

132
LUCILEUDO GOMES CORDEIRO

COMPARAÇÃO DE VALORES
MEDIDOS E CALCULADOS DE VAZÃO
DE UM VERTEDOR TRIANGULAR

ORIENTADOR: José Cipriano de Medeiros Filho

Monografia apresentada à Escola Superior de
Agricultura de Mossoró para obtenção do
título de Engenheiro Agrônomo.

MOSSORO

R. G. DO NORTE

MARÇO DE 1994

LUCILEUDO GOMES CORDEIRO

ARQUIVO - 100	
Cópia de	
Assinatura	Assinatura
Assinatura	Assinatura
Assinatura	Assinatura

**COMPARAÇÃO DE VALORES
MEDIDOS E CALCULADOS DE VAZÃO
DE UM VERTEDOR TRIANGULAR**

BIBLIOTECA - 100	
Cópia de	
Assinatura	Assinatura
Assinatura	Assinatura
Assinatura	Assinatura

ORIENTADOR: José Cipriano de Medeiros Filho

[Handwritten signature]

Monografia apresentada à Escola Superior de
Agricultura de Mossoró para obtenção do
título de Engenheiro Agrônomo.

MOSSORÓ

R. G. DO NORTE

MARÇO DE 1994

Escola Superior de Agricultura de Mossoró
BIBLIOTECA "ORLANDO TEIXEIRA"

M
631.2
C-79hc

BOT - UFERSA Campus Mossoró	
Posicionário Nº	1012006630
Registro Nº	32.779
Data:	23/06/2014
Chamada Nº	631.2



BIBLIOTECA ORLANDO TEIXEIRA Escola Sup. de Agricultura de Mossoró - RN	
32.779	23/06/14
2588	

Ficha catalográfica preparada pelo setor de catalogação e classificação da Biblioteca "Orlando Teixeira", ESAM.

Cordeiro, Lucileudo Gomes	
C794c	Comparação de valores medidos e calculados de vazão de um vertedor triangular / Lucileudo Gomes Cordeiro. Mossoró: ESAM, 1994.
	38p. (Monografia)
	1. Hidráulica
	2. Medidor de vazão
	3. Vertedor triangular
	CDD. 631.2

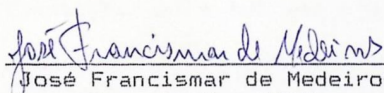
LUCILEUDO GOMES CORDEIRO

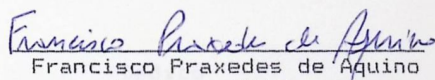
COMPARAÇÃO DE VALORES
MEDIDOS E CALCULADOS DE VAZÃO
DE UM VERTEDOR TRIANGULAR

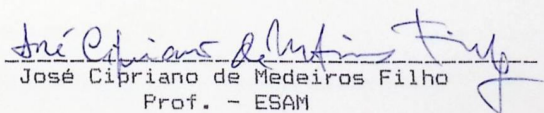
Orientador: José Cipriano de Medeiros Filho

Monografia apresentada à Escola Superior de
Agricultura de Mossoró para obtenção do
título de Engenheiro Agrônomo.

APROVADA EM: 22 / MARÇO / 1994


José Francismar de Medeiros
Eng. Agrº - ESAM
Membro


Francisco Praxedes de Aquino
Prof. - ESAM
Membro


José Cipriano de Medeiros Filho
Prof. - ESAM
Orientador

Aos

Meus pais, em especial à minha mãe, Maria Lima Gomes que, com muito esforço e trabalho, batalhou pela educação dos seus filhos.

Aos

Meus irmãos, Maria Iza Gomes, Luciano Gomes e Lucilane Gomes, pela amizade, o incentivo e a ajuda na minha formação profissional.

Dedico

AGRADECIMENTOS

Ao professor José Cipriano de Medeiros Filho, pela amizade e dedicação na orientação deste trabalho.

Ao professor Francisco Praxedes de Aquino, pelas sugestões para o aperfeiçoamento deste trabalho.

Ao Eng. Agrº. José Francismar de Medeiros, pelas sugestões e empenho na ajuda da análise dos dados.

Ao professor Everaldo Bernardino de Souza, pelas ilustrações.

Ao professor Francisco Bezerra Neto, pela colaboração na realização da análise estatística.

Ao laboratorista Carlos Augusto Nunes, pela indispensável e honrosa ajuda na obtenção dos dados.

Ao Departamento de Engenharia Agrícola, por nos ter dados condições para que o trabalho fosse realizado.

Enfim, a todos os amigos concluintes, pela amizade, a compreensão, o incentivo, que foram fundamentais para que os nossos objetivos fossem alcançados.

DADOS BIOGRAFICOS DO AUTOR

Lucileudo Gomes Cordeiro, filho de José Tomaz Gomes e Maria Lima Gomes, nasceu em Russas-CE, em 08 de fevereiro de 1970.

Concluiu o 1º e 2º graus no Colégio Centro Educacional Coronel José Epifânio das Chagas, em Morada Nova-CE.

Ingressou na Escola Superior de Agricultura de Mossoró-ESAM, em março de 1989. Durante o curso foi bolsista de trabalho por um período de três anos, no setor de produção de mudas da referida instituição.

2.3.2. A Fórmula de Cruz-Cote & Rose..... 04

2.3.3. A Fórmula de Shirley & Dring..... 06

2.3.4. A Fórmula de King..... 08

2.3.5. A Fórmula de Lenz..... 09

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização dos locais e Características

do Verticilar Investigado..... 09

3.2. Pesquisa das Causas e Fatores Investigados..... 10

3.3. Procedimento das Análises..... 11

SUMARIO

	páginas
EXTRATO.....	viii
1. INTRODUÇÃO.....	01
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	03
2.1. Emprego dos Vertedores Triangulares de Parede Delgada na Medição de Vazão.....	04
2.2. Fórmulas Práticas Empregadas no Cálculo de Vazão de Vertedores Triangulares de 60° de Parede Delgada.....	05
2.2.1. A Fórmula de Cone.....	05
2.2.2. A Fórmula de Cruz-Coke & Moya.....	06
2.2.3. A Fórmula de Gourley & Crimp.....	06
2.2.4. A Fórmula de King.....	06
2.2.5. A Fórmula de Lenz.....	08
3. MATERIAL E MÉTODOS	
3.1. Localização dos Ensaios e Características do Vertedor Ensaiado.....	09
3.2. Medição das Cargas e Vazões Ensaaiadas.....	09
3.3. Procedimento dos Ensaios.....	11

3.4. Determinação das Vazões Calculadas.....	14
3.5. Determinação da Vazão Ensaída.....	14
3.6. Determinação do Erro Relativo de Medição das Vazões.....	15
3.6.1. Erro relativo de medição das vazões calculadas.....	15
3.6.1.1. Fórmula de Cone.....	15
3.6.1.2. Fórmula de Cruz-Coke & Moya.....	15
3.6.1.3. Fórmula de Gourley & Crimp.....	16
3.6.1.4. Fórmula de King.....	16
3.6.1.5. Fórmula de Lenz.....	16
3.6.2. Erro relativo de medição da vazão ensaiada.....	16
3.7. Comparação das Vazões Calculadas com a Vazão Ensaída.....	17
3.8. Análise Estatística.....	17
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	18
5. CONCLUSÕES.....	28
6. RESUMO.....	29
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	31
APÊNDICES	34

EXTRATO

CORDEIRO, L. G. Escola Superior de Agricultura de Mossoró, março de 1994. Comparação de valores medidos e calculados de vazão de um vertedor triangular. Professor orientador: José Cipriano de Medeiros Filho. Conselheiros: José Francismar de Medeiros e Francisco Praxedes de Aquino.

