

VÁLVULA CÔNICA CONVERGENTE COM VÓRTICE AXIAL

PAULO FERNANDO SOARES^a
PODALYRO AMARAL DE SOUZA^b

SOARES, P.F. & SOUZA, P.A. de. *Válvula cônica convergente com vórtice axial. Semina, v. 12, n. 4, p.205-213, dez. 1991.*

RESUMO

Este artigo trata do estudo de uma válvula que se insere na classe dos dispositivos fluídicos automáticos (pois opera automaticamente sem requerer a utilização de partes móveis ou energia auxiliar), e foi denominada Válvula Cônica Convergente com Vórtice Axial (VCC). O funcionamento da válvula é baseado na indução de uma circulação forçada, ou seja, é um amplificador de vórtice que pode controlar vazão, dissipar energia e aerar escoamentos. O estudo da válvula (SOARES, 1990) constituiu-se principalmente na elaboração de um modelo matemático e também de um modelo físico, construído no Centro Tecnológico de Hidráulica, para verificar a adequabilidade da modelação teórica.

PALAVRAS CHAVE: *Automação fluídica, Hidrociclones, Controles automáticos de vazão.*

1 - INTRODUÇÃO

A água sempre foi um elemento de primordial importância para a vida humana, e é útil ao homem se for adequadamente controlada, conduzida e contida. As obras hidráulicas são construídas pelo homem para conseguir esses objetivos.

Na prática, as soluções relativas a um projeto de obras hidráulicas se caracterizam em geral pela seleção de alternativas tradicionais, as quais, com base em experiências anteriores e observações em protótipos, têm demonstrado sua eficácia e segurança. A adoção desse critério se deve, em boa parte, à responsabilidade das pessoas que realizam grandes projetos hidráulicos e por isso preferem atuar com cautela. Todavia, isso tem limitado a visão do projetista hidráulico tradicional, pois comumente conta com alternativas de projeto que se encontram num intervalo estreito de soluções, o que conduz a um aproveitamento insatisfatório dos conhecimentos modernos de mecânica dos fluídos, uma vez que o projeto de obras hidráulicas tem se mantido dentro do tradicional.

É de conhecimento geral também, que a eficiência de um aproveitamento hidráulico depende em grande parte da responsabilidade dos operadores, assim como da disponibilidade de energia necessária para o funcionamento dos equipamentos de tal aproveitamento. Isto ocorre porque geralmente são necessários mecanismos para o controle da água, como por exemplo as comportas colocadas num

vertedor que são operadas manualmente ou mediante motores.

A possibilidade de contar com dispositivos cujo controle seja feito pela própria água, sem a necessidade da intervenção humana, origina a automação fluídica e nas obras hidráulicas, os dispositivos fluídicos automáticos oferecem muitas vantagens, entre outras, aumentam a eficiência de operação das mesmas, reduzem os gastos de manutenção e vigilância, e no caso de se tomar as medidas de segurança necessárias, aumentam a confiabilidade do trabalho do sistema hidráulico que estejam instalados, pois há um aproveitamento racional da energia hidráulica, de modo que a água se torna o elemento que executa várias funções específicas (controle, dissipação ou aeração) sem a necessidade de elementos mecânicos que dependam de energia externa.

A utilização de dispositivos fluídicos automáticos permite que a operação de uma obra hidráulica seja quase ou completamente, independente da responsabilidade de vigias, operários e de pessoal de manutenção, assim como há uma tendência de otimização na obtenção dos objetivos para os quais a obra foi planejada.

Neste trabalho é descrito e analisado um novo dispositivo (Ver figuras 01 e 02) para o controle de vazão, dissipação de energia e aeração de escoamentos. Esse novo dispositivo é denominado Válvula Cônica Convergente com Vórtice Axial (VCC) e consiste de dois troncos de cones justapostos, um interno e outro externo, nos quais o es-

a Departamento de Construção Civil — CTU/Universidade Estadual de Londrina, Caixa Postal 6001, CEP 86051-970, Londrina - Paraná - Brasil.
b Departamento de Hidráulica e Saneamento/Escola Politécnica da USP.

coamento ocorre entre etes de forma anular. Perpendicularmente ao eixo dos cones e tangencialmente à geratriz do cone externo é introduzido um tubo, e na posição diametralmente oposta e em sentido contrário, é introduzido outro tubo, paralelo ao primeiro, com objetivo de induzir uma circulação no escoamento e assim controlar a vazão, dissipar energia e aerar escoamentos a nível livre.

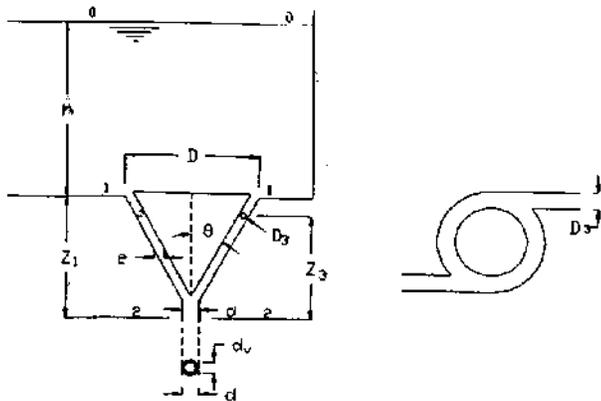


FIG. 1 - Representação das grandezas relevantes no escoamento da VCC

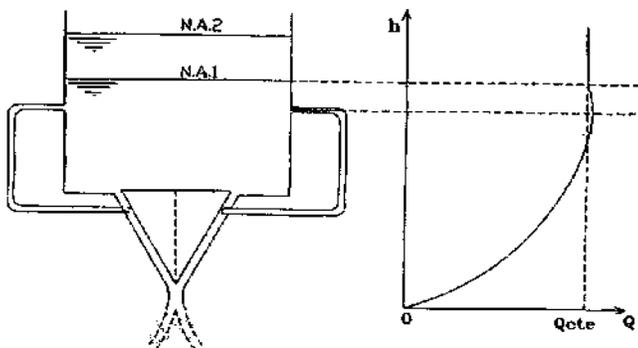


FIG. 2 — Esquema de instalação da VCC num canal, com respectiva curva de descarga

A VCC, pode ser utilizada em reservatórios para o controle de enchentes, em bacias de retenção, em sistemas de águas pluviais, de esgotos sanitários, de tratamento de águas residuárias, na dissipação de energia a jusante de barragens e no controle de vazão em canais de irrigação.

