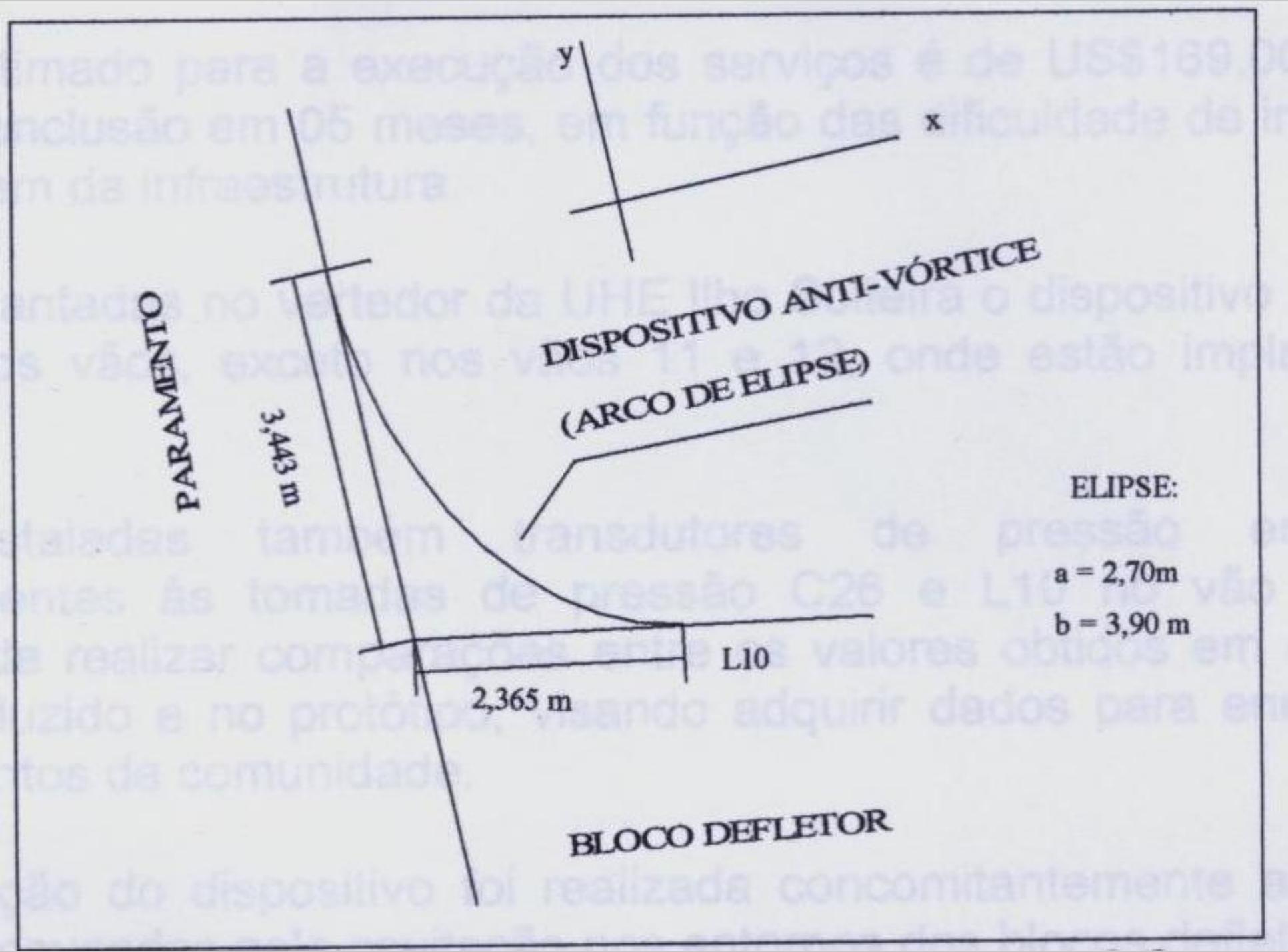
2,365 m

L10

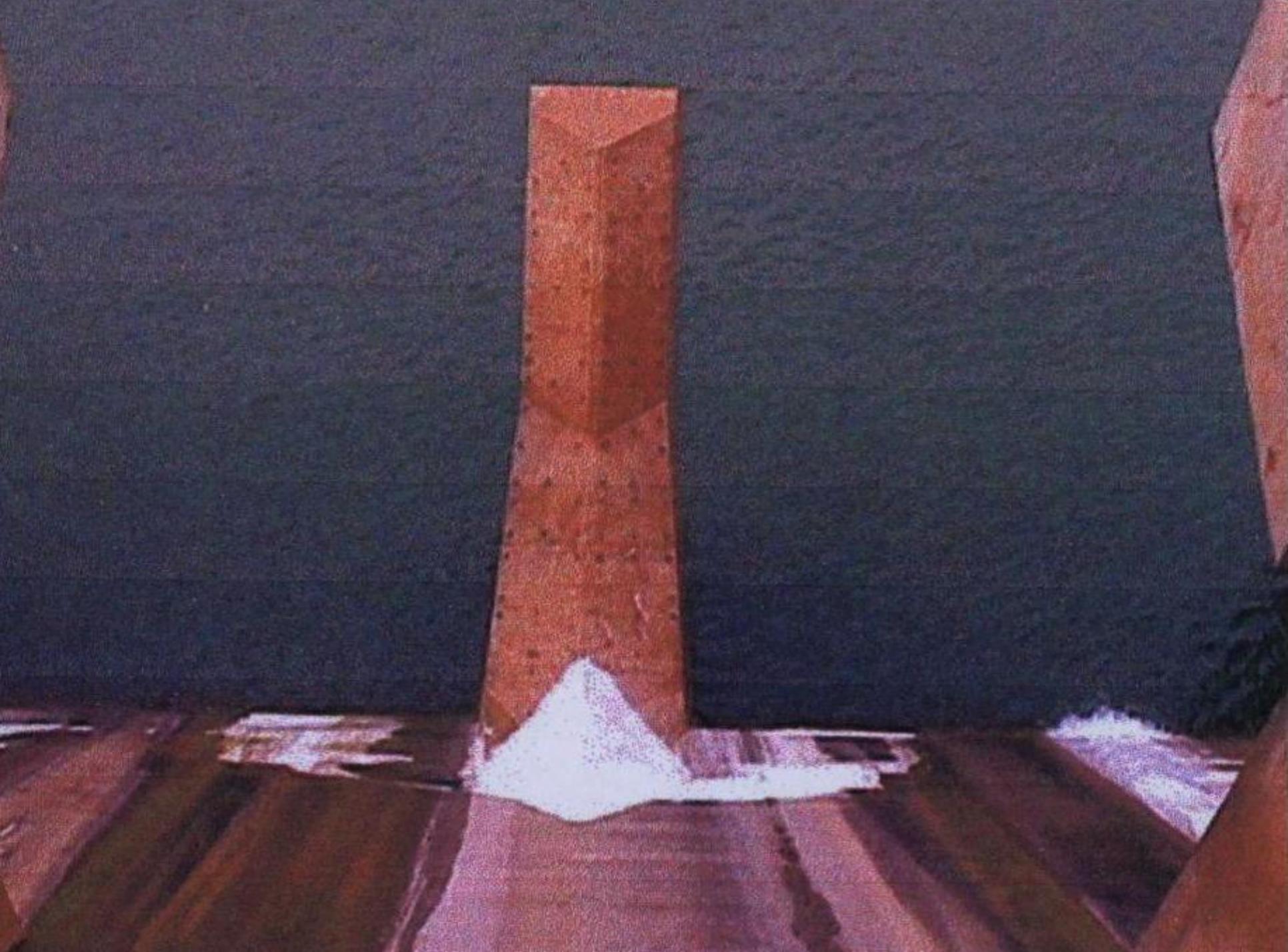
BLOCO DEFLETOR

y

x



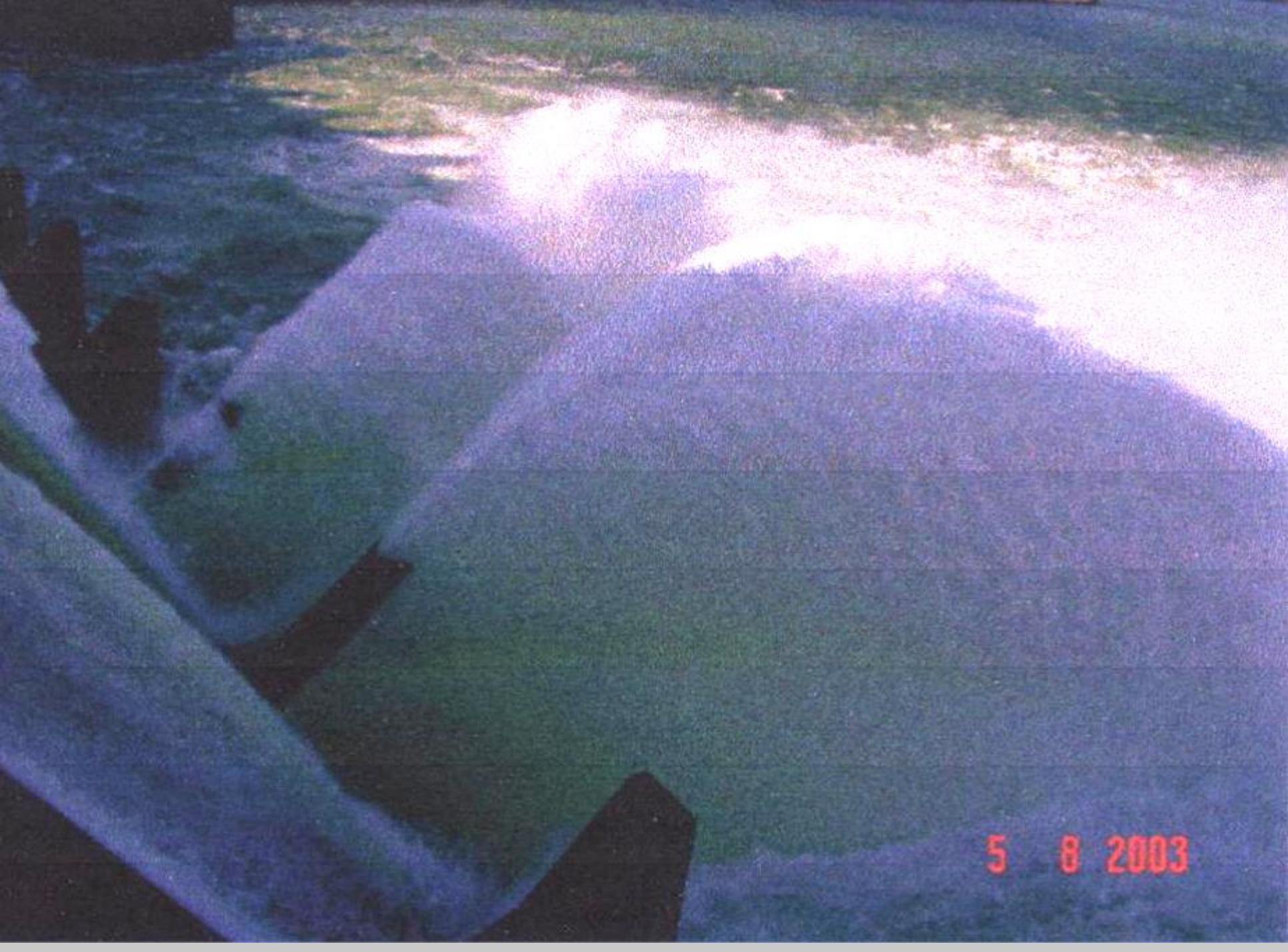








5 8 2003

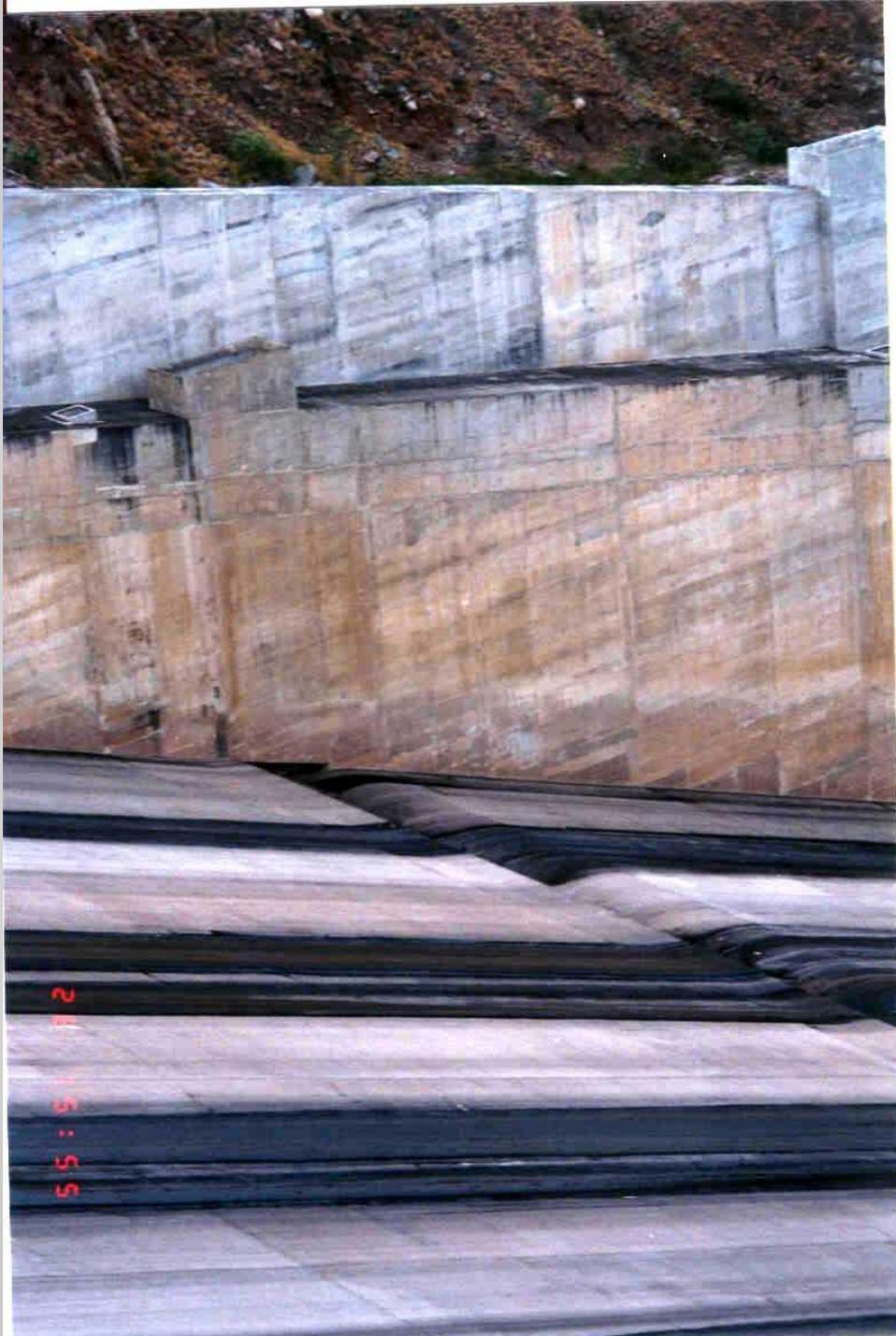


5 8 2003





