

COEFICIENTE DE VAZÃO EM DESCARREGADORES LATERAIS. ESTUDO EXPERIMENTAL E ANÁLISE COMPARATIVA DE EXPRESSÕES DE CÁLCULO

Isabel NICOLAU DA SILVA¹; António NASCIMENTO PINHEIRO²

RESUMO

A caracterização do escoamento em canais com descarregadores laterais tem constituído, desde o início deste século, objectivo de estudo de numerosos autores. Tais estudos advieram, essencialmente, da utilização deste tipo de canais em obras de saneamento básico e de irrigação e da necessidade daí resultante de se conhecer com rigor o seu funcionamento hidráulico.

Na presente comunicação apresentam-se diversas expressões para cálculo do coeficiente de vazão de descarregadores laterais propostas por diferentes autores com base em experimentação desenvolvida em instalações com dimensões bastante distintas.

Apresentam-se também as principais características da instalação experimental que foi construída no Laboratório Nacional de Engenharia Civil para estudar o coeficiente de vazão de descarregadores laterais e referem-se os ensaios efectuados e os resultados obtidos.

Finalmente, apresenta-se uma nova expressão para cálculo do coeficiente de vazão e efectua-se a sua comparação com as expressões propostas por outros autores, analisando as diferenças verificadas com base nas características das instalações experimentais utilizadas.

Palavras-chave: descarregador lateral, coeficiente de vazão, instalação experimental.

¹ *Engenheira Civil (IST), Mestre em Hidráulica e Recursos Hídricos (IST) – Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), e-mail: isilva@lneec.pt, Lisboa, Portugal*

² *Engenheiro Civil (IST), Professor Auxiliar, – Instituto Superior Técnico (IST), e-mail: apinheir@civil.ist.utl.pt, Lisboa, Portugal*

1- INTRODUÇÃO

Um descarregador diz-se lateral quando se encontra inserido na parede de um canal e as linhas de corrente do escoamento a montante do descarregador são paralelas a este.

Existem diversas expressões para cálculo do coeficiente de vazão em canais com descarregador lateral. No entanto, nem sempre se conhecem com clareza as condições em que cada expressão foi deduzida e eventuais limitações daí decorrentes que possam restringir o respectivo campo de aplicação.

Suprir tal lacuna constituiu um dos objectivos de um estudo mais geral realizado pelo primeiro autor da presente comunicação sob a orientação do segundo autor.

A presente comunicação aborda, assim, o trabalho desenvolvido por SILVA (1997), no que se refere ao estudo comparativo de expressões propostas por diversos autores para cálculo do coeficiente de vazão de descarregadores laterais e a análise dimensional e o estudo experimental que permitiram a dedução de uma expressão para cálculo do coeficiente de vazão.

2- COEFICIENTE DE VAZÃO

2.1- Considerações gerais

A determinação do coeficiente de vazão para descarregadores laterais tem sido objecto de estudo de numerosos investigadores. Esses estudos têm-se baseado, na sua maioria, em investigação experimental, através da qual foi possível determinar expressões para cálculo do coeficiente de vazão que, à excepção da proposta por SINGH *et al* (1994), dependem apenas do parâmetro, h/p , em que h é a altura do escoamento no canal e p a altura do descarregador lateral em relação à soleira do canal ou do parâmetro Fr_1 , que representa o número de Froude na secção de montante do descarregador lateral.

2.2- Expressões do coeficiente de vazão para descarregadores laterais

SUBRAMANYA e AWASTHY (1972) apresentam um estudo sobre o coeficiente de vazão de um descarregador lateral, para escoamentos em regime lento ou rápido. Mediante análise dimensional, definiram os parâmetros em função dos quais varia o coeficiente de vazão

$$C = f \left(Fr_1, L/B, h_1/L, p/h_1 \right) \quad (1)$$

sendo Fr_1 o número de Froude na secção de montante do descarregador, L o comprimento de descarregador, B a largura do canal e h_1 a altura do escoamento na secção de montante do descarregador.

Segundo os autores, Fr_1 é o parâmetro com maior influência na variação de C , sendo a sua influência maior no caso de um escoamento em regime lento. Os parâmetros representativos da configuração geométrica, L/B , h_1/L e p/h_1 , têm reduzida influência no coeficiente de vazão.

Segundo SUBRAMANYA e AWASTHY (1972), tem-se, para escoamentos em regime lento

$$C = \frac{2}{3} \left(0,611 \sqrt{1 - \frac{3Fr_1^2}{Fr_1^2 + 2}} \right) \quad (2)$$

e para escoamentos em regime rápido

$$C = \frac{2}{3} (0,36 - 0,08Fr_1) \quad (3)$$

HAGER (1987) propõe uma expressão para cálculo do coeficiente de vazão, só aplicável em descarregadores laterais com declive do canal i e o ângulo de convergência das paredes do canal j muito próximos de zero. Nessas condições, o coeficiente de vazão pode ser calculado pela expressão

$$C = 0,485 \left[\frac{(2 + Fr_1^2)}{(2 + 3Fr_1^2)} \right]^{1/2} \quad (4)$$

Tal como nas expressões (2) e (3), o coeficiente de vazão depende apenas de Fr_1 .

SWAMEE (1988), baseando-se em trabalhos realizados por outros autores, apresenta uma expressão, com formulação diferente das anteriores, para cálculo do coeficiente de vazão em descarregadores laterais de parede delgada

$$C = \frac{2}{3} \left\{ 1,06 \left[\left(\frac{14,14p}{8,15p + h} \right)^{10} + \left(\frac{h}{h + p} \right)^{15} \right]^{-0,1} \right\} \quad (5)$$

RAJU *et al* (1979) realizaram um estudo experimental num canal com secção transversal rectangular, com escoamento em regime lento, cujo descarregador lateral tinha 0,20 m de comprimento, conforme se indica no Quadro 1. Os autores propõem considerar no cálculo da vazão o comprimento efectivo do descarregador, L_e , em que $L_e = L - 0,05$ m. Neste caso, o troço não considerado devido ao efeito de fronteira representa 20 % do comprimento do

descarregador. Num descarregador de comprimento significativamente superior tal efeito teria influência muito mais reduzida.

