

631.2

RAIMUNDO LUIZ DE OLIVEIRA

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

Orientador: José Cipriano de Medeiros Filho

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

MOSSORÓ  
R.G. DO NORTE - BRASIL  
JULHO 1994

pv  
RAIMUNDO LUIZ DE OLIVEIRA

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

Orientador: José Cipriano de Medeiros Filho

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

 Cuide bem deste livro,  
ele é fundamental para seu conhecimento

MOSSORÓ  
R.G. DO NORTE - BRASIL  
JULHO 1994

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO  
BIBLIOTECA ORLANDO TEIXEIRA

M.  
631.2  
048c

| BOT - UFERSA<br>Campus Mossoró |            |
|--------------------------------|------------|
| Patrimônio Nº                  | 203007860  |
| Registro Nº                    | 33.026     |
| Data:                          | 27/06/2013 |
| Chamada Nº                     | 631.2      |



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

|                                                                              |          |
|------------------------------------------------------------------------------|----------|
| BIBLIOTECA ORLANDO TEIXEIRA<br>Escola Sup. de Agricultura de<br>Mossoró - RN |          |
| 33.026                                                                       | 16/05/95 |

2567

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

|                                                                                     |
|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Oliveira, Raimundo Luiz de                                                          |
| Q48c Comparação de valores medidos e calculados de vazão de um vertedor retangular/ |
| Raimundo Luiz de Oliveira. Mossoró: ESAM, 1994.                                     |
| 67p. (Monografia) <i>Graduação em Agromecânica</i>                                  |
| 1. Hidráulica                                                                       |
| 2. Medidor de vazão                                                                 |
| 3. Vertedor retangular                                                              |
| CDD. 631.2                                                                          |



RAIMUNDO LUIZ DE OLIVEIRA

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

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

APROVADA EM: 14 / 07 / 1994

José Francismar de Medeiros  
José Francismar de Medeiros

Engº Agrº - ESAM

Co-orientador

Francisco Praxedes de Aquino  
Francisco Praxedes de Aquino

Prof. - ESAM

Membro

José Cipriano de Medeiros Filho  
José Cipriano de Medeiros Filho

Prof. - ESAM

Orientador



Aos

Meus pais, João Emílio e Maria  
Alves que, com muito esforço,  
trabalho e orgulho, durante toda  
minha vida dividiram alegrias,  
dificuldades e tristezas.

Aos

Meus irmãos, Luiz Mário e Luíza  
Maria e aos sobrinho e filho, Libni  
Hisael e Thallyngson Karthyer pela  
amizade, incentivo e afeto na minha  
formação profissional.

A

Maria da Saúde, Isaac Rannyer e  
Isabelle Rayanne pela importância  
de suas existências, na busca de  
meus ideais.

Dedico.

Escola Superior de Agricultura de Mossoró  
BIBLIOTECA "ORLANDO TEIXEIRA"

## AGRADECIMENTOS

A

*Deus*, pela razão da existência e sua presença em todos os momentos da minha vida;

Ao

Orientador, *José Cipriano de Medeiros Filho*, pela amizade, esforço, trabalho e ajuda na realização deste trabalho;

Ao

Co-orientador *José Francismar de Medeiros*, pela dedicada orientação durante o trabalho, bem como pela sincera amizade;

Ao

Professor *Francisco Praxedes de Aquino*, pelas sugestões oferecidas;

Ao

Professor *Edmilson de Paiva Sales*, pela ajuda na obtenção das fórmulas;

Ao

Professor *Everaldo Berdadino de Souza*, pelas ilustrações;

Ao

Laboratorista *Carlos Augusto Nunes*, pela ajuda na obtenção dos dados;

Ao

*Departamento de Engenharia Agrícola*, por nos ter dado condições para que o trabalho fosse realizado;

Aos

Amigos, *Elano Gomes Pinto* e *Marcos Aurélio de Paula Fernandes*, pela amizade e convívio no decorrer desta jornada;

Aos

Amigos, *Edson Farias de Brito* e *Altino Veríssimo Torres*, pelos ensinamentos da vida;

Aos

*Colegas da casa 05*, pelo convívio durante estes cinco anos;

Ao

"*Capitalismo selvagem que insiste em nocautear os sonhos da juventude brasileira*";

Aos

"*Que nada fizeram por mim e a todos que direta ou indiretamente participaram da construção desse ideal*".

MEUS SINCEROS AGRADECIMENTOS

INSTITUTO SUPERIOR DE AGRICULTURA DE MOSSORÓ  
BIBLIOTECA "ORLANDO TEIXEIRA"



## DADOS BIOGRAFICOS DO AUTOR

**Raimundo Luiz de Oliveira**, filho de João Emílio Oliveira e Maria Alves de Oliveira, nasceu em Mauriti - CE, à 13 de Maio de 1967.

Concluiu o 1º grau menor no Colégio Monsenhor Tabosa e o 2º no Centro Educacional Coronel José Epifânio das Chagas, ambos em Morada Nova -CE.

Ingressou no curso de Agronomia da Escola Superior de Agricultura de Mossoró-ESAM, em março de 1989. Durante o curso foi monitor da disciplina de Física no Departamento de Engenharia Agrícola.

Defende no momento monografia para ser laureado com o título de Engenheiro Agrônomo.

## SUMARIO

|                                                                                                                                          | Página |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| LISTA DAS FIGURAS .....                                                                                                                  | x      |
| LISTA DOS QUADROS .....                                                                                                                  | xii    |
| QUADROS DO APENDICE .....                                                                                                                | xiii   |
| EXTRATO .....                                                                                                                            | xiv    |
| 1. INTRODUÇÃO .....                                                                                                                      | 01     |
| 2. REVISÃO DE LITERATURA .....                                                                                                           | 04     |
| 2.1. Emprego dos Vertedores Retangulares de Parede<br>Delgada na Medição de Vazão .....                                                  | 05     |
| 2.2. Fórmulas Práticas Empregadas no Cálculo de<br>Vazão de Vertedores Retangulares de<br>Parede Delgada e sem Contrações Laterais ..... | 06     |
| 2.2.1. A fórmula de Bazin .....                                                                                                          | 08     |
| 2.2.2. A fórmula de Cone .....                                                                                                           | 09     |
| 2.2.3. A fórmula de Francis .....                                                                                                        | 10     |
| 2.2.4. A fórmula de Frese .....                                                                                                          | 11     |
| 2.2.5. A fórmula de Kindsvater & Carter .....                                                                                            | 12     |
| 2.2.6. A fórmula de King .....                                                                                                           | 13     |
| 2.2.7. A fórmula de Poncelet & Lesbros .....                                                                                             | 15     |
| 2.2.8. A fórmula de Rehbock .....                                                                                                        | 15     |

|                                                                              | Página |
|------------------------------------------------------------------------------|--------|
| 2.2.9. A fórmula da Sociedade Belga de<br>Mecânica .....                     | 16     |
| 2.2.10. A fórmula da Sociedade Suíça de Enge-<br>nheiros e Arquitetos .....  | 17     |
| 3. MATERIAIS E MÉTODO .....                                                  | 19     |
| 3.1. Localização dos Ensaio e Características do<br>Vertedor Ensaioado ..... | 19     |
| 3.2. Medição das Cargas e Vazões Ensaioadas .....                            | 19     |
| 3.3. Procedimentos dos Ensaio .....                                          | 21     |
| 3.4. Determinação das Vazões Calculadas .....                                | 24     |
| 3.5. Determinação da Vazão Ensaioada .....                                   | 25     |
| 3.6. Determinação do Erro Relativo de Medição das<br>Vazões .....            | 26     |
| 3.6.1. Erro relativo das vazões calculadas ....                              | 26     |
| 3.6.1.1. A fórmula de Bazin .....                                            | 26     |
| 3.6.1.2. A fórmula de Cone .....                                             | 27     |
| 3.6.1.3. A fórmula de Francis .....                                          | 27     |
| 3.6.1.4. A fórmula de Frese .....                                            | 28     |
| 3.6.1.5. A fórmula de Kindsvater<br>& Carter .....                           | 28     |
| 3.6.1.6. A fórmula de King .....                                             | 28     |
| 3.6.1.7. A fórmula de Poncelet<br>& Lesbros .....                            | 29     |
| 3.6.1.8. A fórmula de Rehbock .....                                          | 29     |
| 3.6.1.9. A fórmula da Sociedade                                              |        |



|                                                   | Página |
|---------------------------------------------------|--------|
| Belga de Mecânica .....                           | 30     |
| 3.6.1.10. A fórmula da Sociedade                  |        |
| Suíça de Engenheiros e                            |        |
| Arquitetos .....                                  | 30     |
| 3.6.2. Erro relativo da vazão ensaiada .....      | 31     |
| 3.7. Comparação das Vazões Calculadas com a       |        |
| Vazão Ensaaiada .....                             | 32     |
| 3.8. Análise Estatística .....                    | 32     |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....                   | 33     |
| 5. CONCLUSÕES .....                               | 51     |
| 6. RESUMO .....                                   | 52     |
| 7. BIBLIOGRAFIA CITADA .....                      | 54     |
| APENDICE .....                                    | 59     |
| 1. Comparação da vazão calculada pela fórmula de  |        |
| Darcy com relação à ensaiada .....                | 34     |
| 2. Comparação da vazão calculada pela fórmula de  |        |
| Francis com relação à ensaiada .....              | 35     |
| 3. Comparação da vazão calculada pela fórmula de  |        |
| Fresse com relação à ensaiada .....               | 36     |
| 4. Comparação da vazão calculada pela fórmula de  |        |
| Kindervater & Carter com relação à ensaiada ..... | 37     |
| 5. Comparação da vazão calculada pela fórmula de  |        |
| King com relação à ensaiada .....                 | 38     |
| 6. Comparação da vazão calculada pela fórmula de  |        |
| Poncelet & Leveque com relação à ensaiada .....   | 39     |

## LISTA DAS FIGURAS

|                                                                                                                          | Página |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| 1. Valores de B e Cc para vertedores retangulares .....                                                                  | 14     |
| 2. Vertedor retangular de parede delgada e sem<br>contações laterais, do tipo L.N.H. - CHATOU, e<br>suas dimensões ..... | 20     |
| 3. Esquema geral do aparelho experimental .....                                                                          | 23     |
| 4. Comparação da vazão calculada pela fórmula de<br>Bazin com relação à ensaiada .....                                   | 35     |
| 5. Comparação da vazão calculada pela fórmula de<br>Cone com relação à ensaiada .....                                    | 36     |
| 6. Comparação da vazão calculada pela fórmula de<br>Francis com relação à ensaiada .....                                 | 37     |
| 7. Comparação da vazão calculada pela fórmula de<br>Frese com relação à ensaiada .....                                   | 38     |
| 8. Comparação da vazão calculada pela fórmula de<br>Kindsvater & Carter com relação à ensaiada .....                     | 39     |
| 9. Comparação da vazão calculada pela fórmula de<br>King com relação à ensaiada .....                                    | 40     |
| 10. Comparação da vazão calculada pela fórmula de<br>Poncelet & Lesbros com relação à ensaiada .....                     | 41     |

## Página

|                                                                                        |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 11. Comparação da vazão calculada pela fórmula de Rehbock com relação à ensaiada ..... | 42 |
| 12. Comparação da vazão calculada pela fórmula de SBM com relação à ensaiada .....     | 43 |
| 13. Comparação da vazão calculada pela fórmula de SSEA com relação à ensaiada .....    | 44 |

## Página

|                                                                                                    |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. Tempo Estimado de Menção para Cada Vazão Ensiada .....                                          | 45 |
| 2. Valores Absolutos do Erro Relativo das Vazões Calculadas e Ensiadas .....                       | 46 |
| 3. Diferença Relativa entre as Vazões Calculadas pelas Diferentes Fórmulas e a Ensiada, em % ..... | 47 |
| 4. Médias de Vazões Calculadas e Ensiadas para a Tabela de Carga Hidráulica Estudada .....         | 48 |

## LISTA DOS QUADROS

|                                                                                                       | Página |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| 1. Tempo Estimado de Medição para Cada Vazão Ensaída                                                  | 22     |
| 2. Valores Absolutos do Erro Relativo das Vazões<br>Calculadas e Ensaídas .....                       | 34     |
| 3. Diferença Relativa entre as Vazões Calculadas<br>pelas Diferentes Fórmulas e a Ensaída, em % ..... | 45     |
| 4. Médias de Vazões Calculadas e Ensaídas para a faixa<br>de Carga Hidráulica Estudada .....          | 49     |



## QUADROS DO APENDICE

|                                                                                                                     | Página |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| 1A. Coeficientes de Vazão (C) de um Vertedor Retangular de Parede Delgada, Calculados pela Fórmula de Bazin .....   | 61     |
| 2A. Coeficientes de Vazão (C) de um Vertedor Retangular Calculados pela Fórmula de Bazin .....                      | 62     |
| 3A. Coeficientes de Vazão (C) de um Vertedor Retangular de Parede Delgada, calculados pela Fórmula de Rehbock ..... | 63     |
| 1B. Vazão Calculada por Diferentes Fórmulas e Ensaçada, para Cargas Hidráulicas variando de 2,00 a 14,80 cm .....   | 65     |
| 1C. Análise de Variância dos Dados de Vazão Calculada e Ensaçada .....                                              | 67     |

## EXTRATO

**OLIVEIRA, R.L. de.** Escola Superior de Agricultura de Mossoró, julho de 1974. Comparação de valores medidos e calculados de vazão de um vertedor retangular. Professor orientador: *José Cipriano de Medeiros Filho*, Co-orientador: *José Francismar de Medeiros* e Conselheiro: *Francisco Praxedes de Aquino*.

O presente trabalho foi realizado no Laboratório de Hidráulica da Escola Superior de Agricultura de Mossoró (ESAM), Mossoró - RN, com o objetivo de comparar valores de vazão calculados pelas fórmulas de Bazin, Cone, Francis, Frese, Kindsvater & Carter, King, Poncelet & Lesbros, Rehbock, da Sociedade Belga de Mecânicos (SBM) e da Sociedade Suíça de Engenheiros e Arquitetos (SSEA) com valores de vazão obtidos numa cuba de aferição, tendo sido ensaiado um vertedor retangular de parede delgada e sem contrações laterais, do tipo L.N.H. - CHATOU, onde as cargas utilizadas variaram de 2,00 cm a 14,80 cm, com incremento de 0,40 cm entre elas. Os resultados demonstraram que as fórmulas de

Rehbock, da SBM e da SSEA foram as mais precisas na determinação de vazão do vertedor ensaiado, sendo que a de Rehbock foi a de maior destaque. Embora não tendo apresentado a precisão demonstrada pelas fórmulas de Rehbock, da SBM e da SSEA, as fórmulas de Francis, Frese, Kindsvater & Carter e de King também podem ser empregadas no cálculo de vazão do vertedor retangular do tipo e no intervalo de cargas utilizados nos ensaios.

O conhecimento atual que existe sobre as relações solo-água-planta permite que os sistemas de irrigação ofereçam água em volumes e proporções adequadas com a capacidade de absorção das terras, obtendo-se, assim, o melhor aproveitamento do líquido, com mínimas perdas para os solos.

A água é fator fundamental na produção vegetal. Sua falta ou excesso afeta de maneira decisiva o desenvolvimento das plantas e, consequentemente, a maximização da produção agrícola (REICHART, 1971). O estudo de técnicas adequadas para a irrigação depende de grande parte de quantificação de um recurso escasso (KIMBALL, 1971; WATSON, 1971). Por isso, o aumento do consumo de água, de seu valor disponível e a tendência crescente das pesquisas de irrigação de administrar melhor esse recurso e obter, por meio da irrigação, o conhecimento de princípios e métodos necessários para se obter uma boa produção agrícola.

Dentre os livros sobre irrigação, destacamos os seguintes:

Escola Superior de Agricultura de Moscou  
BIBLIOTECA "ORLANDO TEIXEIRA"

## 1. INTRODUÇÃO

O conhecimento atual que existe sobre as relações solo-água-planta permite que os sistemas de irrigação ofereçam água em volumes e proporções adequadas com a capacidade de absorção das terras, obtendo-se, assim, o máximo aproveitamento do líquido, com mínima erosão para os solos.