2 TRATAMENTO TEÓRICO

Aplicando-se as equações da conservação de massa, conservação de potência e conservação do momento da quantidade de movimento, corri as seguintes hipóteses: líquido incompressível; escoamento permanente; tensão de cisalhamento nula nas paredes da válvula e momento da quantidade de movimento constante; chega-se à equação (SOARES, 1990) que relaciona o coeficiente de vazão "Cq", com o coeficiente de contração "Cc" da VCC, onde "F" é um fator que depende somente da geometria da peça.

$$C_q = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{C_c^2} + \frac{4 F^2 K_3^4}{[1 + \sqrt{1 - C_c}]^2}}} \quad \dots \text{c 01}$$

$$F = \frac{\pi d D_3}{4 A_3} \quad \dots \text{c 02}$$

onde: d é o diâmetro do bocal de saída da vazão total, Q₂; D₃ e A₃ são, respectivamente, o diâmetro e a área da seção transversal do tubo de alimentação da vazão de controle Q₃;

K₃ é a relação entre as vazões Q₃ e Q₂;

Q₂ é a vazão no bocal de saída da válvula;

Q₃ é a vazão de controle;

Cq é a relação entre as vazões real e teórica;

Cc é a relação entre a área efetiva de escoamento e a área do bocal de saída da válvula.

Segundo G. Abramóvich (NEKRASOV, 1965), "O vórtice é estável quando sua dimensão assegura a vazão máxima com dada carga", ou em outras palavras; quando se estabelece tal regime, para obter a vazão máxima, a pressão é mínima.

Pesquisando-se qual é o valor máximo do coeficiente de vazão, obtêm-se as equações para o coeficiente de vazão máximo "Cq_{máx}", coeficiente de contração "Cc" e vazão total "Q₂", (SOARES, 1990).

$$C_{q\text{máx}} = \frac{1}{\sqrt{\frac{2[1 + \sqrt{1 - C_c}]}{C_c^3} - \frac{1}{C_c^2}}} \quad \dots \text{c 03}$$

$$C_c = \sqrt[3]{\frac{2 \sqrt{1 - C_c} [1 + \sqrt{1 - C_c}]^3}{F^2 4 K_3^4}} \quad \dots \text{c 04}$$

E a equação da vazão Q₂ em função de Cq máximo será:

$$Q_2 = \sqrt{\frac{\left[K_1 + K_3 \frac{H_3}{H_1} - \Delta \frac{H}{H_1} \right]}{\left[\frac{2 [1 + \sqrt{1 - C_c}]}{C_c^3} - \frac{1}{C_c^2} \right]} \frac{\pi d^2}{4} \sqrt{2 g H_1}} \quad \dots$$

onde: K₁ é a relação entre a vazão de entrada Q₁ e a vazão total Q₂;

H₁ é a carga total na seção i (figura 01);

ΔH é a perda de carga na VCC.

3 - ESTUDO EXPERIMENTAL

Realizou-se um estudo experimental, visando verificar a coerência entre os resultados experimentais e analíticos.

O estudo constituiu-se de duas fases, uma para avaliar as características da VCC sem a introdução da vazão de controle, Q3, e outra com a vazão de controle.

As representações gráficas dos resultados experimen-

tais da primeira fase $Cq \times Re$ e $Ko-2 \times Re$, para sete diferentes aberturas "e" encontram-se nas figuras 03 e 04, onde Re é o número de Reynolds e $Ko-2$ é o coeficiente de perda de carga localizada.

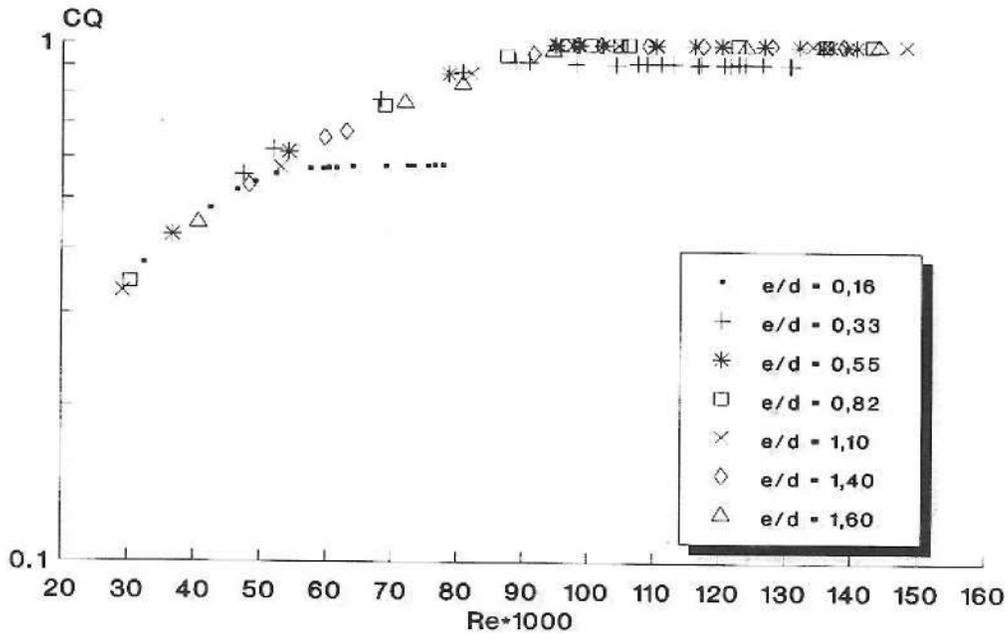


FIGURA 03 - Relação entre "CQ" e "Re"

