

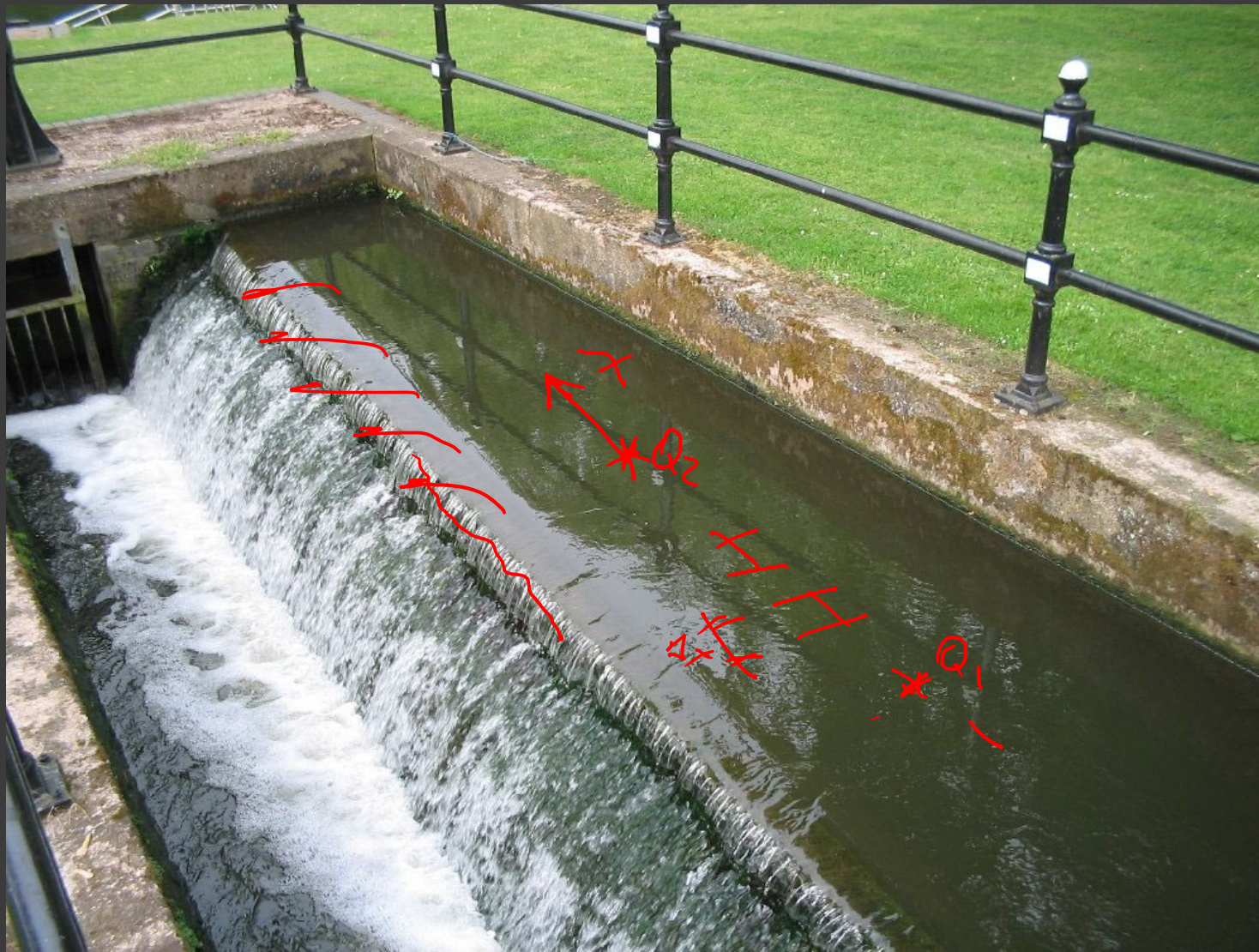
# Estruturas Hidráulicas I

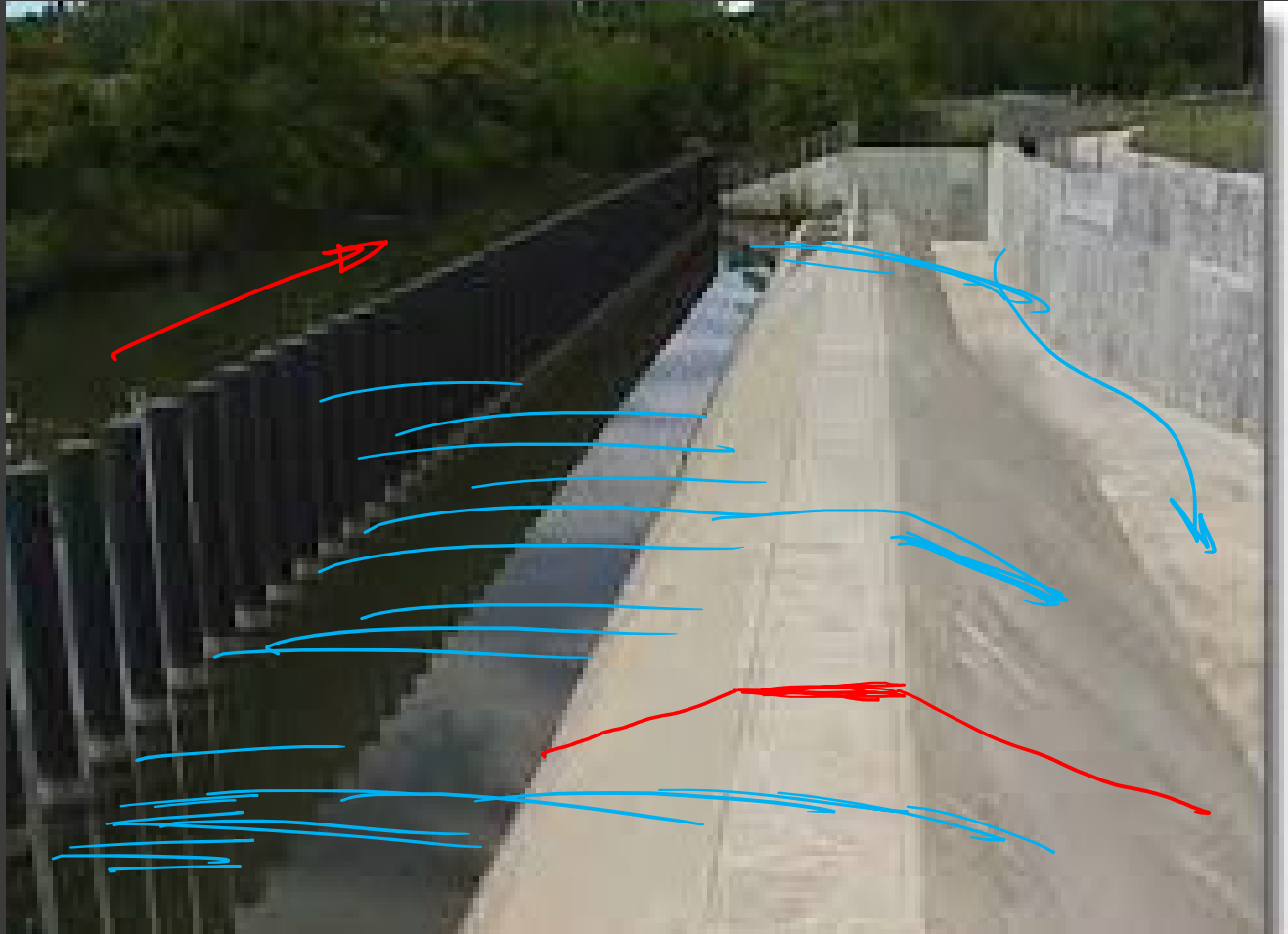
## Aula 4

### Extravadores 3

### Vertedouros e Soleiras Laterais

Rodolfo Scarati ([scarati@usp.br](mailto:scarati@usp.br))





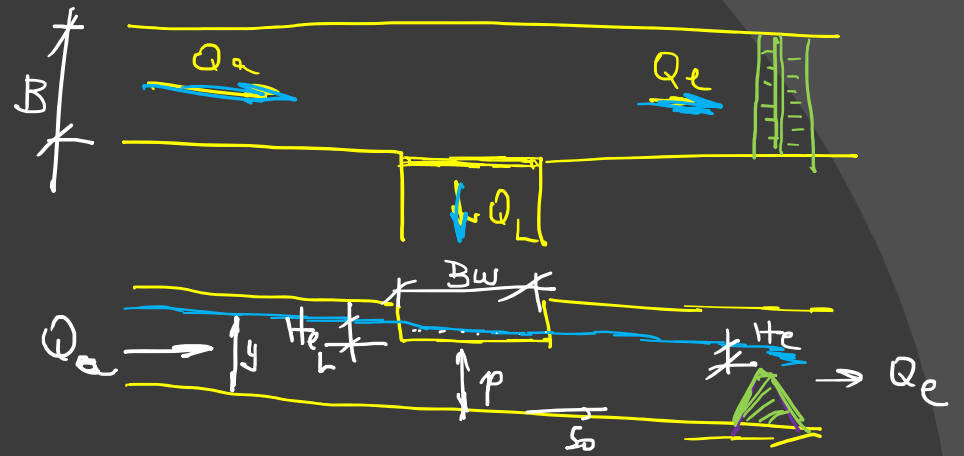
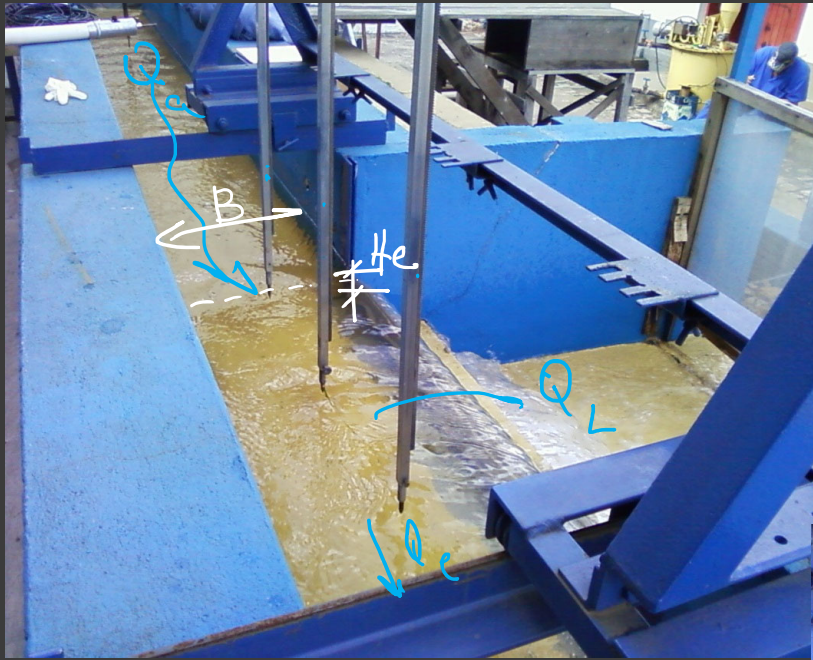




