

AVALIAÇÃO COMPARATIVA ENTRE MÉTODOS DE DETERMINAÇÃO DE VAZÃO PARA FINS AQUÍCOLAS

Santos Junior, H. dos; Marques, F. de S.; Ferrari, J. L.

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo (IFES) – Campus de Alegre, Rodovia Cachoeiro – Alegre, km 48, Caixa Postal 47, Distrito de Rive, Alegre, ES. CEP: 29520 – 000
helsonsjr@gmail.com; frankmarkes@hotmail.com; ferrarijuliz@gmail.com

Resumo - A vazão de projeto constitui-se em dado fundamental para o dimensionamento de estruturas hidráulicas em obras de engenharia de aquicultura. Este trabalho objetivou realizar uma análise comparativa das metodologias mais utilizadas para a determinação de vazões de projetos com fins aquícolas, os vertedores, procurando-se destacar suas precisões e acurácias. Para isso, foi escolhida uma estrutura no Setor de Aquicultura do Instituto Federal do Espírito Santo – Campus de Alegre, Alegre, ES, e construídos três vertedores de madeira, todos de paredes delgadas, e com formatos triangular, retangular e trapezoidal a fim de alcançar o objetivo proposto, definindo-se assim quatro metodologias, chamadas de tratamentos, a saber: Tratamento 1 (T1) – Método direto, utilizado como controle para os demais tratamentos; Tratamento 2 (T2) – Vertedor triangular, Fórmula de Thompson; Tratamento 3 (T3) – Vertedor retangular, Fórmula de Francis; e Tratamento 4 (T4) - Vertedor trapezoidal, Fórmula de Cippolletti. Os resultados mostraram que a metodologia que apresentou melhor precisão foi obtida com o vertedor triangular com desvio padrão da média de 0,186 L.s⁻¹ seguida pelo vertedor retangular (0,285 L.s⁻¹) e vertedor trapezoidal (0,555 L.s⁻¹). No que diz respeito a acurácia, maior aproximação da verdade (da testemunha), a metodologia que destacou-se foi o vertedor retangular com erro médio quadrático de 0,493 L.s⁻¹ seguida pelos vertedores triangular (0,531 L.s⁻¹) e trapezoidal (1,512 L.s⁻¹). Constatou-se também que há, para cada metodologia, uma carga hidráulica (H) idealizada onde a acurácia é maior: vertedor triangular (H = 0,01 m, $\Delta = - 0,256$ L.s⁻¹), vertedor retangular (H = 0,05 m, $\Delta = - 0,103$ L.s⁻¹) e vertedor trapezoidal (H = 0,05 m, $\Delta = -0,507$ L.s⁻¹).

Palavras-chave: Aquicultura. Vazão. Métodos de determinação.

Área do Conhecimento: Recursos Pesqueiros.

Introdução

A aquicultura é uma atividade agrícola crescente em nosso país que consiste na arte de criar e multiplicar os organismos aquáticos, tais como: plantas aquícolas, moluscos, crustáceos, peixes, rãs etc. (Camargo & Pouey, 2005).

Para o seu sucesso é indispensável a disponibilidade de água em quantidade e qualidade desejadas para o cultivo pretendido. Destas duas, a determinação da quantidade de água necessária para uma fazenda ou empresa aquícola é um dos principais parâmetros para o correto planejamento, dimensionamento, e manejo de qualquer sistema de cultivo, bem como para a avaliação dos recursos hídricos disponíveis. Quando a quantidade de água é subestimada ou superestimada têm-se problemas sérios que muitas vezes levam ao fracasso da empresa (Ono e Kubitzka, 2003)..

Neste sentido, a hidráulica, arte de captar, conduzir, elevar e utilizar a água, aplicando-lhes as leis da mecânica dos líquidos pode colaborar através de seus variados métodos para

determinação de vazão. (Oliveira, 2000). Alguns deles exigem equipamentos caros e sofisticados, outros que são mais simples e baratos.

As medições da quantidade de água podem ser efetuadas por métodos como: medição direta, orifícios, vertedores, calhas Parshall, molinetes etc. (Daker, 1976; Pereira et al., 2003; Soares et al., 2008). O melhor método dependerá das condições onde serão realizadas as medições e da precisão desejada.

Desta forma, o objetivo deste trabalho foi realizar uma análise comparativa das metodologias mais utilizadas para a determinação de vazões de projetos com fins aquícolas, os vertedores, procurando-se destacar suas precisões e acurácias.