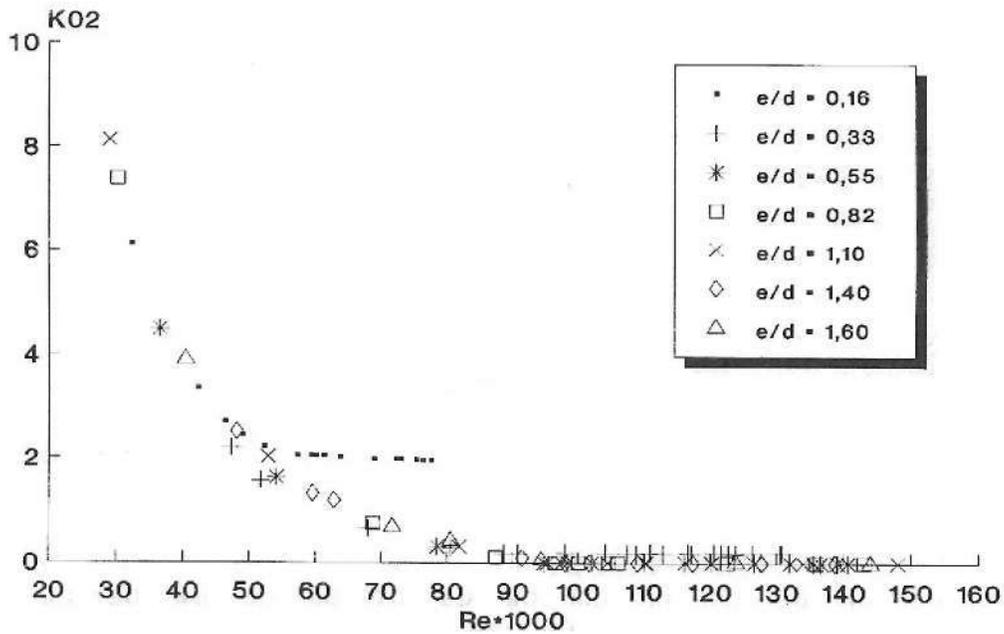


FIGURA 04 - Relação entre "KO-2" e "Re"

Para a segunda fase foram ensaiadas as aberturas "e", iguais a 0,6; 0,9; 1,2; 1,6; 2,0; 3,0 e 4,0cm.

O coeficiente de contração foi obtido através de medida direta do diâmetro do núcleo de ar, com uma ponta ligada a um circuito eletrônico e paquímetro. A extremidade da ponta que tocava a superfície interna do escoamento, no núcleo de ar, correspondeu a um dos terminais do circuito eletrônico, destinado a melhorar a precisão do ajuste da ponta à superfície livre pois esta superfície apresentava-se com ondulações superficiais não estacionárias, como ocorre em escoamento torrencial. O outro terminal do circuito ficava permanentemente mergulhado na água. A resposta do circuito, lida como corrente registrada por um miliamperímetro, é proporcional à porcentagem de tempo em que a água esteve em contato com a ponta. Com o circuito eletrônico obtinha-se a indicação de que a ponta estava em contato com a água 50% do tempo de contato.

Considerando que a forma de obtenção do coeficiente de contração real pode levar a erros de até 12% e que o coeficiente de vazão máxima real ajustou-se com ótima precisão aos valores teóricos, pode-se a partir da equação teórica que liga estes coeficientes, obter um valor do coeficiente de contração médio, C_c em função do coeficiente de vazão máxima real, C_{qmr} . Desta forma, além das curvas $C_c \times K_3$ e $C_q \times K_3$, há a curva de $C_c \times K_3$, obtida através da expressão:

$$C_c = \sqrt[3]{\frac{2[1 + \sqrt{1 - C_c}]}{\left[\frac{1}{C_{qmr}^2} + \frac{1}{C_c^2}\right]}}$$

As comparações entre os valores do coeficiente de contração " C_c ", coeficiente de vazão máxima " C_q máx" e coeficiente de contração médio " C_c ", com suas respectivas curvas teóricas encontram-se nas figuras 05, 06 e 07.

Comparação entre resultados experimentais e analíticos.

a) Primeira Fase

A primeira série de ensaios consistiu-se no estabelecimento das curvas $C_q \times Re$ e $K_0 - 2xRe$, sem alimentação tangencial.

Da figura 03 observa-se que o número de Reynolds, sendo inversamente proporcional à viscosidade, indica que quanto maior for o seu valor numérico, menor será a influência da viscosidade. A variação de Re no ensaio foi de 30.000 a 150.000.

Analisando-se a figura 03 observa-se que o coeficiente de vazão, C_q , aumenta com o aumento do número de Reynolds, o que traduz a diminuição das perdas de carga devido à viscosidade, sendo que esta não mais influencia a partir de $Re = 55.000$ para $(e/d) = 0,16$ e a partir de $Re = 95.000$ para as demais relações de abertura.