## Soleiras Laterais



Reservatório

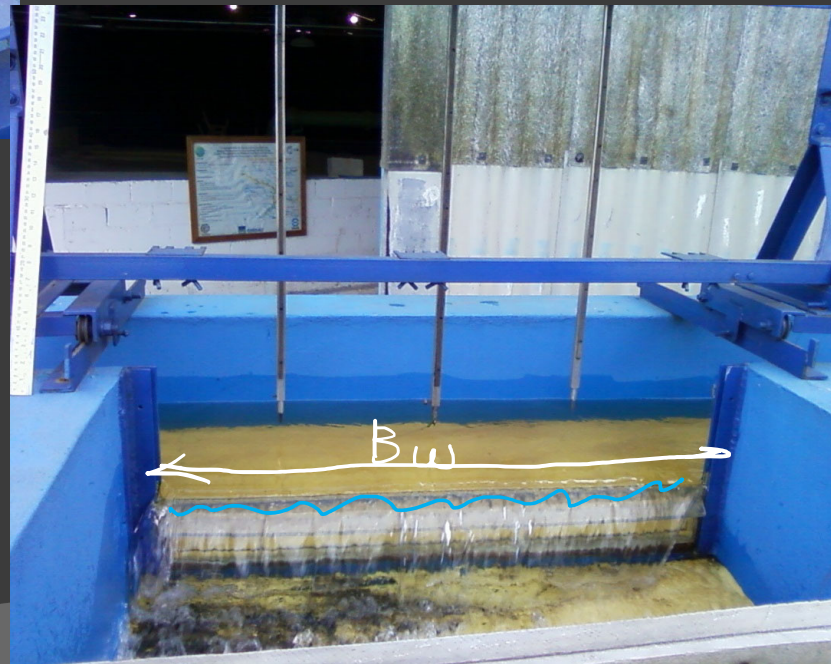


$$Q_L = Q_a - Q_e$$

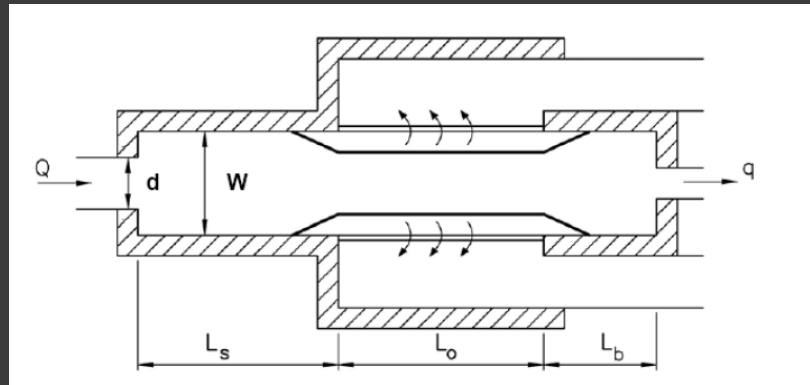
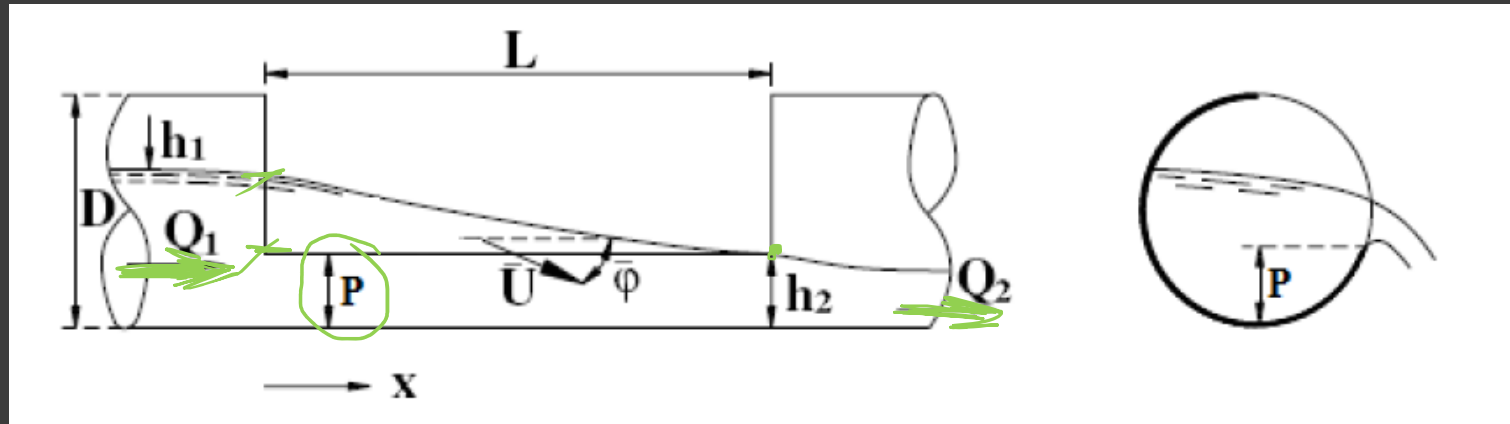
$\approx 0,5$  — Croger

