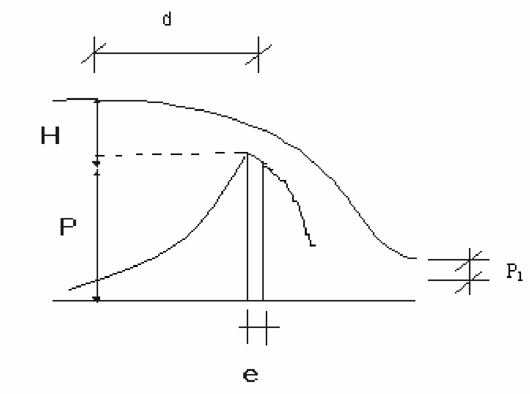
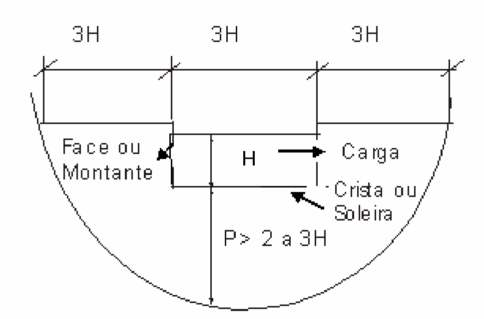
CAPÍTULO IV

VERTEDORES

4.1 – Generalidades

Vertedores: são aberturas ou entalhes na parte superior de uma parede, através dos quais o líquido escoa. Sua principal utilização é na medição de vazão das canalizações abertas e no controle do escoamento em galerias e canais.





(H) Carga → é a altura d' água sobre a soleira, medida suficientemente a montante para não ser influenciada pelo abaixamento da superfície (d ≥ 5H).

e → espessura da soleira

Veia ou Lâmina Vertente → é a veia líquida que escoa pelo vertedor.

Altura do Vertedor (P) → é a diferença entre a soleira do vertedor e fundo do canal.

Vertedor de soleira Fina ou Delgada → quando a lamina vertente toca a crista do vertedor segundo uma linha.

P_1 → altura da água a fusante do vetor.

Vertedor de Soleira Espessa → Existe atrito entre a lamina e o vertedor.

Lâmina livre → quando existe aeração na sua face inferior e a água escoa livremente no canal de jusante.

Classificação dos Vertedores:

Quanto a Forma
- Simples (retangular , triangular , etc.)
- Compostas (retangular + triangular, etc)

Quanto a altura da Soleira
- Livres ou Completos → nível de água a jusante inferior a crista. ($P > P_1$)
- Incompletos ou Afogados → nível de água a jusante acima da crista ($P < P_1$)

Quanto a Espessura da Parede
- Vertedor de Soleira delgada
- Vertedor de Soleira espessa ($e > 0,66\ H$)

Quanto a Largura
- Vertedores contraídos ou com contração lateral (comprimento soleira < largura do canal)
- Vertedores sem contração lateral (comprimento soleira = largura do canal)

Fatores que Influenciam na Vazão de um Vertedor

a) Forma do Vertedor

b) Espessura da Soleira

c) Rugosidade das Paredes

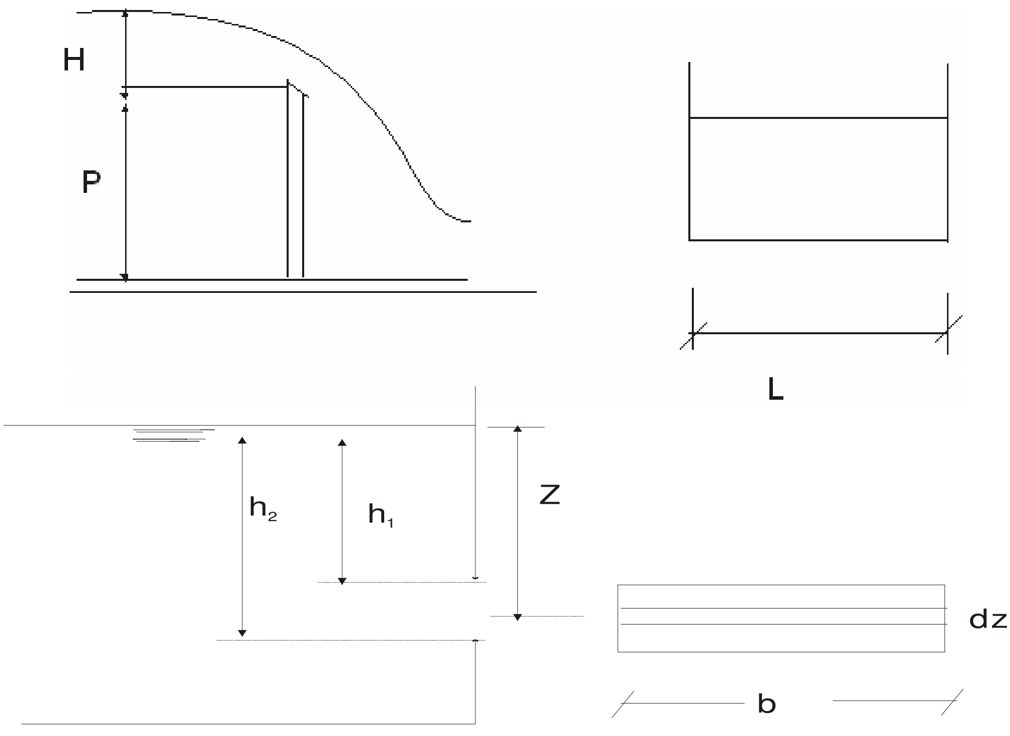
d) Altura do Vertedor (P)