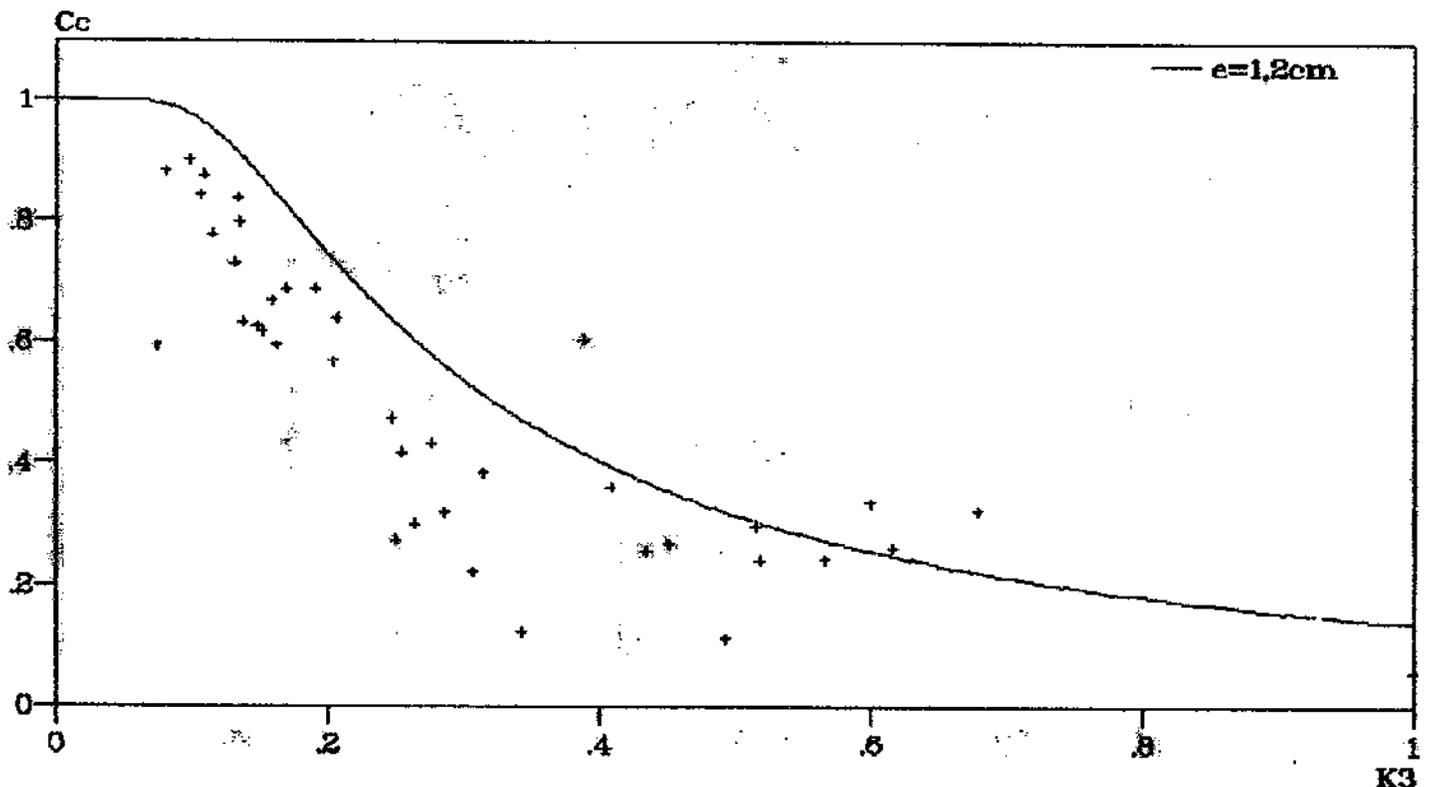


FIGURA 05 – Comparação entre os valores do coeficiente de contração obtidos experimentalmente e sua curva teórica (e = 1,2cm)

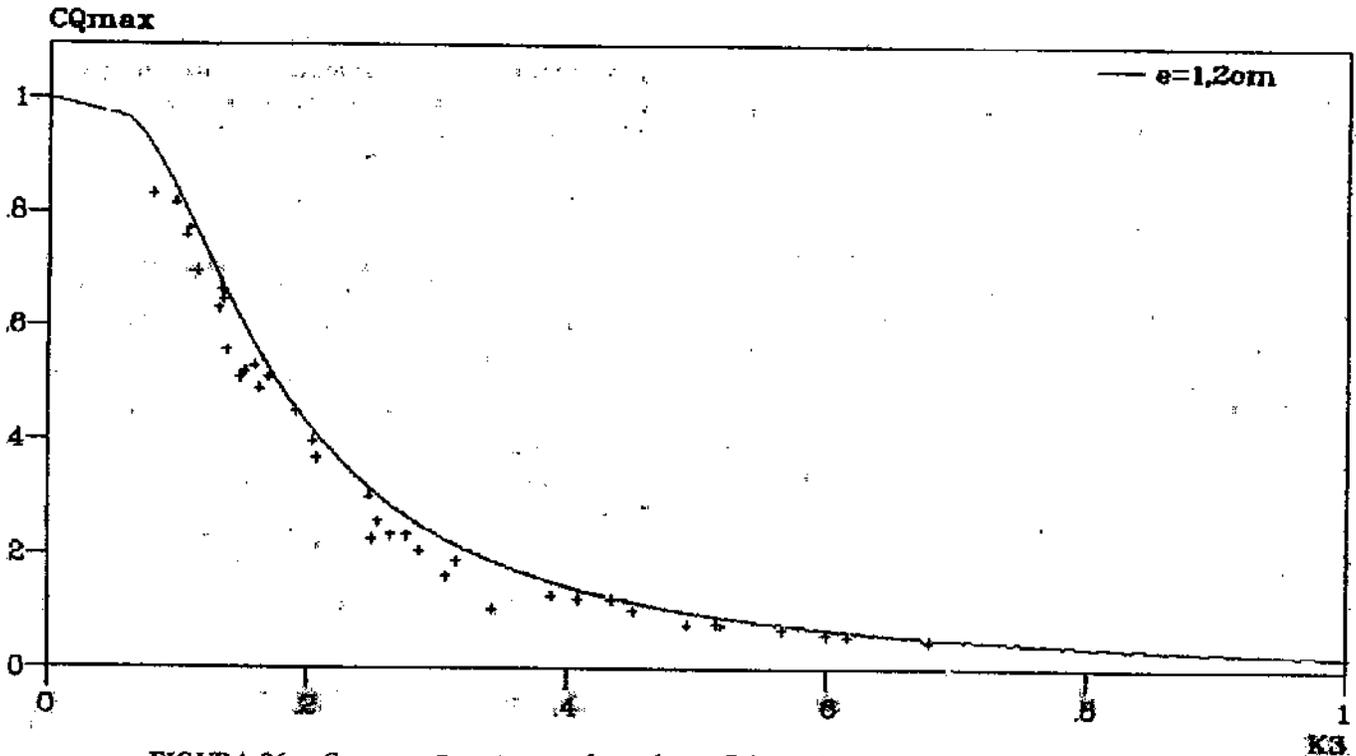


FIGURA 06 – Comparação entre os valores do coeficiente de vazão máxima obtidos experimentalmente, e sua curva teórica ($e = 1,2\text{cm}$)