RAJU *et al* (1979) propõem também a seguinte expressão para cálculo do coeficiente de vazão em descarregadores com soleira espessa

$$C = \frac{2}{3}(0,81 - 0,60Fr_1)K \quad (6)$$

em que K é um coeficiente empírico função de $(h_1-p)/e$, sendo h_1 a altura do escoamento na secção de montante do descarregador, p a altura do descarregador em relação à soleira do canal e e a espessura da parede do descarregador - Figura 1. Para um descarregador com parede delgada, tem-se $K=1$.

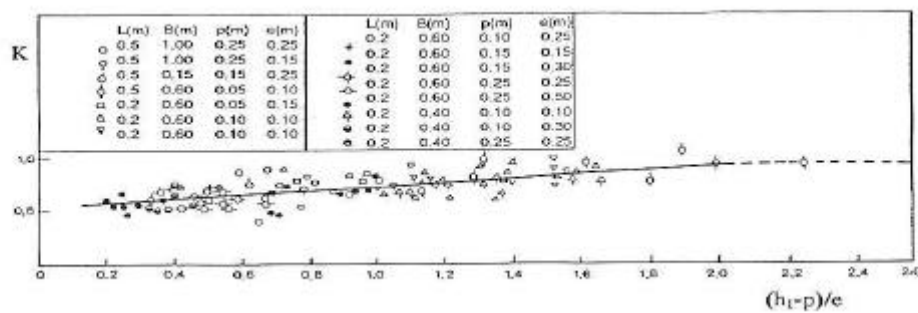


Figura 1 - Variação do coeficiente empírico K em função do parâmetro $(h_1-p)/e$ para descarregadores com soleira espessa (adaptado de RAJU *et al* 1979).

CHEONG (1991) estudou o coeficiente de vazão num descarregador lateral inserido num canal com secção transversal trapezoidal. No entanto, considera serem os resultados aplicáveis a canais rectangulares. Propõe a seguinte expressão

$$C = 0,45 - 0,22Fr_1^2 \quad (7)$$

CHEONG (1991) analisa também resultados obtidos por RAJU *et al* (1979) e SUBRAMANYA e AWASTHY (1972), justificando as diferenças das soluções encontradas por cada autor para a expressão do coeficiente de vazão, devido às diferenças na geometria das instalações experimentais utilizadas (tipo de descarregador, confinamento do escoamento na secção de jusante do descarregador lateral) e no método utilizado para a determinação das características do escoamento na secção de jusante. Refira-se desde já que idêntica conclusão é também retirada do trabalho que deu origem à presente comunicação.

Mais recentemente, SINGH *et al* (1994) propuseram a seguinte expressão, deduzida para canais rectangulares e escoamentos em regime lento

$$C = 0,33 - 0,18Fr_1 + 0,49 \frac{P}{h_1} \quad (8)$$

A expressão (8) contradiz a conclusão de SUBRAMANYA e AWASTHY (1972) quanto à pequena influência dos parâmetros que caracterizam a geometria do descarregador lateral.

3- EXPERIMENTAÇÃO

3.1- Instalação experimental

O fornecimento de água à instalação é efectuado a partir do reservatório geral de alimentação dos modelos exteriores do Núcleo de Hidráulica de Estruturas - NHE do Laboratório Nacional de Engenharia Civil - LNEC por meio de uma conduta de fibrocimento DN 350, onde está inserido o medidor de caudal e é controlado por uma válvula de cunha de idêntico diâmetro - Figuras 2 a 5.

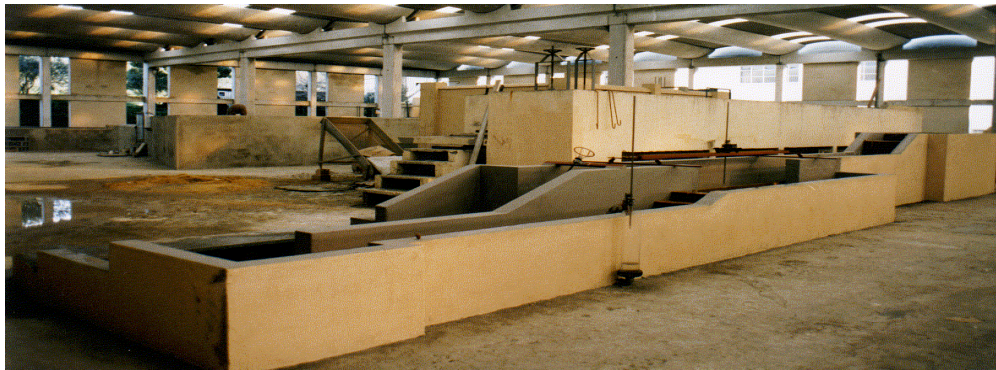
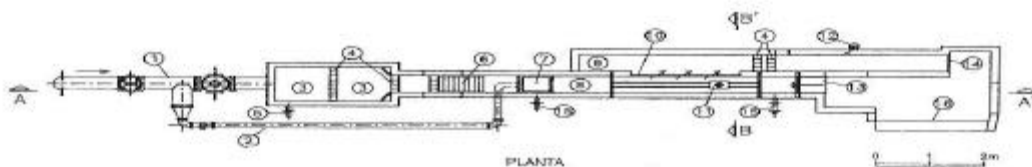


Figura 2 - Instalação experimental. Vista geral

A jusante da válvula de cunha existe uma câmara de tranquilização do escoamento munida de uma antecâmara separada da câmara principal por uma parede de tijolo perfurado com várias fiadas de tijolo, por forma a reduzir a turbulência e a orientar o escoamento no sentido do canal principal. No início do canal principal existe ainda uma grade flutuante para dissipação da agitação superficial, que se verificou ocorrer, com forte intensidade, nos escoamentos de caudais mais elevados.