O presente trabalho foi realizado no Laboratório de Hidráulica da ESAM, Mossoró - RN, com o objetivo de comparar os valores de vazão obtidos pelas fórmulas de Cone, Cruz-Coke & Moya, Gourley & Crimp, King e Lenz com os valores de vazão obtidos numa cuba de aferição, tendo sido ensaiado um vertedor triangular de 60° de parede delgada, onde as cargas utilizadas variaram de 6 a 25 cm, com incremento de 0,5 cm entre elas, sendo as mesmas determinadas através de uma ponta linimétrica de 600 mm, com precisão de 0,1 mm. Os resultados demonstraram que a fórmula de King foi a mais precisa para a determinação de vazão em vertedores triangulares de 60° de parede delgada, por ter proporcionado para todas as cargas medidas, diferenças relativas abaixo de 1% com relação às vazões ensaiadas, embora a fórmula de Cruz-

Coke & Moya também possa ser utilizada, pois os seus resultados não diferiram estatisticamente com relação às vazões obtidas na cuba de aferição. As demais fórmulas não demonstraram ser bastante precisas para o cálculo de vazão do vertedor ensaiado, mas por terem apresentado diferenças relativas em relação às vazões ensaiadas abaixo de $\pm 5\%$, podem também ser usadas para a determinação de vazão em vertedores triangulares de 60° de parede delgada.

1. INTRODUÇÃO

Com o avanço da irrigação no mundo atual, deve-se aplicar no solo quantidades precisas e necessárias de água, de acordo com o estado de umidade do mesmo, para que não haja um desperdício exagerado no seu uso. Mas, para que o cálculo da instalação dos sistemas de irrigação seja satisfatório, é preciso que se utilize um método para medição dessa água.

Dentro dos vários métodos existentes para medir a água de irrigação, os vertedores se destacam por serem largamente empregados para se determinar a vazão em canais abertos, dando valores bem aproximados dos reais, principalmente quando são usados em condições controladas, além de serem práticos e econômicos.

Há diferentes classes de vertedores segundo a forma da abertura por onde o líquido escoar. Podem ser retangular, triangular, trapezoidal, circular, parabólico ou qualquer outra forma regular. Mas, os triangulares são os que possibilitam maior precisão na medição de vazões reduzidas. Na prática, somente são empregados os que têm forma isósceles, sendo mais usuais os de 90° . Mas, no caso de ensaios desses vertedores em laboratório, pode-se utilizar

Ângulos diferentes de 90° , pois são aferidos experimentalmente.

Muitas fórmulas são utilizadas no cálculo da vazão de vertedores triangulares de parede delgada, dentre as quais podemos destacar a de Cone, a de Gourley & Crimp e a de King, por serem comumente empregadas. Em todas as fórmulas a vazão a ser determinada depende basicamente do ângulo do vertedor e da lâmina de água sobre o vértice (carga hidráulica).

Considerando a importância que têm as fórmulas na determinação das vazões dos vertedores triangulares, torna-se imprescindível verificar o comportamento delas com relação aos valores reais de vazão, o que só é possível com a realização de ensaios de laboratório.

Pretende-se com este trabalho, comparar os valores encontrados através de equações comumente utilizadas na determinação de vazões de vertedores triangulares com os valores de vazão obtidos em uma cuba de aferição.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Os vertedores são aberturas praticadas na parte superior das paredes dos reservatórios, pelas quais se escoam um líquido, mantendo a superfície livre (PIMENTA, 1981). Esse autor relata ainda que esses dispositivos hidráulicos apresentam uma extraordinária importância teórica e um real interesse prático, que ficam sobejamente demonstrados pelas numerosas aplicações, seja nos extravasores de barragens, nas tomadas d'água, nos decantadores, nos canais abertos, ou, ainda, como medidores de descarga líquida nos canais e nas estações de tratamento de água e esgotos.

Conforme DAKER (1983), os vertedores são largamente empregados na medição de canais abertos, dando valores bem aproximados dos reais.

De acordo com CORONEL (1975); KRAATZ & MAHAJAN (1976); KING et al. (1982) e BERNARDO (1989), os vertedores de parede delgada mais utilizados para a medição da água de irrigação são os de formas retangulares, triangulares e trapezoidais.

Na presente revisão, serão abordados apenas os vertedores triangulares de parede delgada, destacando-se

especialmente os de 60° , por serem objeto de estudo neste trabalho.

2.1. Emprego dos Vertedores Triangulares de Parede Delgada na Medição de Vazão

Os vertedores triangulares possibilitam maior precisão na medida de cargas correspondentes a vazões reduzidas (AZEVEDO NETTO & ALVAREZ, 1982 e BERNARDO, 1989).

Conforme DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA DE LOS ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA (1973); WITHERS & VIPOND (1977); NEVES (1979) e STUTLER (1984), o vertedor triangular adapta-se melhor para medições de vazões inferiores a 30 l/s. Ainda a esse respeito, LENCASTRE (1972) relata que esse tipo de vertedor é certamente o que mais precisão oferece para vazões inferiores a 30 l/s, sendo tão preciso quanto o vertedor retangular de parede delgada para vazões compreendidas entre 30 e 300 l/s.

De acordo com WITHERS & VIPOND (1977), o vertedor triangular constitui um dispositivo útil e simples para medir a vazão de pequenos canais de irrigação.

Segundo QUINTELA (1985), a um nível de probabilidade de 95%, a medição de vazão por vertedores triangulares apresenta uma precisão que corresponde a um erro de 1 a 2%.

Nesse tipo de vertedor, deve-se evitar medições de vazões que correspondam a alturas inferiores a 6 cm, pois

em nenhum caso o líquido deve aderir à face posterior do vertedor (LENCASTRE, 1972; DELMÉE, 1982 e ISMAIL, 1982).

2.2. Fórmulas Práticas Empregadas no Cálculo de Vazão de Vertedores Triangulares de 60° de Parede Delgada

As fórmulas para esses vertedores devem ser usadas com cuidado, pois ensaios de laboratório indicam que só merecem confiança absoluta os aparelhos aferidos experimentalmente (PIMENTA, 1981).

Ao se utilizar qualquer fórmula de vertedor é importante que se conheça as condições do projeto de tal vertedor e a gama de cargas utilizadas nos ensaios (KING et al., 1982).

Em função do grande número de fórmulas utilizadas no cálculo de vazão de vertedores triangulares de 60° de parede delgada, o presente estudo destacará apenas as mais empregadas, dentre as quais podemos citar as de Cone, Cruz-Coke & Moya, Gourley & Crimp, King e Lenz.

2.2.1. A Fórmula de Cone

De acordo com UNITED STATES BUREAU OF RECLAMATION (1984), a fórmula de Cone é considerada pelas autoridades como a mais real para pequenos vertedores e para condições geralmente encontradas na medição de água para irrigação, sendo mais comumente usada na determinação de vazões no campo. Para a abertura de 60° , a fórmula é a seguinte:

$$Q = 0,775 * H^{2,48} \quad (1)$$

Onde:

Q = Vazão do vertedor (m^3/s);

H = Carga do vertedor (m).

2.2.2. A Fórmula de Cruz-Coke & Moya

Conforme FUENTES (1972), em experiências realizadas em vertedores triangulares de parede delgada com ângulos de 15, 30, 45, 60 e 90°, Cruz-Coke & Moya, em sua tese de graduação na Universidade Católica do Chile (1924), obteve os valores dos coeficientes de vazão (m), cujos resultados são mostrados na Figura 1. Para vertedores com ângulo de 60°, a fórmula é a seguinte:

$$Q = 2,557 * m * H^{2,5} \quad (2)$$

Onde:

m = Coeficiente de vazão.