e) Carga (H)

f) Nível d'água a jusante (P_1)

g) Forma da lâmina vertente

4.2 – Vertedores Retangulares



A descarga de um orifício retangular de grande altura em relação à carga é dada pela fórmula:

$$Q = C_d \int_{h_1}^{h_2} bdz \sqrt{2gz}$$

$$Q = C_d \int_{h_1}^{h_2} b\sqrt{2g} \quad z^{1/2}dz$$

$$Q = C_d b\sqrt{2g}\left[\frac{2}{3}z^{3/2}\right]_{h_1}^{h_2}$$

$$Q = \frac{2}{3}C_d b\sqrt{2g}\left(h_2^{3/2} - h_1^{3/2}\right)$$

Ou se a velocidade de aproximação não é desprezível:

$$Q = \frac{2}{3}C_d b\sqrt{2g}\left[\left(h_2 + \alpha\frac{V^2}{2g}\right)^{3/2} - \left(h_1 + \alpha\frac{V^2}{2g}\right)^3\right]$$

Os vertedores podem ser considerados orifícios em que a altura sobre o bordo superior é nula, tem $h_1 = 0$, e chamando H a altura d' água sobre a crista, ℓ o respectivo comprimento, obtém-se a fórmula fundamental dos vertedores retangulares:

$$Q = \frac{2}{3}C_d\, l\sqrt{2g}\left[\left(H + \alpha\frac{V^2}{2g}\right)^{3/2} - \left(\alpha\frac{V^2}{2g}\right)\right]^{3/2} \quad \text{Formula de Weissbach}$$

C_d → Coeficiente de descarga do orifício

α → Coeficiente de Coriolis, em media vale 1,66, na prática = 1

Desprezando-se a velocidade de aproximação:

$$Q = \frac{2}{3}C_d\, l\sqrt{2g}\; H^{3/2} \qquad \text{Fórmula simplificada de Du Buat}$$

Quando não se despreza o efeito da velocidade de aproximação o emprego da expressão de Weissbach torna-se um pouco difícil, uma vez que a velocidade de aproximação depende da vazão. Procede-se por aproximação, calculando-se a vazão pela fórmula simplificada e velocidade = Q/A

Uma transformação da expressão de Weissbach permite considerar o efeito da velocidade de aproximação em função das dimensões do vertedor e da carga.

Desenvolvendo-se o parênteses $\left(H + \frac{\alpha V^2}{2g}\right)^{3/2}$ pelo binômio de Newton, obtém-se:

$$(a+b)^n = a^n + na^{n-1}b + \frac{n(n-1)}{2!}a^{n-2}b^2 + \frac{n(n-1)(n-2)}{3!}a^{n-3}b^3 + \ldots + b^n$$

$$\text{n} = \text{inteiro} \rightarrow \text{desenvolve-se até a}^0$$

$$\text{n} = \text{fracionário} \rightarrow \text{desenvolve-se até o primeiro a negativo, exclusive}$$

$$\left(H + \frac{\alpha V^2}{2g}\right)^{3/2} = H^{3/2} + \frac{3}{2}H^{1/2}\alpha\frac{V^2}{2g} + \left(\frac{\alpha V^2}{2g}\right)^{3/2}$$

$$Q = \frac{2}{3}C_d l\sqrt{2g}\left[H^{3/2} + \frac{3}{2}H^{1/2}\alpha\frac{V^2}{2g} + \left(\frac{\alpha V^2}{2g}\right)^{3/2} - \left(\frac{\alpha V^2}{2g}\right)^{3/2}\right]$$

mas $\frac{H^{3/2}}{H} = H^{1/2}$

$$Q = \frac{2}{3}C_d l\sqrt{2g}\left[H^{3/2} + \frac{3}{2}\frac{H^{3/2}}{H}\alpha\frac{V^2}{2g}\right]$$

$$Q = \frac{2}{3}C_d l\sqrt{2g}\, H^{3/2}\left[1 + \frac{3}{2}\frac{1}{H}\alpha\frac{V^2}{2g}\right] \rightarrow \text{ mas } V = \frac{Q}{A} \therefore V^2 = \frac{Q^2}{A^2}$$

$$Q = \frac{2}{3}C_d l\sqrt{2g}\, H^{3/2}\left[1 + \frac{3}{2}\alpha\frac{Q^2}{2gHA^2}\right] \rightarrow$$

A = L (H + P)
L = largura do canal

mas $Q = \frac{2}{3} C_d l \sqrt{2g} H^{3/2} \rightarrow$ Du Buat

$$Q = \frac{2}{3} C_d l \sqrt{2g} H^{3/2} \left[1 + \frac{3}{2} \alpha \frac{4/g/C_d^{\,2} l^2 2gH^3}{2gHL^2 (H+P)^2} \right]$$

$$Q = \frac{2}{3} C_d l \sqrt{2g} H^{3/2} \left[1 + \frac{2}{3} \alpha \frac{C_d^{\,2} l^2 H^2}{L^2 (H+P)^2} \right]$$

fazendo $\frac{2}{3} \alpha C_d^{\,2} = C_1$

$$Q = \frac{2}{3} C_d l \sqrt{2g} H^{3/2} \left[1 + \frac{C_1 l^2 H^2}{L^2 (H+P)^2} \right]$$