LEGENDA

- ① CONDUITA DE ALIMENTAÇÃO (DN 350)
- ② CONDUITA DE ALIMENTAÇÃO (DN 150)
- ③ CÂMARA DE TRANQUILIZAÇÃO DO ESCOAMENTO
- ④ PAREDES DE TIJOLO PUNADO
- ⑤ CONDUITA DE ESGOTO DO RESERVATÓRIO DE MONTANTE (DN 2" 1/2)
- ⑥ GRATE FLUTUANTE DE TRANQUILIZAÇÃO DO ESCOAMENTO
- ⑦ CÂMARA DE ALIMENTAÇÃO (funcionamento tipo tiro-lés)
- ⑧ CANAL PRINCIPAL
- ⑨ CANAL COLECTOR
- ⑩ DESCARREGADOR LATERAL
- ⑪ COORDINÓMETRO
- ⑫ HIBRÓMETRO
- ⑬ COMPORTA DE CHARNEIRA
- ⑭ DESCARREGADOR DE BAZIN (largura de 0,50m)
- ⑮ CONDUITA DE ESGOTO
- ⑯ CANAL GERAL DE RETORNO
- ⑰ COMPORTA PLANA

Figura 3 - Instalação experimental. Planta.

O descarregador lateral de parede delgada com escoamento confinado³ na secção de jusante, de comprimento variável, com o máximo de 2,00 m, e 0,20 m de altura, localiza-se no canal principal, rectangular com 0,50 m de largura. O escoamento no canal principal é controlado por uma comporta de charneira localizada na secção de jusante deste.

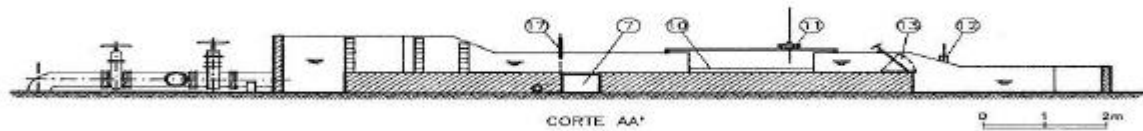


Figura 4 - Instalação experimental. Corte longitudinal pelo eixo do canal principal (consultar legenda da Figura 3).

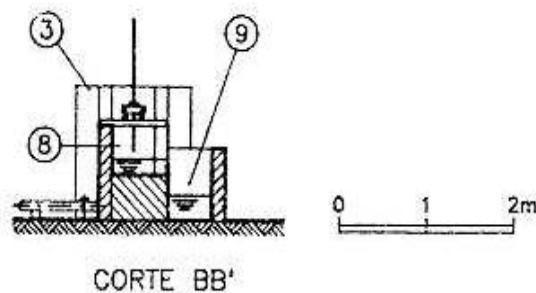


Figura 5 - Instalação experimental. Corte transversal pela secção de jusante do descarregador lateral (consultar legenda da Figura 3).

A instalação experimental tem também a possibilidade de simular escoamentos provenientes de tomadas de água do tipo tirolês. Neste caso a alimentação de água do tipo tirolês faz-se através da caixa 7 – Figuras 3 e 4, gerando-se, a montante do descarregador lateral, elevada turbulência semelhante à que ocorre naquele tipo de tomada de água, SILVA, (1997, p. 77)

O caudal descarregado lateralmente é colectado por meio de um canal rectangular de largura 0,50 m, em cuja extremidade de jusante está um descarregador Bazin utilizado para medição do caudal, Figuras 3, 5 e 6. O hidrómetro para medição do nível de água está situado 2,00 m a montante do descarregador. A montante do hidrómetro estão dispostas três fiadas de tijolo para uniformização do escoamento proveniente do descarregador lateral.

³ O confinamento do escoamento ocorre quando existe um condicionamento geométrico do tipo parede que impõe linhas de corrente diferentes das que ocorreriam no caso de um descarregador lateral de parede delgada em que a espessura do canal imediatamente a jusante fosse igual à do descarregador lateral.



Figura 6 - Funcionamento do descarregador lateral. $Q = 100$ l/s. $Q_L/Q = 0,75$. $L=2,00$ m.

3.2- Ensaios realizados

De modo a efectuar as medições das alturas do escoamento na zona do descarregador lateral, dispõe-se de um hidrómetro apoiado num coordinómetro. Para cada ensaio efectuado, determinaram-se as alturas de escoamento nos pontos previamente definidos.

Antes de iniciar a fase de medição extensiva de alturas de escoamento, era necessário assegurar a qualidade dos dados obtidos. Tal implicava que fossem desprezáveis os erros de medição da altura do escoamento e do caudal.

Para minorar o erro na medição das alturas de escoamento e devido a uma ligeira flecha nas barras longitudinais do coordinómetro, provocada pelo seu peso próprio, consequência do grande vão longitudinal, tomaram-se como pontos de referência (zero) os pontos da crista do descarregador lateral onde posteriormente se iriam fazer as medições.

Para verificar a precisão dos dispositivos de medição do caudal, escoou-se pelo descarregador lateral a totalidade do caudal, mediante fechamento total da comporta charneira, sendo a medição no descarregador Bazin e posteriormente comparada com o valor fornecido pelo medidor de caudal electromagnético.