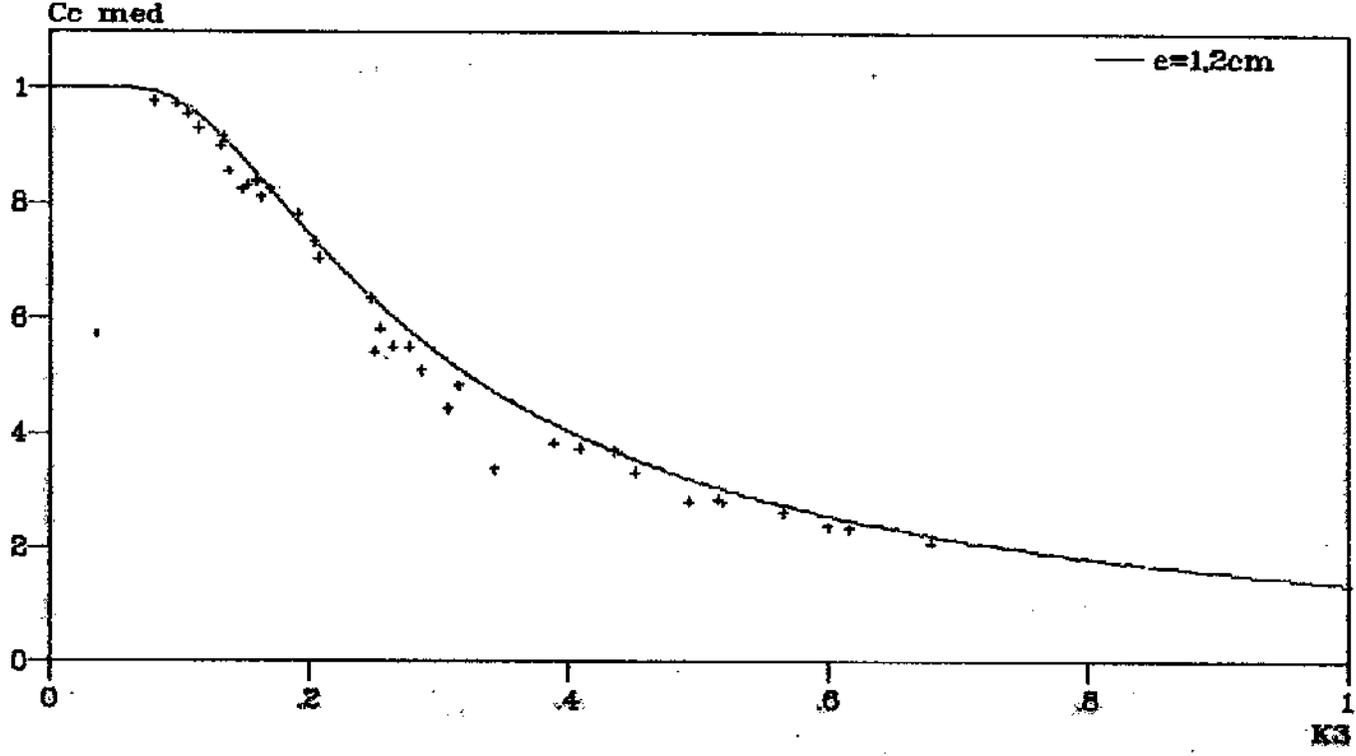


FIGURA 07 – Comparação entre os valores do coeficiente de contração médio, obtidos em função de CQ_{max} , com a curva teórica do coeficiente de contração ($e = 1,2\text{cm}$)

Para a abertura ($e/d > 0,16$) o coeficiente de contração, C_e , é sempre menor que 1 (um) para a variação do nível d'água ensaiado.

Para as aberturas maiores que ($e/d = 0,33$) o coeficiente de contração é menor que 1 (um) até o nível d'água de 6,0cm ca.

Da figura 04 observa-se que para relações de abertura (e/d) maiores que 0,55 e para Reynolds maior que 95.000, a perda de energia é desprezível na válvula.

Segundo RABINÓVICH (1987), as equações estabelecidas para o escoamento em orifícios são válidas quando o número de Froude, $Fr^2 = (v^2/gL) = (2H/d)$, for maior que 10 e o número de Weber for maior que 200, $We F (r v^2 L / s)$ ou seja, quando as forças de gravidade e de tensão superficial se manifestam num grau insignificante, o que em geral acontece na prática.