Metodologia

Caracterização da área de estudo

Para a realização deste estudo escolheu-se um local que já dispunha de uma estrutura facilitadora para a instalação dos vertedores. O ponto escolhido, de dimensões de 20 m x 4 m x 0,25 m,

fica localizado no Setor de Aquicultura do Instituto Federal do Espírito Santo – Campus de Alegre, município de Alegre, nas coordenadas geográficas aproximadas de 20°45'30" Sul e 41°27'23" Oeste (Figura 1).



Figura 1. Localização da área de estudo

Dos tratamentos utilizados

Uma vez materializada a estrutura física do presente trabalho, foram construídos os vertedores de madeira, todos de paredes delgadas, e com formatos triangular, retangular e trapezoidal a fim de realizar os levantamentos de vazão, definindo-se assim quatro metodologias, chamadas de tratamentos, a saber:

Tratamento 1 (T1) – Método direto, utilizado como controle para os demais tratamentos, onde a vazão é estimada pela Equação 1, conforme Barreto (1989) e Carvalho (2008):

$$Q = V/T \quad (\text{Eq. 1})$$

Em que, Q = Vazão, m³; V = Volume de recipiente conhecido, L; e T = Tempo de enchimento do recipiente, s.

Tratamento 2 (T2) – Vertedor triangular, onde a vazão é estimada pela Fórmula de Thompson explicitada através da Equação 2, conforme Barreto (1989) e Carvalho (2008):

$$Q = 1,4 \cdot \tan \Theta/2 \cdot H^{5/2} \quad (\text{Eq. 2})$$

Em que, Q = Vazão, m³.s⁻¹; 1,4 = Constante, adimensional; Θ = Ângulo da abertura do vertedor, graus; e H = Carga hidráulica, m.

O referido vertedor apresentara as dimensões de 106,5 cm x 35 cm e $\Theta = 90^\circ$, com altura da soleira de 12,5 cm.

Tratamento 3 (T3) – Vertedor retangular, onde a vazão é estimada pela Fórmula de Francis explicitada através da Equação 3, conforme Barreto (1989) e Carvalho (2008):

$$Q = 1,838 \cdot L \cdot H^{3/2} \quad (\text{Eq. 3})$$

Em que, Q = Vazão, m³.s⁻¹; 1,838 = Constante, dimensional; L = Comprimento da soleira, m; e H = Carga hidráulica, m. O referido vertedor apresentara as dimensões de 106,5 cm x 35 cm, com comprimento e altura da soleira, respectivamente, iguais a 27 cm e 12,5 cm.

Tratamento 4 (T4) – Vertedor trapezoidal em que a vazão é estimada pela Fórmula de Cipolletti explicitada na Equação 4, conforme Barreto (1989) e Carvalho (2008):

$$Q = 1,86 \cdot L \cdot H^{3/2} \quad (\text{Eq. 4})$$

Em que, Q = Vazão, m³.s⁻¹; 1,86 = Constante, adimensional; L = Comprimento da soleira, m; e H = Carga hidráulica, m. O referido vertedor apresentara as dimensões de 106,5 cm x 35 cm, com comprimento e altura da soleira, respectivamente, iguais a 27 cm e 12,5 cm.

Na Figura 2 são mostrados os detalhes dos vertedores utilizados.



(a) Vertedor Triangular



(b) Vertedor Quadrangular



(c) Vertedor Trapezoidal

Figura 2. Detalhe dos vertedores utilizados

Cada tratamento foi repetido 4 vezes. As medições das cargas hidráulicas foram realizadas toda vez que ocorria uma diferença crescente ou acumulada de 1 cm ou 0,01 m até alcançar o máximo de 0,05 m. Todas estas medições foram executadas a 2 metros à montante dos vertedores conforme recomendação de Bernardo (1989).

As unidades das vazões calculadas em cada tratamento, m³.s⁻¹, foram convertidas para a

unidade de L.s⁻¹ a fim de facilitar a visualização e interpretação dos resultados.

Avaliação das diferentes metodologias

Para avaliação das diferentes metodologias foi utilizado a precisão (desvio padrão da média) e a acurácia (erro médio quadrático) para cada tratamento (MIKHAIL & GRACIE, 1981).