2.2.3. A Fórmula de Gourley & Crimp

Segundo LENCASTRE (1972), uma das fórmulas mais usadas para o cálculo de vazão de vertedores triangulares é a de Gourley & Crimp. No caso do vertedor triangular com ângulo de 60°, ela se resume à seguinte expressão:

$$Q = 0,762 * H^{2,47} \quad (3)$$

2.2.4. A Fórmula de King

Conforme CORONEL (1975), em experiências

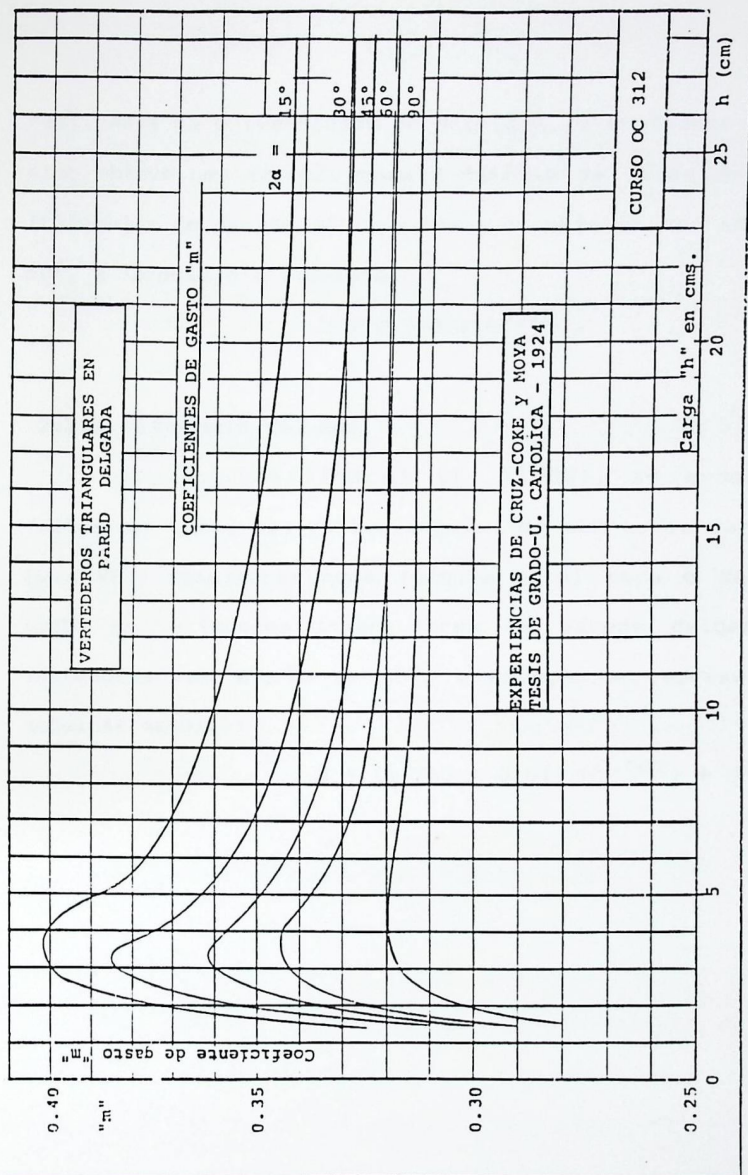


Figura 1. Coeficiente de vazão de Cruz-Coke & Moya.

realizadas na Universidade de Michigan, o professor Horace W. King obteve uma fórmula para o cálculo da vazão de vertedor triangular de parede delgada. Para o vertedor com abertura de 60° , a fórmula é a seguinte:

$$Q = 0,775 * H^{2,47} \quad (4)$$

2.2.5. A Fórmula de Lenz

Segundo KING et al. (1982), as experiências feitas por Lenz, com vários ângulos de abertura, variando de 10 a 90° , resultaram numa fórmula geral para o cálculo de vazão em vertedores triangulares de parede delgada. Para vertedores com ângulo de 60° , a equação é representada da seguinte maneira:

$$Q = (0,763 + 0,014/H^{0,582}) * H^{2,5} \quad (5)$$

3. MATERIAL E MÉTODOS

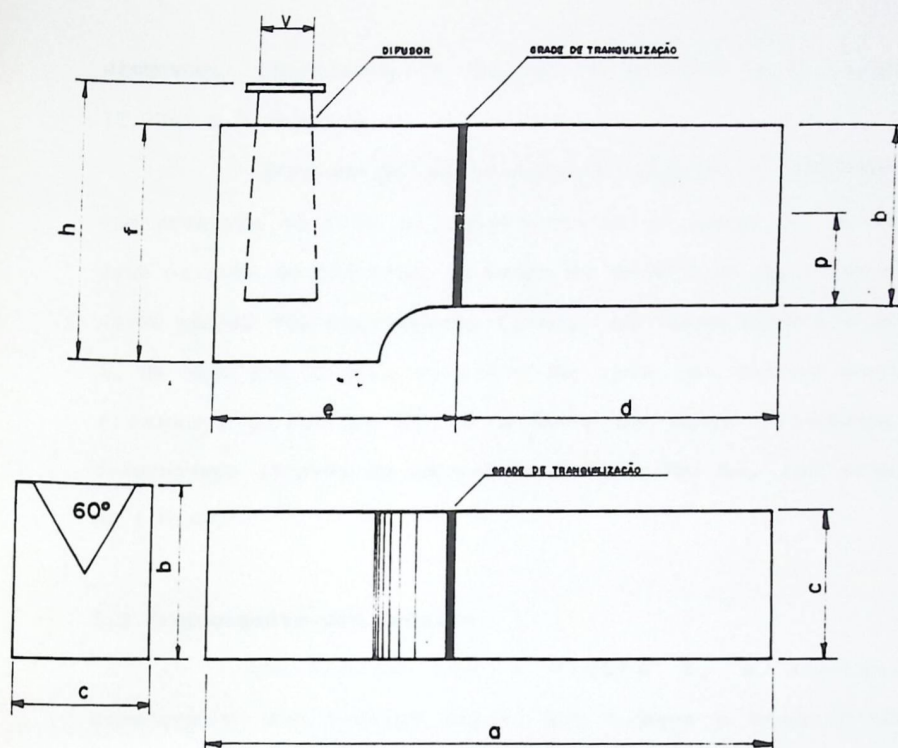
3.1. Localização dos Ensaios e Características do Vertedor Ensaiado

Os ensaios foram conduzidos no Laboratório de Hidráulica da Escola Superior de Agricultura de Mossoró (ESAM), em Mossoró-RN, no período de outubro a novembro de 1993, sendo ensaiado um vertedor triangular de 60° de parede delgada, do tipo L.N.H. - CHATOU, cujas características se encontram na Figura 2.

3.2. Medição das Cargas e Vazões Ensaçadas

O vertedor foi colocado para trabalhar sob várias cargas, determinando-se a vazão correspondente a cada uma. As cargas variaram de 6 a 25 cm, com incremento de 0,5 cm, obtendo-se ao todo 39 cargas. As mesmas foram determinadas através de uma ponta linimétrica de 600 mm, com precisão de 0,1 mm, localizada a montante do vertedor a uma distância de 0,6 m.

As vazões de ensaio foram medidas volumetricamente em uma cuba de aferição de superfície retangular, previamente calibrada, tendo as seguintes



tipo	a	b	c	d	e	f	p	h	v
60°	2000	550	600	1250	750	750	250	850	150

NOTA: As cotas do vertedor são internas

Figura 2 — Vertedor triangular de 60° L.N.H. — Chatou e suas dimensões

dimensões: Comprimento = $(6,2931 \pm 0,0020)$ m e Largura = $(2,2368 \pm 0,0002)$ m.

Através de um cronômetro digital " TECHNOS " , com precisão de 0,01 s, determinou-se o tempo de coleta de água na cuba de aferição. O tempo de coleta de água para cada vazão medida foi previamente fixado, conforme mostra o Quadro 1, de modo que o erro relativo de cada uma dessas medições ficasse próximo de 2%. A altura de água coletada foi determinada através de um piezômetro de 750 mm, com precisão de 1,0 mm.

3.3 Procedimento dos Ensaios

De acordo com a Figura 3, a instalação experimental dos ensaios mostra que a água é transferida do reservatório superior para o vertedor e deste para a cuba de aferição.

Inicialmente, determinou-se a carga a ser empregada no vertedor, para que a ponta linimétrica ficasse ajustada e fornecesse a leitura correspondente à mesma. Em seguida, o registro do vertedor foi aberto até que a água no copo de medida tocasse a extremidade do linímetro e ficasse estabilizada.