2016:09



2011.05.12



*Vertedor em Operação*



*UHE - Paulo Afonso IV*



*Erosão à jusante do vertedor*



*Erosão à jusante do vertedor*

*UHE - Paulo Afonso IV*



*Após execução do reparo*

# **PROBLEMA AMBIENTAL CRIADO PELO DISSIPADOR DE ENERGIA PROJETADO DE UMA FORMA INADEQUADA**

- **Grande mortandade de peixes nas ocasiões de**

**Piracema: estudos de casos**

– **Usina hidroelétrica de Jaguará - Rio Grande**

– **Usina hidroelétrica de Itutinga - Rio Grande**

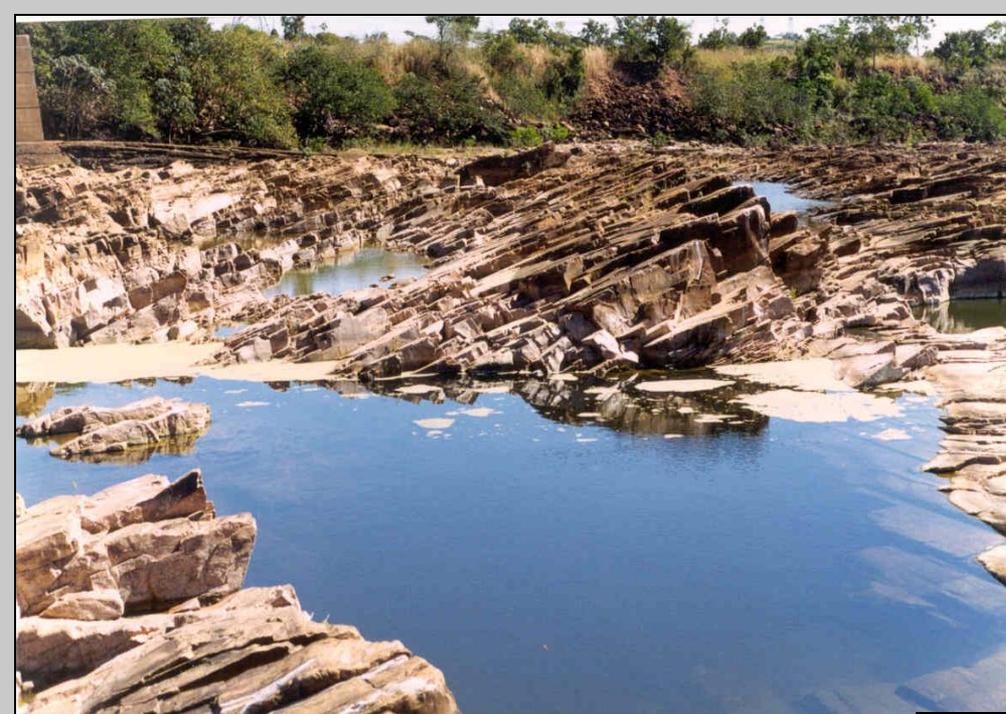
- **Soluções adotadas**

*UHE - Jaguará*  
*Vista de Jusante de Vertedor*



*UHE - Jaguará*  
*Formação de “piscinas”*  
*à jusante do vertedor*





***UHE - Jaguará***  
***Formação de “piscinas”***  
***à jusante do vertedor***





***UHE Jaguará***  
***Canal Concluído***



***UHE Jaguará  
Canal Inundado***



*Erosão a jusante do vertedor*



*UHE - Itutinga*

*Erosão a jusante do vertedor  
e formação de “piscinas”*