A água é fator fundamental na produção vegetal. Sua falta ou seu excesso afeta de maneira decisiva o desenvolvimento das plantas e, conseqüentemente, a maximização da produção agrícola (REICHARDT, 1978). O emprego eficaz da água para a irrigação depende em grande parte da quantidade e de um manejo adequado (ISRAELSEN & HANSEN, 1973). Por isso, o aumento do consumo da água, do seu valor disponível e a tendência crescente das empresas de irrigação em administrar eficazmente seus gastos a cada ano, exigem o conhecimento de princípios e métodos necessários para se obter uma boa medição desta água.

Dentre os vários métodos existentes para medir a



água de irrigação, o vertedor é um dos mais indicados, em virtude de sua facilidade de execução e importância que tem nas aplicações práticas, permitindo obter boa precisão na medição das vazões (GRANADOS, 1971 e LENCASTRE, 1972). Esse dispositivo tem sido cuidadosamente estudado por numerosos pesquisadores, uma vez que é frequentemente usado para eliminar excedentes de água em pântanos, canais, barragens, açudes, etc. Seu emprego maior, entretanto, se observa na agricultura, principalmente na distribuição de água para a irrigação.

Há diferentes classes de vertedores segundo a forma de abertura por onde o líquido flui. Podem ser retangulares, triangulares, trapezoidais, circulares, parabólicos ou de qualquer outra forma regular. No entanto, as três primeiras são as mais utilizadas para medir o fluxo de água.

Muitas são as fórmulas utilizadas no cálculo da vazão de vertedores retangulares de parede delgada e sem contrações laterais; dentre elas, pode-se destacar as de Bazin, Cone, Francis, Frese, Kindsvater & Carter, King, Poncelet & Lesbros, Rehbock, da Sociedade Belga de Mecânicos e da Sociedade Suíça de Engenheiros e Arquitetos. Em quase todas, a vazão a ser determinada depende basicamente da carga hidráulica, da profundidade e do comprimento da crista do vertedor por onde o líquido escoar.

Considerando a importância que as fórmulas têm na

determinação das vazões dos vertedores retangulares, pretende-se, com este trabalho, comparar os valores encontrados mediante o emprego das referidas fórmulas com os valores de vazão obtidos em laboratório, numa cuba de aferição.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

Vertedores são estruturas construídas na margem superior de uma grande abertura no fundo, através das quais a água escoa por cima de estruturas de seção constante na sua parte superior. De acordo com a literatura, podem ser considerados como vertedores as obras feitas a montante superior (BRUNNEN, 1917; BAKER, 1944; GRANT, 1970; LENTZ, 1970; KANE, 1971; PIERCE, 1981; AGOSTINI, 1981; OLIVIERI, 1981; BAKER, 1981; BAKER, 1981 e BAKER, 1981). Sua principal utilização é na medição da vazão das escoamentos livres e no controle das enchidas das galerias e canais (BRUNNEN, 1917 e GRANT, 1970). Apresentam valores bem próximos aos reais (BRUNNEN, 1917). Desde então, sua importância tem demonstrado pelas inúmeras aplicações, tais como: nos extravasores de barragem, nos canais de água, nos decantadores, nos canais abertos de, entre, nos vertedores de descargas líquidas nos canais e nos vertedores de tratamento de água e esgoto (PIERCE, 1981).

Os vertedores são classificados de acordo com os

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

Vertedores são estruturas construídas em canais abertos de modo a provocar obstrução no fluxo, fazendo com que o fluido escoe por cima da estrutura de um entalhe feito em sua parte superior. Do ponto de vista hidráulico, podem ser considerados como orifícios aos quais falta a parte superior (BARRETO, 1957; GARCEZ, 1960; GRANADOS, 1971; LENCASTRE, 1972; NEVES, 1979; PIMENTA, 1981; AZEVEDO NETTO & ALVAREZ, 1982; BASTOS, 1983; DAKER, 1983 e QUINTELA, 1985). Sua principal utilização é na medição da vazão das canalizações abertas e no controle dos escoamentos em galerias e canais (NEVES, 1979 e HWANG, 1984), apresentando valores bem próximos dos reais (DAKER, 1983). Sendo assim, sua importância fica demonstrada pelas inúmeras aplicações, tais como: nos extravasadores de barragens; nas tomadas de água; nos decantadores; nos canais abertos; ou, ainda, como medidores de descargas líquidas nos canais e nas estações de tratamento de água e esgotos (PIMENTA, 1981).

Os vertedores são classificados de acordo com sua

forma de abertura por onde o líquido flui. Os mesmos podem ser retangulares, triangulares, trapezoidais, circulares, parabólicos ou de qualquer outra forma regular (CORONEL, 1975; NEVES, 1979; PIMENTA, 1981; DELMÉE, 1982; ISMAIL, 1982; KING et alii, 1982 e BASTOS, 1983). No entanto, as três primeiras formas são as mais utilizadas para medir o fluxo de água (KRAATZ & MAHAJAN, 1976 e BERNARDO, 1989).

Para o presente trabalho, serão detalhados apenas os vertedores retangulares, onde os de parede delgada e sem contrações laterais serão abordados com mais freqüência.

## 2.1. Emprego dos Vertedores Retangulares de Parede Delgada na Medição de Vazão

O vertedor é um dos aparelhos mais antigos e mais sensíveis que se pode usar para medir descarga em canais, e sua simplicidade de construção o tornou muito popular (ZIMMERMAN, 1970; DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA DE LOS ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA, 1973; THORNE & PETERSON, 1977; BASTOS, 1983; STUTLER, 1984 e BERNARDO, 1989). É um dispositivo simples e prático, que se usa comumente para medir vazões pequenas. Quando utilizado em condições controladas, é muito preciso (THORNE & PETERSON, 1977).

Quando se deseja obter bons resultados, deve-se



utilizar um vertedor retangular, de preferência sem contrações laterais (NEVES, 1979). Os vertedores retangulares têm pouca precisão para espessura de água abaixo de 6 cm, em virtude da tendência que apresenta o lençol d'água em aderir à lâmina da crista, em lugar de projetar-se livremente (WITHERS & VIPOND, 1977). Para DELMÉE (1982), o valor mínimo da carga deve ser da ordem de 3 cm, enquanto para LENCASTRE (1972), este deve ser de cerca de 2 cm. Entretanto, para vazões compreendidas entre 30 l/s e 300 l/s, o vertedor retangular de parede delgada apresenta boa precisão (LENCASTRE, 1972), embora esse limite seja bem flexível (DACACH, 1975).

## 2.2. Fórmulas Práticas Empregadas no Cálculo de Vazão de Vertedores Retangulares de Parede Delgada e sem Contrações Laterais

No estudo sobre vertedor, o problema prático mais importante é o da representação da sua lei de vazão em função dos parâmetros característicos. Sendo assim, fórmulas devem ser usadas com o máximo cuidado, pois ensaios de laboratório indicam que só merecem confiança absoluta os aparelhos aferidos experimentalmente (PIMENTA, 1981).

Existe um grande número de fórmulas para o cálculo da descarga nos vertedores, e quase todas se enquadram numa fórmula geral:  $Q = C.L.H^{1,5}$  (NEVES, 1979).

Vários pesquisadores realizaram trabalhos de laboratório, metódicos e demorados, visando obter expressões do coeficiente de descarga (C); essas expressões são comumente conhecidas como fórmulas práticas. O coeficiente de descarga varia de 1,65 a 2,25 para os vertedores com soleiras normais, sendo os valores maiores aplicáveis à soleira padrão (GARCEZ, 1960). O coeficiente, para qualquer vertedor, varia também com o valor da carga. É comum determinar-se os valores dos coeficientes dos vertedores por meio de ensaios em modelos reduzidos (LINSLEY & FRANZINI, 1978).

VENNARD & STREET (1978) afirmam que a equação do vertedor retangular pode ser aplicada para a estrutura vertedoura, sendo que o coeficiente (C) varia de 0,60 a 0,75.

Segundo KING et alii (1982), quando se utiliza qualquer tipo de fórmula é importante que se conheça as condições do projeto de tal vertedor e a gama de cargas utilizadas nos ensaios.

Sendo os vertedores retangulares os mais empregados para as medições de descargas, e existindo um bom número de fórmulas para esse fim, o presente trabalho utilizará apenas as mais empregadas, dentre as quais, pode-se citar as de Bazin, Cone, Francis, Frese, Kindsvater & Carter,

King, Poncelet & Lesbros, Rehbock, da Sociedade Belga de Mecânicos e da Sociedade Suíça de Engenheiros e Arquitetos.

### 2.2.1. A fórmula de Bazin

De acordo com QUINTELA (1985), um vertedor Bazin é aquele que apresenta parede delgada, com a soleira horizontal em bisel, sem contrações laterais e com o espaço sob a lâmina líquida preenchido por ar à pressão atmosférica. Um vertedor Bazin pode ser utilizado para medir vazões com boa precisão, devendo, para isso, garantir-se uma distribuição uniforme da velocidade na chegada ao vertedor. As experiências de Bazin foram realizadas em Dijon (França), entre 1888 e 1898, com cargas variando de 0,05 m a 0,60 m (BASTOS, 1983). Nestas condições, a descarga é determinada por:

$$Q = C.L.H^{1,5} \quad (1)$$

Conforme PIMENTA (1981), Bazin, após estudos experimentais bastante completos do problema, propôs a seguinte fórmula para a determinação do coeficiente de descarga (C):

$$C = (2g)^{0,5} \cdot (0,405 + 3/(1000.H)) (1 + 0,55 \cdot (H/(H + P))^2) \quad (2)$$

com as seguintes limitações:

$$* 0,5 \text{ m} < L < 2 \text{ m};$$

$$* 0,1 \text{ m} < H < 0,6 \text{ m};$$

$$* 0,2 \text{ m} < P < 2 \text{ m}.$$

Resultando na fórmula geral de Bazin para o cálculo da vazão:

$$Q = 4,4294 \cdot (0,405 + 3/(1000.H)) (1 + 0,55 \cdot (H/(H + P))^2) \cdot L \cdot H^{1,5} \quad (3)$$

onde:

$$* Q = \text{Vazão do vertedor (m}^3\text{/s)};$$

$$* L = \text{Comprimento da crista do vertedor (m)};$$

$$* H = \text{Carga do vertedor (m)};$$

$$* P = \text{Profundidade do vertedor (m)}.$$

O coeficiente de descarga pode ser obtido diretamente dos Quadros 1A e 2A (Apêndice).

### 2.2.2. A fórmula de Cone

Segundo DELMÉE (1982), a fórmula de Cone apresenta-se da seguinte maneira no sistema inglês:



$$Q = 3,08.L^{1,022}.H(1,46 + 0,003.L) \quad (4)$$

Fazendo-se a transformação para o sistema métrico, a mesma adquire o seguinte aspecto:

$$Q = 0,2936.L^{1,022}.3,28(1,46 + 0,00984.L).H(1,46 + 0,00984.L) \quad (5)$$

### 2.2.3. A fórmula de Francis

De acordo com GARCEZ (1960) e GILES (1974), essa fórmula baseia-se numa série de experiências com vertedores de 1,07 m a 5,18 m de largura, operando com cargas variáveis de 0,18 m a 0,48 m, medidas a montante da parede. Ela decorre de experiências feitas em Lowell, Massachusetts (U.S.A.), entre 1848 e 1852 (BASTOS, 1983). A sua fórmula empírica apresenta-se da seguinte maneira:

$$Q = C.L.H^{1,5} \quad (6)$$

PIMENTA (1981) afirma que o coeficiente de descarga (C) da fórmula de Francis pode ser determinado pela seguinte expressão:

$$C = 1,838 \cdot (1 + 0,26 \cdot (H/(H + P))^2) \quad (7)$$

Sendo assim, a fórmula de Francis será:

$$Q = 1,838 \cdot (1 + 0,26 \cdot (H/(H + P))^2) \cdot L \cdot H^{1,5} \quad (8)$$

WITHERS & VIPOND (1977) afirmam que os limites de aplicação dessa fórmula são os seguintes:

$$* H/P \leq 0,5;$$

$$* H \geq 0,06 \text{ m};$$

$$* P \geq 0,30 \text{ m}.$$

#### 2.2.4. A fórmula de Frese

Conforme PIMENTA (1981), o coeficiente de descarga (C) pode ser calculado pela fórmula de Frese abaixo:

$$C = (2g)^{0,5} \cdot (0,410 + 1,4/(1000 \cdot H)) \cdot (1 + 0,55 \cdot (H/(H + P))^2) \quad (9)$$

com os seguintes limites de aplicação:

$$* 0,1 \text{ m} < H < 0,6 \text{ m};$$

$$* L < H$$

Então, a fórmula geral de Frese para o cálculo de vazão é a seguinte:

$$Q = 4,4294 \cdot (0,410 + 1,4/(1000 \cdot H)) \cdot (1 + 0,55 \cdot (H/(H + P))^2) \cdot L \cdot H^{1,5} \quad (10)$$

#### 2.2.5. A fórmula de Kindsvater & Carter

Segundo DELMÉE (1982) e UNITED STATES DEPARTMENT OF THE INTERIOR (1984), testes desenvolvidos no Instituto de Tecnologia da Geórgia, nos Estados Unidos, mostraram que a equação de Kindsvater & Carter apresenta-se da seguinte forma:

$$Q = 0,6667 \cdot C_c \cdot L_c \cdot (2g)^{0,5} \cdot H_c^{1,5} \quad (11)$$

onde:

\*  $C_c$  é uma função de  $L/L_v$  e de  $H/P$ ;

\*  $C_c$  = Coeficiente de descarga corrigido;

\*  $L_v$  = Largura do vertedor (m);

\*  $L_c = L + B$ ;

\*  $L_c$  = Comprimento corrigido do vertedor (m);

\*  $H_c = H + 0,0009$  m;

\*  $H_c$  = Carga corrigida do vertedor (m).

Assim, a equação transforma-se em:

$$Q = 2,9530.Cc.(L + B)(H + 0,0009)^{1,5} \quad (12)$$

Os valores de "B" e de "Cc" podem ser obtidos na Figura 1 (DELMÉE, 1982 e UNITED STATES DEPARTMENT OF THE INTERIOR, 1984).

#### 2.2.6. A fórmula de King

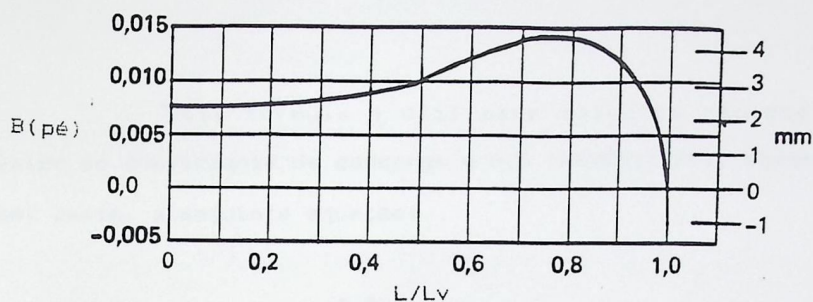
King, citado por KING et alii (1982), desenvolveu uma fórmula baseada numa série de experiências de vários pesquisadores, incluindo Francis, Bazin e Nagler. Ela tem o seguinte aspecto no sistema inglês:

$$Q = 3,34.(1 + 0,56.(H/(H + P))^2).L.H^{1,47} \quad (13)$$

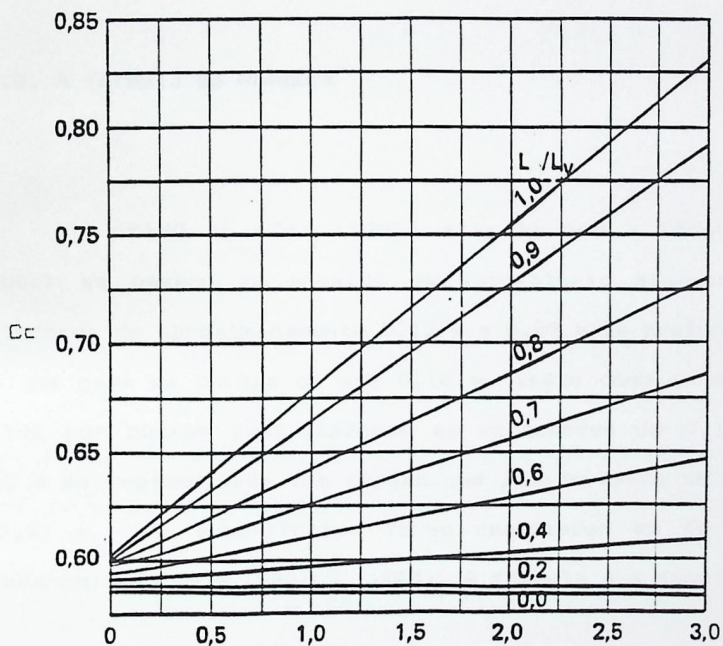
sendo no sistema métrico:

$$Q = 1,7783.(1 + 0,56.(H/(H + P))^2).L.H^{1,47} \quad (14)$$





Ajustes a serem acrescentados ao comprimento da crista  $L$



Coeficientes  $C_c$  em vertedor retangular como função de

$L/L_v$  e  $H/P$

Figura 1 - Valores de "B" e de " $C_c$ " para vertedores retangulares.