O erro médio quadrático (RMS – Root Mean Square) é o valor modulado do desvio padrão desenvolvido por Gauss, sendo determinado pela seguinte Equação 5:

$$m = \sqrt{\sum_{i=1}^n \epsilon_i^2 / n} \quad (\text{Eq. 5})$$

Em que: m = erro médio quadrático; ϵ_i = Valor da discrepância; n = N^o de amostras.

Os momentos estatísticos para cada tratamento foram determinados com o auxílio do programa computacional SAEG - versão 9.1, marca registrada Ribeiro Junior (2008). A hipótese de normalidade dos dados foi testada pelo teste Lilliefors, com 5 % de significância.

Resultados

Na Tabela 1 podem-se observar os resultados das vazões nas quatro repetições para cada tratamento, na Tabela 2 os momentos estatísticos dos mesmos e, na Tabela 3, as médias, precisões e acurácias das vazões obtidas pelos tratamentos.

Tabela 1- Resultados das vazões encontradas nas quatro repetições para cada tratamento

		Vertedor Triangular							
		Tempos de enchimentos (s) nas repetições/ Vazões Medidas pelo Método direto (L.s ⁻¹)							
H (m)	Q (L.s ⁻¹)	Tempo 1	Q 1	Tempo 2	Q 2	Tempo 3	Q 3	Tempo 4	Q 4
0,010	0,014	77,310	0,259	76,140	0,263	74,380	0,269	68,800	0,291
0,020	0,079	42,840	0,467	39,190	0,510	40,590	0,493	41,880	0,478
0,030	0,218	28,170	0,710	26,190	0,764	27,270	0,733	27,040	0,740
0,040	0,448	18,670	1,071	19,530	1,024	19,530	1,024	19,260	1,038
0,050	0,783	11,190	1,787	13,720	1,458	13,770	1,452	13,990	1,430
		Vertedor Retangular							
		Tempos de enchimentos (s) nas repetições/ Vazões Medidas pelo Método direto (L.s ⁻¹)							
H (m)	Q (L.s ⁻¹)	Tempo 1	Q 1	Tempo 2	Q 2	Tempo 3	Q 3	Tempo 4	Q 4
0,010	0,496	18,670	1,071	19,030	1,051	16,600	1,205	18,360	1,089
0,020	1,404	10,030	1,994	10,170	1,967	9,130	2,191	9,270	2,157
0,030	2,579	6,390	3,130	5,850	3,419	6,250	3,200	6,700	2,985
0,040	3,970	4,990	4,008	4,690	4,264	4,990	4,008	4,900	4,082
0,050	5,548	3,870	5,168	3,010	6,645	3,600	5,566	3,820	5,236
		Vertedor Trapezoidal							
		Tempos de enchimentos (s) nas repetições/ Vazões Medidas pelo Método direto (L.s ⁻¹)							
H (m)	Q (L.s ⁻¹)	Tempo 1	Q 1	Tempo 2	Q 2	Tempo 3	Q 3	Tempo 4	Q 4
0,010	0,502	10,960	1,825	9,550	2,094	10,050	1,990	10,255	1,950
0,020	1,420	6,790	2,946	5,480	3,650	6,040	3,311	6,135	3,260
0,030	2,610	4,790	4,175	4,450	4,494	4,670	4,283	3,760	5,319
0,040	4,018	3,620	5,525	3,900	5,128	3,850	5,195	3,760	5,319
0,050	5,615	3,210	6,231	3,240	6,173	3,250	6,154	3,225	6,202

T1 = Método direto; T2 = Vertedor triangular; T3 = Vertedor retangular; T4 = Vertedor trapezoidal.

