

## AVALIAÇÃO DE UM VENTURI FUNCIONANDO COM ÁGUA COMO FLUIDO MOTRIZ E O AR COMO FLUIDO SUCCIONADO, COM DESCARGA SUBMERSA

• José Crispiniano Feitosa Filho

DSER/CCA/UFPB, Areia-PB; (083) 362.2300, Ramal 30. Fax: (083) 362-2259

José Francismar de Medeiros

ESAM, Mossoró-RN;

Tarlei Arriel Botrel

DER/ESALQ/USP, Piracicaba-SP.

• José Maria Pinto

EMBRAPA/CPATSA, Petrolina-PE

### 1 RESUMO

A piscicultura explorada conjuntamente com a avicultura, suinocultura e até mesmo com a orizicultura irrigada por inundação, teve grande avanço nas últimas décadas. A água utilizada nesta atividade deve conter níveis de oxigênio dissolvidos compatíveis com as exigências de cada espécie de peixe. A oxigenação nos reservatórios dá-se naturalmente pela ação do vento porém, quando isto não é suficiente, há necessidade de estruturas artificiais.

Visando avaliar o desempenho de injetores Venturi trabalhando com a água como fluido motriz e o ar como fluido succionado sob condições de descarga submersa, instalou-se um experimento no Laboratório de Hidráulica da ESALQ-USP, constituído por uma unidade tipo "Irrigação por Gotejamento", composta por quatro linhas em PVC de 20 mm que foram submersas à 0,30 m. Em cada linha perfurou-se onze orifícios de 2 mm e, espaçados de 1,0 m. Acoplou-se um injetor Venturi com diâmetro de entrada de 20 mm e diâmetro do bocal na câmara de mistura de 7,1 mm, com diâmetro da tubulação de sucção de 16,1 mm com abertura livre à atmosfera. Trabalhou-se com as pressões de serviços de 49 até 270 kPa, com incremento de 24,5 kPa.

Avaliou-se vazões succionadas de ar e percentagem de ar incorporada na água, perdas de carga e rendimentos para cada pressão de serviço. Definiu-se equações representativas entre estas variáveis e diferenças de pressões entre pontos a montante e jusante do injetor. A maior vazão de ar succionada foi de 0,097 l/s (18,6% da vazão motriz) e o rendimento médio foi de 7,25 %, com limites variando entre 5,72 e 9,58 %. O injetor foi mais eficiente para a maior pressão de serviço estudada (269,7 kPa), onde se

teve maior rendimento e percentagem de ar incorporada a água, com desempenho satisfatório neste tipo de operação.

**UNITERMOS:** Aeração; Injetor Venturi, Piscicultura

**FEITOSA FILHO, J. C.; MEDEIROS, J. F de. BOTREL, T.A.; & PINTO, J . M**  
Performance of type Venturi injector using in water aeration.

## 2 ABSTRACT

This study was conducted of the Hydraulic Laboratory of University of São Paulo, Piracicaba, Brazil, to determine the performance of injector type Venturi connected in irrigation pipe lines to inject air into the body water for the distribution of oxygen. The injectors were tested by supply pressure of 49 to 270 kPa, with increment of 24.5 kPa. It was studied variables as: injector head losses; injector discharge suction of air in ten operatin pressure and variables flows rates. The major efficiency obtained was 9.58 %. The obtained results permit to establish clarifying tecnical knowledge about the performance on such devices and making possible an appropiate choice to their different applications.

**KEYWORD:** Aeration, Injector Venturi, Aquaculture.

## 3 INTRODUÇÃO

A quantidade de oxigênio dissolvido na água é um dos principais fatores que influem na piscicultura. O consumo de oxigênio da água pela respiração dos peixes, depende das espécies cultivadas, do tamanho, idade e de alguns fatores físicos como da temperatura ambiente. Boyd (1982). Algumas espécies de peixe reproduzem-se rapidamente e, além de consumir mais oxigênio, os resíduos de alimentos depositados no

fundo do reservatório decompõem-se; utilizando neste processo, também, certa quantidade deste elemento.