### 2.2.7. A fórmula de Poncelet & Lesbros

Esta fórmula é útil para cálculos rápidos. O valor do coeficiente de descarga é 0,6 (NEVES, 1979), obtendo-se, assim, a seguinte equação:

$$Q = 1,77.L.H^{1,5} \quad (15)$$

### 2.2.8. A fórmula de Rehbock

KING et alii (1982) afirmam que a fórmula de Rehbock se baseou em ensaios de laboratório efetuados em vertedores de aproximadamente 0,12 m a 0,49 m de profundidade com uma gama de cargas de até 0,18 m, assim como em ensaios feitos por outros pesquisadores em vertedores de 0,15 m a 1,22 m de profundidade com cargas que iam de cerca de 0,01 m a 0,82 m. As experiências foram realizadas em Karlsruhe (Alemanha), em 1929 (BASTOS, 1983). A fórmula é a seguinte:

$$Q = C.L.H^{1,5} \quad (16)$$

PIMENTA (1981) afirma que o coeficiente de descarga (C) pode ser determinado pela fórmula abaixo:

$$C = (2g)^{0,5} \cdot 0,6667 \cdot (0,605 + 1/(1050 \cdot H - 3) + 0,08 \cdot H/P) \quad (17)$$

então, a equação geral para calcular a vazão transforma-se em:

$$Q = 2,9530 \cdot (0,605 + 1/(1050 \cdot H - 3) + 0,08 \cdot H/P) \cdot L \cdot H^{1,5} \quad (18)$$

Valores do coeficiente de descarga podem ser obtidos no Quadro 3A (Apêndice).

## 2.2.9. A fórmula da Sociedade Belga de Mecânicos (SBM)

De acordo com FIMENTA (1981), a Sociedade Belga de Mecânicos propôs a seguinte fórmula para a determinação do coeficiente de descarga (C):

$$C = (2g)^{0,5} \cdot 0,4106 \cdot (1 + 1,8/(1000 \cdot H)) \cdot (1 + 0,55 \cdot (H/(H + P))^2) \quad (19)$$

Com os seguintes limites de aplicação:

$$* L > 0,5 \text{ m};$$

$$* 0,1 \text{ m} < H < 0,8 \text{ m};$$

$$* H < P < 0,3 \text{ m}.$$

Portanto, a equação geral para o cálculo de vazão será:

$$Q = 1,8187 \cdot (1 + 1,8/(1000 \cdot H)) (1 + 0,55 \cdot (H/(H + P))^2) \cdot L \cdot H^{1,5} \quad (20)$$

#### 2.2.10. A fórmula da Sociedade Suíça de Engenheiros e Arquitetos (SSEA)

Conforme BASTOS (1983), em 1947, após inúmeras experiências, os engenheiros suíços elaboraram sua fórmula empírica. As experiências foram realizadas em vertedores retangulares com 3 m de largura, sob cargas variando de 10 cm a 80 cm. A fórmula obtida pode ser expressa da seguinte forma:



$$Q = C.L.H^{1,5} \quad (21)$$

O coeficiente de descarga (C) pode ser calculado pela seguinte fórmula (PIMENTA, 1981):

$$C = (2g)^{0,5} \cdot 0,41 \cdot (1 + 1/(1000.H + 1,60)) (1 + 0,5 \cdot (H/(H + P))^2) \quad (22)$$

com os seguintes limites de aplicação:

$$* P > 0,3 \text{ m};$$

$$* 0,25 \text{ m} < H < 0,8 \text{ m};$$

$$* H < P.$$

Obtendo-se, a partir disso, a seguinte equação geral para o cálculo da vazão:

$$Q = 1,8161 \cdot (1 + 1/(1000.H + 1,60)) (1 + 0,5 \cdot (H/(H + P))^2) \cdot L.H^{1,5} \quad (23)$$

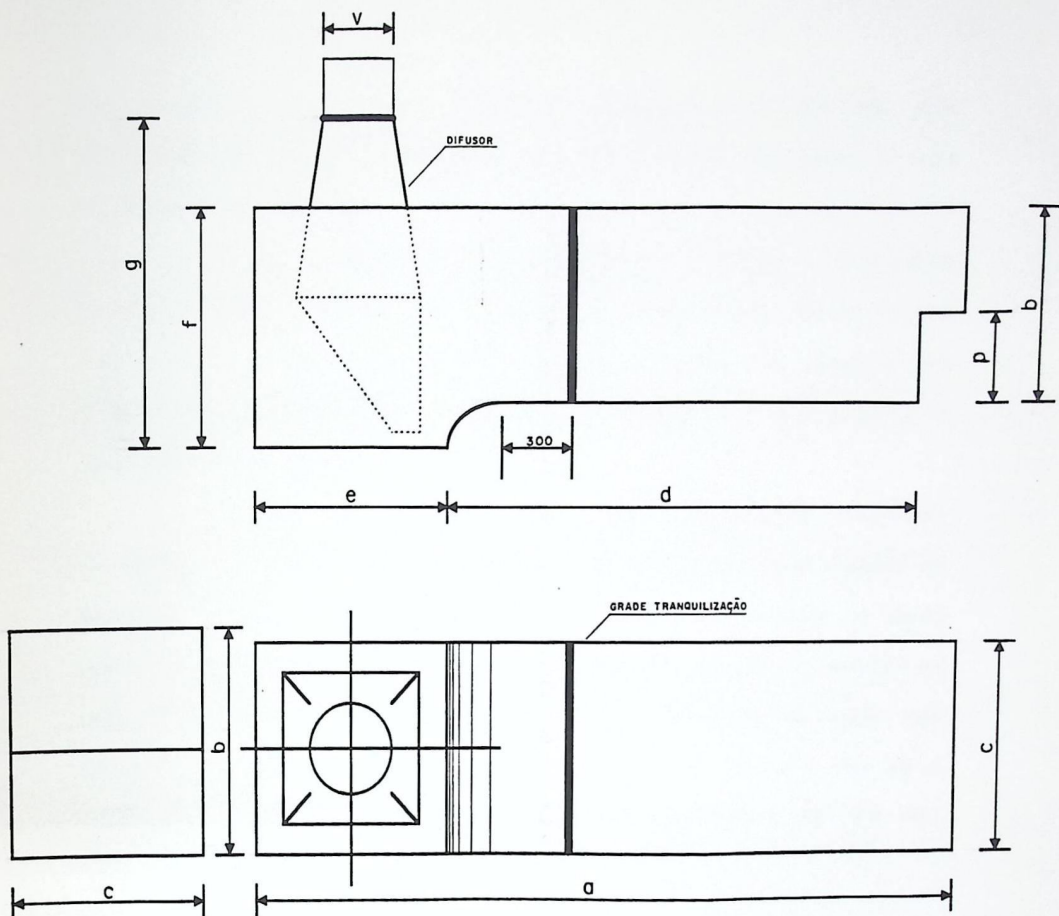
### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 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 abril a maio de 1994, sendo ensaiado um vertedor retangular de parede delgada e sem contrações laterais, 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 2,00 cm a 14,80 cm, com incremento de 0,40 cm, obtendo-se ao todo 33 cargas. As mesmas foram



| VAZÃO  | a     | b   | c   | d     | e   | f   | g   | v    | p   | peso cheio |
|--------|-------|-----|-----|-------|-----|-----|-----|------|-----|------------|
| 25 l/s | 2.250 | 500 | 250 | 1.750 | 500 | 700 | 750 | φ200 | 250 | 350 kg     |

#### NOTAS:

- 1) As cotas do vertedor são internas e estão em mm;
- 2) A cota "g" é " $\pm 25\text{mm}$ ";
- 3) No vertedor ensaiado, as dimensões "c" e "p" são iguais a 245,32mm e 248mm, respectivamente.

Figura 02 - Vertedor retangular de parede delgada sem contrações laterais, do tipo L. N. H. - CHATOU, e suas dimensões.

determinadas através de uma ponta linimétrica de 600 mm, com precisão de 0,1 mm, localizada a montante do vertedor a uma distância de 0,90 m.

As vazões de ensaio foram medidas volumetricamente em uma cuba de aferição de superfície retangular, previamente calibrada, tendo as seguintes dimensões: Comprimento =  $(6,2931 \pm 0,0020)$  m e Largura =  $(2,2368 \pm 0,0002)$  m.

Por intermédio 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 mm.

### 3.3. Procedimento dos Ensaios

Segundo a Figura 3, a instalação experimental dos ensaios mostra que a água é admitida por meio da canalização e é controlada pelo registro, passando por um difusor, cuja finalidade é diminuir a velocidade da água na entrada do vertedor. As grades e os flutuadores reduzem as perturbações do escoamento, tranquilizando-o (UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO



QUADRO 1 - Tempo Estimado de Medição para Cada Vazão Ensaada

| CARGA<br>(cm) | VAZÃO <sup>1</sup><br>(l/s) | TEMPO<br>(min e s) |
|---------------|-----------------------------|--------------------|
| 2,00          | 1,367                       | 17' 35"            |
| 2,40          | 1,772                       | 13' 37"            |
| 2,80          | 2,213                       | 10' 48"            |
| 3,20          | 2,687                       | 09' 04"            |
| 3,60          | 3,193                       | 07' 38"            |
| 4,00          | 3,730                       | 06' 35"            |
| 4,40          | 4,295                       | 05' 36"            |
| 4,80          | 4,888                       | 04' 55"            |
| 5,20          | 5,508                       | 04' 25"            |
| 5,60          | 6,153                       | 03' 55"            |
| 6,00          | 6,825                       | 03' 32"            |
| 6,40          | 7,521                       | 03' 14"            |
| 6,80          | 8,241                       | 02' 57"            |
| 7,20          | 8,985                       | 02' 44"            |
| 7,60          | 9,752                       | 02' 27"            |
| 8,00          | 10,543                      | 02' 19"            |
| 8,40          | 11,355                      | 02' 09"            |
| 8,80          | 12,190                      | 01' 58"            |
| 9,20          | 13,046                      | 01' 50"            |
| 9,60          | 13,924                      | 01' 43"            |
| 10,00         | 14,823                      | 01' 38"            |
| 10,40         | 15,743                      | 01' 32"            |
| 10,80         | 16,684                      | 01' 27"            |
| 11,20         | 17,646                      | 01' 22"            |
| 11,60         | 18,628                      | 01' 18"            |
| 12,00         | 19,629                      | 01' 14"            |
| 12,40         | 20,651                      | 01' 10"            |
| 12,80         | 21,693                      | 01' 07"            |
| 13,20         | 22,763                      | 01' 04"            |
| 13,60         | 23,836                      | 01' 01"            |
| 14,00         | 24,936                      | 00' 58"            |
| 14,40         | 26,055                      | 00' 56"            |
| 14,80         | 27,194                      | 00' 53"            |

1. Vazão calculada pela fórmula de Rehbock.

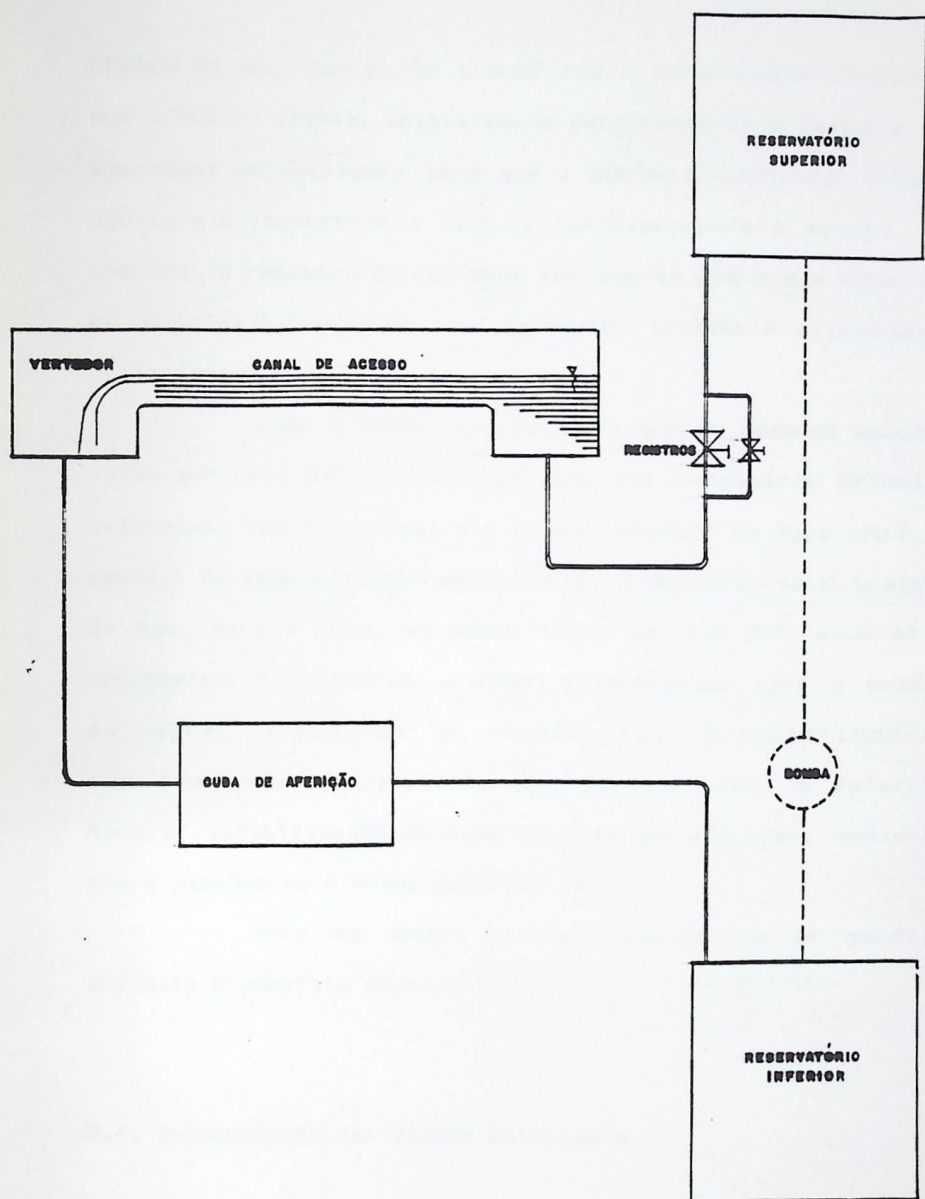


Figura 3 - Esquema geral do aparelho experimental.

GRANDE DO SUL, s.d.). De acordo com a metodologia utilizada por CORDEIRO (1994), 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 que se encontrava dentro do copo de medida tocasse a extremidade do linímetro e ficasse estabilizada.

Após a estabilização, para que se pudesse medir a vazão por meio 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, transferiu-se o trajeto da água para a cuba, ao mesmo tempo em que destravou-se 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. Após a estabilização da água na cuba de aferição, mediu-se com o piezômetro o nível superior ( $N_s$ ).

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

### 3.4. Determinação das Vazões Calculadas

As vazões calculadas foram determinadas pelas fórmulas de Bazin, Cone, Francis, Frese, Kindsvater & Carter,

King, Poncelet & Lesbros, Rehbock, da Sociedade Belga de Mecânicos e da Sociedade Suíça de Engenheiros e Arquitetos, representadas pelas equações (3), (5), (8), (10), (12), (14), (15), (18), (20) e (23), respectivamente.

### 3.5. Determinação da Vazão Ensaída

A vazão ensaiada foi calculada, dividindo-se o volume de água coletada na cuba pelo tempo de coleta, sendo obtida pela seguinte equação:

$$Q_{ens} = (a.b.c)/t \quad (24)$$

onde:

- \*  $Q_{ens}$  = 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 (s).