Após a estabilização, para que se pudesse medir a vazão através da cuba de aferição, foi necessário primeiro determinar, com o piezômetro, o nível inferior da água (N_i) na mesma. Em seguida, acionada a calha, mediante o

QUADRO 1. Tempo estimado de medição para cada vazão ensaiada

CARGAS (cm)	VAZÃO (l/s)	TEMPO (min e s)
6,0	0,744	32,10,3
6,5	0,906	26,25,3
7,0	1,088	22,00,3
7,5	1,290	18,33,3
8,0	1,513	15,49,3
8,5	1,758	13,37,3
9,0	2,024	11,49,3
9,5	2,314	10,21,3
10,0	2,626	9,07,3
10,5	2,962	8,05,3
11,0	3,323	7,12,3
11,5	3,709	6,27,3
12,0	4,120	5,49,3
12,5	4,557	5,15,3
13,0	5,020	4,46,3
13,5	5,511	4,21,3
14,0	6,029	3,58,3
14,5	6,575	3,38,3
15,0	7,149	3,21,3
15,5	7,752	3,05,3
16,0	8,385	2,51,3
16,5	9,047	2,39,3
17,0	9,739	2,27,3
17,5	10,462	2,17,3
18,0	11,216	2,08,3
18,5	12,001	2,00,3
19,0	12,818	1,52,3
19,5	13,667	1,45,3
20,0	14,549	1,39,3
20,5	15,464	1,33,3
21,0	16,413	1,27,3
21,5	17,395	1,23,3
22,0	18,411	1,18,3
22,5	19,462	1,14,3
23,0	20,548	1,10,3
23,5	21,669	1,06,3
24,0	22,826	1,03,3
24,5	24,018	1,00,3
25,0	25,247	0,57,3

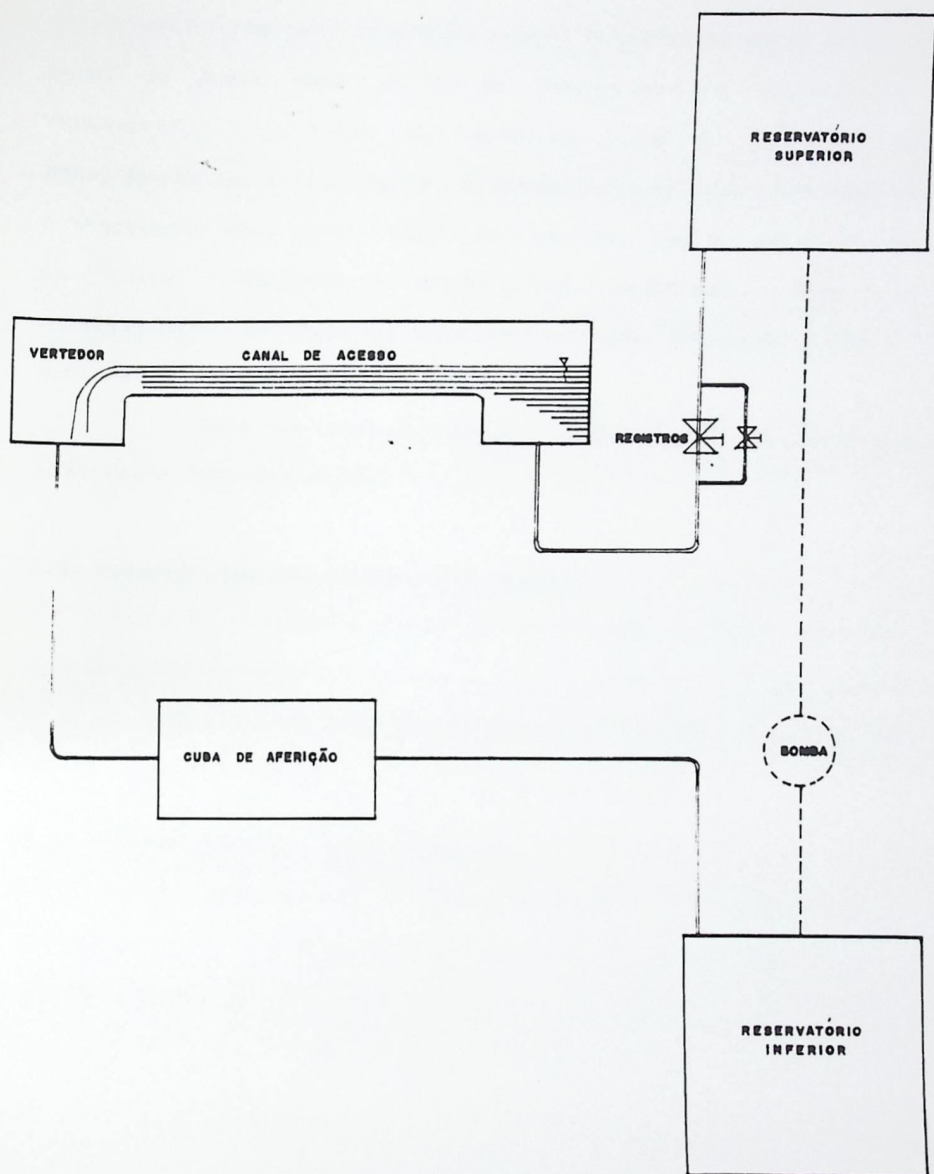


FIGURA 3. - Esquema geral do aparelho experimental.

interruptor inferior, transferiu-se o trajeto da água para a cuba, ao mesmo tempo em que se destravava o cronômetro. Transcorrido o tempo estabelecido para a coleta da água, travou-se o cronômetro, transferindo-se simultaneamente o trajeto da água para o canal de retorno, com o acionamento da calha, mediante o interruptor superior. Após a estabilização da água na cuba de aferição, mediu-se com o piezômetro o nível superior (Ns).

Para as demais cargas, procedeu-se de maneira idêntica à descrita acima.

3.4. Determinação das Vazões Calculadas

As vazões calculadas foram determinadas através das fórmulas de Cone, Cruz-Coke & Moya, Gourley & Crimp, Lenz e King, descritas através das equações (1), (2), (3), (4) e (5), respectivamente.

3.5. Determinação da Vazão Ensaída

Calculou-se a vazão ensaiada, dividindo-se o volume de água coletada na cuba pelo tempo de coleta, sendo obtida a seguinte equação:

$$Q_{ens} = (a * b * c) / t \quad (6)$$

Onde:

3.5.1.3. Fórmula Q_{ens} = Vazão ensaiada (m^3/s);

a = Comprimento da cuba (m);

b = Largura da cuba (m);

c = Altura de água coletada na cuba (m);

t = Tempo de coleta de água na cuba (m).

A altura de água coletada na cuba foi obtida da seguinte maneira:

$$c = N_s - N_i \quad (7)$$

Onde:

N_s = Nível superior de água na cuba(m);

N_i = Nível inferior de água na cuba (m).

3.6. Determinação do Erro Relativo de Medição das Vazões

3.6.1. Erro relativo de medição das vazões calculadas

Para as fórmulas utilizadas nas determinações das vazões calculadas, foram obtidas as seguintes equações para estimativa do erro relativo de medição destas vazões:

3.6.1.1. Fórmula de Cone

$$ErQ_{calc} = 2,48 * dH/H \quad (8)$$

Onde:

ErQ_{calc} = Erro relativo de medição da vazão calculada;

dH = Erro de medição da carga.

3.6.1.2. Fórmula de Cruz-Coke & Moya

$$ErQ_{calc} = 2,5 * dH/H \quad (9)$$

3.6.1.3. Fórmula de Gourley & Crimp

$$ErQ_{calc} = 2,47 * dH/H \quad (10)$$

3.6.1.4. Fórmula de King

$$ErQ_{calc} = 2,47 * dH/H \quad (11)$$

3.6.1.5. Fórmula de Lenz

$$ErQ_{calc} = \frac{0,00815 * dH}{(0,763 + 0,014/H^{0,582}) * H^{1,582}} + 2,5 * dH/H \quad (12)$$

O valor adotado para o termo " dH " foi 0,0002 m.