Nos ensaios obteve-se $We(\min.)(L = d) = 2848$, onde L é o comprimento característico, $eWe(\min.)(L = e) = 798$ para todas as relações (e/d). Sendo $L = d$, para todas as relações (e/d), $Fr^2 > 10$ para $H1 > 0,1824m$ e com $L = e$, $Fr^2 > 10$ para $H1 > 0,03m$.

b) Segunda Fase

Dos gráficos que relacionam o coeficiente de contração, C_c com o coeficiente que relaciona a vazão de controle de obtenção de C_c para a abertura $e = 4cm$ os resultados tiveram a melhor aderência à curva teórica, isto se deve a que o jato sai mais uniforme e não oscila horizontalmente e portanto não comprometendo a medida do núcleo de ar e conseqüentemente C_c

Para a relação entre o coeficiente de vazão máxima, C_{qmax} , e o coeficiente K_3 , observa-se que mesmo tendo-

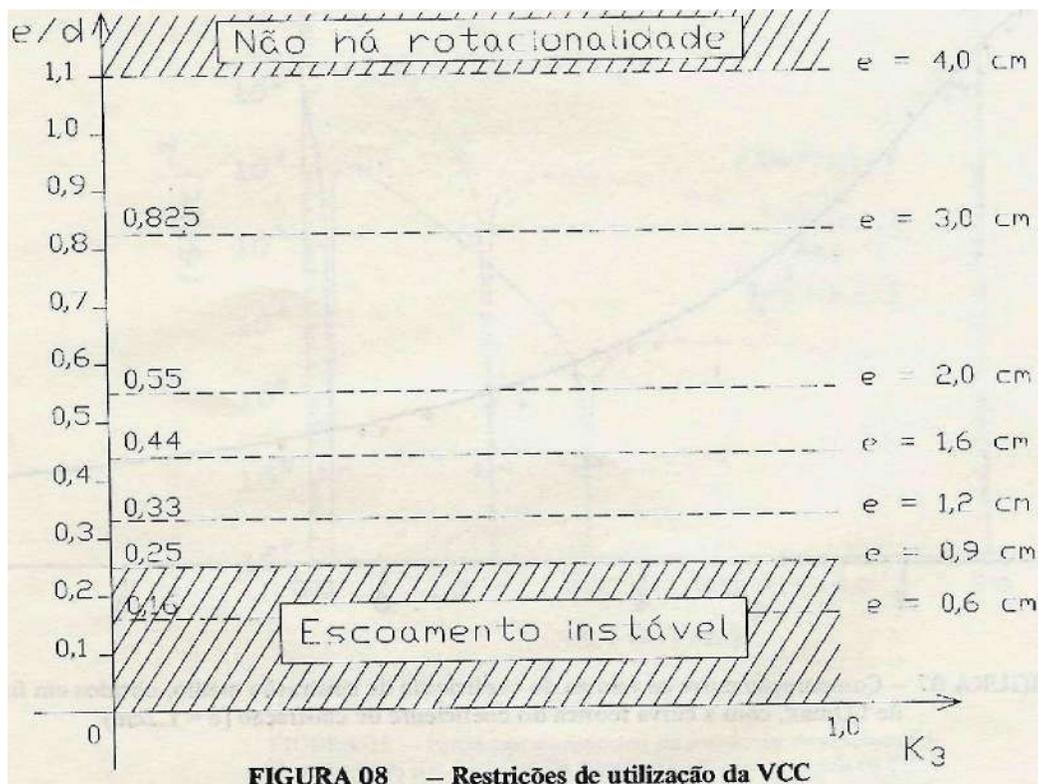
se um erro na avaliação do coeficiente de contração, seu efeito é dissipado e obtém-se uma boa aderência para todas as relações de abertura estudadas, notadamente para a abertura $e = 1,2cm$, abertura esta que é próxima do valor do diâmetro interno do tubo da vazão de controle, d_3 , que é igual a 1,3 cm.

A partir de aberturas, "e", maiores que 4.1cm é impossível introduzir rotacionalidade no fluxo, mesmo com vazão de alimentação superior nula e vazão de controle máxima, este fato limitou superiormente os ensaios.

Observaram-se nos ensaios dois tipos distintos de oscilação: em ciclos e a intermitente.

O funcionamento em ciclos ocorre quando a vazão de controle, Q_3 , é repartida igualmente, e se dá da seguinte forma: ao iniciar a oscilação o N.A. do canal de alimentação sobe, pois há um aumento da perda de carga na câmara da válvula, a oscilação decresce com o aumento do N.A. até um ponto em que esta oscilação termina e então o N.A. começa a descer. Quando o N.A. chega a um mínimo, inicia-se novamente o ciclo, pois o desbalanceamento nas vazões devido à geometria da peça é preponderante sobre a vazão de alimentação superior.

Este problema ocorre porque para pequenas aberturas "e" ($e/d < 0.33$), qualquer fato que comprometa a simetria entre os cones pode provocar entre eles zonas de aceleração e desaceleração do escoamento e isso gera as pulsações. Também acontece, mais freqüentemente, para valores de "e" menores que o diâmetro dos jatos de controle, d_3 , pois nesse caso ocorrem zonas de aceleração próximo aos jatos e zonas de desaceleração entre os tubos de saída da vazão de controle, Q_3 . Isto origina o gráfico de utilização da VCC (Figura 08).



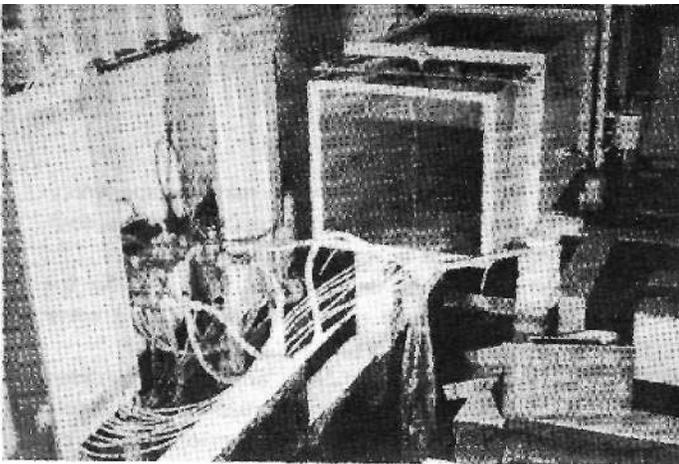
O funcionamento intermitente ocorre quando a vazão de controle, Q_3 , entra desigualmente na câmara da VCC, e a pulsação ocorre porque o jato com menor velocidade (jato oposto) recebe um impulso que faz sua velocidade aumentar e isso origina as oscilações que ocorrem continuamente.