Caso comprimento da soleira (l) seja igual à largura do canal de acesso (L), obtém-se:

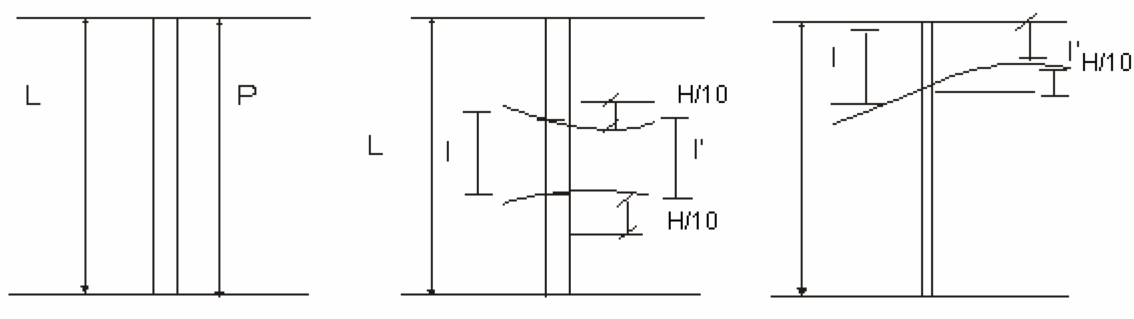
$$Q = \frac{2}{3} C_d l \sqrt{2g} H^{3/2} \left[1 + C_1 \frac{H^2}{(H+P)^2} \right]$$

4.3 – Contração da Lâmina Vertente

Quando a largura do canal de aproximação é maior que o comprimento da soleira do vertedor, a lâmina vertente sofre uma ou duas contrações laterais, conforme o vertedor esteja junto de umas das margens ou no centro do canal. A contração diminui o comprimento útil da soleira, o qual, segundo Francis, e dada por:

$$L' = L - N \frac{H}{10}$$

H→ altura da carga
N → número de contrações



A contração da lâmina no plano vertical é considerada nos coeficientes de descarga.

4.4 – Principais Fórmulas

$$Q = \frac{2}{3} C_d \, l \sqrt{2g} \, H^{3/2} \rightarrow \text{Du Buant}$$

$$Q = \frac{2}{3} C_d \, l \sqrt{2g} \left[\left(H + \alpha \frac{V^2}{2g} \right)^{3/2} - \left(\alpha \frac{V^2}{2g}^{3/2} \right) \right] \quad \text{Wessibach}$$

a) Fórmula de Porcelet e Lesbros → útil para cálculos rápidos (Cd = 0,6)

$$Q = 0{,}4 l \sqrt{2g} H^{3/2} \quad \text{ou} \quad Q = 1{,}77\, lH^{3/2}$$

b) Fórmula de Bazin → válida para $0{,}10 < H < 0{,}60$, é muito usada no Brasil.

$$Q = ml \sqrt{2g} H^{3/2}$$

$$m = \left(0{,}405 + \frac{0{,}003}{H} \right) \left[1 + 0{,}55 \frac{H^2}{(H + P)^2} \right]$$

ou, quando não se leva em conta a velocidade de aproximação

$$m = \left(0{,}405 + \frac{0{,}003}{H} \right)$$

c) Fórmula de Francis → muito usada no EEUU e na Inglaterra.

$$C_d = cte = 0,62$$

$$Q = \frac{2}{3} C_d l \sqrt{2g} \left[\left(H + \alpha \frac{V^2}{2g} \right)^{3/2} - \left(\alpha \frac{V^2}{2g}^{3/2} \right) \right]$$

$$Q = 1,838 \left[\left(H + \frac{V^2}{2g} \right)^{3/2} - \left(\frac{V^2}{2g} \right)^{3/2} \right] l$$

$$Q = 1,838 \left(1 + 0,26 \frac{l^2 H^2}{A^2} \right) H^{3/2} l$$

Desprezando-se a velocidade de aproximação: $Q = 1,838\, l\, H^{3/2}$

d) Fórmula da Sociedade Suíça de Engenheiros e Arquitetos (válida para $P > 0,3$; $0,10 < H < 0,80$; $P > H$)

$$Q = \left(1,816 + \frac{1,816}{1000H + 1,6} \right) \left[1 + 0,5 \frac{H^2}{(H + P)^2} \right] l H^{3/2}$$

e) Fórmula de Rehbock

$$Q = \left(1,782 + 0,24 \frac{H + 0,0011}{P} \right) l (H + 0,0011)^{3/2}$$

Das fórmulas apresentas, as mais usadas são as de Bazin e Francis; a de Rehbock e da Sociedade Suíça dão bons resultados, porém parecem mais adaptadas as condições de laboratório.

Quando o vertedor apresenta contração lateral leva-se em conta esse fenômeno através da correção de Francis.