3.6.2. Erro relativo de medição da vazão ensaiada

O erro relativo de medição da vazão ensaiada foi estimado pela seguinte equação:

$$ErQ_{ens} = da / a + db / b + dc / c + dt / t \quad (13)$$

Onde:

ErQ_{ens} = Erro relativo de medição da vazão ensaiada;

da = Erro de medição do comprimento da cuba (m);

db = Erro de medição da largura da cuba (m);

dc = Erro de medição da altura de água coletada na cuba (m);

dt = Erro de medição do tempo de coleta de água na cuba (s).

Os valores adotados, respectivamente, para os

termos "da", "db", "dc" e "dt", foram os seguintes: 0,0020 m; 0,0002 m; 0,0020 m e 0,01 s.

3.7. Comparação das Vazões Calculadas com a Vazão Ensaída

Obteve-se essa comparação, determinando-se a diferença relativa entre as vazões calculadas e ensaiadas, conforme a seguinte equação:

$$D = \frac{Q_{calc} - Q_{ens}}{Q_{ens}} * 100 \quad (14)$$

Onde:

D = Diferença da vazão calculada com relação à ensaiada (%)

Q_{calc} = Vazão calculada (m^3/s)

3.8. Análise Estatística

Realizou-se a análise de variância assumindo o delineamento em blocos, onde cada altura correspondeu a um bloco e os métodos de determinação de vazão foram tomados como sendo os tratamentos. A comparação de médias entre os tratamentos foi feita através do teste Tukey ao nível de 5%, segundo GOMES (1987).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das vazões calculadas e ensaiadas encontram-se no Apêndice (Quadro 1A).

O Quadro 2 mostra os erros relativos cometidos na determinação das vazões calculadas e os erros relativos das vazões ensaiadas. Todos os erros relativos das vazões calculadas apresentaram valores abaixo de 1%. Valores esses que ficaram abaixo dos limites citados por PIMENTA (1981) e QUINTELA (1985). Esses excelentes resultados se devem à boa precisão do instrumento utilizado nas leituras das cargas. Quanto ao erro relativo das vazões ensaiadas, os valores encontrados ficaram em torno de 2%, conforme foi previsto na fixação do tempo de coleta para cada vazão medida.

Analisando-se a comparação das vazões obtidas pelas fórmulas com a ensaiada, ilustradas nas Figuras 4, 5, 6, 7 e 8, bem como as diferenças relativas entre as vazões calculadas e ensaiadas, as quais se encontram no Quadro 3, podemos verificar que, até a carga de 16,5 cm, as fórmulas de Cruz-Coke & Moya e King subestimaram a ensaiada, sendo que as diferenças da fórmula de King mantiveram-se praticamente constante até a referida altura. A partir da carga de 17 cm,

QUADRO 2. Erro relativo de medição das vazões
calculadas e ensaiadas.

CARGAS (cm)	ERRO RELATIVO DAS VAZÕES CALCULADAS (%)					ERRO RELATIVO DAS VAZÕES ENSAIADAS (%)
	KING	GOURLEY & CRIMP	CRUZ-COKE & MOYA	LENZ	CONE	
6,0	0,82	0,82	0,83	0,85	0,83	1,98
6,5	0,76	0,76	0,77	0,78	0,76	1,98
7,0	0,71	0,71	0,71	0,73	0,71	1,98
7,5	0,66	0,66	0,67	0,68	0,66	1,98
8,0	0,62	0,62	0,63	0,64	0,62	1,98
8,5	0,58	0,58	0,59	0,60	0,58	1,98
9,0	0,55	0,55	0,56	0,56	0,55	1,98
9,5	0,52	0,52	0,53	0,53	0,52	1,98
10,0	0,49	0,49	0,50	0,51	0,50	1,98
10,5	0,47	0,47	0,48	0,48	0,47	1,98
11,0	0,45	0,45	0,45	0,46	0,45	1,98
11,5	0,43	0,43	0,43	0,44	0,43	1,99
12,0	0,41	0,41	0,42	0,42	0,41	1,99
12,5	0,40	0,40	0,40	0,41	0,40	1,99
13,0	0,38	0,38	0,38	0,39	0,38	1,99
13,5	0,37	0,37	0,37	0,38	0,37	1,99
14,0	0,35	0,35	0,36	0,36	0,35	1,99
14,5	0,34	0,34	0,34	0,35	0,34	1,99
15,0	0,33	0,33	0,33	0,34	0,33	1,99
15,5	0,32	0,32	0,32	0,33	0,32	1,99
16,0	0,31	0,31	0,31	0,32	0,31	1,99
16,5	0,30	0,30	0,30	0,31	0,30	1,99
17,0	0,29	0,29	0,29	0,30	0,29	2,03
17,5	0,28	0,28	0,29	0,29	0,28	1,99
18,0	0,27	0,27	0,28	0,28	0,28	1,99
18,5	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	2,01
19,0	0,26	0,26	0,26	0,27	0,26	1,99
19,5	0,25	0,25	0,26	0,26	0,25	1,99
20,0	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	2,01
20,5	0,24	0,24	0,24	0,25	0,24	2,01
21,0	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	2,03
21,5	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	2,01
22,0	0,22	0,22	0,23	0,23	0,23	2,00
22,5	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	2,01
23,0	0,21	0,21	0,22	0,22	0,22	2,02
23,5	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	2,00
24,0	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	2,02
24,5	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	2,00
25,0	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	2,00

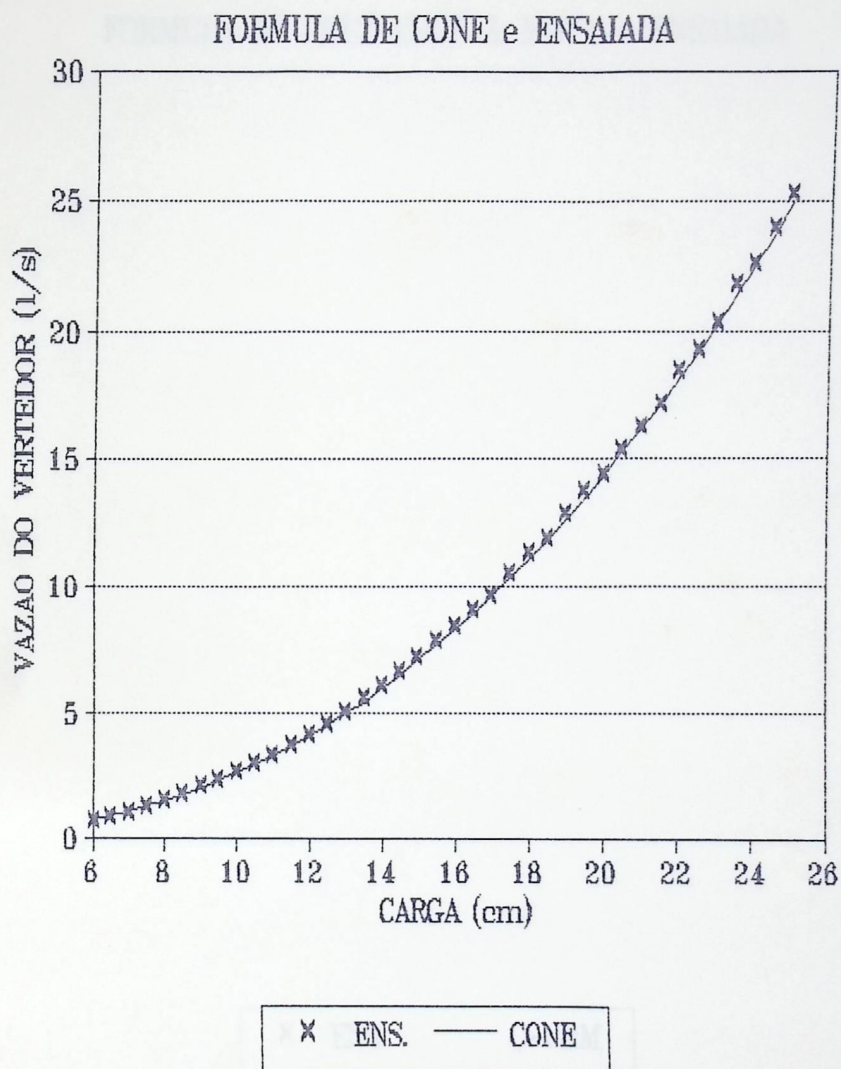


Figura 4. Curvas da vazão ensaiada e da vazão calculada pela fórmula de Cone.