Nomura (1983) cita que o oxigênio dissolvido na água provém da atmosfera e das atividades fotossintéticas das plantas clorofílicas, onde sua incorporação natural na água, dá-se devido aos processos mecânicos condicionado pelo vento, mudanças de temperatura da água e por meio da movimentação natural da água. O autor comenta que muitas vezes os métodos naturais não são suficientes para manter níveis adequados de oxigenação, necessitando de estruturas e equipamentos artificiais para facilitar o contato deste elemento com a água. Nos processos artificiais, geralmente utilizam-se de queda d'água ou equipamentos para condicionar maior agitação da água e também compressores. Zarueta et al. (1995) citam outras técnicas utilizando bombas compressoras acopladas a motores elétricos ou sistemas constituidos por rodas giratórias dotadas de palhetas para facilitar uma agitação da água e melhorar o contato com o ar.

Winkler (1981), referindo-se aos métodos utilizados para tratamento de água resíduárias, vê a possibilidade do uso de bombas à vacíos (Jet Pumps), que por ser equipamentos de fácil funcionamento e de preços geralmente reduzidos, há boas perspectivas de uso.

Zarueta et al. (1995) testaram sistemas constituidos de tubos utilizados na irrigação por gotejamento acoplados a um compressor para introduzir o oxigênio na água e avaliaram as perdas de carga e definiram equações para definir este parâmetro. O sistema utilizado foi constituído por cinco tubulações de 3,0 m de comprimento e espaçadas de 6 m, submersas a uma profundidade de 2,5 m.

Sendo injetor tipo Venturi, um instrumento que pode funcionar como bomba de vácuo (Jet Pump), acredita-se que com adaptações, possa ser empregado neste tipo de trabalho de aeração de reservatórios para criação de peixes ou tratamentos de água resíduárias. Oliveira (1993) E Botrel et al. (1996), avaliaram diferentes injetores Venturi funcionando com água como fluido motriz e o ar como fluido succionado e concluíram possibilidades de uso deste equipamento para este tipo de trabalho.

Diante destes aspectos, este trabalho teve como objetivos:

- avaliar o desempenho de injetores tipo Venturi, trabalhando com a água como fluido motriz e o ar como fluido succionado acoplado à um sistema constituído de linhas laterais submersas sob diferentes condições de pressão e vazões motrizes; e
- definir parâmetros hidráulicos e equações que expressem o funcionamento do injetor neste tipo de atividade e diagnosticar possíveis linhas de pesquisas para futuros trabalhos.

#### 4 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Hidráulica da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz-USP/SP, utilizando uma unidade composta por quatro

linhas em PVC, normalmente empregadas nas conexões hidráulicas residenciais, com diâmetro de 20 mm e 11,5 m de comprimento. Perfurou-se onze orifícios com uma broca de diâmetro de 2,0 mm, espaçados de 1,0 m. As quatro linhas foram submersas num reservatório com 0,5 m de profundidade ficando duas linhas no centro, à 15 e 45 cm, e as duas outras linhas, instaladas lateralmente à 30 cm da superfície da água.

Trabalhou-se com dez pressões de serviço variando de 49 até 270 kPa, com incremento de 24,5 kPa; que condicionaram diferentes vazões motrizes e diferenciais de pressões considerando pontos à montante e imediatamente à jusante do injetor. Determinou-se as pressões de serviços e diferenças para cada teste utilizando-se medidores magnéticos instalados diretamente nas linhas de abastecimento e, também, acoplados diretamente às tomadas de pressões que foram fixadas na tubulação principal antes e pós-injetor.

As vazões motrizes foram determinadas com um transdutor magnético indutivo para vazão, que foi instalado numa tubulação em ferro de 24,5 mm e interligado à um conversor de sinais que fornecia diretamente os dados de cada teste. As vazões succionadas de ar foram determinadas com um medidor de gás modelo "LAO" com limites de vazão mínima de 0,0056 l.s<sup>-1</sup> e vazão máxima de 1,94 l.s<sup>-1</sup>. Os tempos de injeção dos volumes de ar na água, foram determinados com um cronômetro digital e posteriormente, determinados os respectivos volumes.