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

$$c = N_s - N_i \quad (25)$$

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 das Vazões

Para a estimativa do erro relativo das vazões calculadas e ensaiadas, utilizou-se o procedimento sugerido por BAJPAI *et alii* (1980), sendo sempre determinado os erros máximos.

#### 3.6.1. Erro relativo das vazões calculadas

Para as fórmulas utilizadas na determinação das vazões calculadas, foram obtidas as seguintes equações para estimativa do erro relativo das mesmas:

##### 3.6.1.1. Fórmula de Bazin

$$\begin{aligned} \text{ErQcalc} = & ((0,6075.H + 0,0045)((H + P)^2 + \\ & 0,55.H^2) - (0,003)((H + P)^2 + \\ & 0,55.H^2) + (0,405.H + \\ & 0,003)(1,1.H^2.P/(H + P))) \cdot dH / (H.(0,405.H + 0,003)((H + P)^2 \end{aligned}$$

$$+ 0,55.H^2)) - (1,1.H^2).dP/((H + P)((H + P)^2 + 0,55.H^2)) + dL/L \quad (26)$$

onde:

\* ErQcalc = Erro relativo da vazão calculada (%);

\* dH = Erro absoluto da carga do vertedor (m);

\* dP = Erro absoluto da profundidade do vertedor (m);

\* dL = Erro absoluto do comprimento da crista do vertedor (m).

### 3.6.1.2. Fórmula de Cone

$$ErQcalc = (1,46 + 0,00984.L).dH/H + (1,022 + 0,00984.ln.(3,28.H).L).dL/L \quad (27)$$

### 3.6.1.3. Fórmula de Francis

$$ErQcalc = (1,5.((H + P)^2 + 0,26.H^2) + (0,52.H^2.P/(H + P))).dH/(H((H + P)^2 + 0,26.H^2)) - (0,52.H^2).dP/((H + P)((H + P)^2 + 0,26.H^2)) + dL/L \quad (28)$$

## 3.6.1.4. Fórmula de Frese

$$\begin{aligned}
 ErQ_{calc} = & ((0,615.H + 0,0021)((H + P)^2 + \\
 & 0,55.H^2) - (0,0014)((H + P)^2 + \\
 & 0,55.H^2) + (0,410.H + \\
 & 0,0014)(1,1.H^2.P/(H + P))) \cdot dH/(H(0,410.H + 0,0014)((H + \\
 & P)^2 + 0,55.H^2)) - (1,1.H^2) \cdot dP/((H + \\
 & P)((H + P)^2 + 0,55.H^2)) + dL/L \quad (29)
 \end{aligned}$$

## 3.6.1.5. Fórmula de Kindsvater &amp; Carter

$$ErQ_{calc} = 1,5 \cdot dH/(H + 0,0009) + dL/(L + B) \quad (30)$$

## 3.6.1.6. Fórmula de King

$$\begin{aligned}
 ErQ_{calc} = & (1,47 \cdot ((H + P)^2 + 0,56.H^2) + \\
 & (1,12.H^2.P/(H + P))) \cdot dH/(H((H +
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & P)^2 + 0,56.H^2)) - (1,12.H^2).dP/((H \\ & + P).((H + P)^2 + 0,56.H^2)) + \\ & dL/L \end{aligned} \quad (31)$$

### 3.6.1.7. Fórmula de Poncelet & Lesbros

$$ErQ_{calc} = 1,5.dH/H + dL/L \quad (32)$$

### 3.6.1.8. Fórmula de Rehbock

$$\begin{aligned} ErQ_{calc} = & ((0,9075 + 1,5/(1050.H - 3) + \\ & 0,12.H/P) + (H(-1050/(1050.H - 3)^2 \\ & + 0,08/P))).dH/(H(0,605 + 1/(1050.H \\ & - 3) + 0,08.H/P)) - \\ & 0,08.H.dP/(P^2(0,605 + 1/(1050.H - \\ & 3) + 0,08.H/P)) + dL/L \end{aligned} \quad (33)$$



## 3.6.1.9. Fórmula da Sociedade Belga de Mecânicos

$$\begin{aligned}
 ErQ_{calc} = & ((1,5.H + 0,0027)((H+P)^2 + 0,55.H^2) - \\
 & (0,0018)((H+P)^2 + 0,55.H^2) + (H + \\
 & 0,0018)(1,1.H^2.P/(H+P))) . dH / (H(H + \\
 & 0,0018)((H+P)^2 + 0,55.H^2)) - \\
 & 1,1.H^2.dP / ((H+P)((H+P)^2 + 0,55.H^2)) + \\
 & dL/L
 \end{aligned} \quad (34)$$

## 3.6.1.10. Fórmula da Sociedade Suíça de Engenheiros e Arquitetos

$$\begin{aligned}
 ErQ_{calc} = & ((1,5 + 1,5/(1000.H + 1,6))((H+P)^2 + \\
 & 0,5.H^2) - (1000.H/(1000.H + \\
 & 1,6)^2)((H+P)^2 + 0,5.H^2) + (1 + \\
 & 1/(1000.H + 1,6)) \\
 & (H^2.P/(H+P))) . dH / (H(1 + 1/(1000.H + \\
 & 1,6))((H+P)^2 + 0,5.H^2)) - \\
 & H^2.dP / ((H+P).((H+P)^2 + 0,5.H^2)) + \\
 & dL/L
 \end{aligned} \quad (35)$$

Os valores adotados para os termos "dH" , "P", "dP", "L", "dL" e "B" foram  $\pm 0,0002$  m;  $0,248$  m;  $\pm 0,001$  m;  $0,24532$  m;  $\pm 0,00002$  m e  $-0,01524$  m, respectivamente.

### 3.6.2. Erro relativo da vazão ensaiada

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

$$\text{ErQens} = da/a + db/b + dc/c - dt/t \quad (36)$$

onde:

- \* ErQens = Erro relativo da vazão ensaiada;
- \* da = Erro absoluto do comprimento da cuba (m);
- \* db = Erro absoluto da largura da cuba (m);
- \* dc = Erro absoluto da altura de água coletada na cuba (m);
- \* dt = Erro absoluto do tempo de coleta de água na cuba (s).

Os valores adotados, respectivamente, para os termos "da", "db", "dc" e "dt", foram os seguintes:  $\pm 0,0020$  m;  $\pm 0,0002$  m;  $\pm 0,002$  m e  $\pm 0,01$  s.

### 3.7. Comparação das Vazões Calculadas com a Vazão Ensaçada

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

$$D = ((Q_{\text{calc}} - Q_{\text{ens}})/Q_{\text{ens}}).100 \quad (37)$$

onde:

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

\*  $Q_{\text{calc}}$  = Vazão calculada ( $\text{m}^3/\text{s}$ ).

### 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 Quadro 1B (Apêndice).

O Quadro 2 mostra os erros relativos cometidos na determinação das vazões calculadas e na medição das vazões ensaiadas. Os erros relativos das vazões calculadas, em termos absolutos, variaram de 1,51% a 0,21%, ficando todos, portanto, bem abaixo do erro máximo obtido na medição de vazão por vertedores retangulares de parede delgada, que é da ordem de 4% (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, 8, 9, 10, 11, 12 e 13, bem como as diferenças relativas entre as vazões calculadas e ensaiadas, as quais se encontram no Quadro 3, pode-se verificar que as fórmulas de



# FORMULA DE BAZIN e ENSAIADA

QUADRO 2 - Valores Absolutos do Erro Relativo das Vazões Calculadas e Ensaçadas.

| CARGA<br>(cm) | ERRO RELATIVO DAS VAZÕES CALCULADAS (%) |      |         |       |                  |      |                  |         |                  |                   | ERRO RELATIVO DAS<br>VAZÕES ENSAIADAS<br>(%) |
|---------------|-----------------------------------------|------|---------|-------|------------------|------|------------------|---------|------------------|-------------------|----------------------------------------------|
|               | BAZIN                                   | CONE | FRANCIS | FRESE | K/C <sup>1</sup> | KING | P/L <sup>2</sup> | REHBOCK | SBH <sup>3</sup> | SSEA <sup>4</sup> |                                              |
| 2,00          | 1,25                                    | 1,47 | 1,51    | 1,37  | 1,44             | 1,49 | 1,51             | 1,42    | 1,43             | 1,47              | 1,98                                         |
| 2,40          | 1,07                                    | 1,23 | 1,26    | 1,16  | 1,21             | 1,24 | 1,26             | 1,21    | 1,21             | 1,24              | 1,98                                         |
| 2,80          | 0,94                                    | 1,05 | 1,08    | 1,01  | 1,05             | 1,07 | 1,08             | 1,05    | 1,05             | 1,07              | 1,98                                         |
| 3,20          | 0,84                                    | 0,92 | 0,95    | 0,90  | 0,92             | 0,94 | 0,95             | 0,93    | 0,93             | 0,94              | 1,98                                         |
| 3,60          | 0,76                                    | 0,82 | 0,85    | 0,81  | 0,82             | 0,84 | 0,84             | 0,83    | 0,83             | 0,84              | 1,98                                         |
| 4,00          | 0,70                                    | 0,74 | 0,77    | 0,74  | 0,74             | 0,76 | 0,76             | 0,75    | 0,75             | 0,76              | 1,99                                         |
| 4,40          | 0,64                                    | 0,67 | 0,70    | 0,68  | 0,68             | 0,69 | 0,69             | 0,69    | 0,69             | 0,70              | 1,99                                         |
| 4,80          | 0,60                                    | 0,62 | 0,64    | 0,63  | 0,62             | 0,64 | 0,63             | 0,64    | 0,64             | 0,64              | 1,99                                         |
| 5,20          | 0,56                                    | 0,57 | 0,60    | 0,58  | 0,58             | 0,60 | 0,59             | 0,59    | 0,59             | 0,60              | 1,99                                         |
| 5,60          | 0,52                                    | 0,53 | 0,55    | 0,55  | 0,54             | 0,56 | 0,54             | 0,55    | 0,56             | 0,56              | 1,99                                         |
| 6,00          | 0,50                                    | 0,50 | 0,52    | 0,51  | 0,50             | 0,52 | 0,51             | 0,52    | 0,52             | 0,53              | 1,99                                         |
| 6,40          | 0,47                                    | 0,47 | 0,49    | 0,49  | 0,47             | 0,49 | 0,48             | 0,49    | 0,49             | 0,50              | 1,99                                         |
| 6,80          | 0,45                                    | 0,44 | 0,46    | 0,46  | 0,44             | 0,47 | 0,45             | 0,47    | 0,47             | 0,47              | 1,99                                         |
| 7,20          | 0,43                                    | 0,41 | 0,44    | 0,44  | 0,42             | 0,45 | 0,42             | 0,44    | 0,45             | 0,45              | 1,99                                         |
| 7,60          | 0,41                                    | 0,39 | 0,42    | 0,42  | 0,40             | 0,43 | 0,40             | 0,42    | 0,43             | 0,43              | 1,99                                         |
| 8,00          | 0,39                                    | 0,37 | 0,40    | 0,40  | 0,38             | 0,41 | 0,38             | 0,40    | 0,41             | 0,41              | 1,99                                         |
| 8,40          | 0,37                                    | 0,34 | 0,37    | 0,37  | 0,35             | 0,38 | 0,35             | 0,37    | 0,38             | 0,38              | 1,99                                         |
| 8,80          | 0,35                                    | 0,33 | 0,35    | 0,36  | 0,33             | 0,36 | 0,33             | 0,36    | 0,37             | 0,36              | 1,99                                         |
| 9,20          | 0,34                                    | 0,31 | 0,34    | 0,35  | 0,32             | 0,35 | 0,32             | 0,35    | 0,35             | 0,35              | 1,99                                         |
| 9,60          | 0,33                                    | 0,30 | 0,33    | 0,34  | 0,31             | 0,34 | 0,31             | 0,34    | 0,34             | 0,34              | 1,99                                         |
| 10,00         | 0,32                                    | 0,29 | 0,32    | 0,33  | 0,29             | 0,33 | 0,30             | 0,32    | 0,33             | 0,33              | 1,99                                         |
| 10,40         | 0,31                                    | 0,28 | 0,31    | 0,32  | 0,28             | 0,32 | 0,29             | 0,31    | 0,32             | 0,32              | 1,99                                         |
| 10,80         | 0,31                                    | 0,27 | 0,30    | 0,31  | 0,27             | 0,31 | 0,28             | 0,31    | 0,31             | 0,31              | 1,99                                         |
| 11,20         | 0,30                                    | 0,26 | 0,29    | 0,30  | 0,27             | 0,30 | 0,27             | 0,30    | 0,31             | 0,30              | 2,00                                         |
| 11,60         | 0,29                                    | 0,25 | 0,28    | 0,30  | 0,26             | 0,30 | 0,26             | 0,29    | 0,30             | 0,30              | 2,00                                         |
| 12,00         | 0,28                                    | 0,24 | 0,27    | 0,29  | 0,25             | 0,29 | 0,25             | 0,28    | 0,29             | 0,29              | 2,00                                         |
| 12,40         | 0,28                                    | 0,24 | 0,26    | 0,28  | 0,24             | 0,28 | 0,24             | 0,28    | 0,28             | 0,28              | 2,00                                         |
| 12,80         | 0,27                                    | 0,23 | 0,26    | 0,28  | 0,23             | 0,28 | 0,24             | 0,27    | 0,28             | 0,28              | 2,00                                         |
| 13,20         | 0,27                                    | 0,22 | 0,25    | 0,27  | 0,23             | 0,27 | 0,23             | 0,26    | 0,27             | 0,27              | 2,00                                         |
| 13,60         | 0,26                                    | 0,22 | 0,25    | 0,27  | 0,22             | 0,27 | 0,22             | 0,26    | 0,27             | 0,26              | 2,00                                         |
| 14,00         | 0,26                                    | 0,21 | 0,24    | 0,26  | 0,22             | 0,26 | 0,22             | 0,25    | 0,26             | 0,26              | 2,00                                         |
| 14,40         | 0,25                                    | 0,21 | 0,23    | 0,26  | 0,21             | 0,26 | 0,21             | 0,25    | 0,26             | 0,25              | 2,00                                         |
| 14,80         | 0,25                                    | 0,21 | 0,23    | 0,26  | 0,21             | 0,26 | 0,21             | 0,25    | 0,26             | 0,25              | 2,00                                         |

1. Kindsvater & Carter;
2. Poncelet & Lesbros;
3. Sociedade Belga de Mecânicos;
4. Sociedade Suíça de Engenheiros e Arquitetos.

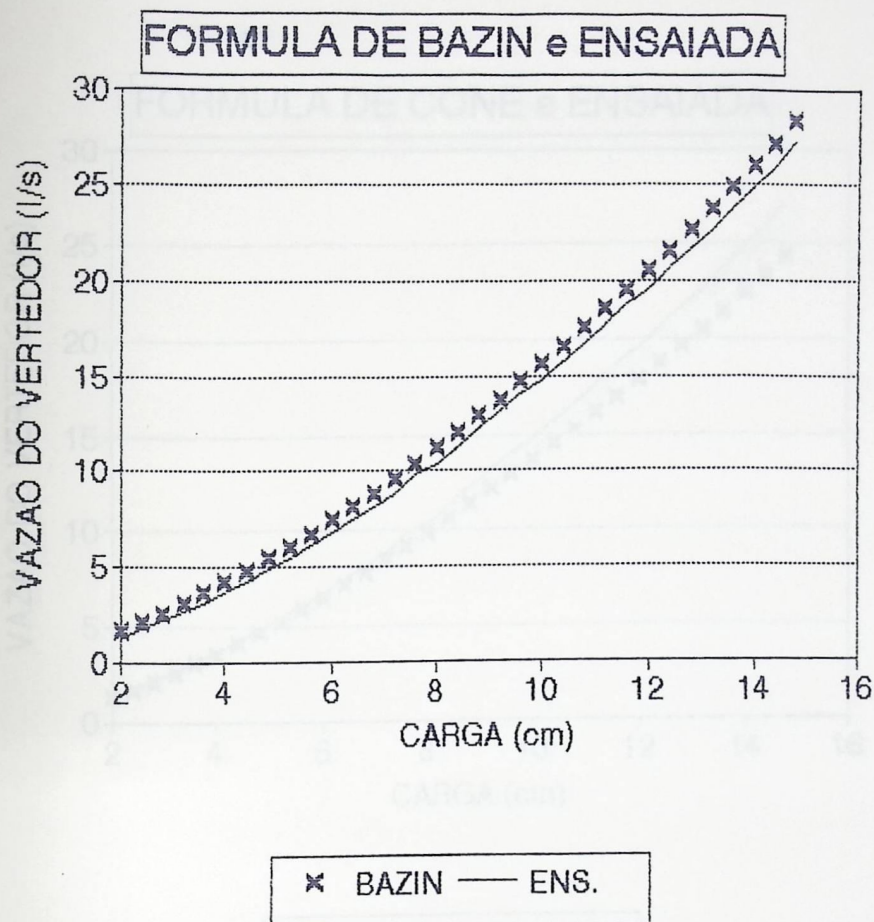


Figura 4 - Comparação da vazão calculada pela fórmula de Bazin com relação à ensaiada.