Através deste procedimento, verificou-se que os desvios aleatórios obtidos eram no máximo de 2%, para os caudais mais elevados, pelo que poderiam ser desprezados.

Efectuaram-se ensaios para caudais na secção de montante do descarregador lateral de 30, 40, 50, 75, 100, 125 e 150 l/s e, para cada caudal, para as situações em que o caudal descarregado lateralmente corresponde a 25, 50 e 75% do caudal na secção de montante do descarregador lateral.

4- RESULTADOS OBTIDOS

4.1- Andamento da superfície livre

As alturas do escoamento, que permitiram definir os perfis longitudinais e transversais da superfície livre, foram medidas de acordo com a malha de pontos para dois comprimentos do descarregador lateral: $L=1,50$ e $2,00$ m.

No início dos ensaios experimentais, efectuaram-se apenas medições nas secções longitudinais 1L, 2L, 3L, 4L e 7L, respectivamente à distância de $0,10$, $0,20$, $0,30$ e $0,40$ m da parede oposta ao descarregador e sobre a crista do descarregador, verificando-se que os perfis longitudinais nas secções 1L, 2L, 3L e 4L eram praticamente coincidentes e bastante distintos do perfil na secção 7L. Tal facto significa que o efeito de aproximação ao descarregador lateral apenas se faz sentir muito próximo deste. Na tentativa de melhor caracterizar esse efeito, fizeram-se medições em outras duas secções, 5L e 6L, correspondentes a $0,45$ e $0,475$ m de afastamento da parede oposta ao descarregador lateral.

Devido à referida semelhança dos perfis longitudinais e de modo a não tornar confusa a representação gráfica, optou-se apenas pela apresentação dos perfis longitudinais nas secções 1L, 3L, 5L, 6L e 7L - Figura 7.

Os perfis transversais foram determinados nas secções 1T, 2T, 3T, 4T e 5T, correspondendo a secções distando $0,40$, $0,80$, $1,20$, $1,60$ m da secção de montante do descarregador lateral, para um comprimento do descarregador igual a $2,00$ m, e distando $0,30$, $0,60$, $0,90$ e $1,20$ m da secção de montante do descarregador lateral, para um comprimento do descarregador de $1,50$ m, e ainda na secção 6T, correspondente à secção de jusante do descarregador, Figura 8.

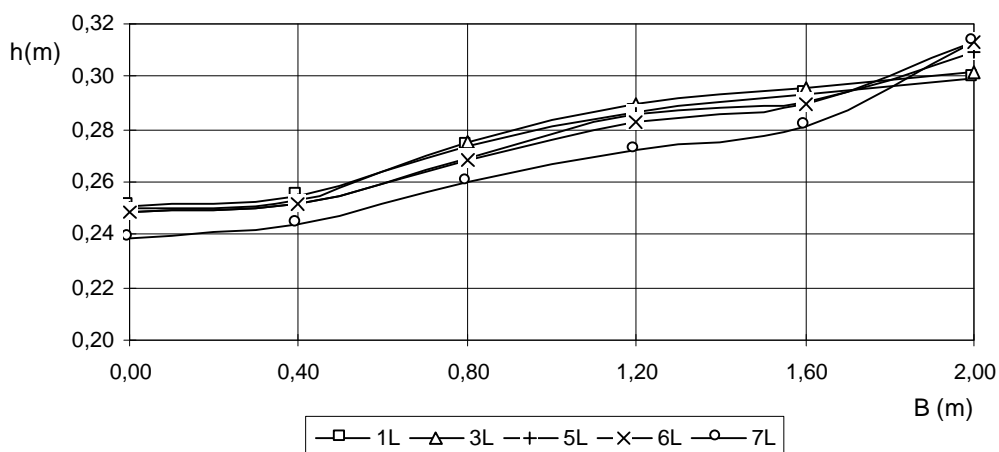


Figura 7 - Perfis longitudinais da superfície livre. $L=2,00$ m. $Q_1 = 150$ l/s. $Q_1/Q_1 = 0,50$.

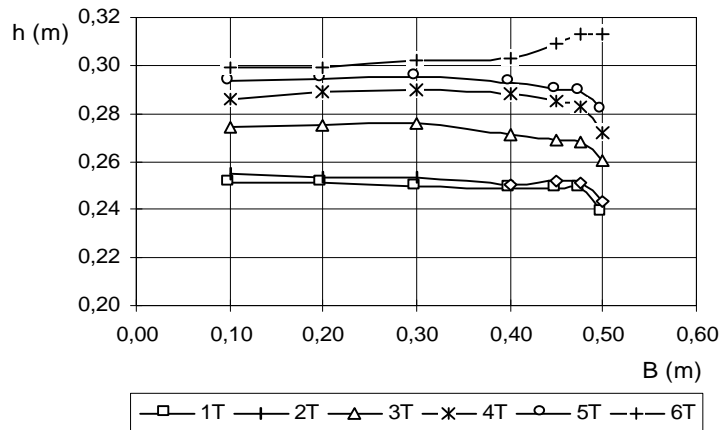


Figura 8 - Perfis transversais da superfície livre. $L=2,00\text{m}$. $Q_1 = 150 \text{ l/s}$. $Q_L/Q_1= 0,50$.