Tabela 2- Momentos estatísticos das vazões para cada tratamento

Parâmetros estatísticos	Q pelo método direto (L.s ⁻¹) para H = 0,01 m		
	Vertedor triangular	Vertedor retangular	Vertedor trapezoidal
Média	0,270	1,104	1,964
Desvio-padrão	0,014	0,068	0,111
Coefficiente de variação	5,280	6,245	5,677
Normalidade	Sim	Sim	Sim
Parâmetros estatísticos	Q pelo método direto (L.s ⁻¹) para H = 0,02 m		
	Vertedor triangular	Vertedor retangular	Vertedor trapezoidal
Média	0,480	2,077	3,291
Desvio-padrão	0,018	0,113	0,288
Coefficiente de variação	3,883	5,451	8,758
Normalidade	Sim	Sim	Sim
Parâmetros estatísticos	Q pelo método direto (L.s ⁻¹) para H = 0,03 m		
	Vertedor triangular	Vertedor retangular	Vertedor trapezoidal
Média	0,736	3,183	4,567
Desvio-padrão	0,022	0,180	0,518
Coefficiente de variação	2,994	5,674	11,341
Normalidade	Sim	Sim	Sim
Parâmetros estatísticos	Q pelo método direto (L.s ⁻¹) para H = 0,04 m		
	Vertedor triangular	Vertedor retangular	Vertedor trapezoidal
Média	1,039	4,090	5,291
Desvio-padrão	0,022	0,121	0,174
Coefficiente de variação	2,140	2,958	3,295
Normalidade	Sim	Sim	Sim
Parâmetros estatísticos	Q pelo método direto (L.s ⁻¹) para H = 0,05 m		
	Vertedor triangular	Vertedor retangular	Vertedor trapezoidal
Média	1,532	5,650	6,189
Desvio-padrão	0,171	0,683	0,033
Coefficiente de variação	11,150	12,097	0,542
Normalidade	Sim	Sim	Sim

T1 = Método direto; T2 = Vertedor triangular; T3 = Vertedor retangular; T4 = Vertedor trapezoidal.

* Normalidade dos dados testada pelo teste Lilliefors, com 5 % de significância.

Tabela 3- Média, precisões e acurácias das vazões obtidas pelos tratamentos

H Acumulada (m)	Q médias (L.s ⁻¹)								
	T1		T2		T3		T4		Δ
	Valor	Valor	Δ	Valor	Valor	Δ	Valor	Valor	
0,010	0,270	0,014	-0,256	1,104	0,496	-0,608	1,965	0,502	-1,463
0,020	0,487	0,079	-0,408	2,077	1,404	-0,674	3,292	1,420	-1,871
0,030	0,737	0,218	-0,518	3,183	2,579	-0,605	4,568	2,610	-1,958
0,040	1,039	0,448	-0,591	4,091	3,970	-0,120	5,292	4,018	-1,274
0,050	1,532	0,783	-0,749	5,651	5,548	-0,103	6,190	5,615	-0,575
Média	-	-	-0,505	-	-	-0,422	-	-	-1,428
Precisão	-	-	0,186	-	-	0,285	-	-	0,555
Acurácia	-	-	0,531	-	-	0,493	-	-	1,512

T1 = Método direto; T2 = Vertedor triangular; T3 = Vertedor retangular; T4 = Vertedor trapezoidal.

Na Figura 3 são apresentadas as precisões e as acurácias de cada método testado considerando os valores obtidos com o método direto como valores de referência, de modo a facilitar a visualização dos resultados exibidos na Tabela 3.

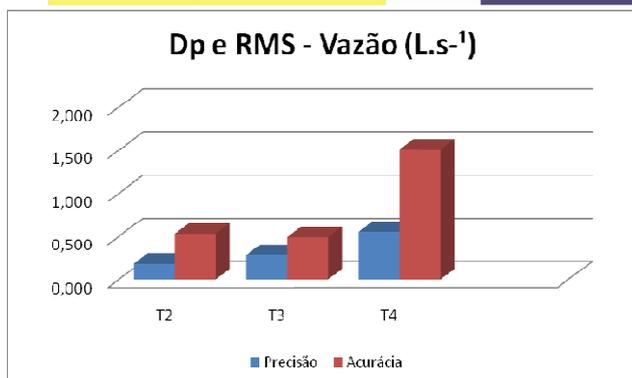


Figura 3- Precisões (Desvios padrões da média) e acurácias (RMS) dos tratamentos utilizados

De acordo com Monico et al. (2009), o conceito de precisão está relacionado ao desvio (erro) durante a repetitividade das medições, enquanto a acurácia refere-se ao grau de aproximação da grandeza medida em relação àquela considerada como verdadeira (referência).

Vale destacar que apesar dos valores de coeficientes de variação (Tabela 2) ter sido baixos, conforme Crespo (2009), as diferenças percebidas corroboram com tais observações. E isto fica mais evidenciada quando se observa as médias, precisões e acurácias encontradas em cada metodologia (Tabelas 1 e 3). A metodologia que apresentou melhor precisão foi obtida com o vertedor triangular com desvio padrão da média de 0,186 L.s⁻¹ seguida pelo vertedor retangular (0,285 L.s⁻¹) e vertedor trapezoidal (0,555 L.s⁻¹). Estes resultados estão de acordo Lopes (2005) quando diz que o vertedor triangular permite obter maior precisão nas leituras quando se tratar de cursos d'água de pequenas vazões.