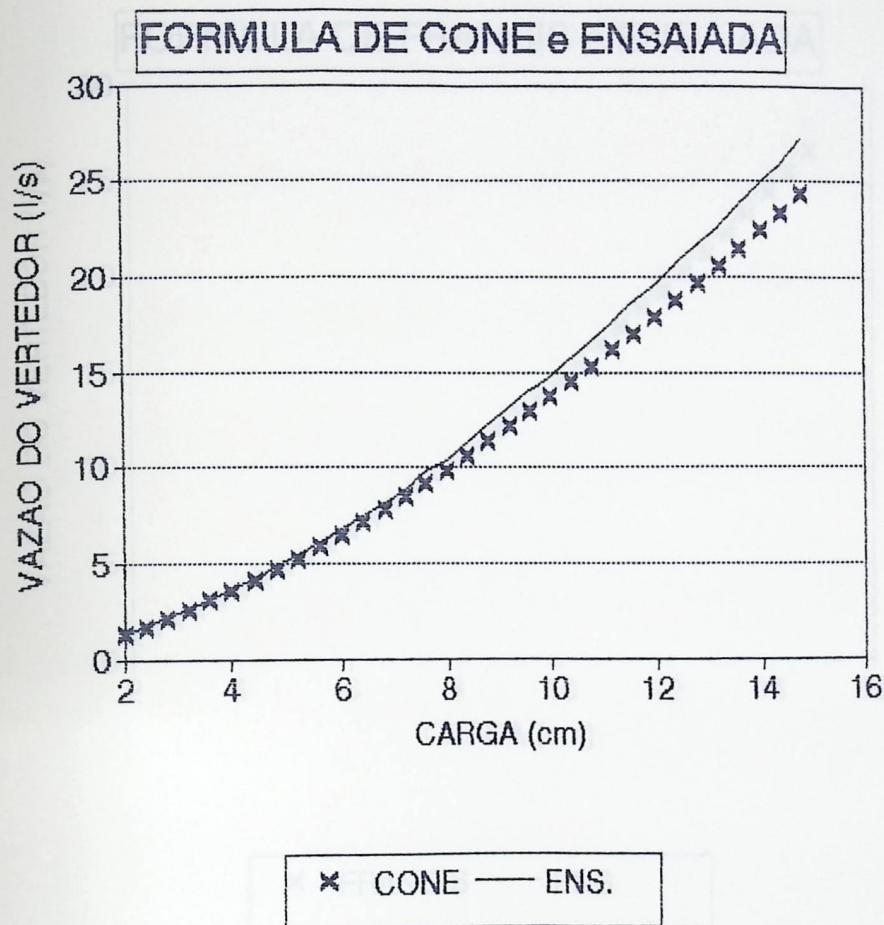


Figura 5 - Comparação da vazão calculada pela fórmula de Cone com relação à ensaiada.



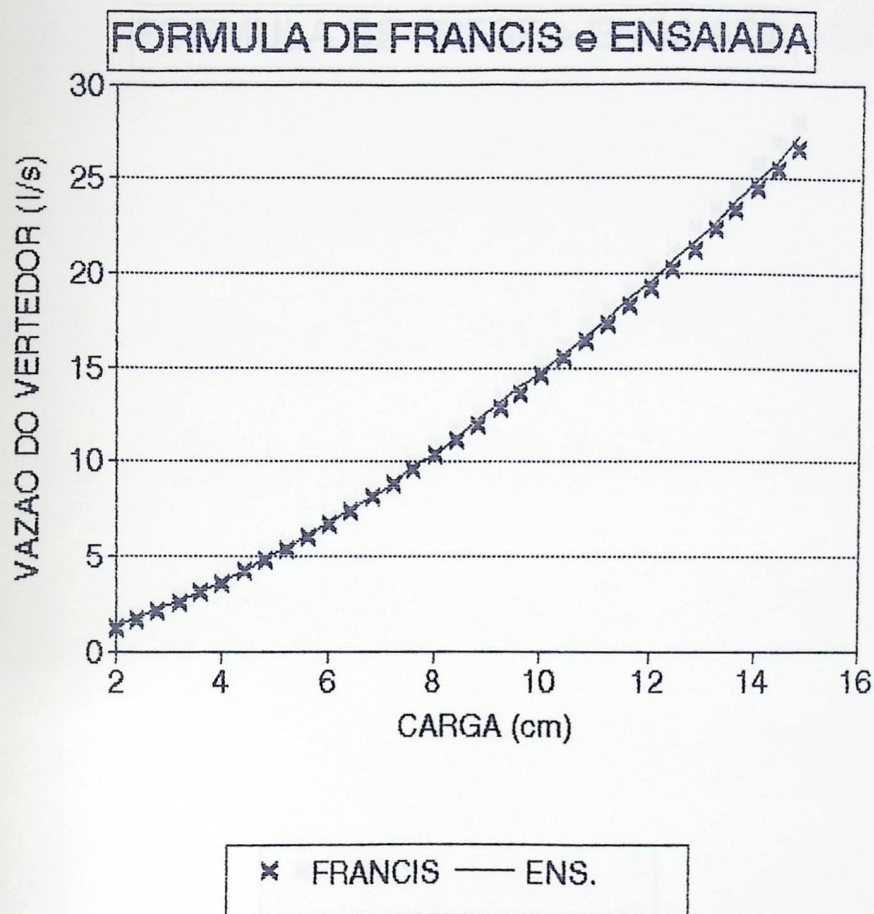


Figura 6 - Comparação da vazão calculada pela fórmula de Francis com relação à ensaiada.



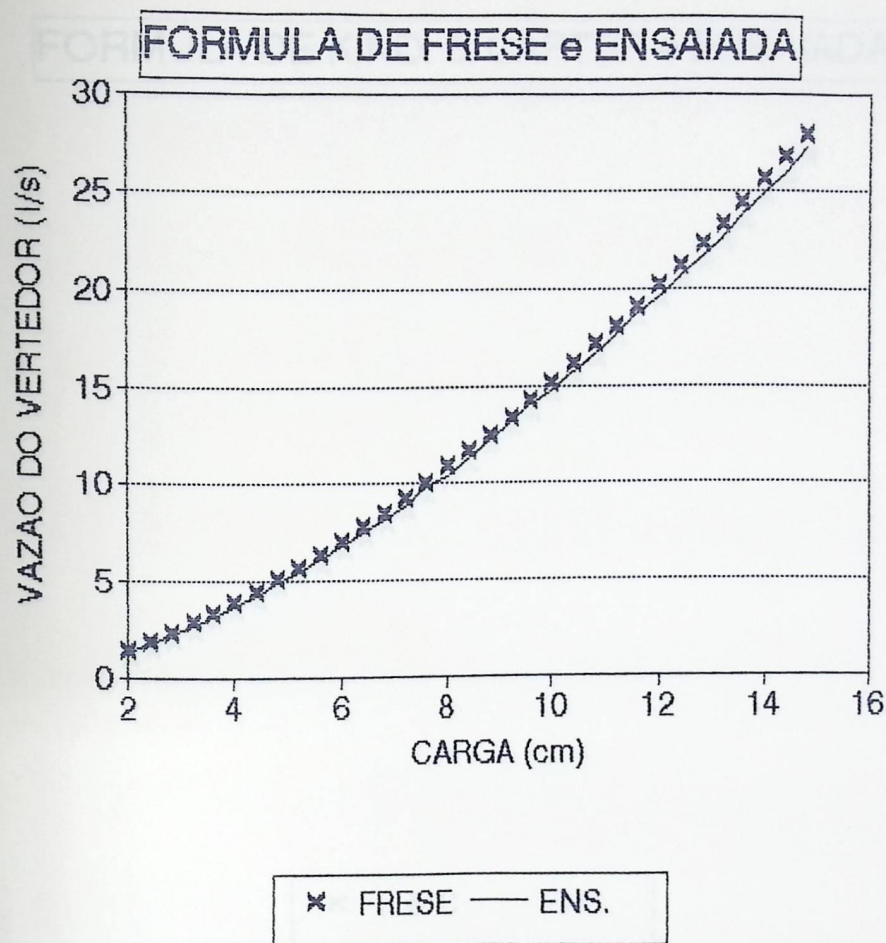


Figura 7 - Comparação da vazão calculada pela fórmula de Frese com relação à ensaiada.

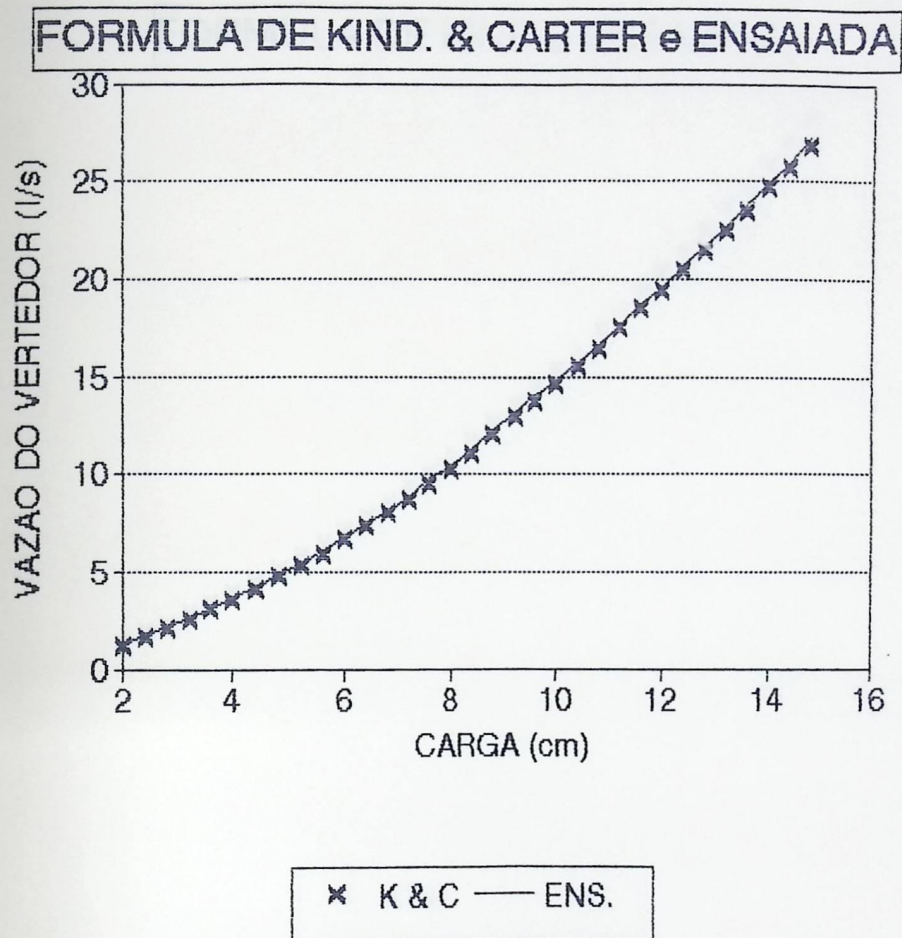


Figura 8 - Comparação da vazão calculada pela fórmula de Kindsvater & Carter com relação à ensaiada.

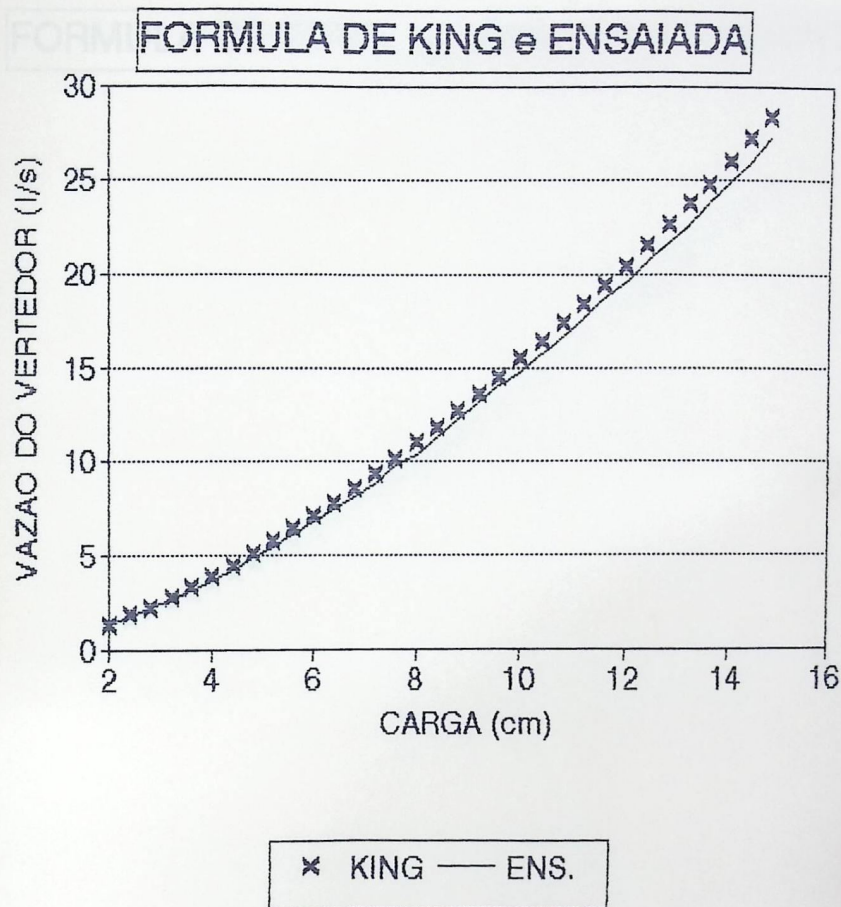
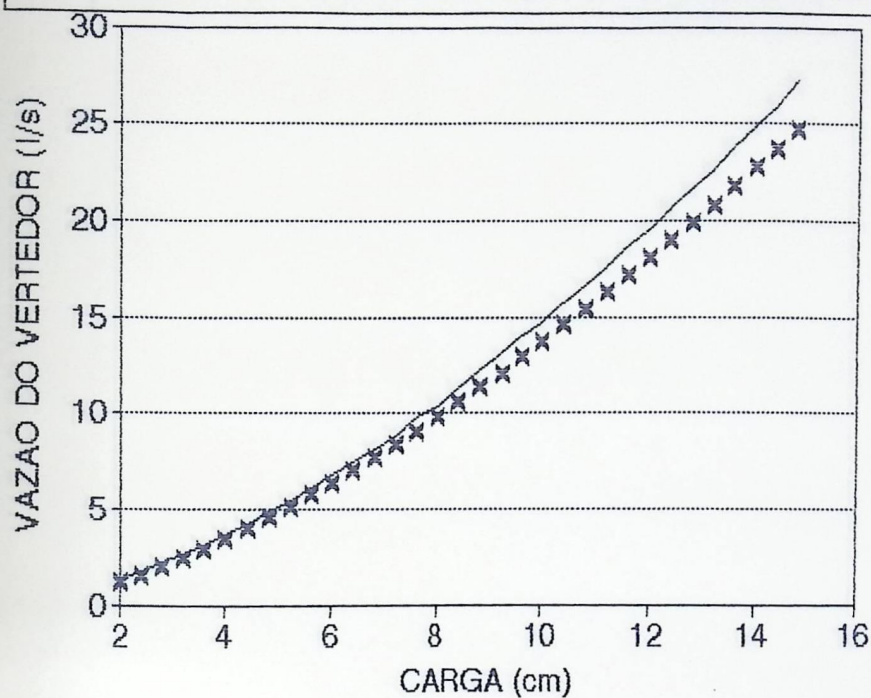


Figura 9 - Comparação da vazão calculada pela fórmula de King com relação à ensaiada.

**FORMULA DE PONC. & LESBROS e ENSAIADA**

x P & L — ENS.

Figura 10 - Comparação da vazão calculada pela fórmula de Poncelet & Lesbros com relação à ensaiada.