4.5 – Emprego dos vertedores na Determinação das Vazões

Requisitos para se obter bons resultados com o emprego das fórmulas dos vertedouros:

a) A crista deve ser delgada, reta, horizontal e normal à direção dos filetes líquidos; a crista e os montantes devem ser agudos e lisos, convindo utilizar uma placa de metal.

b) A distância da crista ao fundo e ao lados do canal deve ser igual a 2 ou 3H e, no mínimo, de 20 a 30 cm.

c) A parede do vertedor deve ser lisa e vertical.

d) Deve haver livre admissão de ar debaixo da lâmina, que deve tocar a crista segundo um linha.

e) Para que a lâmina não goteje, a carga deve ser maior que 5 cm.

f) O comprimento da soleira deve ser, no mínimo, igual a 3H.

g) A carga não deve ultrapassar 60 cm e deve ser medida suficientemente a montante, no mínimo a uma distância igual a 5H, para não ser influenciada pelo abaixamento superficial da lâmina. Segundo Bazin e Francis a medição deve ser feita de 1,80 a 5,0 m a montante.

h) Convém que haja, a montante, um trecho retilíneo do canal de acesso, para regularizar o movimento da água.

i) O nível da água a jusante não deve estar próximo da crista.

4.6 – Formas da Lâmina Vertente

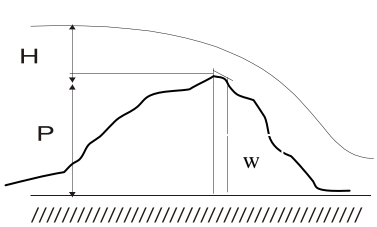
Depende: carga, altura da soleira, altura d'água jusante, disposição do vertedor, aeração.

Quando não existe suficiente aeração debaixo da lâmina vertente, como, por exemplo, quando as paredes do canal a jusante do vertedor coincidem com os respectivos montantes, pode haver modificação da forma da lâmina, que toma um dos aspectos descritos adiante; também a elevação do nível de jusante pode provocar uma mudança da forma da lâmina.

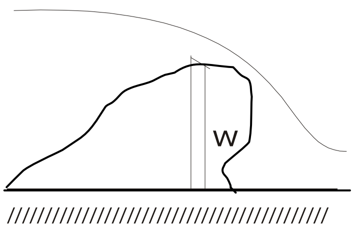
A descarga, em qualquer caso, pode ser calculada pela fórmula:

$$Q = m' l \sqrt{2g} H^{3/2}$$

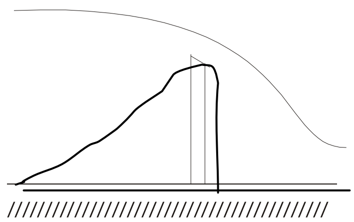
m' = x m m → coeficiente de Bazin



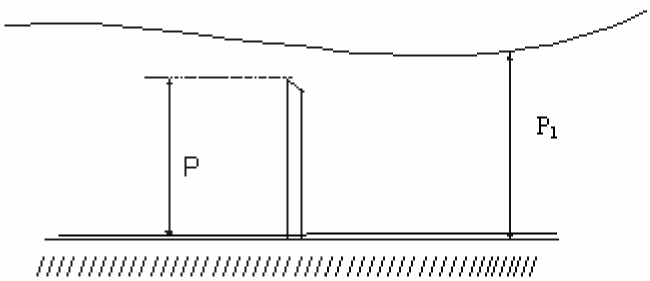
LÂMINA LIVRE



LÂMINA DEPRIMIDA



LÂMINA ADERENTE



LÂMINA AFOGADA

Lâmina Livre → quando o ar circula livremente no espaço W abaixo da veia.

Lâmina Deprimida → o ar é arrastado pela água, ocorrendo um vácuo parcial em W, que modifica a posição da veia. A descarga é maior que o vertedor de lâmina livre, chegando-se a ter x = 1,1.

Lâmina Aderente → ocorre quando o ar sai totalmente, o valor de x varia de 1,2 a 1,3. Também pode ocorrer quando a carga é pequena e a força viva da água não é suficiente para afastá-la.

Lâmina Afogada → Quando o nível da água a jusante é superior ao da soleira.

$$P_1 > P$$

Nos vertedores afogados, a vazão diminui à medida que aumenta a submergência. A vazão desses vertedores pode ser estimada com base nos valores relativos à descarga dos vertedores livres aplicando-se um coeficiente de correção.

A forma da lâmina depende da carga, da altura da soleira, da disposição do vertedor, da maior ou menor aeração do espaço debaixo da lâmina, e da altura d'água a jusante. Os coeficientes variam para cada tipo de vertedor, em média, segundo as experiências de Bazin, obtem-se :

m' = 0,433 para lâmina livre

m' = 0,460 para lâmina deprimida

m' = 0,497 para lâmina afogada na face inferior

m' = 0,553 para lâmina aderente

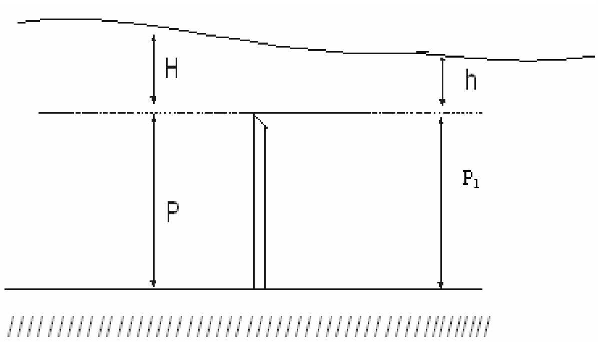
4.7 – Vertedor Afogado ou Incompleto

O vertedor é afogado ou incompleto quando o nível de jusante é superior ao da crista. Nesses vertedores a forma da lâmina é de dois tipos:

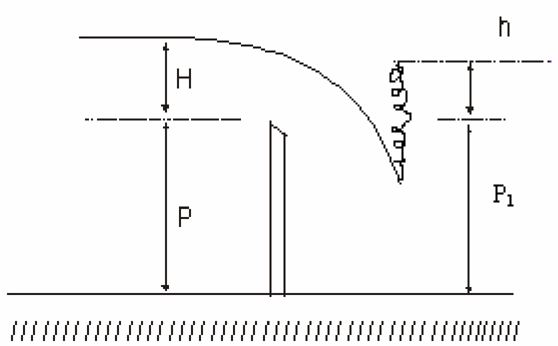
Lâmina Ondulada → quando escoa sobre a superfície de jusante, apresentando uma série de ondas.

Lâmina Submersa → quando mergulha sob a superfície de jusante, o que ocorre quando a carga é elevada de modo que a queda d'água afasta o líquido de jusante.

A lâmina submersa é menos freqüente que a ondulada, e quando a diferença $H - h \leq 1/5P_1$ ou $1/6\ P_1$, a lâmina submersa passa a ondulatória.



LÂMINA ONDULADA



LÂMINA SUBMERSA

A vazão dos vertedouros afogados pode ser estimada com base nos valores relativos à descarga dos vertedores livres, aplicando-se um coeficiente de correção.

h / H	Coeficiente
0,0	1,00
0,1	0,991
0,2	0,983
0,3	0,972
0,4	0,956
0,5	0,937
0,6	0,907
0,7	0,856
0,8	0,778
0,9	0,621

FONTE: AZEVEDO NETO, J.M.. MANUAL DE HIDRAULICA

Segundo Bazin a descarga pode ser calculada pela fórmula:

$$Q = m' l \sqrt{2gH}^{3/2}$$
$$m' = xm$$

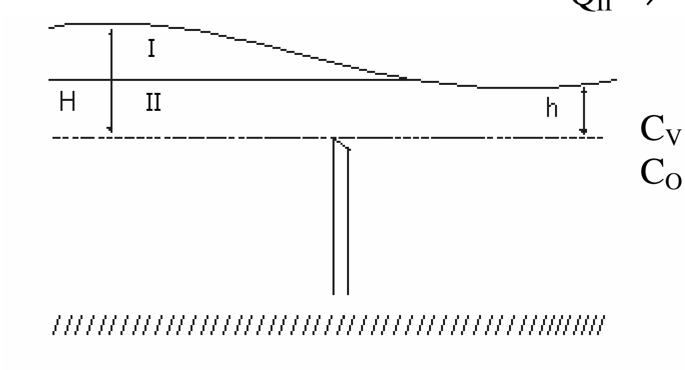
Os valores de *x* podem ser tirados da tabela seguinte:

$\frac{H-H_1}{H}$	H_1/P_1										
	0,0	0,05	0,10	0,20	0,30	0,40	0,60	0,80	1,0	1,2	1,5
0,05	1,05	0,84	0,74	0,64	0,58	0,54	0,50	0,47	0,45	0,44	0,43
0,10	“	0,93	0,85	0,76	0,70	0,61	0,61	0,58	0,57	0,55	0,54
0,15	“	0,96	0,90	0,82	0,77	0,69	0,69	0,66	0,64	0,63	0,61
0,20	“	0,98	0,94	0,87	0,83	0,74	0,74	0,71	0,69	0,68	0,67
0,25	“	1,00	0,96	0,90	0,86	0,78	0,78	0,75	0,74	0,72	0,71
0,30	“	1,01	0,97	0,92	0,88	0,81	0,81	0,78	0,77	0,76	0,75
0,40	“	1,02	0,99	0,95	0,92	0,87	0,87	0,84	0,83	0,82	0,81
0,50	“	1,03	1,01	0,98	0,95	0,90	0,90	0,89	0,87	0,87	0,86
0,70	“	1,04	1,02	1,00	0,99	0,96	0,96	0,94	0,94	0,93	0,92
Lâmina mergulhada	1,06	1,05	1,04	1,02	1,00	0,97	0,97	0,95	0,94	0,93	0,92

A descarga do vertedor de lâmina ondulada pode ser determinada aplicando a teoria de Du Buant:

$Q_{\text{vertedor}} = Q_I + Q_{II}$

$Q_I \rightarrow$ vertedor livre
$Q_{II} \rightarrow$ orifício afogado



$C_V \rightarrow$ coef. Descarga vertedor
$C_O \rightarrow$ Coef. De descarga orifício

$$Q_I = \frac{2}{3} C_d l \sqrt{2g} \left(H - h\right)^{3/2}$$

$$Q_{II} = C_O l h \sqrt{2g\left(H - h\right)}$$

$$Q = \frac{2}{3} C v l \sqrt{2g} \left(H - h\right)^{3/2} + C_O l h \sqrt{2g\left(H - h\right)}$$

Supondo $\quad c_v = c_o$

$$Q = \frac{2}{3} C l \sqrt{2g} \sqrt{\left(H - h\right)\left(H - h\right)^2} + C_O l h \sqrt{2g\left(H - h\right)}$$

$$Q = \frac{2}{3} C l \sqrt{2g} \sqrt{H - h} + \left(H - h + \frac{3}{2} h \right)$$