No que diz respeito a acurácia, maior aproximação da verdade (testemunha), a metodologia que destacou-se foi o vertedor retangular com erro médio quadrático de 0,493 L.s⁻¹ seguida pelos vertedores triangular (0,531 L.s⁻¹) e trapezoidal (1,512 L.s⁻¹).

Desse estudo pôde-se notar também que há para cada metodologia uma carga hidráulica onde a acurácia nas medições das vazões nos vertedores é maior. Percebeu-se que para as vazões mensuradas, o vertedor triangular foi mais acurado ($\Delta = -0,256$ L.s⁻¹) quando a carga hidráulica foi de 0,01 m. Já para os vertedores retangular e trapezoidal as maiores acurácias ($\Delta = -0,103$ L.s⁻¹ e $\Delta = -0,507$ L.s⁻¹, respectivamente) ocorreu com H = 0,05 m.

Conclusão

A metodologia que apresentou melhor precisão foi obtida com o vertedor triangular com desvio

padrão da média de 0,186 L.s⁻¹. Já, no que diz respeito a acurácia, maior aproximação da verdade (da testemunha), a metodologia que destacou-se foi o vertedor retangular com erro médio quadrático de 0,493 L.s⁻¹.

Há para cada metodologia uma carga hidráulica onde a acurácia é maior.

Referências

- BARRETO, G. **Irrigação: princípios, métodos e prática**. Campinas, IAC, 1989. 185p.
- BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 5ª edição, Viçosa: UFV, Impr. 1989.
- CAMARGO, S. G. O de & POUHEY, J. L. O. F. Aquicultura: um mercado em expansão. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 11, nº 4, p. 393 – 396, 2005.
- CARVALHO, T. M. Técnicas de medição de vazão por meio convencionais e não convencionais. RBGF – **Revista Brasileira de Geografia Física** Recife-PE Vol. 01 n.01 Mai/Ago p. 73-85, 2008.
- CRESPO, A. A. **Estatística fácil**. 19ª ed. atual. – São Paulo: Saraiva, 2009.
- DAKER, A. **Hidráulica aplicada à agricultura: a água na agricultura**. 1º Volume. 6 ed. Rio de Janeiro, Freitas Bastos, 1983. 316p.
- LOPES, J. D. S. & LIMA, F. Z. de. **Pequenas barragens de terra: planejamento, dimensionamento e construção**. Viçosa, Aprenda Fácil. 2005. 274p.
- MIKHAIL, E. M.; GRACIE, R. **Analysis and adjustment of survey measurements**. New York. 1981. 340 p.
- MONICO, J. F. G.; PÓZ, A. P. D.; GALO, M.; SANTOS, M. C. dos; OLIVEIRA, L. C. de. Acurácia e precisão: revendo os conceitos de forma acurada. **Boletim de Ciências Geodésicas**, Curitiba, v. 15, nº 3, p. 469-483, 2009.
- OLIVEIRA, P. N. **Engenharia para aquíicultura**. Recife: UFRPE, 2000. 294p.
- ONO, E. A.; KUBITZA, F.; Construção de viveiros e de estruturas hidráulicas para o cultivo de peixes, parte 4: o reaproveitamento da água e o manejo do solo. In: **Panorama da aquíicultura**. Vol. 13, nº75, janeiro-fevereiro, 2003

XVINIC

Encontro Latino Americano
de Iniciação Científica

XI EPG

Encontro Latino Americano
de Pós Graduação

VINIC Jr

Encontro Latino Americano
de Iniciação Científica Júnior

- PEREIRA, R. S., NETO A. S., TUCCI C. E. M.
Princípios da hidrometria. UNIVERSIDADE
FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL, Porto
Alegre, Julho de 2003. 16 p.

- RIBEIRO JUNIOR, J. I.; DE MELLO, A. L. P.
Guia prático para utilização do SAEG. Viçosa:
UFV, 2008.

- SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C.;
BERNARDO, S. **Manual de irrigação.** 8° Ed.
Atualizada e ampliada. Viçosa: UFV, 2008.