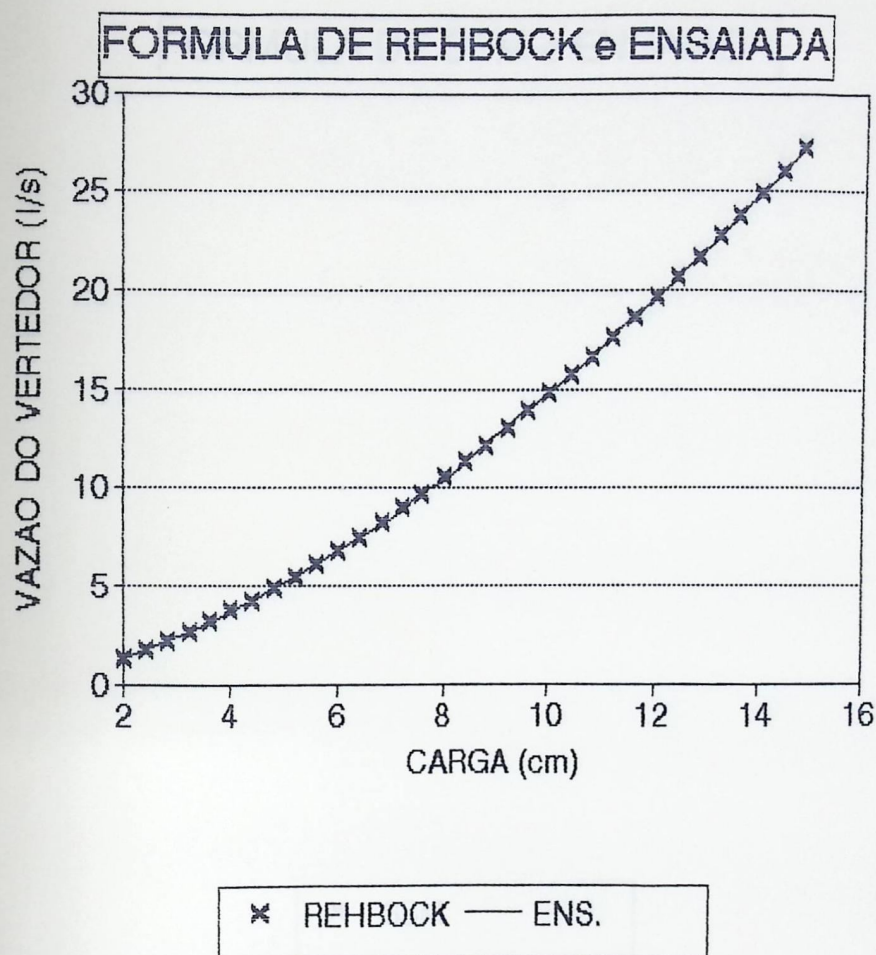


Figura 11 - Comparação da vazão calculada pela fórmula de Rehbock com relação à ensaiada.

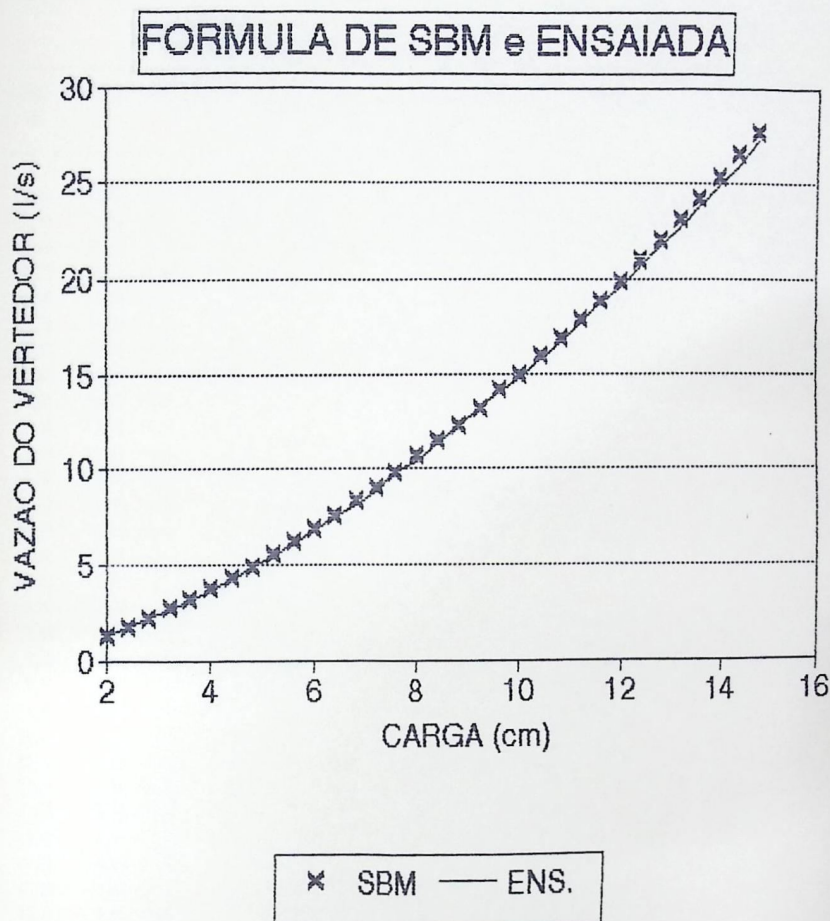


Figura 12 - Comparação da vazão calculada pela fórmula da SBM com relação à ensaiada.

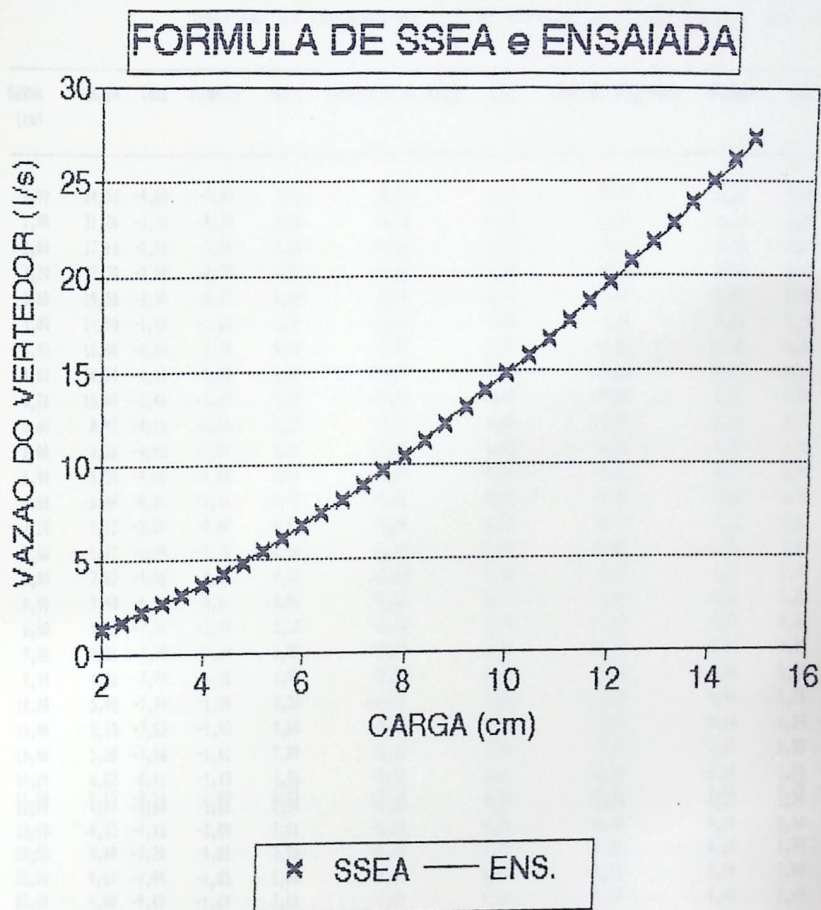


Figura 13 - Comparação da vazão calculada pela fórmula da SSEA com a ensaiada.



QUADRO 3 - Diferença Relativa entre as Vazões Calculadas pelas Diferentes Fórmulas e a Ensaçada, em %.

| CARGA<br>(cm)                     | BAZIN | CONE   | FRANCIS | FRESE | KINDSVATER & CARTER | KING | PONCELET & LESDROS | REHBOCK | SDH <sup>1</sup> | SSEA <sup>2</sup> |
|-----------------------------------|-------|--------|---------|-------|---------------------|------|--------------------|---------|------------------|-------------------|
| 2,00                              | 24,53 | -4,80  | -7,06   | 7,71  | -8,15               | 1,31 | -10,63             | -0,51   | 0,44             | -3,78             |
| 2,40                              | 21,20 | -3,78  | -5,30   | 7,10  | -6,54               | 2,71 | -9,02              | -0,11   | 0,96             | -2,59             |
| 2,80                              | 17,11 | -4,51  | -5,40   | 5,18  | -6,65               | 2,23 | -9,16              | -1,16   | 0,09             | -3,13             |
| 3,20                              | 17,30 | -2,48  | -2,78   | 6,72  | -4,17               | 4,69 | -8,68              | 0,86    | 1,99             | -0,79             |
| 3,60                              | 15,55 | -2,50  | -2,27   | 6,19  | -2,75               | 4,96 | -6,29              | 0,88    | 1,99             | -0,51             |
| 4,00                              | 14,90 | -1,93  | -1,23   | 6,51  | -1,77               | 5,86 | -5,34              | 1,63    | 2,70             | 0,41              |
| 4,40                              | 11,48 | -4,04  | -2,88   | 4,08  | -3,50               | 3,90 | -7,01              | -0,35   | 0,70             | -1,39             |
| 4,80                              | 10,30 | -4,40  | -2,83   | 3,62  | -3,54               | 3,79 | -7,06              | -0,51   | 0,51             | -1,42             |
| 5,20                              | 10,89 | -3,40  | -1,41   | 4,72  | -2,23               | 5,18 | -5,78              | 0,79    | 1,81             | -0,05             |
| 5,60                              | 8,97  | -4,71  | -2,35   | 3,37  | -3,27               | 4,05 | -6,79              | -0,32   | 0,71             | -1,04             |
| 6,00                              | 8,37  | -4,95  | -2,24   | 3,21  | -3,26               | 4,08 | -6,76              | -0,29   | 0,73             | -0,95             |
| 6,40                              | 8,55  | -4,60  | -1,51   | 3,75  | -2,15               | 4,78 | -6,18              | 0,37    | 1,41             | -0,21             |
| 6,80                              | 8,39  | -4,60  | -1,16   | 3,92  | -1,92               | 5,08 | -5,95              | 0,66    | 1,72             | 0,15              |
| 7,20                              | 9,13  | -3,87  | -0,07   | 4,91  | -0,94               | 6,19 | -5,82              | 1,73    | 2,82             | 1,28              |
| 7,60                              | 5,77  | -6,79  | -2,78   | 1,96  | -3,73               | 3,28 | -7,69              | -1,06   | 0,03             | -1,43             |
| 8,00                              | 7,82  | -4,98  | -0,59   | 4,16  | -1,67               | 5,58 | -5,72              | 1,17    | 2,29             | 0,83              |
| 8,40                              | 7,48  | -5,31  | -0,61   | 4,06  | -1,82               | 5,53 | -5,86              | 1,12    | 2,28             | 0,85              |
| 8,80                              | 5,28  | -7,30  | -2,41   | 2,12  | -1,78               | 3,61 | -7,67              | -0,71   | 0,46             | -0,92             |
| 9,20                              | 4,81  | -7,79  | -2,64   | 1,85  | -2,13               | 3,36 | -8,00              | -0,94   | 0,27             | -1,10             |
| 9,60                              | 4,76  | -7,94  | -2,51   | 1,96  | -2,12               | 3,51 | -7,98              | -0,80   | 0,45             | -0,90             |
| 10,00                             | 5,90  | -7,04  | -1,29   | 3,23  | -1,01               | 4,82 | -6,94              | 0,46    | 1,76             | 0,41              |
| 10,40                             | 5,15  | -7,83  | -1,85   | 2,64  | -1,69               | 4,23 | -7,58              | -0,10   | 1,24             | -0,10             |
| 10,80                             | 5,28  | -7,86  | -1,62   | 2,89  | -1,57               | 4,50 | -7,47              | 0,17    | 1,55             | 0,21              |
| 11,20                             | 4,82  | -8,41  | -1,95   | 2,56  | -0,59               | 4,17 | -7,90              | -0,14   | 1,28             | -0,05             |
| 11,60                             | 4,15  | -8,16  | -2,42   | 2,04  | -0,46               | 4,93 | -9,42              | 0,99    | 0,74             | -0,81             |
| 12,00                             | 4,77  | -8,60  | -2,83   | 2,94  | -0,36               | 4,93 | -9,84              | 0,99    | 0,74             | -0,81             |
| 12,40                             | 4,53  | -9,16  | -2,00   | 2,61  | -1,01               | 4,21 | -8,28              | 0,10    | 1,46             | 0,13              |
| 12,80                             | 4,69  | -9,20  | -1,81   | 2,86  | -0,93               | 4,46 | -8,20              | 0,14    | 1,74             | 0,41              |
| 13,20                             | 4,63  | -9,44  | -1,83   | 2,88  | -1,07               | 4,47 | -8,34              | 0,20    | 1,80             | 0,47              |
| 13,60                             | 4,80  | -9,49  | -1,64   | 3,14  | -1,00               | 4,72 | -8,27              | 0,40    | 2,09             | 0,75              |
| 14,00                             | 4,36  | -10,06 | -2,03   | 2,78  | -1,04               | 4,35 | -8,74              | 0,04    | 1,77             | 0,43              |
| 14,40                             | 4,89  | -9,79  | -1,51   | 3,39  | -0,63               | 4,94 | -8,37              | 0,62    | 2,40             | 1,05              |
| 14,80                             | 3,82  | -10,91 | -2,51   | 2,40  | -1,76               | 3,93 | -9,40              | -0,35   | 1,46             | 0,11              |
| MÉDIA DOS<br>VALORES<br>ABSOLUTOS | 8,62  | 6,41   | 2,25    | 3,74  | 2,37                | 4,26 | 7,47               | 0,59    | 1,38             | 0,87              |

1. Sociedade Belga de Mecânicos;

2. Sociedade Suíça de Engenheiros e Arquitetos.



Cone, Francis, Kindsvater & Carter e de Poncelet & Lesbros subestimaram a vazão ensaiada em todas as cargas estudadas. Em termos absolutos, estas fórmulas apresentaram diferenças relativas médias de 6,41%, 2,25%, 2,37% e 7,47%, respectivamente, sendo que a primeira e a última (citadas) apresentaram valores acima de 5%, o que não é recomendado por KRAATZ & MAHAJAN (1976). As fórmulas de Francis e de Kindsvater & Carter forneceram, em geral, valores modulares decrescentes. Nestas, a partir da carga 3,20 cm, todos os valores absolutos se encontram abaixo de 5%, enquanto na fórmula de Cone, este fato só foi observado, praticamente até a carga 7,20 cm. Por sua vez, a de Poncelet & Lesbros apresentou, para todas as cargas ensaiadas, valores absolutos acima de 5%.

Com relação às fórmulas de Bazin, Frese e de King, observa-se que houve superestimação das citadas fórmulas quanto à vazão ensaiada. Estas apresentaram médias dos valores absolutos das diferenças relativas de 8,62%, 3,74% e 4,26%, respectivamente. Nota-se que apenas a de Bazin ultrapassou o referido valor aceitável, não apresentando a precisão indicada por LENCASTRE (1972). Mesmo assim, esses resultados adversos podem ser explicados, pois se usou um vertedo

O aumento da carga hidráulica, o que, por sua vez, não aconteceu com a de King. As fórmulas de Frese e de King apresentaram, em geral, diferenças relativas abaixo de 5%, enquanto na de Bazin, isto só ocorreu, praticamente a partir da carga 11,20 cm.

A fórmula da Sociedade Belga de Mecânicos também superestimou, em todos os seus resultados, a vazão ensaiada, porém foi isolada da discussão anterior, pois apresentou média dos valores absolutos abaixo de 1,4%, bem menor que as apresentadas pelas fórmulas de Bazin, Frese e de King. Seus valores oscilaram bastante, sendo de 0,03% a 2,82% o intervalo de variação, podendo, assim, ser usada, com bastante precisão, no cálculo da vazão do vertedor ensaiado, dentro do intervalo de cargas estudadas.