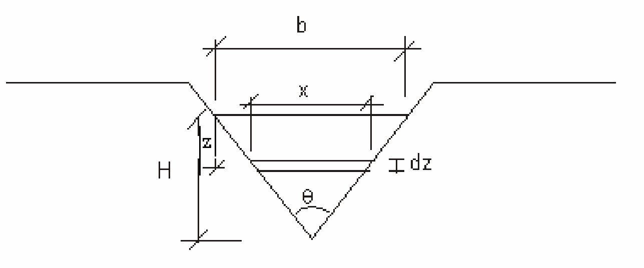
$$Q = \frac{2}{3} C l \sqrt{2g} \sqrt{H - h} + \left(H - h/2\right)$$

Seguindo DU BUAT, o coeficiente 2/3c vale 0,41, e pelas experiências de FRANCIS, FITLEY e STEARNS, o valor pode ser obtido da tabela seguinte:

H → h	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,0	-	0,415	0,415	0,416	0,417	0,419	0,420	0,420	0,420	0,420
0,1	0,420	0,419	0,418	0,417	0,416	0,415	0,414	0,413	0,412	0,411
0,2	0,410	0,409	0,408	0,407	0,406	0,405	0,404	0,403	0,402	0,401
0,3	0,401	0,400	0,399	0,398	0,398	0,397	0,396	0,395	0,395	0,394
0,4	0,393	0,393	0,392	0,392	0,392	0,390	0,390	0,389	0,389	0,380
0,5	0,388	0,388	0,387	0,387	0,387	0,387	0,386	0,386	0,386	0,386
0,6	0,386	0,385	0,385	0,385	0,385	0,385	0,385	0,385	0,385	0,385
0,7	0,386	0,386	0,386	0,386	0,386	0,387	0,387	0,388	0,388	0,389
0,8	0,389	0,390	0,390	0,391	0,392	0,393	0,394	0,395	0,396	0,397
0,9	0,398	0,399	0,400	0,402	0,403	0,405	0,407	0,409	0,411	0,415

4.8 – Vertedores Triangulares

Para medida de pequenas vazões (Q < 0,03 m^3 /s) é preferível o emprego dos vertedores triangulares, por que, como é evidente, a carga H é medida mais facilmente que nos vertedores retangulares.



$$\frac{b}{H} = \frac{x}{H - z}$$

$$x = \frac{b}{H}(H - z)$$

$$x = \left(1 - \frac{z}{H}\right) b$$

$$x = b - \frac{bz}{H}$$

$$Q = VA$$

$$dQ = C_d \sqrt{2gz}\ xdz$$

$$dQ = C_d \sqrt{2gz}\ (\mathrm{b - bz/H})dz$$

$$Q = \int_O^H C_d \sqrt{2gz}\ (\mathrm{b - bz/H})dz$$

$$Q = bC_d \sqrt{2g} \int_O^H z^{1/2} dz - \frac{b}{H} C_d \sqrt{2g} \int_O^H z^{1/2}.z\ dz$$

$$Q = bC_d \sqrt{2g} \left[\frac{2}{3} z^{3/2}\right]_O^H - \frac{b}{H} C_d \sqrt{2g} \left[\frac{2}{5} z^{5/2}\right]_O^H$$

$$Q = \frac{2}{3} bC_d \sqrt{2g}\ H^{3/2} - \frac{2}{5}\frac{b}{H} C_d \sqrt{2g}\ H^{5/2}$$

$$Q = \frac{4}{\ } b\ C_d \sqrt{2g}\ H^{3/2}$$

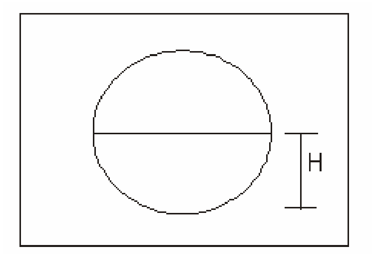
$$\text{mas} \quad tg\left(\frac{\theta}{2}\right) = \frac{b/2}{H} \quad \therefore \quad \frac{b}{2} = Htg\left(\frac{\theta}{2}\right) \therefore b = 2Htg\left(\frac{\theta}{2}\right)$$

$$Q = \frac{8}{15} C_d tg\left(\frac{\theta}{2}\right) \sqrt{2g}\ H^{5/2}$$

4.8.1 - Vertedor Circular → facilidade de execução, não requer o nivelamento da soleira.

D → Diâmetro do furo

H → Altura da lamina de água

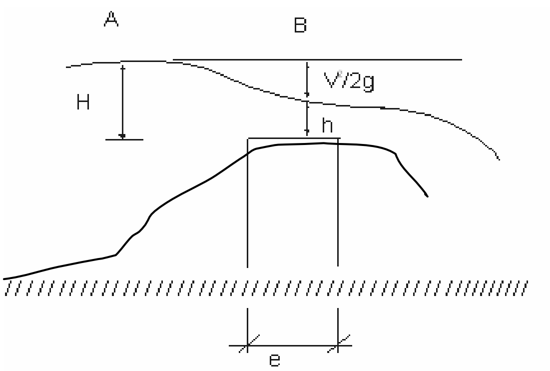


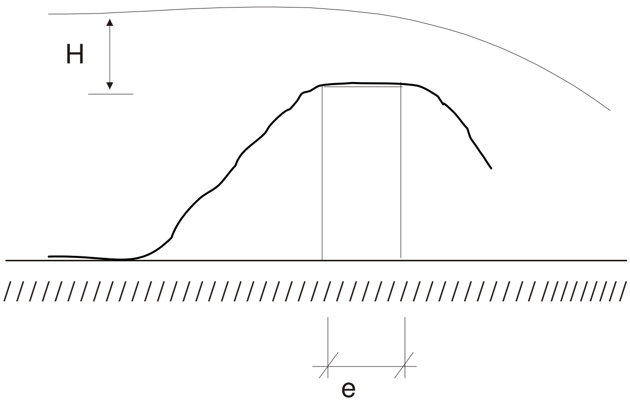
$$Q = 1{,}518\, D^{0{,}693}\, H^{1{,}807}$$