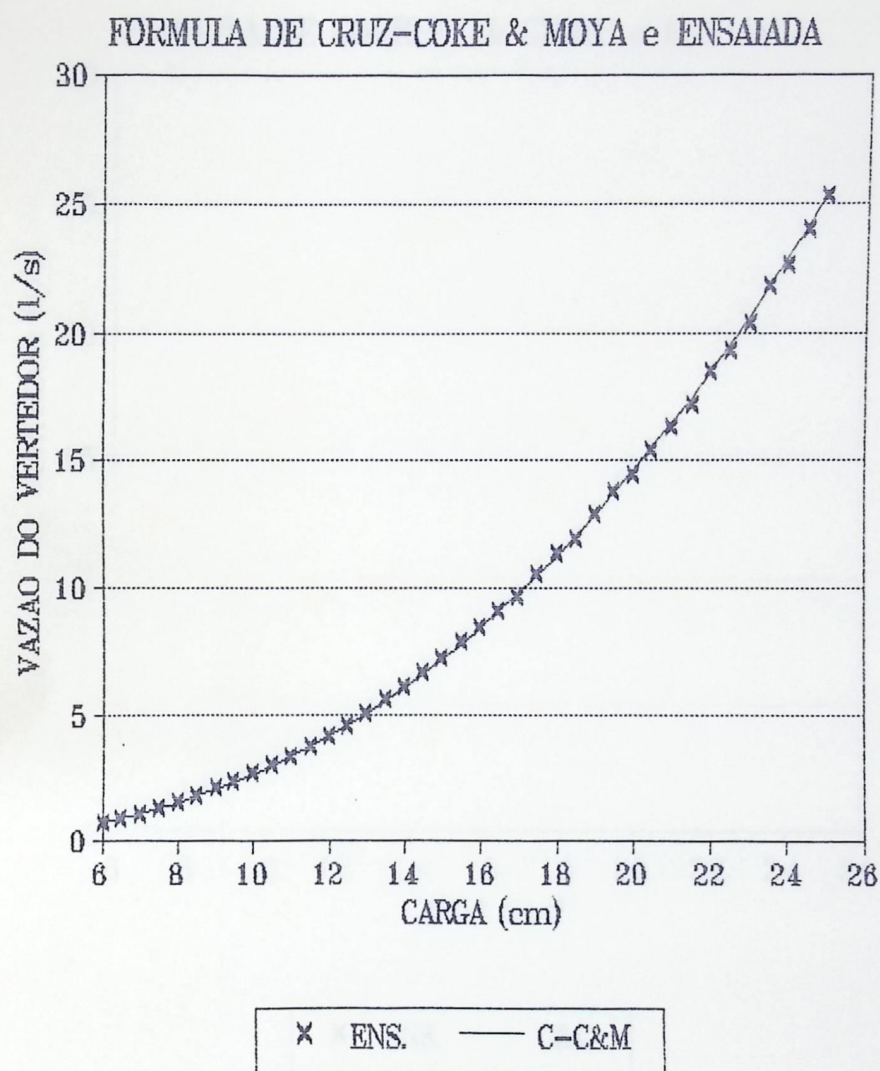


Figura 5. Curvas da vazão ensaiada e da vazão calculada pela fórmula de Cruz-Coke & Moya.

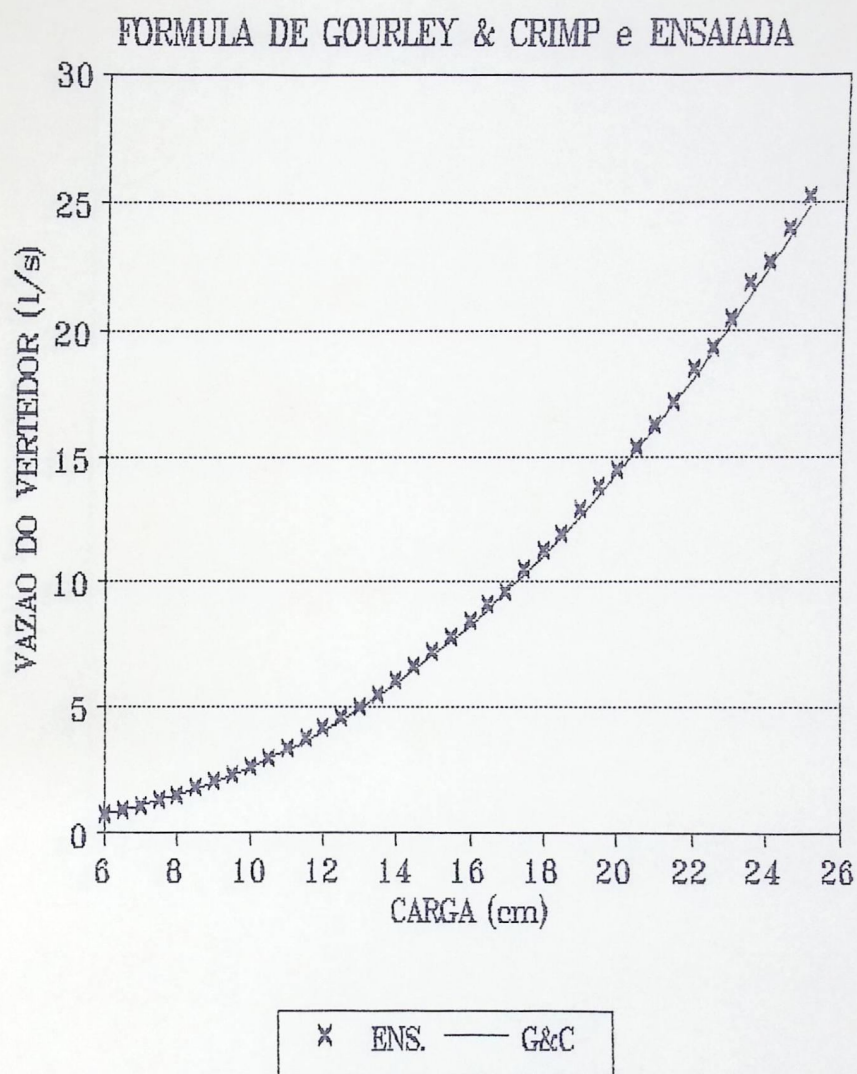


Figura 6. Curvas da vazão ensaiada e da vazão calculada pela fórmula de Gourley & Crimp.