Da análise das Figuras 7 e 8 e dos restantes ensaios efectuados, que se apresentam em SILVA (1997), pode concluir-se que

- a altura do escoamento cresce para jusante; (trata-se dum escoamento em regime lento e dum regolfo do tipo I, segundo designação de **Mazaneres e Quintela in Manzaneres 1981**, p. 17);
- o efeito de aproximação do escoamento ao descarregador só se faz sentir em secções longitudinais muito próximas deste, aumentando com a relação Q_L/Q_1 (quanto maior for a relação Q_L/Q_1 , e conseqüentemente maior o caudal descarregado lateralmente, Q_L , o efeito da aproximação do escoamento faz-se sentir em secções longitudinais mais afastadas do descarregador);
- da análise do perfil longitudinal 7L, sobre a crista do descarregador lateral, e do perfil transversal 6T, na secção de jusante do descarregador, ressalta a concentração de escoamento nas proximidades das referidas secções, consequência da condição de fronteira devido à transição entre o descarregador lateral de parede delgada e a parede do canal de maior espessura (confinamento do escoamento).

4.2- Determinação da altura média do escoamento

A altura média do escoamento, necessária para calcular posteriormente o coeficiente de vazão do descarregador, foi determinada para uma secção longitudinal do canal principal suficientemente afastada do descarregador lateral, de modo a não sofrer influência do efeito de aproximação que ocorre em secções próximas do descarregador lateral, conforme descrito na alínea 4.1. Assim, calculou-se a altura média do escoamento tendo como base as medições efectuadas ao longo do perfil longitudinal 1L e de acordo com a expressão.

$$h_{med} = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^n (h_i + h_{i+1}) \Delta x \quad (9)$$

sendo n o número total de leituras na secção longitudinal considerada, h_i e h_{i+1} a leitura na secção i e $i+1$, respectivamente, Dx a distância entre a secção i e $i+1$ e L o comprimento do descarregador lateral.

De modo a serem desprezáveis os efeitos provocados pela tensão superficial, foi decidido só efectuar ensaios com $h_{med} \geq 0,02$ m.

4.3- Coeficiente de vazão

Para propor uma expressão para cálculo do coeficiente de vazão em descarregadores laterais, o conhecimento dos parâmetros caracterizadores do escoamento em causa é fundamental. Com esse objectivo efectuou-se uma análise dimensional do fenómeno SILVA (1997), concluindo-se que o coeficiente de vazão num descarregador lateral é, essencialmente, função de três parâmetros: Fr_L , que considera os efeitos de aproximação do escoamento à secção de montante do descarregador lateral, relação h/p e comprimento adimensionalizado do descarregador lateral, $L_{adim} = L/(V^2/2g)$.

O coeficiente de vazão experimental, para cada ensaio, foi calculado de acordo com a expressão

$$C = \frac{Q_L}{L\sqrt{2g} (h-p)^{3/2}} \quad (10)$$

sendo, C o coeficiente de vazão, Q_L o caudal descarregado lateralmente, L o comprimento do descarregador, g a aceleração da gravidade.

Para os descarregadores de parede delgada utilizados nos ensaios experimentais, o coeficiente de vazão calculado através da expressão (10) varia entre 0,368 e 0,448.

A existência de valores para o coeficiente de vazão inferiores ao coeficiente de vazão correspondente ao regime crítico deve-se a que o escoamento no descarregador lateral é marcadamente tridimensional em secções próximas do descarregador ao contrário do que ocorre num descarregador frontal, onde se pode, sem erros significativos, admitir um escoamento bidimensional.

A tridimensionalidade existente, não modelável matematicamente, é um factor de erro que torna difícil estabelecer comparações entre o escoamento num descarregador frontal e o escoamento num descarregador lateral.

A influência de cada parâmetro no coeficiente de vazão foi analisada, de modo a mostrar a sua importância, isoladamente e em conjunto.

Na Figura 9 representa-se a variação do coeficiente de vazão, C , com o número de Froude na secção de montante do descarregador, Fr_1 , com base nos resultados obtidos experimentalmente. Verifica-se a diminuição do coeficiente de vazão com o número de Froude na secção de montante do descarregador lateral.

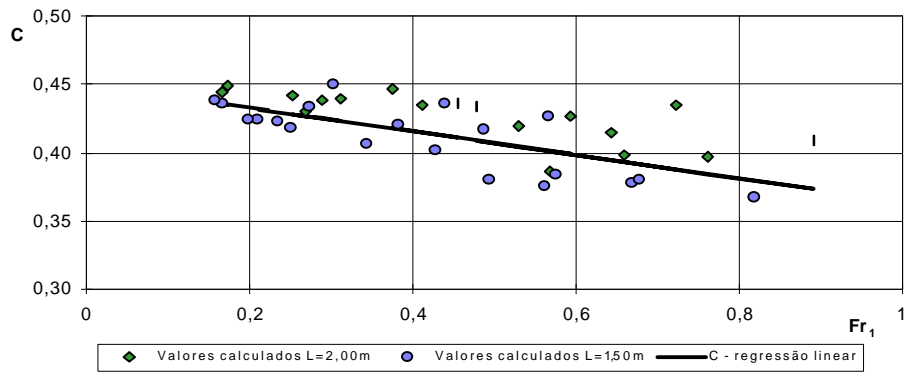


Figura 9 - Variação do coeficiente de vazão com Fr_1 . Curva obtida pelo método dos mínimos quadrados.

A recta de regressão, obtida pelo método dos mínimos quadrados, tem um coeficiente de correlação de 0,74 e desvio-padrão de 0,019 entre o coeficiente de vazão calculado através da regressão e o calculado com base nos resultados experimentais - Figura 9.

$$C = 0,45 - 0,086Fr_1 \quad (11)$$

O valor do coeficiente de correlação é relativamente baixo, o que leva a concluir que este parâmetro, não é suficiente para explicar a variação do coeficiente de vazão num descarregador lateral.