A pulsação intermitente só é possível para aberturas, e , menores que 2.0cm ($e/d < 0.55$).

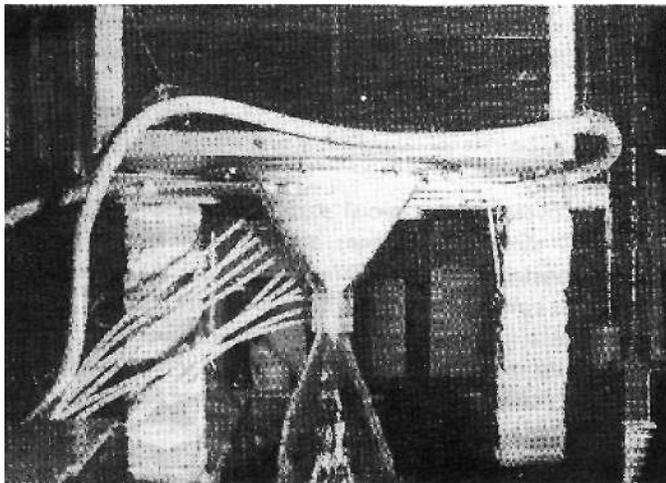
Para todas as aberturas, "e", pode ocorrer também a translação do jato, ou seja a variação do jato na horizontal.

Pesquisou-se também a possibilidade da ocorrência da instabilidade pela passagem do funcionamento pelo ponto de inflexão da curva $Cc \times K_3$, para isto procurou-se determinar o ponto de inflexão do coeficiente de contração $[Cc = \varphi (F , K_3)]$. Analisando-se os dados obtidos desta determinação observou-se que não há nenhuma relação da instabilidade do escoamento, pela passagem do funcionamento da VCC pelo ponto de inflexão da curva $Cc \times K_3$.

A vista geral do modelo experimental, e a VCC em funcionamento, são mostradas através das fotografias 1 e 2, respectivamente.



FOTOGRAFIA 1 - VISTA GERAL DO MODELO EXPERIMENTAL



FOTOGRAFIA 2 - DETALHE DA VCC EM FUNCIONAMENTO

4 - APLICAÇÕES POSSÍVEIS

Controle de Vazão

a) Irrigação

A irrigação é o fornecimento artificial de água para plantações em quantidade e qualidade adequada e no momento certo, com a finalidade de aumentar ou melhorar a produção.

A importância do controle adequado da água para a irrigação pode ser exemplificado pelo fato de que hoje, no Estado de São Paulo, a irrigação utiliza em média 25% de toda a água consumida no estado. Nos próximos 25 anos este percentual deve aumentar e poderá chegar a 60%, segundo o Grupo Técnico de irrigação do DAEE (D'ALK-MINTELLES, 1989).

Deve ser observado que a utilização da VCC na irrigação superficial tem a desvantagem da perda de cota, e isso pode inviabilizar sua aplicação nesse tipo de irrigação, mas pode-se colocar o controlador em situação à montante de modo que não comprometa a perda de cota.

b) Reservatório de Controle de Cheias

Como consequência do desmatamento e da ocupação indiscriminada das várzeas dos rios tem crescido o número de casos de inundações. Para reverter este processo, além da fiscalização e da conscientização da população e das autoridades, uma das medidas que pode ser tomada é a construção de reservatórios de controle de cheias.

A capacidade desses reservatórios é sempre limitada por condições topográficas, geológicas, econômicas e ambientais, e em consequência o efeito do amortecimento da onda de cheia é também limitado. Por isso, quando se aperfeiçoam dispositivos controladores de vazão, apesar do limitado espaço do reservatório para o armazenamento da onda de cheia, condições mais favoráveis de controle podem ser encontradas.

Como há uma rápida alteração do nível d'água e da vazão, com a passagem da onda de cheia, se o mecanismo de controle funcionar automaticamente, isto oferecerá maior confiabilidade e eficiência que a operação de controle manual, além do que diminuirá o risco de uma cheia atingir comunidades à jusante.

Bacias de Retenção em Sistemas de Águas Pluviais

Com a finalidade de obter um dimensionamento econômico para a rede coletora de águas pluviais e onde permitir a topografia, bacias de retenção, com dispositivos controladores de vazão, podem ser utilizados a fim de se reduzir o pico de vazão no sistema coletor. Tais bacias são altamente viáveis onde uma parte substancial da bacia de drenagem esteja a montante da área urbanizada a ser servida pelo sistema coletor de águas pluviais, e onde a topografia e o uso territorial permitem a retenção relativamente barata de águas em represamento antes de sua coleta pela rede.

Bacias de Retenção em Sistemas de Esgotos Sanitários e Tratamento de Águas Residuárias

Considerando-se um Sistema de Esgoto Unitário, em que o esgoto doméstico e as águas pluviais são coletados na mesma rede, há a necessidade, por questões de dimensionamento, de limitar a vazão máxima aceitável num período chuvoso, ou também a necessidade de limitar a vazão de uma rede de esgotos secundária para evitar a sobrecarga num determinado interceptor. Nesses casos o uso da bacia de retenção combinada com um dispositivo controlador da vazão é indispensável.

As bacias de retenção podem ser utilizadas também como recurso para eliminar areia ou qualquer outro material abrasivo que poderia de outra forma, penetrar e depositar-se nos coletores, se bem que possuem aspectos objetáveis que incluem a necessidade de limpeza freqüente e a presença de odores desagradáveis.

Considerando o tratamento de águas residuárias, a bacia de retenção associada a um dispositivo controlador de vazão que produza escoamento em vórtice pode ser útil porque a estação de tratamento com a vazão de chegada constante, possibilitará o dimensionamento mais econômico de suas partes pois evitará, por exemplo, alturas livres e seus equipamentos funcionarão em uma determinada faixa especificada e também, a aeração proveniente do vórtice, aumentará o poder de autodepuração dessas águas.