As fórmulas de Rehbock e da Sociedade Suíça de Engenheiros e Arquitetos, apresentaram valores de vazão praticamente coincidentes (Figuras 11 e 13). Conclusão similar foi relatada por LENCASTRE (1972). Quanto às diferenças relativas, essas fórmulas, ora subestimaram, ora superestimaram a vazão ensaiada. As duas, por terem apresentado médias dos valores absolutos abaixo de 1% e diferenças relativas em termos absolutos, abaixo de 1,8% para todas as cargas ensaiadas, salvo a da SSEA para as três primeiras cargas, mostraram-se bastante precisas no cálculo da vazão do vertedor retangular do tipo e no intervalo de cargas utilizados nos ensaios. De acordo com NEVES (1979),

essas fórmulas dão bons resultados, principalmente em condições de laboratório, o que se confirmou neste estudo.

Das fórmulas utilizadas, a de Rehbock foi a única que apresentou, para todas as cargas estudadas, diferenças relativas abaixo de  $\pm 2,0\%$ , com uma média dos valores absolutos de  $0,59\%$ , demonstrando ser a mais precisa. A média obtida foi ainda menor que as indicadas por FIMENTA (1970) e CORONEL (1975) ( $2\%$  e  $1\%$ , respectivamente). Esses excelentes resultados podem ser atribuídos às dimensões do vertedor ensaiado e às cargas empregadas, as quais atenderam às condições em que a fórmula de Rehbock foi obtida.

Observando-se as médias das fórmulas de Francis, Kindsvater & Carter, Rehbock, da Sociedade Belga de Mecânicos e da Sociedade Suíça de Engenheiros e Arquitetos, apresentadas no Quadro 4, verifica-se que não houve diferença significativa em relação à ensaiada, enquanto as das fórmulas de Bazin e de King, que não diferiram entre si, foram significativamente superiores. A fórmula de Frese, que não diferiu da fórmula de King, também foi superior à ensaiada. Entretanto, as de Cone e de Poncelet & Lesbros, que também não diferiram entre si, foram significativamente inferiores à ensaiada.

As fórmulas de Rehbock, da Sociedade Belga de Mecânicos e da Sociedade Suíça de Engenheiros e Arquitetos, por terem apresentado diferenças de vazão com relação à ensaiada, em média, menores que  $1,4\%$  (Quadros 3 e 4), são,



portanto, as mais recomendadas para o cálculo de vazão do vertedor ensaiado, no intervalo de cargas de 2,00 cm a 14,80 cm.

QUADRO 4 - Médias de Vazões Calculadas e Ensaçadas para a Faixa de Carga Hidráulica Estudada.

| MÉTODOS             | MÉDIAS <sup>1</sup> |
|---------------------|---------------------|
| BAZIN               | 13,1062 a           |
| KING                | 12,9097 ab          |
| FRESE               | 12,7467 bc          |
| SBM                 | 12,5540 cd          |
| REHBOCK             | 12,3778 de          |
| SSEA                | 12,3742 de          |
| ENSAIADA            | 12,3688 de          |
| KINDSVATER & CARTER | 12,1758 e           |
| FRANCIS             | 12,1314 e           |
| CONE                | 11,4503 f           |
| PONCELET & LESBROS  | 11,4082 f           |
| DMS                 | 0,3020              |

1. Médias seguidas por letras diferentes diferem significativamente ao nível de 5%, pelo teste Tukey.

As fórmulas de Francis e de Kindsvater & Carter, mesmo não sendo tão precisas quanto as de Rehbock, da SBM e da SSEA, também podem ser usadas para o cálculo de vazão do vertedor retangular do tipo e no intervalo de cargas utilizados nos ensaios, pois não diferiram significativamente com relação à vazão ensaiada, como também não ultrapassaram, em termos de valor absoluto, os 5% referentes ao limite de diferença relativa.

As fórmulas de Frese e de King, que diferiram significativamente com relação à vazão ensaiada, e mesmo



apresentando resultados inferiores aos das fórmulas de Francis e de Kindsvater & Carter, também podem ser usadas para o cálculo de vazão do vertedor ensaiado, dentro do intervalo de cargas estudadas, pois apresentaram, em geral, diferenças relativas abaixo de 5%. Valores esses que ficaram dentro do limite citado por KRAATZ & MAHAJAN (1976).

As fórmulas de Bazin, Cone e de Poncelet & Lesbros não devem ser utilizadas para o cálculo de vazão do vertedor retangular do tipo e no intervalo de cargas utilizados nos ensaios, por apresentarem, em termos absolutos, diferenças relativas superiores a 5%, como também por terem diferido significativamente quando comparadas com a vazão ensaiada.

## 5. CONCLUSÕES

Considerando a análise dos resultados obtidos, chegou-se às seguintes conclusões quanto à determinação de vazão do vertedor retangular do tipo e no intervalo de cargas utilizados nos ensaios:

1. As fórmulas de Rehbock, da Sociedade Belga de Mecânicos e da Sociedade Suíça de Engenheiros e Arquitetos demonstraram ser as mais precisas, sendo que a de Rehbock destacou-se como a de maior precisão.

2. As fórmulas de Francis e de Kindsvater & Carter, mesmo não sendo tão precisas quanto as supracitadas, também podem ser usadas.

3. As fórmulas de Frese e de King também podem ser empregadas, mesmo sendo inferiores às de Francis e de Kindsvater & Carter.

4. As fórmulas de Bazin, Cone e de Poncelet & Lesbros não devem ser utilizadas.

## 6. RESUMO

O presente trabalho foi realizado no Laboratório de Hidráulica da ESAM, Mossoró - RN, com o objetivo de comparar os valores de vazão calculados pelas fórmulas de Bazin, Cone, Francis, Frese, Kindsvater & Carter, King, Poncelet & Lesbros, Rehbock, da Sociedade Belga de Mecânicos e da Sociedade Suíça de Engenheiros e Arquitetos com os valores de vazão obtidos numa cuba de aferição, tendo sido ensaiado um vertedor retangular de parede delgada e sem contrações laterais, do tipo L.N.H. - CHATOU, onde as cargas utilizadas variaram de 2,00 cm a 14,80 cm, com incremento de 0,40 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 as fórmulas de Rehbock, da Sociedade Belga de Mecânicos e da Sociedade Suíça de Engenheiros e Arquitetos foram as mais precisas para a determinação de vazão do vertedor ensaiado, por terem proporcionado, em geral, diferenças abaixo de  $\pm 2\%$  com relação às vazões ensaiadas. Dentre elas a de Rehbock foi a que mais se destacou. As fórmulas de Francis, Frese,

Kindsvater & Carter e de King também podem ser utilizadas, pois os seus resultados com relação às vazões obtidas na cuba de aferição, em geral, não ultrapassaram, em termos absolutos, o limite de 5%.

## 7. BIBLIOGRAFIA CITADA

ALVEEDO NETO, J. N. de, ALVAREZ, S. A. Manual de hidráulica. 7.ed. 2a. reim. São Paulo: Edgard Blücher, 1987. v.1, 358p.

DAIPAI, A. C., MUSTOE, L. E., WALKER, G., MARTIN, W. T. Hidráulica para engenheiros. São Paulo: Hemus, 1986. v.2, 247p.

BARRETO, S. B. Elementos de irrigação: projeto para irrigação de caféeiros. São Paulo: Corvix, 1967. 138p.

PAZIN, F. de S. A. Problemas de escoamento das águas. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1965. 210p.

BERNARDO, S. Manual de irrigação. 5.ed. São Paulo: Hemus, 1967. 384p.

CORBEIRO, L. B. Comparação de vários métodos de cálculo de



## 7. BIBLIOGRAFIA CITADA

- AZEVEDO NETO, J. M. de, ALVAREZ, G. A. **Manual de hidráulica**. 7.ed. at. ampl. São Paulo: Edgard Blücher, 1982. v.1, 335p.
- BAJPAI, A. C., MUSTOE, L. R., WALKER, D., MARTIN, W. T. **Matemática para engenheiros**. São Paulo: Hemus, 1980. v.2, 267p.
- BARRETO, G. B. **Elementos de irrigação: projeto para irrigação do cafeeiro**. São Paulo: Ceres, 1957. 139p.
- BASTOS, F. de A. A. **Problemas de mecânica dos fluidos**. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1983. 483p.
- BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 5.ed. Viçosa: U.F.V., 1989. 596p.
- CORDEIRO, L. G. **Comparação de valores medidos e calculados de**

vazão de um vertedor triangular. Mossoró: ESAM, 1994.  
38p.(Monografia).

CORONEL, S. T. Hidráulica. México: Continental, 1975. 455p.

DACACH, N. G. Sistemas urbanos de água. Rio de Janeiro:  
Livros Técnicos e Científicos, 1975. 396p.

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  
Blücher, 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).

GARCEZ, L. N. Hidráulica geral: elementos de mecânica dos  
fluidos. 2.ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1960. 449p.

GILES, R. V. Mecânica dos fluidos e hidráulica. São Paulo:  
McGraw-Hill do Brasil, 1978. 412p.

GOMES, F. P. Curso de estatística experimental. 12.ed.

São Paulo: Nobel, 1987. 430p.

GRANADOS, A. H. Métodos modernos de riego de

superficie. Madrid: Aguilar, 1971. 463p.

HWANG, N. H.C. Fundamentos de sistemas de engenharia

hidráulica. Rio de Janeiro: Prentice-Hall do Brasil, 1984.

315p.

ISMAIL, K. A. R. Fenômenos de transferências: experiências de

laboratório. Rio de Janeiro: Campus, 1982. 238p.

ISRAELSEN, O. W., HANSEN, V. E. Principios y aplicaciones

del riego. 2.ed. Barcelona: Reverté, 1973. 396p.

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, 161-268p. (Estudio sobre riego y avenamiento, 26).

LENCASTRE, A. Manual de hidráulica geral. São Paulo: Edgard

Blücher, 1972. 419p.

- LINSLEY, R. K., FRANZINI, J. B. *Engenharia de recursos hídricos*. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1978. 798p.
- NEVES, E. T. *Curso de hidráulica*. 6.ed. Porto Alegre: Globo, 1979. 577p.
- PIMENTA, C. F. *Hidráulica geral: laboratório*. São Paulo: EPUSP, 1970. 70p. (Mimeografado).
- \_\_\_\_\_. *Curso de hidráulica geral*. 3.ed. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1981. v.1, 482p.
- QUINTELA, A. C. *Hidráulica*. 2.ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1985. 539p.
- REICHARDT, K. *A água na produção agrícola*. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1978. 119p.
- STUTLER, R. K. *Medida del agua de riego en la finca*. Logan, Utah State University, Department of Agricultural and Irrigation Engineering, 1984. 38p. (Mimeografado).
- THORNE, D. W., PETERSON, H. B. *Técnica del riego: fertilidad y explotación de los suelos*. 7.ed. México: Continental, 1977. 496p.



UNITED STATES DEPARTMENT OF THE INTERIOR. Bureau of Reclamation. Weirs. In:\_\_\_\_\_. Water measurement manual. 2.ed. rev. rep. Denver: USDI, 1984. 327p.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Aferição de vertedores. Porto Alegre: IPH, s.d. 6p. (Mimeografado).

VENNARD, J. K., STREET, R. L. Elementos de mecânica de fluidos. 5.ed. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1978. 687p.

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

ZIMMERMAN, J. D. El riego. México: Continental, 1970. 604p.

**APENDICES**

ANEXO 14 - Coeficientes de vazão (C) de um Ventômetro Rotacional de Torção Delgada. Calculados pela Fórmula de Bazin.

$$C = 0,414 \sqrt{h} \quad h = 7,70 \text{ m/s}^2$$

# PROFUNDIDADE (m)

| CARGA<br>(m) | 0,20  | 0,30  | 0,40  | 0,50  | 0,60  | 0,80  | 1,00  | 1,20  | 1,40  |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0,05         | 2,024 | 2,003 | 1,995 | 1,990 | 1,986 | 1,984 | 1,982 | 1,981 | 1,981 |
| 0,06         | 2,017 | 1,999 | 1,977 | 1,968 | 1,962 | 1,964 | 1,967 | 1,969 | 1,974 |
| 0,08         | 2,017 | 1,977 | 1,954 | 1,939 | 1,944 | 1,957 | 1,977 | 1,993 | 1,998 |
| 0,10         | 2,030 | 1,977 | 1,952 | 1,942 | 1,951 | 1,974 | 1,999 | 1,995 | 1,991 |
| 0,12         | 2,043 | 1,981 | 1,958 | 1,957 | 1,968 | 1,995 | 1,991 | 1,992 | 1,997 |
| 0,14         | 2,051 | 1,990 | 1,968 | 1,967 | 1,979 | 1,991 | 1,992 | 1,993 | 1,998 |
| 0,16         | 2,058 | 1,997 | 1,975 | 1,974 | 1,986 | 1,998 | 1,999 | 1,999 | 1,999 |
| 0,18         | 2,065 | 1,999 | 1,977 | 1,976 | 1,988 | 1,999 | 1,999 | 1,999 | 1,999 |
| 0,20         | 2,072 | 2,004 | 1,982 | 1,981 | 1,993 | 1,999 | 1,999 | 1,999 | 1,999 |
| 0,22         | 2,081 | 2,043 | 1,995 | 1,995 | 1,995 | 1,999 | 1,999 | 1,999 | 1,999 |
| 0,24         | 2,088 | 2,057 | 1,999 | 1,999 | 1,999 | 1,999 | 1,999 | 1,999 | 1,999 |
| 0,26         | 2,094 | 2,070 | 2,042 | 1,995 | 1,995 | 1,999 | 1,999 | 1,999 | 1,999 |
| 0,28         | 2,104 | 2,087 | 2,061 | 1,995 | 1,995 | 1,999 | 1,999 | 1,999 | 1,999 |
| 0,30         | 2,111 | 2,104 | 2,084 | 2,060 | 1,999 | 1,999 | 1,999 | 1,999 | 1,999 |
| 0,32         | 2,119 | 2,119 | 2,095 | 1,995 | 1,995 | 1,999 | 1,999 | 1,999 | 1,999 |
| 0,34         | 2,128 | 2,127 | 2,103 | 2,080 | 1,995 | 1,999 | 1,999 | 1,999 | 1,999 |
| 0,36         | 2,134 | 2,134 | 2,104 | 2,082 | 1,995 | 1,999 | 1,999 | 1,999 | 1,999 |
| 0,38         | 2,140 | 2,140 | 2,104 | 2,082 | 1,995 | 1,999 | 1,999 | 1,999 | 1,999 |
| 0,40         | 2,147 | 2,147 | 2,104 | 2,082 | 1,995 | 1,999 | 1,999 | 1,999 | 1,999 |
| 0,42         | 2,152 | 2,152 | 2,104 | 2,082 | 1,995 | 1,999 | 1,999 | 1,999 | 1,999 |
| 0,44         | 2,155 | 2,155 | 2,104 | 2,082 | 1,995 | 1,999 | 1,999 | 1,999 | 1,999 |
| 0,46         | 2,158 | 2,158 | 2,104 | 2,082 | 1,995 | 1,999 | 1,999 | 1,999 | 1,999 |
| 0,48         | 2,161 | 2,161 | 2,104 | 2,082 | 1,995 | 1,999 | 1,999 | 1,999 | 1,999 |
| 0,50         | 2,164 | 2,164 | 2,104 | 2,082 | 1,995 | 1,999 | 1,999 | 1,999 | 1,999 |
| 0,52         | 2,167 | 2,167 | 2,104 | 2,082 | 1,995 | 1,999 | 1,999 | 1,999 | 1,999 |
| 0,54         | 2,170 | 2,170 | 2,104 | 2,082 | 1,995 | 1,999 | 1,999 | 1,999 | 1,999 |
| 0,56         | 2,173 | 2,173 | 2,104 | 2,082 | 1,995 | 1,999 | 1,999 | 1,999 | 1,999 |
| 0,58         | 2,176 | 2,176 | 2,104 | 2,082 | 1,995 | 1,999 | 1,999 | 1,999 | 1,999 |
| 0,60         | 2,179 | 2,179 | 2,104 | 2,082 | 1,995 | 1,999 | 1,999 | 1,999 | 1,999 |

QUADRO 1A - Coeficientes de Vazão (C) de um Vertedor Retangular de Parede Delgada, Calculados pela Fórmula de Bazin.