Analise-se agora a variação do coeficiente de vazão com o parâmetro $L/(V_1^2/2g)$ - Figura10

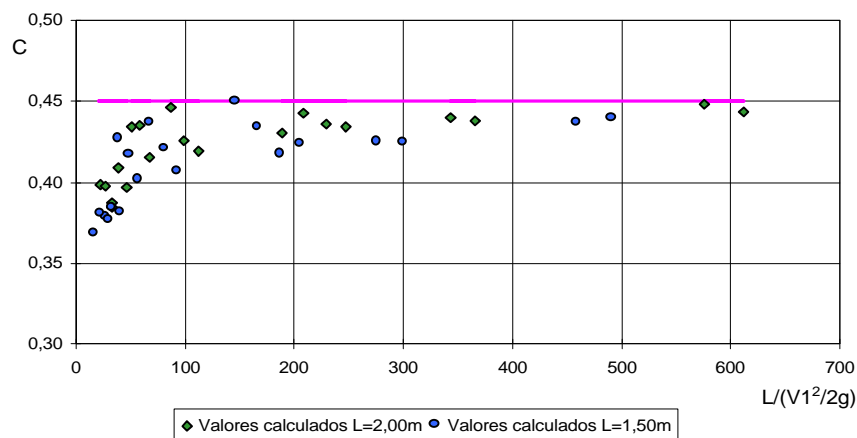


Figura 10- Variação do coeficiente de vazão com $L/(V_1^2/2g)$.

Os pontos representados na Figura 10 têm um andamento não linear tendo a particularidade de apresentarem uma tendência assintótica para um valor C_{max} , que se afigura próximo de 0,45.

O andamento apresentado pela função $C = C(L_{adim})$ é do tipo

$$C = a \frac{L_{adim}}{b + L_{adim}} \quad (12)$$

Os parâmetros a e b podem ser obtidos a partir de uma linearização da expressão (3.13) sob a forma

$$\frac{1}{C} = \frac{b}{a} \frac{1}{L_{adim}} + \frac{1}{a} \quad (13)$$

e aplicando o método dos mínimos quadrados. Assim, obteve-se a expressão (17) com um coeficiente de correlação de 0,84 e desvio-padrão de 0,023, para $1/C$, entre o coeficiente de vazão calculado através da regressão e o calculado com base nos resultados experimentais - Figura 11.

$$C = 0,44 \frac{L_{adim}}{3,78 + L_{adim}} \quad (14)$$

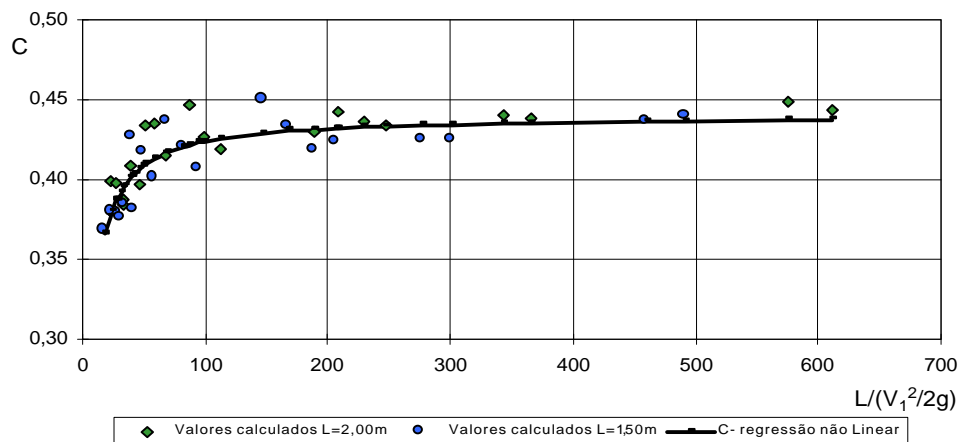


Figura 11 - Variação do coeficiente de vazão com $L/(V_1^2/2g)$. Curva obtida pelo método dos mínimos quadrados.

Na Figura 12 representa-se a variação do coeficiente de vazão, C , com a relação entre a altura do escoamento e a altura do descarregador lateral em relação à soleira do canal, h/p . O coeficiente de vazão diminui com o crescimento de h/p , de acordo com a expressão

$$C = 0,607 - 0,147 \frac{h}{p} \quad (15)$$

com um coeficiente de correlação de 0,76 e desvio-padrão de 0,026 entre o coeficiente de vazão calculado através da regressão e o calculado com base nos resultados experimentais.

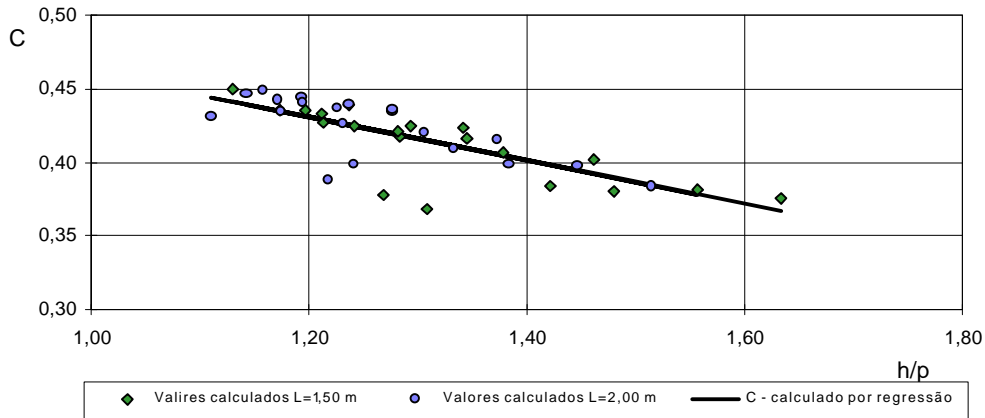


Figura 12 - Variação do coeficiente de vazão com h/p .