FORMULA DE KING e ENSAIADA

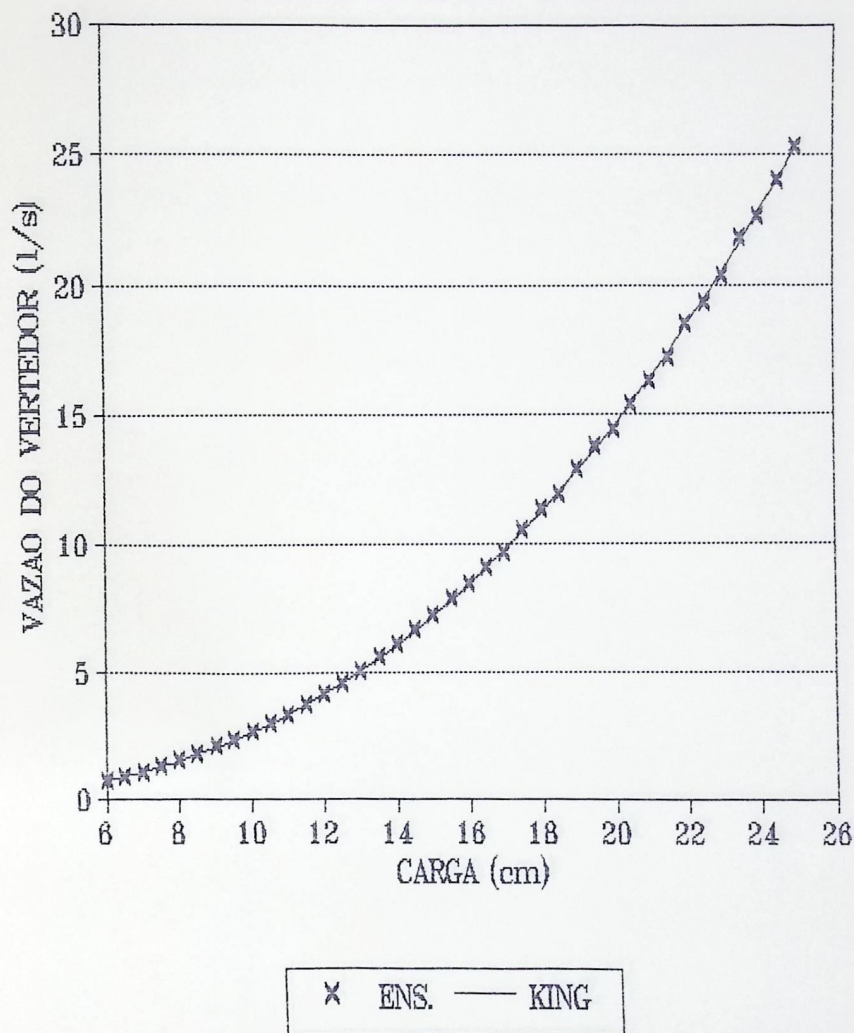


Figura 7. Curvas da vazão ensaiada e da vazão calculada pela fórmula de King.

FORMULA DE LENZ e ENSAIADA

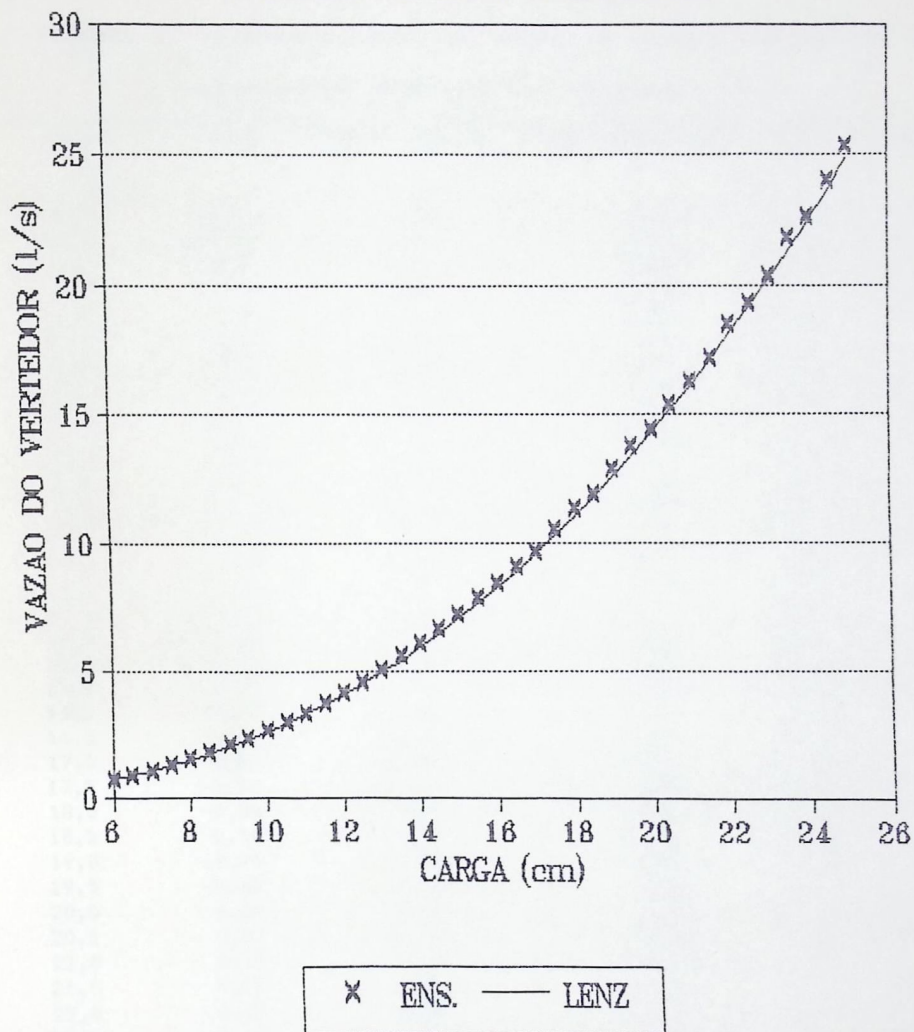


Figura 8. Curvas da vazão ensaiada e da vazão calculada pela fórmula de Lenz.

QUADRO 3. Diferença relativa entre as vazões calculadas pelas diferentes fórmulas e a ensaiada, em %.

CARGAS (cm)	KING	GOURLEY & CRIMP	CRUZ-COKE & MOYA	LENZ	CONE
6,0	-0,93	-2,66	-0,40	-2,00	-3,73
6,5	-0,98	-2,62	-0,22	-2,08	-3,61
7,0	-0,91	-2,55	-0,09	-2,19	-3,46
7,5	-0,92	-2,53	-0,69	-2,23	-3,46
8,0	-0,98	-2,62	-1,37	-2,42	-3,40
8,5	-0,90	-2,59	-1,41	-2,42	-3,33
9,0	-0,98	-2,64	-1,57	-2,54	-3,33
9,5	-0,94	-2,61	-1,54	-2,57	-3,25
10,0	-0,91	-2,57	-1,51	-2,57	-3,17
10,5	-0,87	-2,51	-1,51	-2,54	-3,08
11,0	-0,92	-2,59	-1,61	-2,65	-3,07
11,5	-0,93	-2,59	-1,52	-2,70	-3,07
12,0	-0,75	-2,41	-1,25	-2,53	-2,84
12,5	-0,89	-2,57	-1,33	-2,70	-2,94
13,0	-0,91	-2,57	-1,30	-2,70	-2,90
13,5	-0,68	-2,34	-1,10	-2,50	-2,65
14,0	-0,94	-2,60	-1,25	-2,76	-2,86
14,5	-0,99	-2,67	-1,36	-2,83	-2,89
15,0	-0,78	-2,44	-1,04	-2,61	-2,64
15,5	-0,92	-2,58	-1,09	-2,75	-2,75
16,0	-0,93	-2,60	-1,06	-2,76	-2,74
16,5	-0,67	-2,34	-0,71	-2,50	-2,45
17,0	0,80	-0,89	0,85	-1,06	-0,97
17,5	-0,98	-2,65	-0,85	-2,80	-2,70
18,0	-0,88	-2,55	-0,66	-2,70	-2,57
18,5	0,54	-1,14	0,88	-1,29	-1,14
19,0	-0,75	-2,42	-0,34	-2,56	-2,38
19,5	-0,88	-2,55	-0,39	-2,67	-2,49
20,0	0,50	-1,19	1,08	-1,31	-1,11
20,5	0,42	-1,26	0,88	-1,37	-1,16
21,0	0,54	-1,15	0,88	-1,25	-1,02
21,5	0,89	-0,80	1,31	-0,89	-0,64
22,0	-0,61	-2,27	-0,13	-2,35	-2,10
22,5	0,66	-1,03	1,21	-1,10	-0,83
23,0	0,54	-1,15	1,15	-1,20	-0,93
23,5	-0,88	-2,54	-0,21	-2,58	-2,31
24,0	0,60	-1,09	1,34	-1,12	-0,83
24,5	-0,11	-1,78	0,70	-1,80	-1,50
25,0	-0,26	-1,93	0,61	-1,93	-1,63
MÉDIA DO VALOR ABSOLUTO	0,78	2,17	0,98	2,19	2,41

percebe-se para certas alturas uma superestimação das citadas fórmulas com relação à ensaiada, principalmente na fórmula de Cruz-Coke & Moya. Em termos absolutos, as duas fórmulas por terem apresentados diferenças abaixo de 2% se destacaram. Além disso, a fórmula de King demonstrou ser bastante precisa no cálculo da vazão de vertedores triangulares de 60° , por ter apresentado para todas as cargas, diferenças abaixo de 1%, além de ser uma fórmula mais simples de ser utilizada.