$\approx 0,42$  — Tulipa

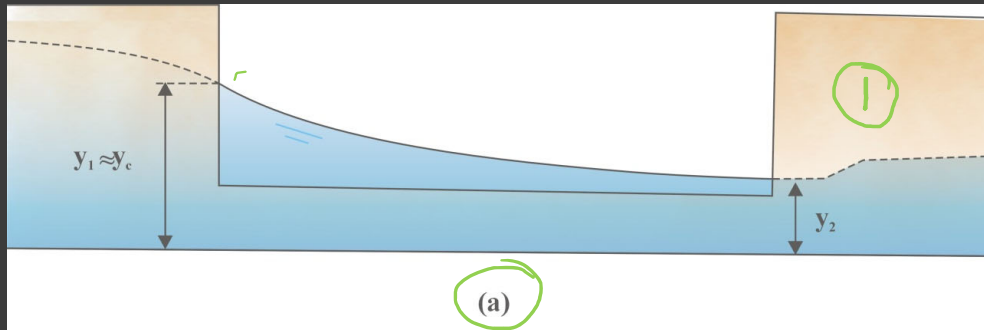
$\approx 0,25_a$  — Sol hart  
0,30







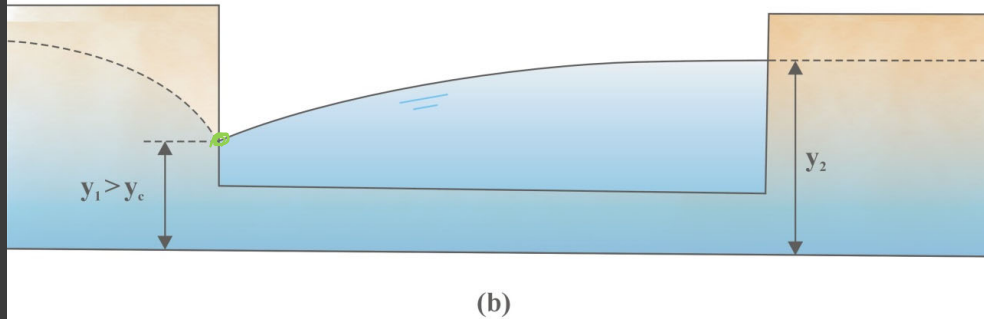
$$Fr < 1$$



TOR  $Fr = \frac{v}{\sqrt{gy}} > 1$   $v^2/2g$

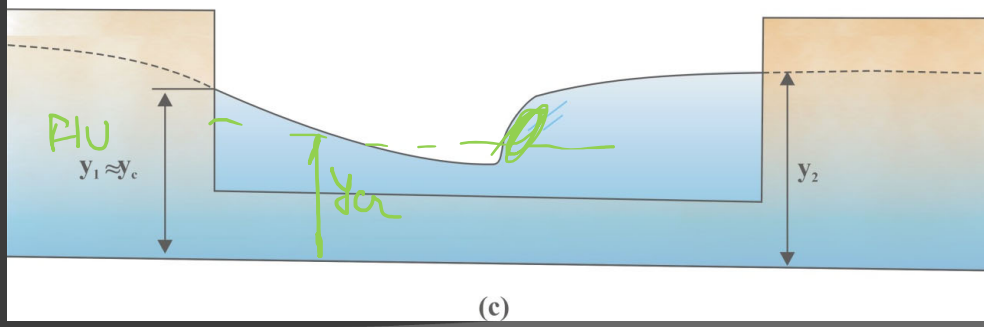
FLU  $Fr = < 1$   $y = P/\rho$

$$Fr > 1$$



$$Q_w = f(y(x))$$

$$Fr < 1$$

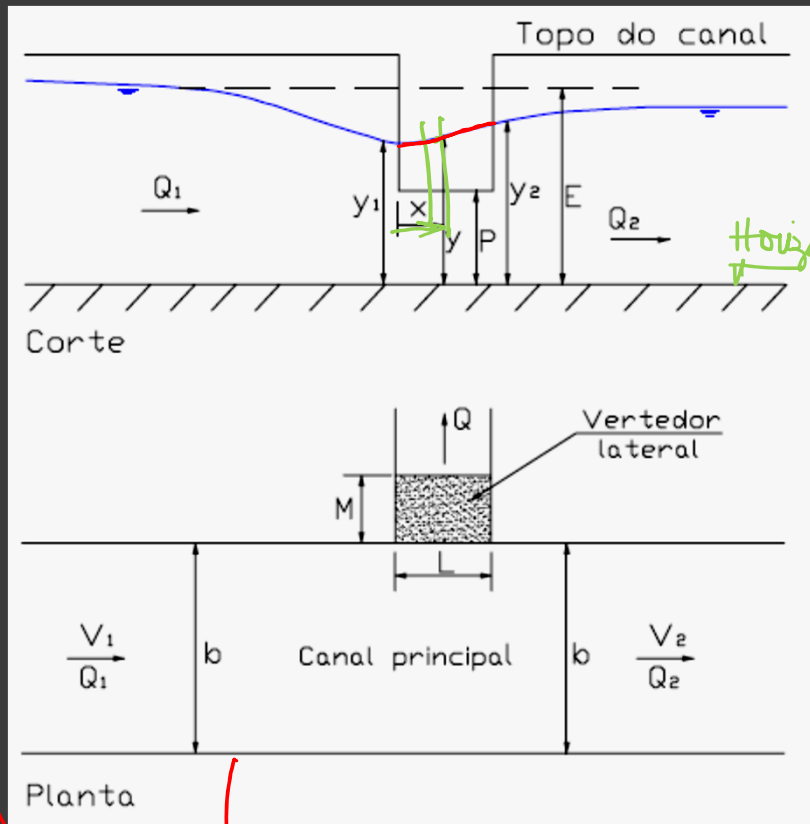


$$Fr > 1$$

# Equações Básicas

$$Q_w = Q_1 - Q_2$$

$$H_c = y - p$$



$$q(x) = \frac{2}{3} \cdot C_d \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot (y(x) - P(x))^{3/2}$$

## Aipóteses

- O escoamento é unidirecional;
- O efeito da não-uniformidade da distribuição de velocidades no canal principal é corrigido pelo coeficiente de Coriolis ( $\alpha$ );
- A distribuição de pressões no escoamento é hidrostática;
- O efeito do arrastamento de ar não é considerado;
- A superfície de água é horizontal em qualquer seção transversal do canal, mas considera-se a variação com a distância ao longo do canal;
- Não há perda de energia do escoamento ao longo da soleira.

$$\frac{dy}{dx} = \frac{S_0 - S_F - \alpha \cdot \frac{q \cdot Q(x)}{g \cdot A^2}}{1 - \frac{\alpha \cdot b \cdot Q(x)^2}{g \cdot A^3}}$$



$$\frac{dy}{dx} = \frac{3}{2} \cdot \frac{b}{3^d} \cdot \frac{C_d}{b} \cdot \left[ \sqrt{\frac{(\Phi_0 - y) \cdot (y - P)^3}{(2 \cdot E_0 - 3 \cdot y)}} \right]$$

# Vazão e Cd (de Marchi, 1929)

$$\frac{dy}{dx} = \frac{S_0 - S_F - \alpha \cdot \frac{q \cdot Q}{g \cdot A^2}}{1 - \frac{\alpha \cdot b \cdot Q^2}{g \cdot A^3}}$$

Regime permanente e uniforme  $S_0 = S_f = 0$   
 $E_0 =$  energia específica a montante  
*carga*

*carga =  $\frac{E_{neu_1}}{P_{e_0}}$*

$$q(x) = \frac{2}{3} \cdot C_d \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot (y(x) - P(x))^{3/2}$$

*Energia Específica*

$$\frac{dy}{dx} = -\frac{4}{3} \cdot \frac{C_d}{b} \cdot \left[ \sqrt{\frac{(E_0 - y) \cdot (y - P)^3}{(2 \cdot E_0 - 3 \cdot y)}} \right]$$

*Variável*  
 →  
*Desconhecida*

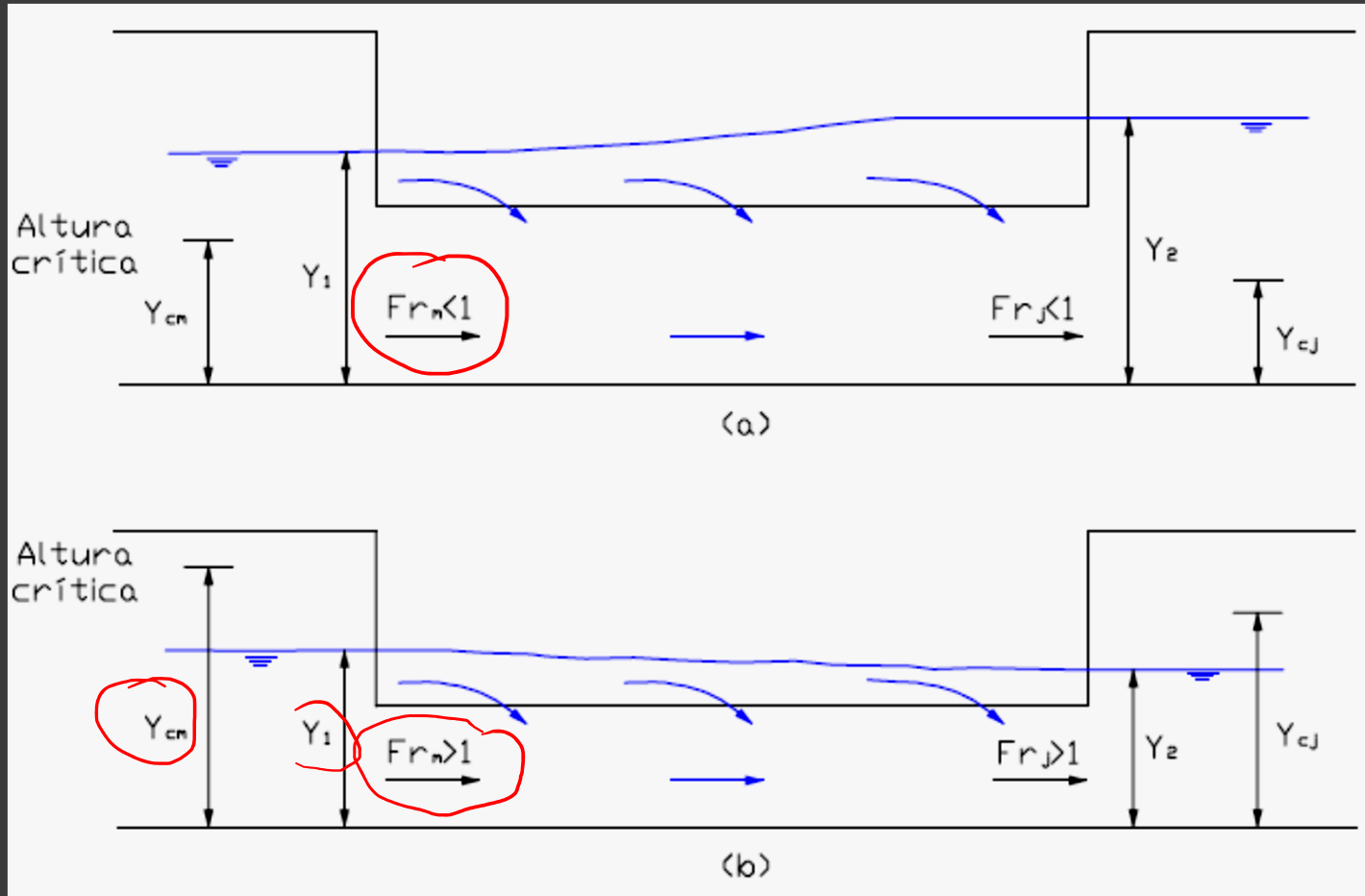
$$L = \frac{3}{2} \cdot \frac{b}{C_d} \cdot (\Phi_2 - \Phi_1) \quad (1)$$

$$E_0 = \frac{Q^2}{2g(y)^2} + y$$

$$\Phi = \frac{2 \cdot E_0 - 3 \cdot P}{E_0 - P} \cdot \sqrt{\frac{E_0 - y}{y - P}} - 3 \cdot \arcsen \sqrt{\frac{E_0 - y}{y - P}} \quad (2)$$