4.9 – Vertedores de Soleira Espessa

O vertedor é considerado de soleira espessa quando a largura da crista é maior que H / 2. (e > H/2).

Quando H / 2 < e < 2 / 3H a veia é instável, podendo ou não aderir à crista.





Quando H ≤ 1,5e a descarga pode ser calculada pela fórmula de Bazin:

$$Q = m' l \sqrt{2g}\; H^{3/2}$$

$$m' = m\, x$$

$$x = 0{,}70 + 0{,}185\, H/e$$

Quando a espessura da soleira é bastante grande (e > 3H), a superfície da água sofre um abaixamento no início da soleira, tornado-se depois os filetes líquidos paralelos á mesma.

A máxima descarga compatível com a altura H é dada pela fórmula:

$$Q = 0.385\ l\sqrt{2g}\ H^{3/2} = 1,705\ H^{3/2}$$

ou

$$Q = 3,133\ lh^{3/2}$$

Aplicando Bernoulli entre A e B

$$H + 0 + 0 = h + 0 + \frac{V^2}{2g}$$

$$V = \sqrt{2g(H-h)}$$

$$Q = lh\sqrt{2g(H-h)}$$

Para vazão ser máxima $\frac{dQ}{dh} = 0$

$$Q^2 = l^2h^2[2g(H-h)]$$

$$Q^2 = 2gl^2h^2(H-h) \qquad 2gl^2 = 0$$

$$\frac{d[2h^2(H-h)]}{dh} = 0 \quad \therefore \quad \frac{d(h^2H - h^3)}{dh} = 0$$

$$2hH - 3h^2 = 0$$

$$h(2H - 3h) = 0$$

$$h = 0$$

MÍNIMO

$$2H - 3h = 0 \quad \therefore \quad h = \frac{2}{3}H$$

$$Q = \frac{2}{3}lH\sqrt{2g\left(H - \frac{2}{3}H\right)}$$

MÁXIMO

$$Q = 0,385\ l\sqrt{2g}H^{3/2}$$

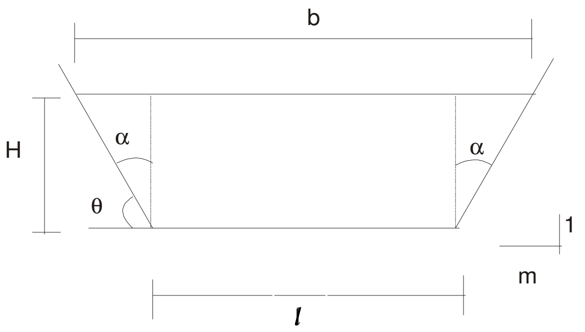
$$Q = 1,705\ l\ H^{3/2}$$

Segundo LESBROS, para levar em conta o atrito sobre a soleira, deve-se reduzir o coeficiente para 0,35. $Q = 0,35\, l\sqrt{2g}H^{3/2}$

$$Q = 1,55\, l\ H^{3/2}$$

4.10 – Vertedores Trapezoidais

A descarga do vertedor trapezoidal é calculada como a soma das vazões de um vertedor e de um vertedor retangular.



$$Q = \frac{2}{3} C_d l \sqrt{2g} H^{3/2} + \frac{8}{15} C_d tg\, \alpha \sqrt{2g} H^{5/2}$$

$$A = lh + h^2 ctg\ \theta = lh + mh^2$$

$$P = l + 2h / \text{sen}\ \theta = l + 2h\sqrt{1 + m^2}$$

Vertedor Cipoletti → é um vertedor trapezoidal com as faces inclinadas de 1 : 4 (tg α = ¼), o que compensa a redução de descarga que haveria no vertedor retangular, de mesmo comprimento da soleira, em conseqüência da contração lateral.

$C_d = 0{,}42 \rightarrow Q = 1{,}86\ l\ H^{3/2}$

O coeficiente é praticamente constante para valores de H entre 8 e 60 cm, deve-se ter ainda:

$$\begin{cases} L > 3 \text{ a } 4H \\ P > 3H \\ \text{Largura do canal} > 7H \end{cases}$$

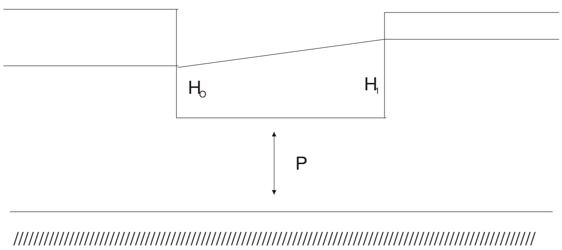
4.11 – Vertedores Laterais

Nos vertedores laterais a soleira é paralela a direção do escoamento.