Utilizou-se um injetor dotado de câmara de mistura confeccionado em conexões de PVC, seguindo modelo desenvolvido no Departamento da ESALQ. As dimensões do injetor foram de 20,0 mm na tubulação de entrada e de saída e de 7,1 mm para o diâmetro interno do bocal, com "Relação m" de 0,792. A água utilizada nos testes foi recalcada por meio de uma bomba Marca KSB, Mod. Hydrobloc P 1000, com motor de 1 CV.

Não havendo necessidade da variação das tensões, haja vista o injetor neste tipo de trabalho funcionar com a tubulação de sucção aberta à atmosfera, definiu-se as vazões succionadas variando apenas em função das vazões motrizes e das diferenciais de pressões entre um ponto à montante e outro à jusante do injetor. As vazões succionadas dependem diretamente das pressões de serviços e das tensões, que por sua vez, constituem os diferenciais pré-estabelecidos.

Para avaliar as perdas de cargas e os rendimentos, utilizou-se as fórmulas deduzidas por Feitosa Filho et al. (1996), dadas por:

$$\eta = \frac{(\rho_n \cdot \frac{Q_2^3}{2A_2^2} + Q_2 \cdot (P_3 + P_2))}{(\rho_n \cdot \frac{Q_1^3}{2 \cdot A_1^2} + Q_1 \cdot (P_1 - P_3))} \quad (1)$$

Sendo  $\eta$  - rendimento do injetor, em %;  $\rho_n$  - massa específica do fluido no ponto considerado, kg.m<sup>-3</sup>;  $Q_1$  - vazões motrizes na seção de entrada, em m<sup>3</sup>. s<sup>-1</sup>;  $Q_2$  -

vazões de sucção, em  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ;  $P_1$  - pressões de serviço na secção à montante do injetor, em Pa;  $P_2$  - tensões na secção estrangulada, em Pa;  $P_3$  - pressões pós-Venturi, em Pa;  $A_1$  - área da secção à montante do injetor, em  $\text{m}^2$ ; e  $A_2$  - área da secção estrangulada, em  $\text{m}^2$ .

$$hf = \frac{16 \cdot \gamma}{\pi^2 \cdot 2g} \cdot \left[ \frac{Q_1^3}{D_1^4} + \frac{Q_2^3}{D_2^4} - \frac{Q_3^3}{D_3^4} \right] + \gamma_1 \cdot Q_1 P_1 + \gamma_2 \cdot Q_2 P_2 - \gamma_3 \cdot Q_3 P_3 \\ \gamma_3 \cdot Q_3 \quad (2)$$

Sendo:  $hf$  - perda de carga accidental, em m;  $\gamma$  - peso específico do fluido no ponto considerado,  $\text{kgf.m}^{-3}$ ;  $g$  - aceleração da gravidade local, em  $\text{m.s}^{-2}$ ;  $P_1$  - pressão na secção à montante do injetor;  $P_2$  - tensão na secção estrangulada;  $P_3$  - Pressão na secção imediatamente à jusante do injetor;  $D_1$  - diâmetro da tubulação da secção à montante do injetor, em m;  $D_2$  - diâmetro da tubulação da secção estrangulada, em m;  $D_3$  - diâmetro da tubulação da secção 3, em m;  $Q_1$  - vazão do fluido na secção à montante do injetor, em  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ;  $Q_2$  - vazão do fluido na secção estrangulada, em  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  e  $Q_3$  - vazão do fluido na secção imediatamente à jusante do injetor, em  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .

## 5 RESULTADOS

A Tabela 1 mostra os diferenciais de pressões, perda de carga no injetor, vazão de ar succionada, percentagem de ar incorporado na água que passa no injetor e o rendimento do Venturi para diferentes pressões de serviço e vazão motriz. Observa-se que todas as variáveis estudadas tendem a crescer com aumento da pressão de serviço ou vazão motriz. Com respeito a percentagem de ar incorporado à água verifica-se que oscilou entre 12.5 e 18.6%, com média de 15.7%, enquanto o rendimento médio foi de 7.25% com variação entre 4.61 e 9.58 %.