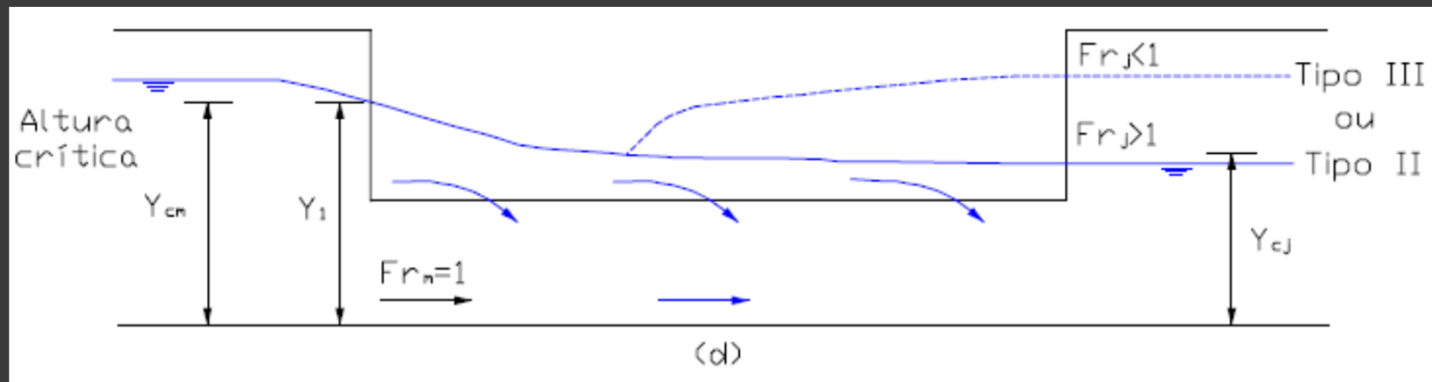
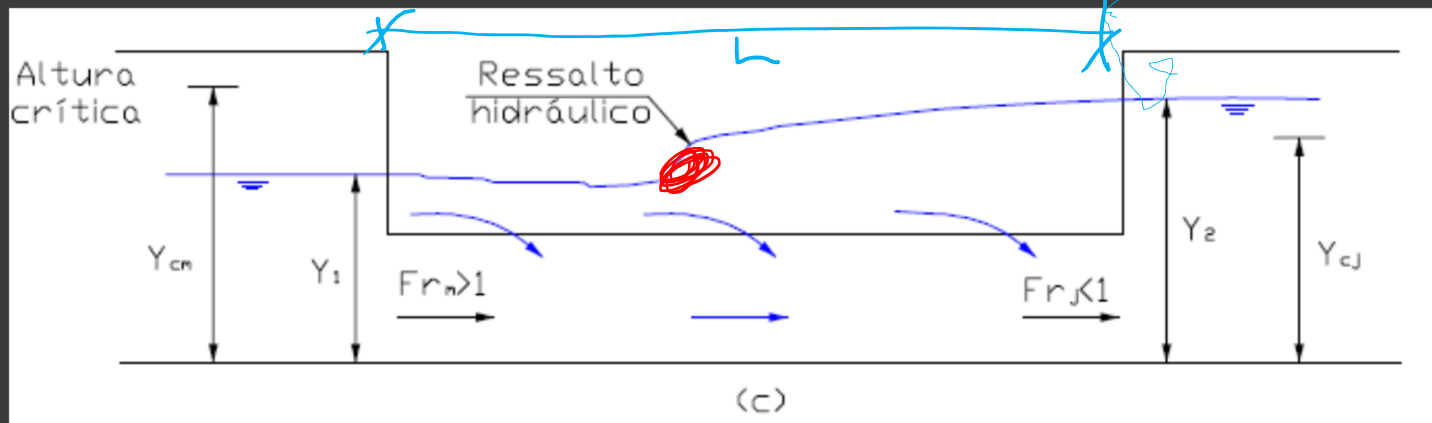
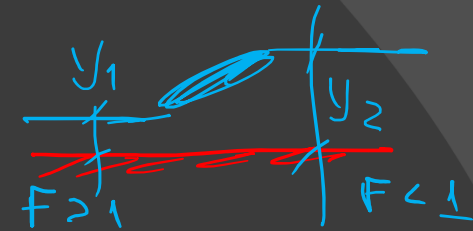
# Efeito do No de Froude (1)

$$F_1 = \frac{V_1}{\sqrt{gD_1}}$$

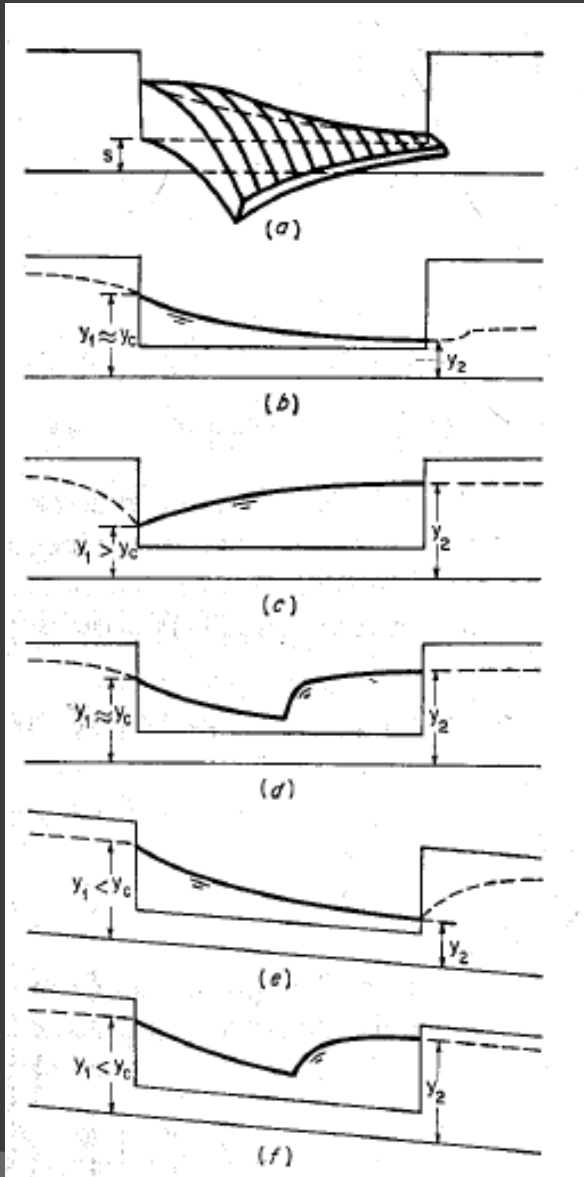


$$y_{cr} - Fr_2 = 1$$
$$y_{cr} = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{gB^2}}$$

# Efeito do No de Froude (2)



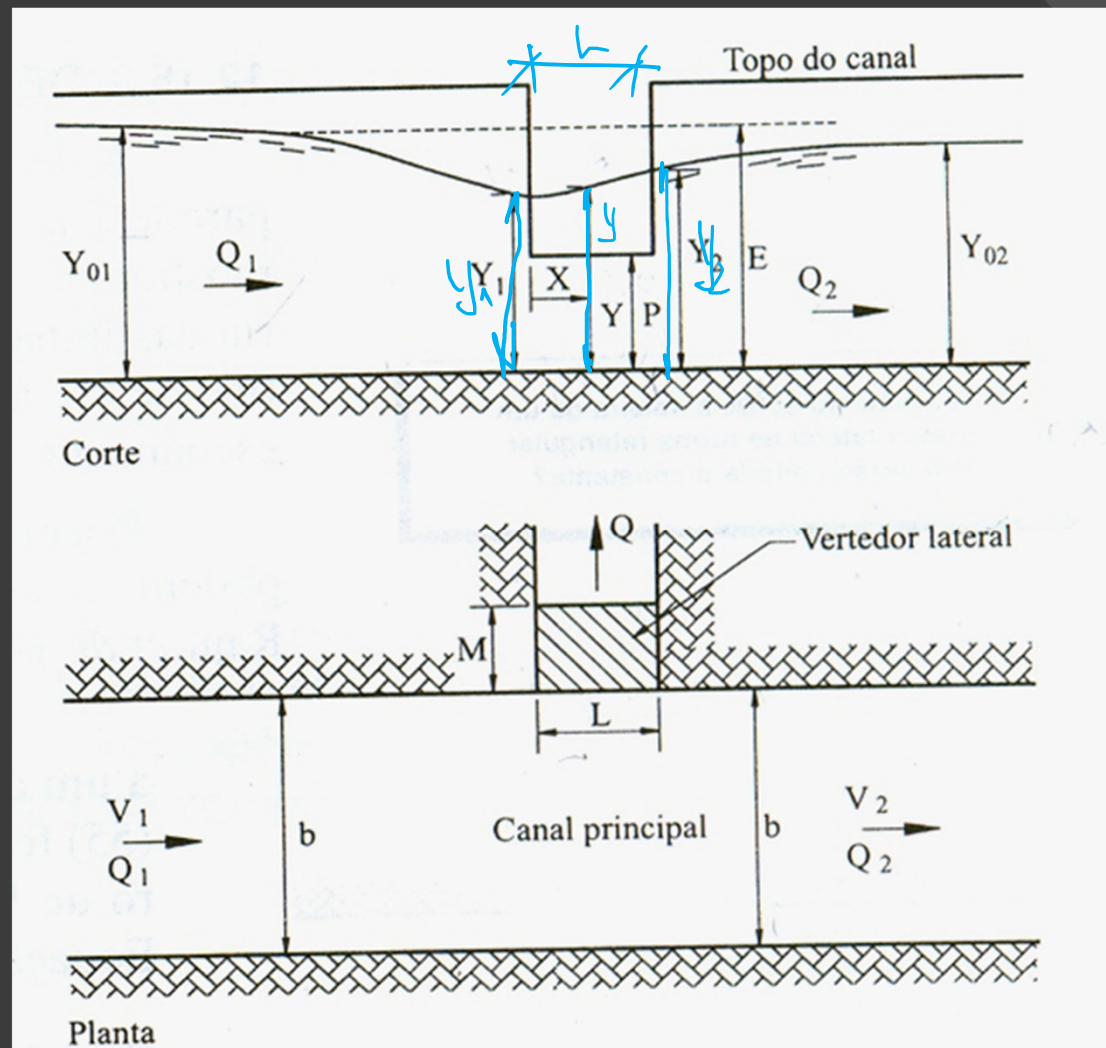
$Fr_n < 1$  Tipo III  
ou  
 $Fr_n > 1$  Tipo II