Com relação às fórmulas de Cone, Gourley & Crimp e Lenz, constata-se que, para todas as cargas ensaiadas, ocorreu uma subestimação das respectivas fórmulas com relação à ensaiada, além de um decréscimo geral nos valores das diferenças relativas com relação ao aumento da altura da lâmina de água sobre o vertedor, principalmente na primeira. Em termos absolutos, as duas últimas fórmulas, apresentaram erros abaixo de 3%, enquanto a de Cone apresentou valores até acima de 3,5%, obtendo-se para esta fórmula a maior média (2,41%) das médias dos valores absolutos das diferenças, conforme mostra o Quadro 3.

Mesmo apresentando valores acima de 2% as fórmulas de Cone, Gourley & Crimp e Lenz podem ser utilizadas na determinação das vazões desses vertedores, pois segundo KRAATZ & MAHAJAN (1976), diferenças de vazões de até $\pm 5\%$ são consideradas aceitáveis.

Observando-se as médias das vazões das fórmulas de Cruz-Coke & Moya e King, apresentadas no Quadro 4, verifica-se que não diferiram estatisticamente em relação à ensaiada, enquanto as das fórmulas de Cone, Gourley & Crimp e Lenz, que não diferiram entre si, foram significativamente inferiores às das vazões ensaiadas.

QUADRO 4. Valores médios das vazões ensaiadas e estimadas por diferentes fórmulas.

MÉTODOS	MÉDIAS*
CRUZ-COKE & MOYA	9,630 a
ENSAIADA	9,616 a
KING	9,598 a
CONE	9,440 b
GOURLEY & CRIMP	9,437 b
LENZ	9,429 b

* Médias seguidas por mesma letra não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade, segundo o teste Tukey.

Considerando a fórmula de King como sendo mais simples para ser utilizada, e sendo a que apresentou menores diferenças de vazão com relação à ensaiada (Quadros 3 e 4), recomenda-se a sua utilização no cálculo de vazão de vertedores triangulares de 60° de parede delgada, o que já tinha sido sugerido por DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA DE LOS ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA (1973) e CORONEL (1975).

5. CONCLUSÕES

A análise dos resultados obtidos nos ensaios proporcionaram as seguintes principais conclusões:

1. A fórmula de King demonstrou ser a mais precisa para a determinação da vazão em vertedores triangulares de 60° de parede delgada, podendo a fórmula de Cruz-Coke & Moya também ser utilizada.

2. As fórmulas de Cone, Gourley & Crimp e Lenz não são tão precisas na determinação de vazão de vertedores triangulares de 60° de parede delgada quanto às de Cruz-Coke & Moya e King, embora possam ser utilizadas, pois as diferenças das suas vazões com relação às ensaiadas foram inferiores a $\pm 5\%$.

6. RESUMO

O presente trabalho foi realizado no Laboratório de Hidráulica da ESAM, Mossoró - RN, com o objetivo de comparar os valores de vazão obtidos pelas fórmulas de Cone, Cruz-Coke & Moya, Gourley & Crimp, King e Lenz com os valores de vazão obtidos numa cuba de aferição, tendo sido ensaiado um vertedor triangular de 60° de parede delgada, onde as cargas utilizadas variaram de 6 a 25 cm, com incremento de 0,5 cm entre elas, sendo as mesmas determinadas através de uma ponta linimétrica de 600 mm, com precisão de 0,1 mm. Os resultados demonstraram que a fórmula de King foi a mais precisa para a determinação de vazão em vertedores triangulares de 60° de parede delgada, por ter proporcionado para todas as cargas medidas, diferenças relativas abaixo de 1% com relação às vazões ensaiadas, embora a fórmula de Cruz-Coke & Moya também possa ser utilizada, pois os seus resultados não diferiram estatisticamente com relação às vazões obtidas na cuba de aferição. As demais fórmulas não demonstraram ser bastante precisas para o cálculo de vazão do vertedor ensaiado, mas por terem apresentado diferenças relativas em relação às vazões ensaiadas abaixo de $\pm 5\%$,

podem também ser usadas para a determinação de vazão em vertedores triangulares de 60° de parede delgada.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- BOVEDO ROTO, J. N. de. e VERA, E. N. *Manual de Hidráulica*. 1. ed. 4.ª. São Paulo: Editora Blucher, 1982. v.1, 320p.
- BERNARDI, D. *Manual de Hidráulica*. 2.ª ed. Viçosa: U.F.V., 1989. 370p.
- CORREIA, S. *Tratado de Hidráulica*. 1.ª ed. Rio de Janeiro: Editorial Continental, 1979. 400p.
- DAVIS, A. *Os Efeitos da Erosão e da Sedimentação sobre as Obras de Engenharia*. 1.ª ed. São Paulo: Editora Blucher, 1982. 320p.
- DELNAC, R. J. *Manual de Hidráulica*. 1.ª ed. São Paulo: Editora Blucher, 1982. 374p.
- DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA E PASTORIL DE SÃO PAULO. *Serviço de Conservação de Pastos*. 1.ª ed. São Paulo: São Paulo, 1982. 15p.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AZEVEDO NETO, J. M. de, ALVAREZ, G. A. Manual de hidráulica, 7.ed. at. ampl. São Paulo:Edgard Blucher, 1982. v.1., 335p.
- BERNARDO, S. Manual de irrigação. 5.ed. Viçosa: U.F.V, 1989. 596p.
- CORONEL, S. T. Hidráulica. México: Companhia Editorial Continental, 1975. 455p.
- DAKER, A. A água na agricultura: manual de hidráulica agrícola. 6.ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1983. v.1: Hidráulica aplicada à agricultura. 316p.
- DELMÉE, G. J. Manual de medição de vazão. São Paulo: Edgard Blucher, 1982. 476p.
- DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA DE LOS ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA. Serviço de Conservación de Suelos. Medición del agua de riego. México: Diana, 1973. 86p. (Manual de ingeniería de suelos, 15).

FUENTES, R. Curso de laboratório de hidráulica. Santiago: Universidad de Chile, 1972. "Paginação Irregular" .

GOMES, F. P. Curso de estatística experimental. 12.ed. Piracicaba: Nobel, 1987. 430p.

ISMAIL, K. A. R. Fenômenos de transferências: experiências de laboratório. Rio de Janeiro: Campus, 1982. 238p.

KING, H. W., WISLER, C. O., WOODBURN, J. G. Hidráulica. México: Trillas, 1982. 354p.

KRAATZ, D.B., MAHAJAN, I.K. Estructuras y dispositivos para medición de água. In:----- . Pequenas obras hidráulicas. Roma: FAO. 1976. v.2., cap.7, p.161-268 (Estudio sobre riego y avenamiento, 26).

LENCASTRE, A. Manual de hidráulica geral. São Paulo: Edgard Blucher, 1972. 419p.

NEVES, E. T. Curso de hidráulica. 6.ed. Porto Alegre: Globo, 1979. 577p.

PIMENTA, C. F. Curso de hidráulica geral. 3.ed. São Paulo: Guanabara Dois, 1981. v.1., 482p.

QUINTELA, A. C. Hidráulica. 2. ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1985. 539p.

STUTLER, R. K. Medida del agua de riego en la finca. Logan, Utah State University, Department of Agricultural and Irrigation Engineering, 1984. 38p. (Mimeografado).

UNITED STATES BUREAU OF RECLAMATION. Weirs. In:-----.
Water measurement manual. 2.ed. rev. rep. Denver: USBR, 1984. 327p.

WITHERS, B., VIPOND, S. Irrigação: projeto e prática. São Paulo: EPU/EDUSP, 1977. 339p.

APPENDIX A - TABLES **APPENDICES** TABLES

APENDICE B - Análise de Variância

QUADRO 1B. Análise de variância

F.V	G.L	Q.M	F
MÉTODO	5	0,3808	56,6**
CARGAS	38	326,4000	
RESIDUO	190	0,007098	

C.V (0,88%)

UFERSA SIGAA - BIBLIOTECAS



SIGAA

2013006650