Sendo os diferenciais de pressões em um ponto a montante e outro ponto na secção estrangulada ou a jusante do Venturi o parâmetro normalmente utilizado para medir o desempenho do equipamento, estabeleceu-se diferentes relações entre as variáveis de desempenho do injetor e o diferencial de pressão entre um ponto antes e após o injetor. O modelo que melhor se ajustou a estas relações foi do tipo linear (Tabela 2 e Figura 1), permitindo, com isto, conhecer a vazão de ar succionado, medindo-se apenas o referido diferencial.

Esperava-se para as relações apresentadas na Tabela 2, ajustes seguindo modelo polinomial quadrático, conforme obtidos por Botrel et al. (1996), que trabalharam com o injetor funcionando com água como fluido motriz e ar como fluido succionado sob condições de descarga livre. Provavelmente, se o injetor fosse acoplado a um sistema propulsor de maior porte, onde se tenha maior vazão e pressão de serviço, a tendência das curvas seriam alcançar um valor máximo, seguindo um decréscimo gradativo. Por razões

econômicas e de segurança, neste tipo de trabalho não há interesse em se utilizar equipamentos operando próximo aos limites de vazão e rendimento máximos.

Observou-se durante os teste uma quantidade maior de fluidos (ar e água) liberada nos primeiros orifícios de cada linha lateral em relação aos orifícios situados na extremidade das linhas. Para evitar desuniformidade de distribuição do ar ao longo do reservatório, possivelmente, se consegue dimensionando-se as linhas laterais e furos de forma adequada para a pressão e vazão do fluido que chega as linhas.

Tabela 1. Diferenciais de pressões entre pontos à montante e imediatamente à jusante do injetor; perdas de carga, vazões de ar succionadas; percentagens de ar incorporado no sistema e rendimento do injetor funcionando sob condições de descarga submersa para diferentes condições de pressões de serviço e vazões motrizes.

Pressão de Serviço (kPa)	Vazão Motriz ( $\text{l.s}^{-1}$ )	Diferencial de Pressão (kPa)	Perda de Carga (kPa)	Vazão de Ar Suctionada ( $\text{l.s}^{-1}$ )	Percentagem de Ar Incorp. (%)	Rendimento (%)
49,0	0,202	28,0	27,7	0,029	14,1	6,49
73,5	0,257	44,4	43,9	0,032	12,5	5,72
98,1	0,303	60,9	60,2	0,041	13,6	6,18
122,6	0,346	77,1	76,2	0,049	14,3	6,55
147,1	0,378	93,6	92,6	0,058	15,3	6,97
171,6	0,412	110,1	108,8	0,066	16,1	7,30
196,1	0,442	127,1	125,6	0,076	17,3	7,74
220,6	0,470	133,9	132,2	0,082	17,5	9,58
245,2	0,498	160,6	158,7	0,088	17,8	7,87
269,7	0,521	177,8	175,7	0,097	18,6	8,13
<b>Média</b>		-			<b>15,7</b>	<b>7,25</b>

Tabela 2. Equações de regressão das vazões succionadas de ar; perdas de cargas e rendimentos, em função dos diferenciais de pressões entre pontos à montante e imediatamente à jusante do injetor.

Modelo*	R <sup>2</sup>	p
Qsuc = 0,0131 + 0,00048.Dif	0,9907	0,01
Perc = 11,72 + 0,0392.Dif	0,8969	0,01
hf = 0,9882.Dif	1,000	0,01
$\eta = 5,42 - 0,0181.\text{Dif}$	0,6275	0,01

\* Qsuc: Vazão de ar succionada e incorporado ao sistema; hf: Perda de carga no injetor;  $\eta$ : Rendimento; Perc: Percentagem de ar incorporado ao sistema; e Dif: Diferenciais de pressões.