V.T. Chow



# Dimensões e Variáveis

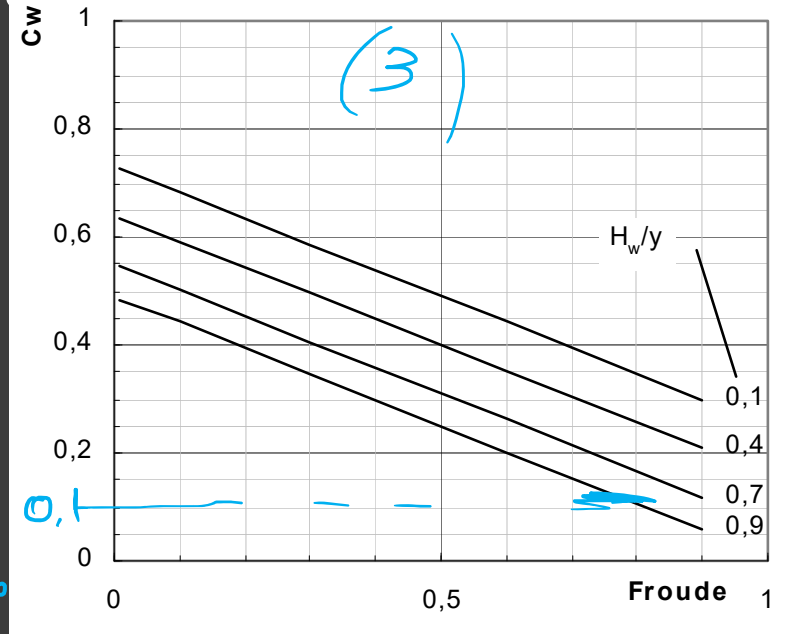


# Coeficientes de Descarga Experimentais (1)

Subramanya e Awasthy (1972)

$$C_d = 0,622 - 0,222 \cdot Fr_m$$

para  $0 \leq P \leq 0,60m$



BORGHEI at al (1999)

2

$$C_w = (0,687 - 0,46F_1 - 0,3 \frac{H_w}{y_1} + 0,06 \frac{L_w}{B} + 1,7 s_0)$$

3

$$C_w = (0,7 - 0,48F_1 - 0,3 \frac{H_w}{y_1} + 0,06 \frac{L_w}{B})$$

$$C_d = (0,81 - 0,60 \cdot Fr_m) \cdot K$$

4

$K = 1$  para  $(y_1 - P) \geq 2 \cdot M$

$K = 0,80 + 0,10 \cdot (y_1 - P)/M$  para  $(y_1 - P) < 2 \cdot M$

0,06

# Coeficientes de Descarga Experimentais (2)

Singh, Manivannan e  
Satuamarayana (1994) ✓

$$C_d = 0,33 - 0,18 \cdot Fr_m + 0,49 \cdot P/y_1$$

Para  $0,06 \leq P \leq 0,12m$  e  $0,10 \leq L \leq 0,20m$ .

Singh et al. (1994) ✓

$$Cd = 0,33 - 0,18 \cdot Fr_m + 0,49 \cdot \frac{P}{y_1}$$

$0,06 \leq P \leq 0,12m$  e  $0,10 \leq L \leq 0,20m$

Jalili e Borghei (1996) ✓

$$C_d = 0,71 - 0,41 \cdot Fr_m - 0,22 \cdot \left( \frac{P}{y_1} \right)$$

$0,01 \leq P \leq 0,19m$  e  $0,20 \leq L \leq 0,75m$

# Coeficientes de Descarga Experimentais (3)

May et al. (2003)

$$C_d = 0,65 - 0,149 \cdot \left(\frac{y_2 - P}{P}\right)^{0,0868} \cdot \left(\frac{L}{y_2 - P}\right)^{-0,303} \cdot \left(\frac{y_2}{P}\right)^{0,149} \quad (1)$$

prof Taniguchi

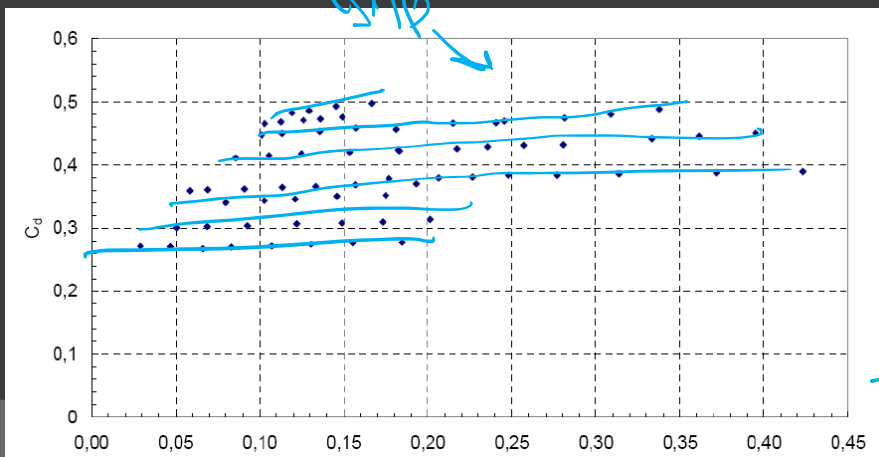
Heber

Anchieta (2006):

$$C_d = 0,66 - 0,173 \cdot Fr_m - 0,05 \cdot \left(\frac{y_1}{P}\right) \quad (2)$$

0,15 ≤ P ≤ 0,30m e L=3,00m

Modulo



$\frac{y_1}{P} \leq \dots$



Tabela 3.1. Coeficientes de descarga experimentais e calculados para soleira de 4,55 m

Ensaio	p (m)	Q montante canal (m <sup>3</sup> /s)	Qvertedor Lateral (m <sup>3</sup> /s)	V média no canal (m/s)	Q jusante no canal (m <sup>3</sup> /s)	N.A. Canal Principal		h (m)	y <sub>1</sub> (m)	H=Y+V <sup>2</sup> /2g (m)	p/y <sub>1</sub>	FR <sub>1</sub>	C <sub>d</sub>	h/p	p/L	C <sub>d</sub> Calculado
						Mont (m)	Jus (m)									
1		20,65	16,09	0,21	4,56	16,46	16,21	0,58	5,14	5,14	0,89	0,03	0,27	0,13	0,10	0,27
2		33,25	16,04	0,33	17,21	16,46	16,21	0,58	5,14	5,14	0,89	0,05	0,27	0,13	0,10	0,27
3		47,02	15,87	0,47	31,15	16,46	16,21	0,58	5,14	5,15	0,89	0,07	0,27	0,13	0,10	0,27
4		59,19	16,00	0,59	43,19	16,46	16,21	0,58	5,14	5,15	0,89	0,08	0,27	0,13	0,10	0,28
5		76,23	16,13	0,76	60,10	16,46	16,21	0,58	5,14	5,16	0,89	0,11	0,27	0,13	0,10	0,28
6		92,87	16,31	0,93	76,56	16,46	16,21	0,58	5,14	5,18	0,89	0,13	0,27	0,13	0,10	0,28
7		110,52	16,44	1,10	94,08	16,46	16,21	0,58	5,14	5,20	0,89	0,16	0,28	0,13	0,10	0,28
8		131,17	16,48	1,31	114,69	16,46	16,22	0,58	5,14	5,22	0,89	0,18	0,28	0,13	0,10	0,28
9		36,72	22,45	0,36	14,27	16,55	16,27	0,68	5,23	5,24	0,87	0,05	0,30	0,15	0,10	0,30
10		50,13	22,59	0,49	27,53	16,55	16,27	0,68	5,23	5,24	0,87	0,07	0,30	0,15	0,10	0,31
11	4,55	67,63	22,69	0,66	44,94	16,55	16,27	0,68	5,23	5,25	0,87	0,09	0,30	0,15	0,10	0,31
12		89,02	22,92	0,87	66,10	16,55	16,27	0,68	5,23	5,27	0,87	0,12	0,31	0,15	0,10	0,31
13		108,63	23,02	1,07	85,62	16,55	16,27	0,68	5,23	5,29	0,87	0,15	0,31	0,15	0,10	0,31
14		126,42	23,11	1,24	103,31	16,55	16,22	0,68	5,23	5,31	0,87	0,17	0,31	0,15	0,10	0,32
15		147,16	23,45	1,44	123,72	16,55	16,22	0,68	5,23	5,34	0,87	0,20	0,31	0,15	0,10	0,32
16		59,64	29,53	0,58	30,11	16,62	16,38	0,75	5,30	5,32	0,86	0,08	0,34	0,17	0,10	0,33
17		76,72	29,83	0,74	46,89	16,62	16,38	0,75	5,30	5,33	0,86	0,10	0,34	0,17	0,10	0,33
18		90,15	30,03	0,87	60,12	16,62	16,38	0,75	5,30	5,34	0,86	0,12	0,35	0,17	0,10	0,34
19		108,73	30,44	1,05	78,29	16,62	16,31	0,75	5,30	5,36	0,86	0,15	0,35	0,17	0,10	0,34
20		130,36	30,59	1,26	99,77	16,62	16,24	0,75	5,30	5,38	0,86	0,17	0,35	0,17	0,10	0,34
21		44,79	36,40	0,43	8,39	16,70	16,46	0,83	5,38	5,39	0,85	0,06	0,36	0,18	0,10	0,35
22		52,59	36,56	0,50	16,03	16,70	16,46	0,83	5,38	5,40	0,85	0,07	0,36	0,18	0,10	0,36