Da análise efectuada, verificou-se existir correlação apreciável entre o coeficiente de vazão e os três parâmetros adimensionais considerados. Optou-se então por estudar a influência conjunta desses três parâmetros. Para tal, efectuou-se uma análise de regressão linear múltipla, do tipo

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + \dots + a_mx_m \quad (16)$$

sendo y função dos parâmetros x_1, \dots, x_m e a_0, \dots, a_m os coeficientes da regressão.

No presente caso, tendo em consideração o exposto relativamente às análises de regressão linear simples efectuadas consideraram-se as seguintes variáveis

$$y = \frac{l}{C}, \quad x_1 = \frac{l}{Fr_1}, \quad x_2 = \frac{l}{L_{adim}} \quad e \quad x_3 = \frac{h}{p} \quad (17)$$

Obteve-se a seguinte expressão

$$\frac{l}{C} = 1,57 + 0,127 \frac{l}{Fr_1} + 7,45 \frac{l}{L_{adim}} + 0,52 \frac{h}{p} \quad (18)$$

com um desvio-padrão de 0,052 entre o coeficiente de vazão calculado através da regressão e o calculado com base nos resultados experimentais e um coeficiente de correlação de 0,93.

4.4- Análise da aplicabilidade das expressões do coeficiente de vazão

SILVA (1997) obteve experimentalmente valores para a altura do escoamento através dos quais foi possível calcular o coeficiente de vazão experimental e compará-lo com o coeficiente de vazão obtido utilizando as expressões que foram apresentadas na alínea 2.

De modo a permitir a comparação entre as expressões propostas pelos diferentes autores, indicam-se, no Quadro 1, as características principais dos descarregadores laterais utilizados na realização dos seus estudos, assim como os valores do número de Froude dos escoamentos ensaiados.

Quadro 1- Características geométricas dos descarregadores laterais utilizados por diferentes autores e gama de valores de Fr_1 dos escoamentos ensaiados.

Autor	Características geométricas do descarregador lateral			Fr_1
	p (m)	L (m)	Q_{min}/Q_{max} (l/s)	
SUBRAMANYA E AWASTY(1972)	0,00-0,51	0,10 a 0,15	*	0,02-0,80
RAJU <i>et al</i> (1979)	0,05-0,25	0,20 a 0,50	*	0,10-0,50
HAGER (1987)	0,00-0,20	1,00	*	0,30-0,80
SWAMEE (1988)	*	*	*	*
CHEONG (1991)	*	0,277 a 0,97	*	0,20-0,90
SINGH <i>et al</i> (1994)	0,06-0,12	0,10-0,20	10/14	0,20-0,40
SILVA (1996)	0,20	1,50 e 2,00	25/150	< 1,00

* não mencionado

Elaboraram-se gráficos representando o coeficiente de vazão experimental, obtido por SILVA (1997), em função dos coeficientes de vazão obtidos pelas expressões atrás referidas, Figura 13.

A análise dos gráficos, apresentados na página seguinte, suscita os seguintes comentários:

- os pequenos comprimentos do descarregador lateral utilizado por SUBRAMANYA e AWASTHY (1972) e por RAJU *et al* (1979) dificulta a aplicação dos resultados obtidos a descarregadores laterais com maiores dimensões; em descarregadores laterais com reduzido comprimento, os efeitos de fronteira existentes, da separação do escoamento, na secção de montante do descarregador, e a concentração do escoamento provocada pela parede do canal principal, na secção de jusante do descarregador lateral, tornam-se relativamente mais significativos;
- expressões como a de SWAMEE (1988), que apenas têm em consideração a variação das características geométricas no coeficiente de vazão, h/p , desprezando os efeitos da aproximação do escoamento, normalmente representados por, Fr_1 , não apresentam resultados satisfatórios;
- a expressão (7), apresentada por CHEONG (1991), foi desenvolvida para um canal trapezoidal; embora o autor considere o canal rectangular um caso particular do canal trapezoidal cuja declive dos taludes, m , é igual a zero, os resultados não são satisfatórios;
- a expressão (8), proposta por SINGH *et al* (1994), em que intervêm dois parâmetros que têm influência no coeficiente de vazão, h/p e Fr_1 , é a que fornece resultados mais correctos de entre as propostas pelos autores considerados no âmbito de SILVA (1997). A comparação dos resultados experimentais de SILVA (1997) com os obtidos pela referida expressão conduziu a um coeficiente de correlação igual a 0,90.