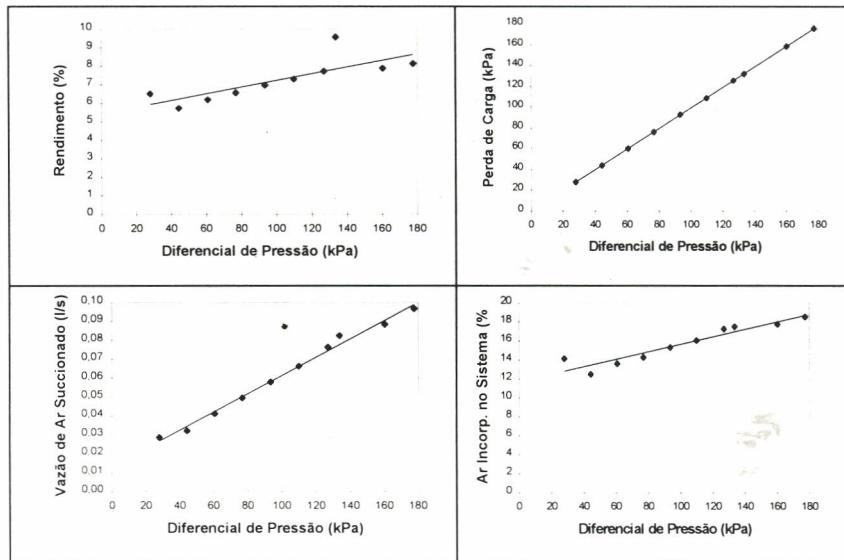


Figura 1. Rendimentos, perdas de carga, vazões succionadas de ar e percentagem de ar incorporado no sistema em função dos diferenciais de pressões entre pontos à montante e imediatamente à jusante do injetor.

## 6 CONCLUSÕES

A partir do resultados obtidos pode-se concluir o seguinte:

- as vazões succionadas de ar ou o volume de ar incorporado na água pelo injetor pode ser determinado por meio de equações, conhecendo-se apenas os diferenciais de pressões entre pontos antes e pós-injetor;
- a maior vazão de ar succionada foi de 0,097 l/s (18,6% da vazão motriz) e o rendimento médio foi de 7,25 %, com limites variando entre 5,72 e 9,58 %.
- o injetor foi mais eficiente para a maior pressão de serviço estudada (270 kPa), onde se teve maior rendimento e percentagem de ar incorporada na água, com desempenho satisfatório neste tipo de operação.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BOYD, C. E. **Water quality management for pond fish culture.** Holanda: Elsevier, 1982. 318p.
- BOTREL, T. A.; OLIVEIRA, A. S de.; MENDONÇA, F. C & FEITOSA FILHO, J. C.; Dimensionamento, avaliação e metodologia para construção de ejetores visando a escorva de bombas hidráulicas. In: RELATÓRIO FINAL DO PROJETO DE PESQUISA, Nº 94/4106-5; financiado pela FAPESP, São Paulo. SP. 1996. 25 p.
- FEITOSA FILHO, J. C. BOTREL, T. A & PINTO, J. M. Desempenho de injetores tipo Venturi acoplado à tubulação sob condições de descarga livre e pressurizada à jusante. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 11., Campinas, 1996. **Anais...** Campinas, SP: ABID, 1996. p. 288-300.
- NOMURA, H. **Curso de atualização em piscicultura.** Piracicaba-SP: ESALQ-USP, 1983. 118p.
- OLIVEIRA, E. F de. **Análise do desempenho de hidro-ejetores funcionando como bomba de vácuo.** 1993. 65p. Dissertação (Mestrado). Universidade de São Paulo.
- ZARUETA, F. S.; BUCKLIN, R..A.; TURNER, M.; CHAPMAN, F. A & LAZUR, A. M. Aquaculture aeration using irrigation porous pipe. In: INTERNATIONAL MICROIRRIGATION CONGRESS, 5. Orlando, Florida.USA, 1995. **Proceedings...** Orlando, Florida.USA: ASAE, 1995. p. 37-42.
- WINKLER, M. **Biological treatment of waster-water.** New York: Ellis Howood. 301 p. 1981.