Ana Paula

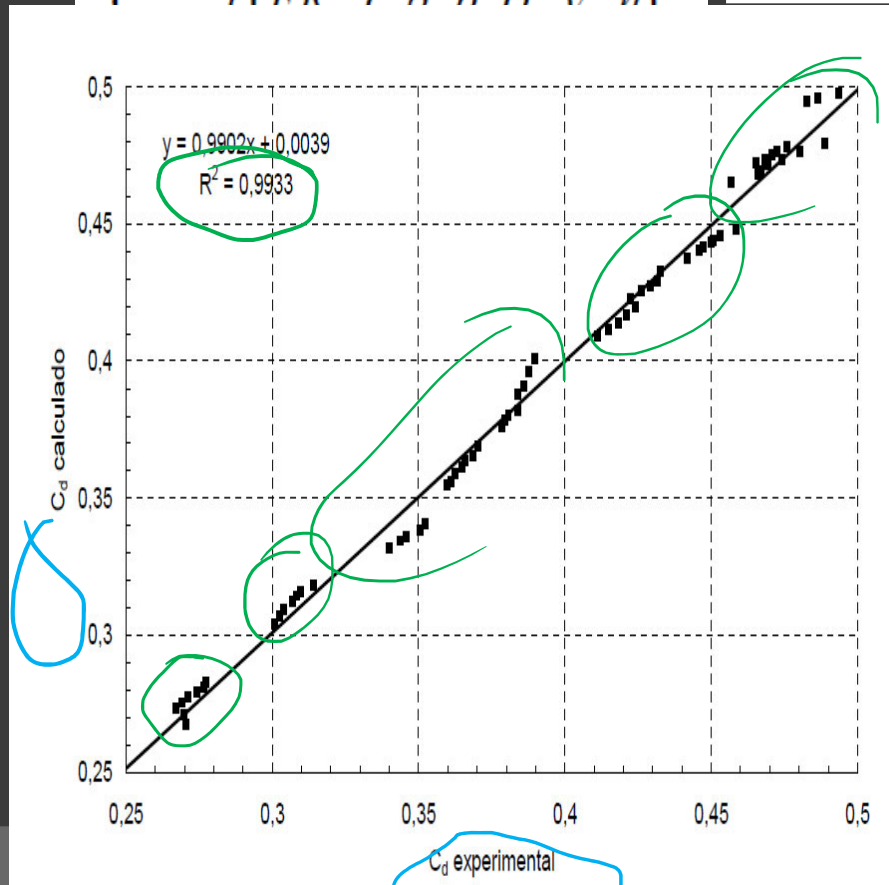
$C_d$     $F$     $y$     $p$     $B$     $B/p$   
 $y/p$   
 $B/L$

Tabela 3.3. Coeficientes de descarga experimentais e calculados para soleira de 3,38 m e 2,30 m

Ensaio	p (m)	Q montante canal (m <sup>3</sup> /s)	Qvertedor Lateral (m <sup>3</sup> /s)	V média no canal (m/s)	Q jusante no canal (m <sup>3</sup> /s)	N.A. Canal Principal		h (m)	y <sub>1</sub> (m)	H=Y+V <sup>2</sup> /2g (m)	p/y <sub>1</sub>	FR <sub>1</sub>	C <sub>d</sub>	h/p	p/L	C <sub>d</sub> Calculado
						Mont (m)	Jus (m)									
46		93,66	38,72	1,14	54,94	15,54	15,33	0,84	4,22	4,29	0,80	0,18	0,38	0,25	0,08	0,38
47		109,29	38,83	1,33	70,46	15,54	15,33	0,84	4,22	4,31	0,80	0,21	0,38	0,25	0,08	0,38
48		120,07	38,94	1,46	81,13	15,54	15,33	0,84	4,22	4,33	0,80	0,23	0,38	0,25	0,08	0,38
49		131,17	39,27	1,59	91,90	15,54	15,34	0,84	4,22	4,35	0,80	0,25	0,38	0,25	0,08	0,38
50	3,38	102,13	55,30	1,20	46,83	15,69	15,48	0,99	4,37	4,44	0,77	0,18	0,42	0,29	0,08	0,42
51		121,15	55,79	1,42	65,36	15,69	15,50	0,99	4,37	4,47	0,77	0,22	0,43	0,29	0,08	0,43
52		131,38	56,16	1,54	75,21	15,69	15,51	0,99	4,37	4,49	0,77	0,24	0,43	0,29	0,08	0,43
53		143,43	56,47	1,68	86,96	15,69	15,51	0,99	4,37	4,51	0,77	0,26	0,43	0,29	0,08	0,43
54		106,29	73,87	1,21	32,42	15,84	15,64	1,14	4,52	4,59	0,75	0,18	0,46	0,34	0,08	0,46
55		126,12	75,37	1,43	50,75	15,84	15,66	1,14	4,52	4,62	0,75	0,21	0,47	0,34	0,08	0,47
56		143,86	75,92	1,63	67,93	15,84	15,67	1,14	4,52	4,66	0,75	0,25	0,47	0,34	0,08	0,47
57		93,93	38,94	1,54	54,99	14,46	14,26	0,84	3,14	3,26	0,73	0,28	0,38	0,36	0,05	0,39
58		106,29	39,16	1,74	67,13	14,46	14,27	0,84	3,14	3,29	0,73	0,31	0,39	0,36	0,05	0,39
59		126,02	39,33	2,06	86,69	14,46	14,28	0,84	3,14	3,35	0,73	0,37	0,39	0,36	0,05	0,40
60		143,43	39,55	2,35	103,89	14,46	14,28	0,84	3,14	3,42	0,73	0,42	0,39	0,36	0,05	0,40
61	2,30	102,04	56,23	1,59	45,82	14,61	14,43	0,99	3,29	3,41	0,70	0,28	0,43	0,43	0,05	0,43
62		121,15	57,46	1,89	63,69	14,61	14,45	0,99	3,29	3,47	0,70	0,33	0,44	0,43	0,05	0,44
63		131,38	57,96	2,05	73,41	14,61	14,46	0,99	3,29	3,50	0,70	0,36	0,45	0,43	0,05	0,44
64		143,54	58,59	2,24	84,95	14,61	14,48	0,99	3,29	3,54	0,70	0,39	0,45	0,43	0,05	0,44
65		93,49	75,10	1,40	18,39	14,76	14,56	1,14	3,44	3,53	0,67	0,24	0,47	0,49	0,05	0,47
66		109,39	76,27	1,63	33,12	14,76	14,58	1,14	3,44	3,57	0,67	0,28	0,47	0,49	0,05	0,47
67		120,07	77,23	1,79	42,84	14,76	14,61	1,14	3,44	3,60	0,67	0,31	0,48	0,49	0,05	0,48
68	131,27	78,62	1,96	52,65	14,76	14,63	1,14	3,44	3,63	0,67	0,34	0,49	0,49	0,05	0,48	

# Coeficientes de Descarga Experimentais (4)

$$C_d = f(FR, L, h, p, H, v, h)$$



$$C_d = K^a \left(\frac{p}{y_1}\right)^b \left(\frac{h}{p}\right)^c \left(\frac{p}{L}\right)^d \left(\frac{H}{p}\right)^e$$

$$C_d = 7,53 \cdot FR_1^{0,026} \left(\frac{p}{y_1}\right)^{1,028} \left(\frac{h}{p}\right)^{0,817} \left(\frac{p}{L}\right)^{0,655} \left(\frac{H}{p}\right)^{0,466}$$