Dissipação de Energia

a) A Jusante de Barragens

Com a utilização de dispositivos controladores automáticos de vazão com escoamento em vórtice, fica solucionado o problema da construção de bacias de dissipação a jusante de reservatórios de controle de cheias e de bacias de retenção, pois o processo de dissipação de energia, que está concentrado no vórtice forçado, se dá no próprio dispositivo. Esse fato, torna as estruturas acima citadas, mais econômicas e compactas.

Pode-se quantificar o desempenho da VCC na dissipação de energia do seguinte modo:

$$\frac{\Delta H}{H_1} = \frac{K_{0-2} \frac{V_2^2}{2g}}{\left[K_{0-2} \frac{V_2^2}{2g} + \frac{V_2^2}{2g} \right]}$$

$$\frac{\Delta H}{H_1} = 1 - C_q^2$$

Tomando-se um valor típico de funcionamento da VCC: $K_3 = 0,304$ e $C_q = 0,229$, a eficiência da dissipação da VCC será aproximadamente 95%.

b) em Sistemas de Esgotos

Freqüentemente, é necessário verter as águas residuárias de redes de esgotos que escoam a pequena profundidade, para coletores maiores ou interceptores que se encontram em cotas mais baixas. A vazão se transfere, geralmente, através de algum tipo de poço de queda vertical. Como o fluido no poço de queda possui uma quantidade apreciável de energia cinética, deve-se incluir no projeto destes,

alguma forma de dissipação de energia para se evitar condições excessivamente turbulentas na entrada do coletor que recebe afluxo deste poço. Com este objetivo, pode-se utilizar um regulador de vazão do tipo que produz escoamento em vórtice.

Aeração

Em sistemas de tratamento de água potável, na mistura de flocculantes; em sistemas de tratamento de águas residuárias, para aumentar a eficiência das bactérias aeróbicas, e na autodepuração dos rios, podem ser utilizados dispositivos que possuem escoamento em vórtice, para aerar o escoamento.

Paisagismo

Com fins ornamentais, em praças públicas ou em edifícios públicos, industriais ou residenciais, pode ser instalado dispositivos de controle de vazão com escoamento em vórtice para obtenção de um escoamento em forma de parábola de revolução. Combinando-se dois ou mais dispositivos, efeitos mais interessantes podem ser obtidos.

Para o caso de edifício residencial ou público, pode ser sugerido o desvio da água pluvial para uma única canalleta que possua em sua extremidade um destes dispositivos; assim a precipitação pluviométrica trará consigo, para a fachada do edifício, um belo espetáculo visual.

5 - CONCLUSÕES

Com base na análise teórica e no estudo experimental desenvolvido sobre a Válvula Cônica Convergente com Vórtice Axial, destacam-se as seguintes conclusões:

a) A melhor relação de abertura (e/d) obtida foi 0,33 (e = 1,2cm), portanto é recomendável que se projete a VCC com esta relação de abertura.

b) A boa aderência verificada entre os resultados experimentais e analíticos permite considerar confiáveis as equações desenvolvidas para o dimensionamento da VCC, bem como da previsão do seu comportamento em operação.

c) O projeto, construção e a utilização da VCC para diferentes valores de F deve ficar restrito aos critérios obtidos no trabalho experimental e à semelhança dinâmica do escoamento.

d) O erro relativo médio do coeficiente de vazão máxima para o ensaio da abertura e = 1,2cm ficou em torno de 7,15%.

e) O investimento inicial para construção e instalação da VCC são insignificantes quando comparados com o custo de construção, instalação e manutenção de qualquer dispositivo de controle mecânico com peças móveis,

f) O canal de alimentação deve possuir uma tela para a obstrução do material flutuante e isso gera uma manutenção mínima, porém simples. Não há problemas de sedimentação de material em suspensão dentro da válvula, porque as velocidades são elevadas.

g) A hipótese de que o momento da quantidade de movimento mantém-se, ao longo da válvula, é bastante forte.

h) o princípio nunciado por Abrámovich (NEKRASOV, 1965), de que o coeficiente de vazão é máximo, mostrou-se consistente.

i) A VCC mostrou-se como um eficiente mecanismo de dissipação de energia. Para $K_3 = 0,304$, $C_q = 0,229$, a eficiência de dissipação é 95%.

j) Como este trabalho trata de uma pesquisa básica, não foi realizado um estudo de aplicabilidade dos casos abordados anteriormente, mas sugere-se que um estudo posterior aborde a questão econômica da aplicabilidade da VCC, considerando-se os custos de construção e de manutenção.

SOARES, P.F. & SOUZA, P.A. de. Conical convergent valve with axial vortex. *Semina*, v. 12, n. 4, p.205-213, Dec. 1991.

ABSTRACT

This paper is about the study of the valve belonging to the fluidic device category (because it works automatically without moving parts or additional energy), denominated Convergent Conical Valve with Axial Vortex. Functionally the valve is based on the induction of a forced circulation employing a vortex amplifier that can control the flow, energy dissipation and aerates the flow. The study of the valve (SOARES, 1990) consists mainly of the elaboration of mathematical model and also a scale model that was built at the "Centro Tecnológico de Hidráulica", to check if the theoretical model predicts the observed behavior correctly.

KEY-WORDS: *Fluidics, Hydrocyclones, Automatic controls.*

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 – D'ALKMIN TELLES, D. A importância da irrigação. *Boletim Informativo DAEE: Recursos Hídricos*, São Paulo, n. 5, mai., 1989.
- 2 – NEKRASOV, B. *Hidráulica*. Moscou: Ed. Mir, 1966. 276p.
- 3 – RABINÓVICH, E.Z. *Hidráulica*. Moscou: Ed. Mir, 1987. 317p.
- 4 – SOARES, P.F. *Válvula cônica convergente com vórtice axial*. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1990. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de São Paulo – São Paulo, 1990. 108p.

Recebido para publicação em 2/6/1992