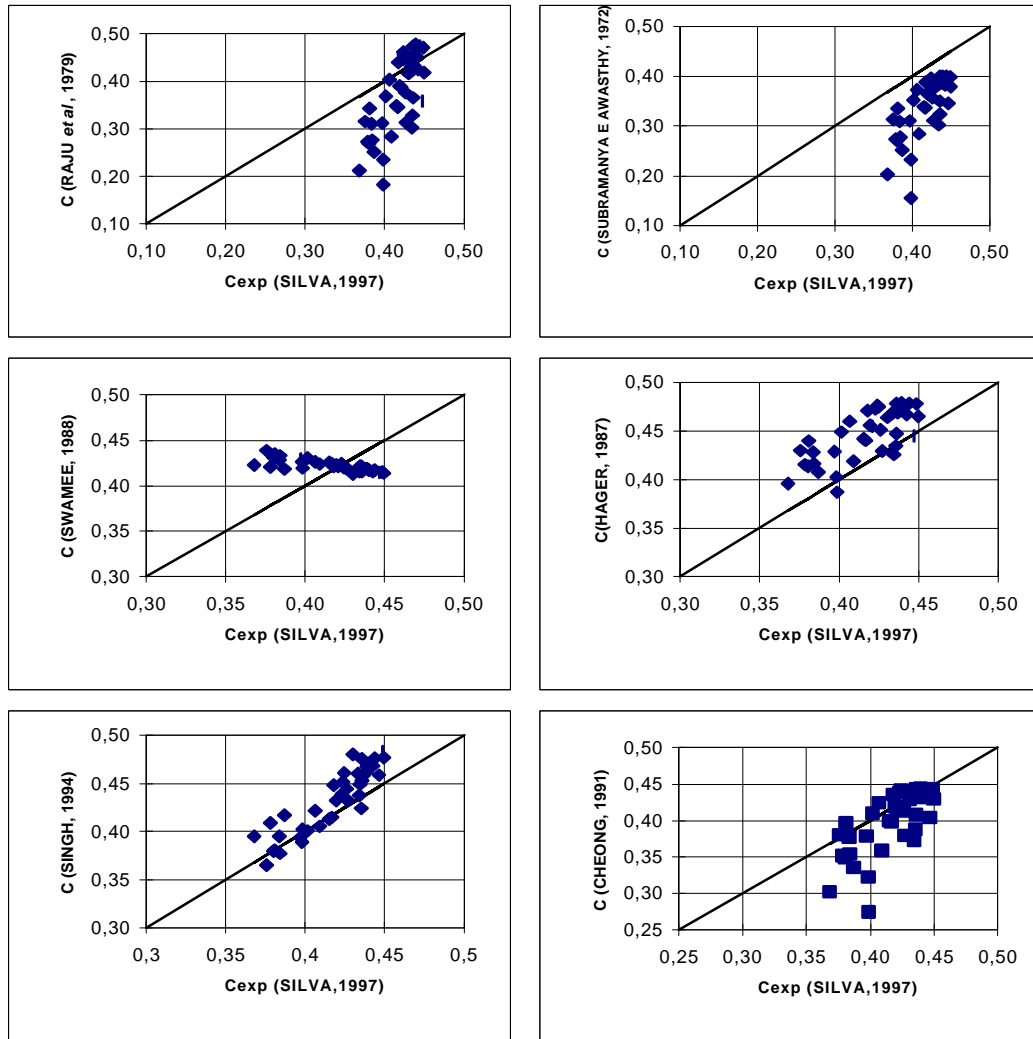


Figura 13 – Comparação entre valores do coeficiente de vazão em descarregadores laterais obtidos por diferentes autores e por SILVA (1997)

5- CONCLUSÕES

As expressões analisadas foram, na sua maioria, estabelecidas tendo por base resultados obtidos em instalações de reduzida dimensão (Quadro 1), o que poderá condicionar a aplicabilidade dessas expressões a canais com descarregadores laterais de maiores dimensões, em que os efeitos de fronteira têm importância relativa menor.

Afigura-se que, de entre as expressões analisadas, aquela com que se obtêm resultados mais correctos é a (8), proposta por SINGH *et al* (1994). Esta expressão, apesar de ter sido formulada com base em ensaios efectuados numa instalação experimental de dimensões reduzidas, como anteriormente referido, por nela intervirem dois parâmetros, h/p e Fr_1 , que influenciam o coeficiente de vazão, conduz a resultados muito satisfatórios.

Justificou-se, assim, a realização de um estudo que permitiu propor a expressão (21) para o cálculo do coeficiente de vazão em descarregadores laterais inseridos em canais rectangulares, na qual intervêm três parâmetros que se afiguram essenciais para calcular o coeficiente de vazão num descarregador lateral.

SIMBOLOGIA

E	- espessura da parede do descarregador;
G	- aceleração da gravidade;
H	- altura do escoamento;
h_1	- altura do escoamento na secção de montante do descarregador;
i	- declive do canal;
p	- altura do descarregador;
B	- largura do canal;
C	- coeficiente de vazão;
Fr_1	- número de Froude na secção de montante do descarregador;
K	- coeficiente empírico obtido em função de $(h_1-p)/e$ (Figura 1);
L	- comprimento do descarregador lateral;
L_{adim}	- comprimento adimensionalizado do descarregador lateral;
L_e	- comprimento efectivo do descarregador, RAJU <i>et al</i> (1979)
Q_L	- caudal descarregado lateralmente;
Q_1	- caudal na secção de montante do descarregador;

BIBLIOGRAFIA

CHEONG, H. - Discharge coefficient of lateral diversion from trapezoidal channel, *J. of Irrigation and Drainage Engineering*, ASCE, 117 (4), 1991, 461-475.

HAGER, W.H. - Lateral outflow of side weirs, *Proceedings ASCE, J. of Hydraulic Engineering*, vol. 113, HY4, 1987, 491-504.

SILVA, N.- I. - *Descarregadores laterais. Modelação física e matemática*. Tese submetida ao grau de Mestre, IST, Lisboa, 1997.

RAJU, R.K.G., PRASARD, B., e GUPTA, S.K. - Side rectangular channel, *J. of Hydraulic Engineering*, ASCE, 105(5), 1979, 547-554.

REHBOCK, T. - Discussion of "Precise measurements" by Turner, K.B., Translation, ASCE, 93, 1929, 1143-1162.

SINGH, R. MANIVANNAN, D. e SATYANARAYANA, T. - Discharge coefficient of rectangular side weirs. *J. of Irrigation and Drainage Engineering*, 1994, vol 120, no 4, 814-819.

SUBRAMANYA, K. e AWASTHY, S.C. - Spatially varied flow over side weirs, *J. of Hydraulic Engineering*, 1972, ASCE, 98(1), 1-10.

SWAMEE, P.K. - Generalized rectangular weir equations, *J. of Hydraulic Engineering*, ASCE, 1988, 114(8), 945-949.

SWAMEE, P.K., PATHAK, S.K. e ALI, M.S. - Side weir analysis using elementary discharge coefficient, *Proceeding. ASCE, J. of Irrigation and Drainage Division*, 1994, vol. 120, no. 4, 743-755.