Hyper Correlation

PESQUISADORES	ANO	CRITÉRIO	TIPO DE VERTEDEDOR	EQUAÇÕES DOS COEFICIENTES DE DESCARGA	COEFICIENTES DE DESCARGA	LIMITAÇÕES	FAIXA	LEGENDA
Subramanya e Awasthy			vertedor lateral sem interligação a um canal lateral.	$Cd=0.822-0.222F_1$		escoamento subcrítico e (torrencial)	$0 \leq P \leq 0,60m$	$F_{11}$ (nº de Froude a montante do vertedor.) e P (altura da soleira do vertedor.)
Ranga Gaju, Prasad e Gupta			vertedor lateral com interligação a um canal lateral.	$Cd=0.81-0.60F_1$			$0,20 \leq P \leq 0,50m$	$F_{11}$ (nº de Froude a montante do vertedor.) e P (altura da soleira do vertedor.)
Singh, Manivannan e Salyanarayana		em função de $F_1$ e da relação $P/y_1$	vertedor lateral sem interligação a um canal lateral.	$Cd=0.33-0.18F_1+0.49 P/y_1$			$0,06 \leq P \leq 0,12m$ $0,10 \leq L \leq 0,20m$	$F_{11}$ (nº de Froude a montante do vertedor.) e P (altura da soleira do vertedor.)
Singh, Manivannan e Salyanarayana			vertedores com soleira espessa com canal lateral	$Cd=(0.81-0.60F_1)K$			$K=1$ para $(y_1/P) \geq 2M$ $K=0,80+0,10(y_1/P)M$ para $(y_1/P) < 2M$	K (efeito de comprimento da crista do vertedor) P (altura da soleira) e $y_1$ (prof. montante do vertedor)
Subramanya e Awasthy	1972	O escoamento acima de um comprimento elementar do vertedor lateral, se dá como um jato defleído, e o ângulo é constante considerando que o mesmo varia com h ao longo da soleira do vertedor		$Cd = 0.611 * \tan \theta$ $Cd = 0.611 \left[ \left( \frac{h}{H} \right) - 2 \right]^X$				$\theta$ é o ângulo entre o jato e o eixo do canal.
Kumar and Pathak	1987	$\mu H$ é insignificante na influência do CM em vertedores triangulares laterais. Desta forma os fatores que influenciando serão: nº de Froude e o ângulo do vértice	vertedor triangular lateral	$q = \frac{dQ}{dx} = \frac{4}{5} C_{wv} \sqrt{h} (1 - \mu)^{\mu}$				CM: Coeficiente de vazão do vertedor triangular e $C_{wv}$ (descarga por unidade de comprimento)
Munson et al.	1999	Combinando a equação de Kumar and Pathak com o comprimento de vertedores triangulares $L = 2(h - p) \tan \frac{\theta}{2}$		$Q_v = \frac{8}{15} C_{wv} \sqrt{h} \tan \frac{\theta}{2} (1 - \mu)^{\mu}$				$\theta$ ângulo do vértice, e h-p) espessura da lâmina acima da crista do vertedor
Kumar and Pathak	1987	vazão total da descarga	vertedor triangular lateral para qualquer espessura da lâmina e ângulo do vértice para os ângulos dos vértices 60º, 90º e 120º	$CM=0.668-0.381F_1$ (60º) $CM=0.619-0.203F_1$ (90º) $CM=0.642-0.042F_1$ (120º)				
De Marchi	1934	é uma função de $F_1, \frac{S}{y_1}, \frac{L}{y_1}$	vertedor retangular de soleira delgada	$C_{wv} = \frac{3B}{2L} \Phi + const$ ou $CM=3/2(-1.569638+3.115991) L/B \rightarrow 3/2 * 1.546353 L/B$				
Ranga Gaju et al.	1979	O coeficiente de descarga é uma função que depende do nº de Froude, L (Comprimento do vertedor), B (largura do canal), w (altura do vertedor), y (profundidade da água no canal principal) e $S_0$ (declividade do canal).	vertedor retangular de soleira delgada	$CM=0.81-0.6F_1$				
Hager	1987	O coeficiente de descarga é uma função que depende do nº de Froude, L (Comprimento do vertedor), B (largura do canal), w (altura do vertedor), y (profundidade da água no canal principal) e $S_0$ (declividade do canal).	vertedor retangular de soleira delgada	$CM = 0.48 \left( \frac{2-F_1}{2+3F_1} \right)^{0.55}$		para $w=0$		
Singh et al.	1984	O coeficiente de descarga é uma função que depende do nº de Froude, L (Comprimento do vertedor), B (largura do canal), w (altura do vertedor), y (profundidade da água no canal principal) e $S_0$ (declividade do canal).	vertedor retangular de soleira delgada	$CM = 0.33 - 0.18F_1 + 0.49 \left( \frac{w}{y_1} \right)$				
Jalli and Borghei	1996	O coeficiente de descarga é uma função que depende do nº de Froude, L (Comprimento do vertedor), B (largura do canal), w (altura do vertedor), y (profundidade da água no canal principal) e $S_0$ (declividade do canal).	vertedor retangular de soleira delgada	$CM = 0.71 - 0.41F_1 - 0.22 \left( \frac{w}{y_1} \right)$				
de todos que estão representados em negrito		Para validar os efeitos de todas as variáveis envolvidas ( $F_1, w/y_1, L/B, S_0$ ), CM (coeficiente de descarga) pode ser escrita como uma equação linear.	vertedor retangular de soleira delgada	$CM = a + bF_1 + c \frac{w}{y_1} + d \frac{L}{B} + eS_0$ $CM = 0.687 - 0.46 F_1 - 0.3 \frac{w}{y_1} + 0.06 \frac{L}{B} + 1.2 S_0$				
Ramamurthy e Carballeda / Singh et al. / Jalli and Borghei	1980/ 1994/ 1996	Variáveis envolvidas ( $F_1, w/y_1, L/B, S_0$ ) que influenciam o coeficiente de descarga	vertedor lateral de soleira delgada	$CM = 0.7 - 0.48 F_1 - 0.3 \frac{w}{y_1} + 0.06 \frac{L}{B}$		escoamento subcrítico		L/B: (altura/Base do canal)/ $w/y_1$ (altura da soleira/profundidade a montante do vertedor). $S_0$ : declividade do canal e $F_1$ número de Froude a montante do vertedor
Swamee	1988	$C_v = K_1 \left[ \left( \frac{K_{11}}{K_{12} + n_c} \right)^{11} + \left( \frac{n_c}{n_c + 1} \right)^{11} \right]^{1/11}$ Equação referencial  $C_v = K_0 + K_1 \left( \frac{n_c^{14} + K_2 n_c^{10}}{1 + K_{11} n_c^{12}} \right)^{1/11}$ Equação referencial  $C_v = K_{15} \left( \frac{K_{15}}{K_{15} \exp[-K_{11}(\theta - \pi/2)^{15}] + n_c} \right)^p + \left( \frac{n_c}{1 + K_{11}(\pi - \theta)^{15} + n_c} \right)^{11p}$ Equação referencial	vertedor lateral retangular de soleira delgada com presença de muro lateral  vertedor lateral retangular de soleira delgada sem presença de muro lateral  vertedor lateral retangular de soleira espessa com presença de muro lateral  vertedor lateral retangular de soleira espessa sem a presença de muro lateral  vertedor lateral triangular de soleira delgada	$C_v = 0.465 \left[ \left( \frac{46.5}{41 + n_c} \right)^{10} + \left( \frac{n_c}{n_c + 1} \right)^{10} \right]^{0.1}$  $C_v = 0.447 \left[ \left( \frac{44.7}{50 + n_c} \right)^{10.7} + \left( \frac{n_c}{n_c + 1} \right)^{10.7} \right]^{0.1}$  $C_v = 0.447 + 0.1 \left( \frac{n_c^{1.78} + 0.05 n_c^{1.08}}{1 + 2.9 n_c^{1.08}} \right)$  $C_v = 0.425 + 0.1 \left( \frac{n_c^{1.3} + 0.025 n_c^{0.3}}{1 + 5.5 n_c^{1.02}} \right)^{0.3}$  $C_v = 0.447 \left[ \left( \frac{44.7}{55 \exp[-0.386(\theta - \pi/2)^{15}] + n_c} \right)^p + \left( \frac{n_c}{1 + 0.05(\pi - \theta)^{15} + n_c} \right)^{11p} \right]^{0.1}$				$C_v$ coeficiente de descarga elementar  $\eta_1 \leq 1$ → vertedor de soleira espessa  $\eta_1 \geq 3$ → vertedor de soleira delgada  $\theta$ ângulo do vértice do vertedor triangular  $p=21.6 \left[ \frac{\theta^2 + 1.341\pi - \theta^{0.81}}{\theta^{0.81} + (\pi - \theta)^{0.81}} \right]$  $K_0, K_1, K_{15}$ e p constantes para serem determinadas a partir dos dados experimentais
Singh, D Manivannan, and T.Salyanarayana		Utilizando o conceito de energia específica constante (De Marchi) e o método estatístico dos mínimos quadrados	vertedores retangulares	$Cd: 0.24+0.54^*S^*y_1^*$ e $Cd: 0.99-1.26F_1$ , que resultou em $Cd: 0.33-0.18F_1+0.495^*$				
Kanakatti Subramanya and Subhash Chandra Awasthy		Varição de do coeficiente de descarga com o número de Froude em um escoamento subcrítico.	vertedor retangular	$C_{wv} = C_{wv}^* \sqrt{1 - \left( \frac{3F_1^2}{F_1^2 + 2} \right)}$	0.811 é o coeficiente de contração para $F_1$ tendendo a zero	coeficiente de descarga com o número de Froude em um escoamento subcrítico.		
		No escoamento supercrítico, o coeficiente de descarga varia muito lentamente com $F_1$ , provavelmente devido os efeitos do arito, e a variação do coeficiente de descarga para $F_1 > 2$ , é a equação descrita ao lado	vertedor retangular	$C_{wv} = 0.36 - 0.08F_1$				
Borghei et al	1999	O coeficiente de descarga é uma função que depende do nº de Froude, L (Comprimento do vertedor), B (largura do canal), w (altura do vertedor), y (profundidade da água no canal principal) e $S_0$ (declividade do canal).	vertedores triangulares de soleira delgada	$CM = 0.7, 0.48F_1 - 0.3P/B + 0.06L/B$				
Rehbock	1929	Devido a falta de dados específicos para outros tipos de vertedores, é recomendado o uso da equação proposta	vertedores laterais de soleira delgada não contraída	$C_{wv} = 0.576 + 0.07 \left( \frac{h}{B} \right)$				$C_{wv}$ é o coeficiente de descarga para um vertedor de soleira delgada.
Dominguez	1974		vertedor lateral de soleira delgada/ soleira espessa/ com aresa via		0.370/0.315/ 0.27 0.360/0.320/ 0.270 0.355/0.320/ 0.273 0.360/0.325/ 0.275 0.350/0.325/ 0.276 0.360/0.330/ 0.280		carga: altura d' água so a crista do vertedor	

ancient  
Raimundo

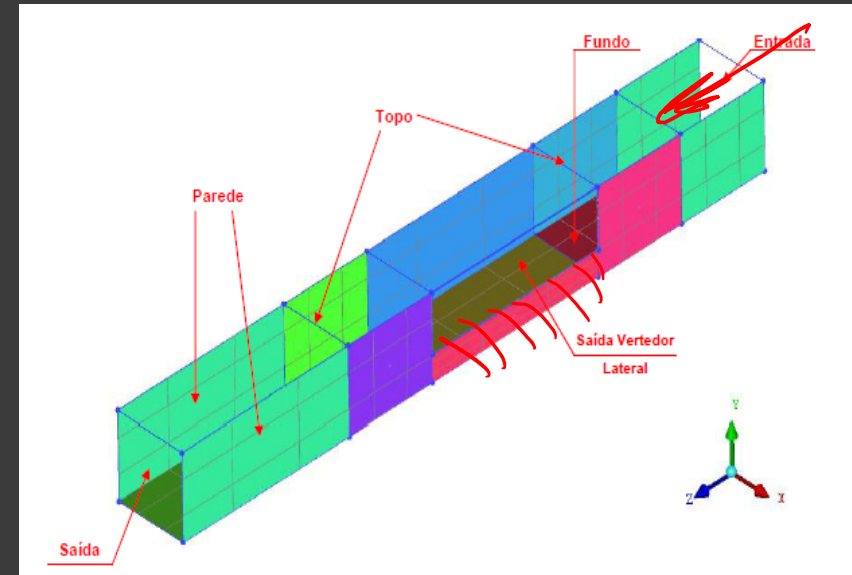
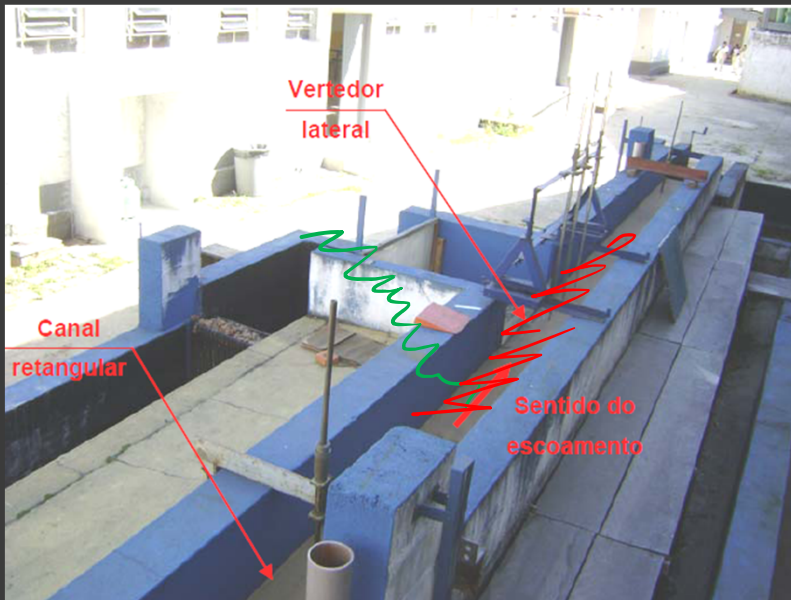