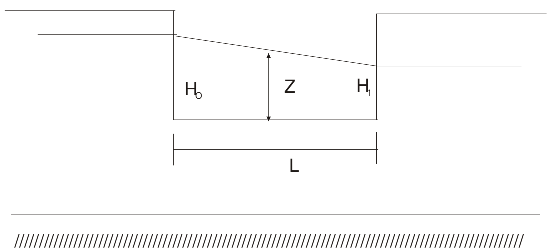
São usados para descarregar o excesso de vazão do canal para que o nível da água não ultrapasse determinada cota.

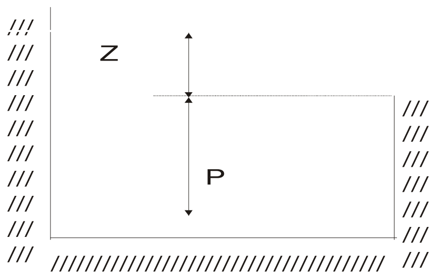
Admite-se que a superfície da água no canal, ao longo do vertedor, varie segundo uma reta; a altura d'água H_1 sobre a crista na extremidade de jusante é maior que altura H_0 na Extremidade de montante quando o escoamento no canal é tranqüilo, e menor quando o regime é rápido.

ESCOAMENTO TRANQUILO



REGIME RÁPIDO





Canal com vertedor Lateral

$$Q = \frac{2}{5} ml \sqrt{2g} \frac{H_1^{5/2} - H_0^{5/2}}{H_1 - H_0}$$

Essa expressão permite calcular a vazão em função das alturas d'água no início e no fim da soleira, ou o comprimento necessário deve ser descarregado. Da soleira quando se conhece o volume que deve ser descarregado.

Alguns pesquisadores aconselham a calcular a descarga usando as fórmulas de vertedores comuns e $H = \frac{H_0 - H_1}{2}$.

Segundo Engels, a descarga é dada pela formula:

$$q = 0{,}414 \sqrt{2g} \sqrt[3]{\ell^{5/2} H_1^5}$$

4.12 – Vertedores de Crista de Barragem

Quando o nível da água num reservatório ultrapassa a cota da crista da barragem, escoando-se sobre ela, a barragem funciona como um vertedor.

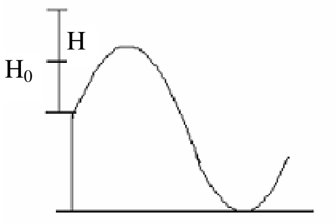
$$Q = \frac{2}{3} C_d \, l \sqrt{2g} \, H^{3/2}$$

A soleira plana é utilizada somente em barragens de pequena altura, tanto por causa do impacto da água sobre o terreno a jusante da barragem, como pelo perigo de, com o arrastamento do ar no espaço debaixo da lâmina, haver a formação de uma depressão, que implicaria num esforço adicional sobre a barragem.

Nas barragens de crista arredondada os filetes líquidos são guiados sobre o paramento de jusante, sem haver deslocamento da lâmina, que é também guiada junto a base para mudar de direção sem impacto sobre o solo.

O traçado da crista é feito de modo que a mesma coincida com a face inferior da lâmina líquida, sendo um dos métodos mais usado o de CREAGER.

O traçado da crista é feito para máxima descarga admissível. Quando a velocidade de aproximação ≠ 0 ⇒ $H = H_i + V^2/2g$



O arredondamento da crista da barragem tem efeito de proporcionar maior descarga. **Ho = H + 0,126 H**

$Q = 2{,}196\ l\ H^{3/2}$ * Curva do pé da barragem é arco de círculo.

VERTEDORES

COORDENADAS PARA O TRAÇADO DO PERFIL DE CREAGER (H=1m).

x	y (parâmetro de montante vertical			y (parâmetro de montante inclinado 45º)		
	Alvenaria	Face sup. da lâmina	Face inferior	Alvenaria	Face sup. da lâmina	Face inferior
0,00	0,126	- 0,831	0,126	0,043	- 0,781	0,043
0,10	0,036	- 0,803	0,036	0,010	- 0,756	0,010
0,20	0,007	- 0,772	0,007	0,000	- 0,724	0,000
0,30	0,000	- 0,740	0,000	0,005	- 0,689	0,005
0,40	0,007	- 0,702	0,007	0,023	- 0,648	0,023
0,60	0,060	- 0,620	0,063	0,090	- 0,552	0,090
0,80	0,142	- 0,511	0,153	0,189	- 0 ,435	0,193
1,0	0,257	- 0,380	0,267	0,321	- 0,293	0,333
1,2	0,397	- 0,219	0,410	0,480	- 0,121	0,500
1,4	0,565	- 0,030	0,590	0,665	+ 0,075	0,700
1,7	0,870	+ 0,305	0,920	0,992	+ 0,438	1,05
2,0	1,220	+ 0,693	1,31	1,377	+ 0,860	1,47
2,5	1,960	+ 1,50	2,10	2,14	+ 1,71	2,34
3,0	2,82	+ 2,50	3,11	3,06	+ 2,76	3,39
3,5	3,82	+ 3,66	4,26	4,08	+ 4,00	4,61
4,0	4,93	+ 5,00	5,61	5,24	+ 5,42	6,04
4,5	6,52	+ 6,54	7,15	6,58	+ 7,02	7,61