# Modelagem Física x CFD

Efeito de Escala

3D real

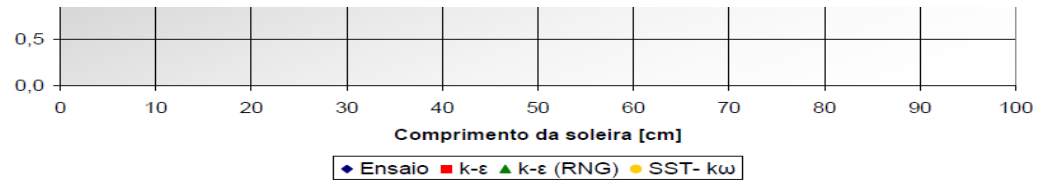
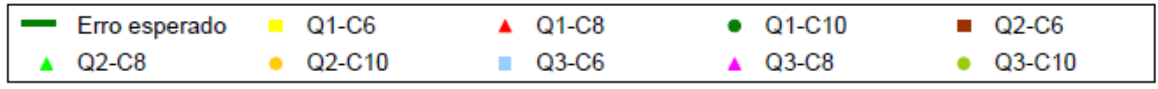
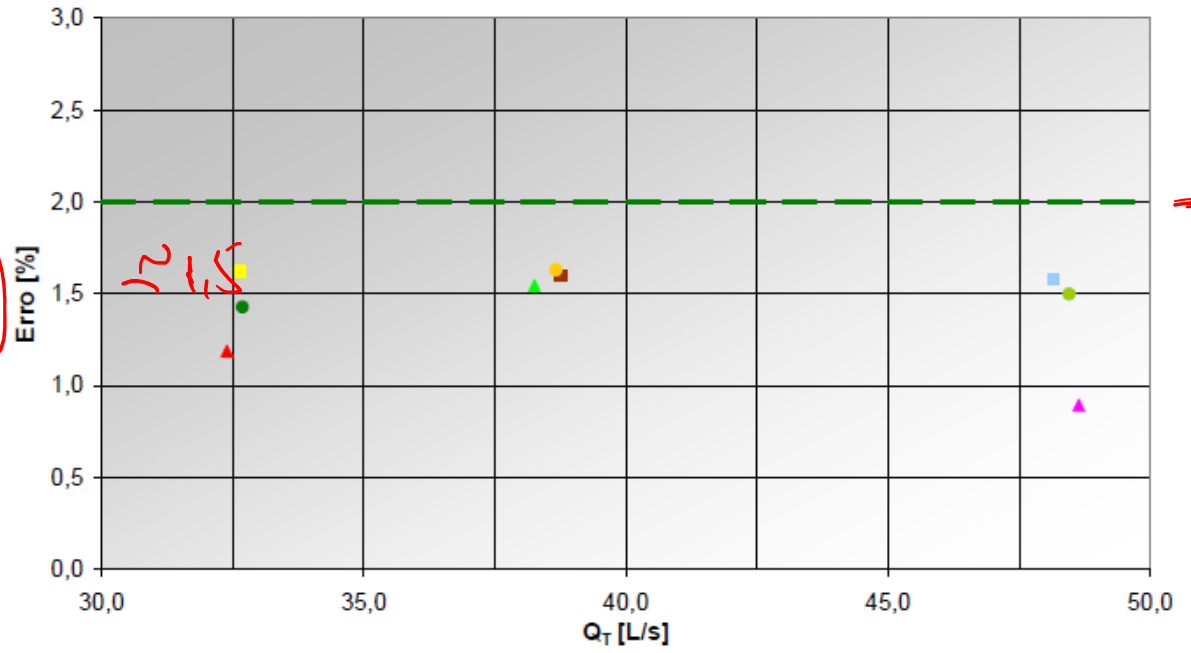
→ modelar a turbulência >>



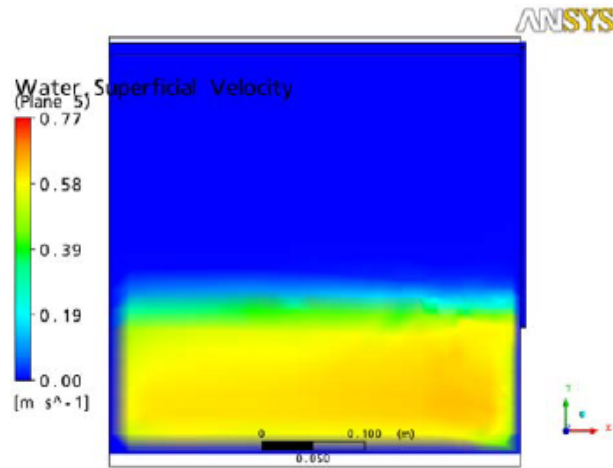
Water Volume Fraction  
(Plane 1)



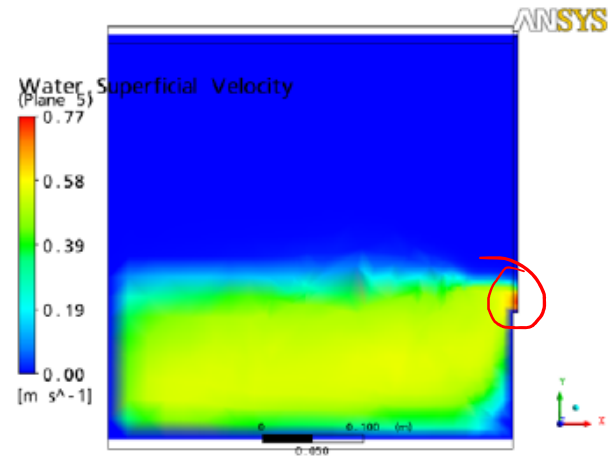
$Q = f(\text{Hidráulica})$



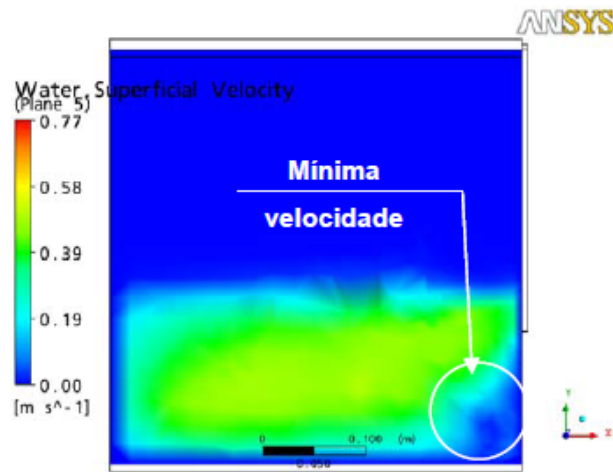
Mod  
tubos.



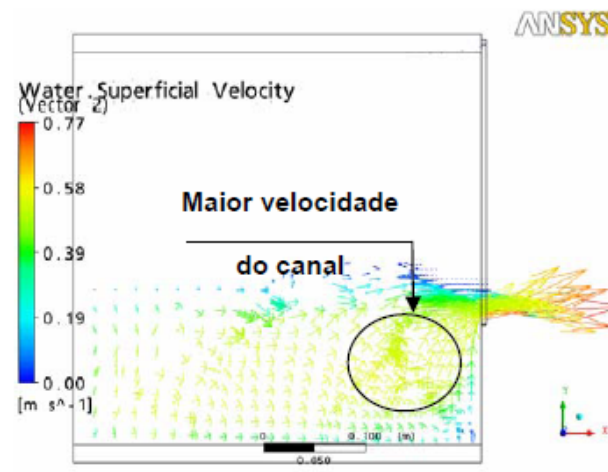
(a) Z=1,00 m.



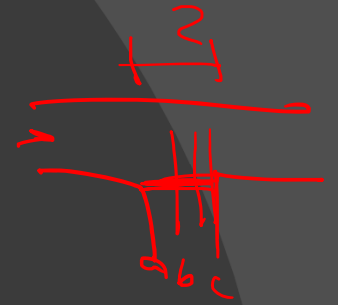
(b) Z=1,50 m.



(c) Z=2,00 m.



(d) Vetor Z=1,50 m.



# Cálculo da Linha d'água

V.T. Chow (P7)

$$\frac{dy}{dx} = \frac{S_f - S_0}{1 - \frac{Q^2 B}{g A^3}}$$

$$\Delta y = - \frac{Q_1(V_1 + V_2)}{g(Q_1 + Q_2)} \left( \Delta V + \frac{V_2}{Q_1} \Delta Q \right) + S_0 \Delta x - S_f \Delta x$$

$$\Delta y' = \frac{\alpha Q_1(V_1 + V_2)}{g(Q_1 + Q_2)} \left( \Delta V + \frac{V_2}{Q_1} \Delta Q \right) + S_f \Delta x$$

$$S_f = \frac{Q^2}{C A^2 R^4}$$