$$C = Q/L.H^{1,5} \quad (g = 9,78 \text{ m/s}^2)$$

| PROFUNDIDADE (m) |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| CARGA<br>(m)     | 0,20  | 0,30  | 0,40  | 0,50  | 0,60  | 0,80  | 1,00  | 2,00  | 3,00  |
| 0,05             | 2,026 | 2,003 | 1,995 | 1,990 | 1,986 | 1,986 | 1,986 | 1,981 | 1,981 |
| 0,06             | 2,017 | 1,990 | 1,977 | 1,968 | 1,968 | 1,964 | 1,959 | 1,959 | 1,959 |
| 0,08             | 2,017 | 1,977 | 1,959 | 1,950 | 1,946 | 1,937 | 1,937 | 1,933 | 1,928 |
| 0,10             | 2,030 | 1,977 | 1,955 | 1,942 | 1,933 | 1,924 | 1,919 | 1,915 | 1,911 |
| 0,12             | 2,043 | 1,981 | 1,955 | 1,937 | 1,928 | 1,915 | 1,911 | 1,902 | 1,897 |
| 0,14             | 2,061 | 1,990 | 1,959 | 1,937 | 1,925 | 1,911 | 1,902 | 1,893 | 1,888 |
| 0,16             | 2,083 | 2,003 | 1,964 | 1,937 | 1,924 | 1,908 | 1,897 | 1,884 | 1,880 |
| 0,18             | 2,101 | 2,017 | 1,968 | 1,942 | 1,925 | 1,906 | 1,894 | 1,880 | 1,871 |
| 0,20             | 2,123 | 2,030 | 1,977 | 1,946 | 1,928 | 1,906 | 1,893 | 1,876 | 1,862 |
| 0,22             | 2,141 | 2,043 | 1,986 | 1,955 | 1,933 | 1,908 | 1,893 | 1,872 | 1,858 |
| 0,24             | 2,158 | 2,057 | 1,999 | 1,964 | 1,937 | 1,911 | 1,894 | 1,868 | 1,853 |
| 0,26             | 2,176 | 2,070 | 2,012 | 1,973 | 1,946 | 1,911 | 1,897 | 1,866 | 1,851 |
| 0,28             | 2,194 | 2,087 | 2,021 | 1,981 | 1,950 | 1,915 | 1,899 | 1,864 | 1,849 |
| 0,30             | 2,211 | 2,101 | 2,034 | 1,990 | 1,959 | 1,919 | 1,901 | 1,862 | 1,844 |
| 0,32             | 2,299 | 2,114 | 2,043 | 1,999 | 1,964 | 1,928 | 1,903 | 1,862 | 1,842 |
| 0,34             | 2,242 | 2,127 | 2,052 | 2,008 | 1,973 | 1,933 | 1,906 | 1,862 | 1,840 |
| 0,36             | 2,256 | 2,136 | 2,065 | 2,017 | 1,981 | 1,937 | 1,909 | 1,862 | 1,837 |
| 0,38             | 2,269 | 2,149 | 2,074 | 2,026 | 1,986 | 1,942 | 1,912 | 1,862 | 1,834 |
| 0,40             | 2,282 | 2,163 | 2,087 | 2,030 | 1,995 | 1,946 | 1,915 | 1,862 | 1,831 |
| 0,42             |       | 2,172 | 2,096 | 2,039 | 1,999 | 1,950 | 1,919 | 1,862 | 1,829 |
| 0,44             |       | 2,185 | 2,105 | 2,048 | 2,008 | 1,955 | 1,922 | 1,862 | 1,827 |
| 0,46             |       | 2,194 | 2,114 | 2,057 | 2,017 | 1,959 | 1,925 | 1,862 | 1,825 |
| 0,48             |       | 2,202 | 2,123 | 2,065 | 2,021 | 1,964 | 1,928 | 1,862 | 1,823 |
| 0,50             |       | 2,211 | 2,132 | 2,070 | 2,030 | 1,968 | 1,933 | 1,862 | 1,822 |
| 0,52             |       | 2,220 | 2,141 | 2,079 | 2,034 | 1,973 | 1,937 | 1,862 | 1,819 |
| 0,54             |       | 2,229 | 2,145 | 2,087 | 2,039 | 1,977 | 1,942 | 1,862 | 1,817 |
| 0,56             |       | 2,238 | 2,154 | 2,092 | 2,048 | 1,986 | 1,944 | 1,862 | 1,814 |
| 0,58             |       | 2,247 | 2,163 | 2,101 | 2,052 | 1,990 | 1,946 | 1,862 | 1,811 |
| 0,60             |       | 2,256 | 2,172 | 2,105 | 2,061 | 1,995 | 1,950 | 1,862 | 1,809 |

Fonte: PINENTA (1981)



QUADRO 2A - Coeficientes de Vazão (C) de um Vertedor Retangular, Calculados pela Fórmula de Bazin.

| CARGA<br>(m) | PROFUNDIDADE (m) |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|--------------|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|              | 0,20             | 0,30  | 0,40  | 0,50  | 0,60  | 0,80  | 1,00  | 1,50  | 2,00  | >2,00 |
| 0,05         | 0,458            | 0,453 | 0,451 | 0,450 | 0,449 | 0,449 | 0,441 | 0,448 | 0,448 | 0,448 |
| 0,06         | 0,456            | 0,450 | 0,447 | 0,445 | 0,445 | 0,444 | 0,440 | 0,443 | 0,443 | 0,443 |
| 0,08         | 0,456            | 0,447 | 0,443 | 0,441 | 0,440 | 0,438 | 0,438 | 0,437 | 0,437 | 0,436 |
| 0,10         | 0,459            | 0,447 | 0,443 | 0,439 | 0,437 | 0,435 | 0,434 | 0,433 | 0,433 | 0,432 |
| 0,12         | 0,462            | 0,448 | 0,442 | 0,438 | 0,436 | 0,433 | 0,432 | 0,430 | 0,430 | 0,429 |
| 0,14         | 0,466            | 0,450 | 0,443 | 0,438 | 0,435 | 0,432 | 0,430 | 0,428 | 0,428 | 0,427 |
| 0,16         | 0,471            | 0,453 | 0,444 | 0,438 | 0,435 | 0,431 | 0,429 | 0,427 | 0,426 | 0,425 |
| 0,18         | 0,475            | 0,456 | 0,445 | 0,439 | 0,435 | 0,431 | 0,428 | 0,426 | 0,425 | 0,423 |
| 0,20         | 0,480            | 0,459 | 0,447 | 0,440 | 0,435 | 0,431 | 0,428 | 0,425 | 0,423 | 0,421 |
| 0,22         | 0,484            | 0,462 | 0,449 | 0,442 | 0,437 | 0,431 | 0,428 | 0,424 | 0,423 | 0,420 |
| 0,24         | 0,488            | 0,465 | 0,452 | 0,444 | 0,438 | 0,432 | 0,428 | 0,424 | 0,422 | 0,419 |
| 0,26         | 0,492            | 0,468 | 0,455 | 0,446 | 0,440 | 0,432 | 0,429 | 0,424 | 0,422 | 0,418 |
| 0,28         | 0,496            | 0,472 | 0,457 | 0,448 | 0,441 | 0,433 | 0,429 | 0,424 | 0,422 | 0,418 |
| 0,30         | 0,500            | 0,475 | 0,460 | 0,450 | 0,443 | 0,434 | 0,430 | 0,424 | 0,421 | 0,417 |
| 0,35         | 0,500            | 0,482 | 0,465 | 0,455 | 0,447 | 0,437 | 0,431 | 0,424 | 0,421 | 0,416 |
| 0,40         | 0,500            | 0,489 | 0,472 | 0,459 | 0,451 | 0,440 | 0,433 | 0,424 | 0,421 | 0,414 |
| 0,45         | 0,500            | 0,495 | 0,477 | 0,464 | 0,455 | 0,442 | 0,435 | 0,425 | 0,421 | 0,413 |
| 0,50         | 0,500            | 0,495 | 0,482 | 0,468 | 0,459 | 0,445 | 0,437 | 0,426 | 0,421 | 0,412 |

Fonte: DAKER (1983)

QUADRO 3A - Coeficientes de Vazão (C) de um Vertedor Retangular de Parede Delgada, Calculados pela Fórmula de Rehbock

$$C = Q/L.H^{1,5} \quad (g = 9,78 \text{ m/s}^2)$$

| CARGA<br>(m) | PROFUNDIDADE (m) |       |       |       |       |       |       |       |       |
|--------------|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|              | 0,3              | 0,4   | 0,5   | 0,6   | 0,8   | 1,0   | 2,0   | 3,0   | 4,0   |
| 0,05         | 1,885            | 1,875 | 1,869 | 1,865 | 1,860 | 1,857 | 1,851 | 1,849 | 1,848 |
| 0,06         | 1,880            | 1,868 | 1,861 | 1,857 | 1,851 | 1,847 | 1,840 | 1,838 | 1,836 |
| 0,08         | 1,883            | 1,867 | 1,858 | 1,852 | 1,844 | 1,839 | 1,830 | 1,827 | 1,825 |
| 0,10         | 1,891            | 1,872 | 1,860 | 1,852 | 1,842 | 1,836 | 1,825 | 1,821 | 1,819 |
| 0,12         | 1,902            | 1,879 | 1,864 | 1,855 | 1,843 | 1,836 | 1,822 | 1,817 | 1,815 |
| 0,14         | 1,914            | 1,887 | 1,870 | 1,859 | 1,846 | 1,837 | 1,821 | 1,815 | 1,813 |
| 0,16         | 1,927            | 1,896 | 1,877 | 1,864 | 1,849 | 1,839 | 1,820 | 1,814 | 1,811 |
| 0,18         | 1,942            | 1,906 | 1,885 | 1,871 | 1,853 | 1,842 | 1,821 | 1,814 | 1,811 |
| 0,20         | 1,955            | 1,916 | 1,892 | 1,877 | 1,857 | 1,845 | 1,822 | 1,814 | 1,810 |
| 0,22         | 1,970            | 1,926 | 1,900 | 1,883 | 1,861 | 1,848 | 1,823 | 1,814 | 1,810 |
| 0,24         | 1,984            | 1,937 | 1,909 | 1,890 | 1,866 | 1,852 | 1,824 | 1,814 | 1,810 |
| 0,26         | 1,999            | 1,948 | 1,917 | 1,897 | 1,871 | 1,856 | 1,825 | 1,815 | 1,810 |
| 0,28         | 2,014            | 1,959 | 1,926 | 1,904 | 1,876 | 1,860 | 1,827 | 1,816 | 1,810 |
| 0,30         | 2,029            | 1,970 | 1,935 | 1,911 | 1,882 | 1,864 | 1,829 | 1,817 | 1,811 |
| 0,32         |                  | 1,981 | 1,944 | 1,918 | 1,887 | 1,868 | 1,830 | 1,818 | 1,811 |
| 0,34         |                  | 1,993 | 1,952 | 1,926 | 1,892 | 1,872 | 1,832 | 1,819 | 1,812 |
| 0,36         |                  | 2,004 | 1,961 | 1,933 | 1,898 | 1,877 | 1,834 | 1,820 | 1,813 |
| 0,38         |                  | 2,015 | 1,970 | 1,940 | 1,903 | 1,881 | 1,836 | 1,821 | 1,814 |
| 0,40         |                  | 2,027 | 1,980 | 1,948 | 1,909 | 1,885 | 1,838 | 1,822 | 1,814 |
| 0,42         |                  |       | 1,989 | 1,956 | 1,914 | 1,890 | 1,840 | 1,823 | 1,815 |
| 0,44         |                  |       | 1,998 | 1,963 | 1,920 | 1,894 | 1,842 | 1,825 | 1,816 |
| 0,46         |                  |       | 2,007 | 1,971 | 1,925 | 1,898 | 1,844 | 1,826 | 1,817 |
| 0,48         |                  |       | 2,016 | 1,978 | 1,931 | 1,903 | 1,846 | 1,827 | 1,818 |
| 0,50         |                  |       | 2,025 | 1,986 | 1,937 | 1,907 | 1,848 | 1,829 | 1,819 |
| 0,55         |                  |       |       | 2,005 | 1,951 | 1,919 | 1,854 | 1,832 | 1,821 |
| 0,60         |                  |       |       | 2,024 | 1,965 | 1,930 | 1,859 | 1,836 | 1,824 |
| 0,65         |                  |       |       |       | 1,980 | 1,941 | 1,865 | 1,839 | 1,826 |
| 0,70         |                  |       |       |       | 1,994 | 1,953 | 1,870 | 1,843 | 1,829 |
| 0,75         |                  |       |       |       | 2,009 | 1,964 | 1,876 | 1,847 | 1,832 |
| 0,80         |                  |       |       |       | 2,023 | 1,976 | 1,882 | 1,850 | 1,834 |

Fonte: PIMENTA (1981)

GRÁFICO 20 - Vozes Calculada por Determinados Parâmetros  
 (Mediada, para Cargas Horizontais Variáveis de  
 2,00 ca a 14,00 ca).

| CARGA | GRUPO         |       |       |       |       |       |       |       |       |       | Voz  |      |         |       |
|-------|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|---------|-------|
|       | MCM (Mediada) |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 1961 | 1962 | 1963    | 1964  |
| Tm    | MCM (Mediada) |       |       |       |       |       |       |       |       |       | Tm   |      |         |       |
|       | 1961          | 1962  | 1963  | 1964  | 1965  | 1966  | 1967  | 1968  | 1969  | 1970  | 1971 | 1972 | 1973    | 1974  |
| 2,00  | 1,701         | 1,707 | 1,717 | 1,709 | 1,707 | 1,710 | 1,710 | 1,707 | 1,707 | 1,710 | 19,1 | 19,2 | 19,1,24 | 1,707 |
| 3,00  | 1,710         | 1,707 | 1,709 | 1,706 | 1,706 | 1,707 | 1,707 | 1,707 | 1,707 | 1,707 | 19,1 | 19,1 | 19,1,24 | 1,707 |
| 4,00  | 1,710         | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 19,2 | 19,2 | 19,2,24 | 1,710 |
| 5,00  | 1,710         | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 19,2 | 19,2 | 19,2,24 | 1,710 |
| 6,00  | 1,710         | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 19,2 | 19,2 | 19,2,24 | 1,710 |
| 7,00  | 1,710         | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 19,2 | 19,2 | 19,2,24 | 1,710 |
| 8,00  | 1,710         | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 19,2 | 19,2 | 19,2,24 | 1,710 |
| 9,00  | 1,710         | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 19,2 | 19,2 | 19,2,24 | 1,710 |
| 10,00 | 1,710         | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 19,2 | 19,2 | 19,2,24 | 1,710 |
| 11,00 | 1,710         | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 19,2 | 19,2 | 19,2,24 | 1,710 |
| 12,00 | 1,710         | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 19,2 | 19,2 | 19,2,24 | 1,710 |
| 13,00 | 1,710         | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 19,2 | 19,2 | 19,2,24 | 1,710 |
| 14,00 | 1,710         | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 19,2 | 19,2 | 19,2,24 | 1,710 |
| 15,00 | 1,710         | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 19,2 | 19,2 | 19,2,24 | 1,710 |
| 16,00 | 1,710         | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 19,2 | 19,2 | 19,2,24 | 1,710 |
| 17,00 | 1,710         | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 19,2 | 19,2 | 19,2,24 | 1,710 |
| 18,00 | 1,710         | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 19,2 | 19,2 | 19,2,24 | 1,710 |
| 19,00 | 1,710         | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 19,2 | 19,2 | 19,2,24 | 1,710 |
| 20,00 | 1,710         | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 19,2 | 19,2 | 19,2,24 | 1,710 |
| 21,00 | 1,710         | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 19,2 | 19,2 | 19,2,24 | 1,710 |
| 22,00 | 1,710         | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 19,2 | 19,2 | 19,2,24 | 1,710 |
| 23,00 | 1,710         | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 19,2 | 19,2 | 19,2,24 | 1,710 |
| 24,00 | 1,710         | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 19,2 | 19,2 | 19,2,24 | 1,710 |
| 25,00 | 1,710         | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 1,710 | 19,2 | 19,2 | 19,2,24 | 1,710 |

# APÊNDICE B - Dados Obtidos em Todos os Ensaios

1. Sintersteel & Cartier;
2. Tomczak & Leiros;
3. Sociedade Suíça de Pesquisas;
4. Sociedade Suíça de Engenharia e Arquitetura.



QUADRO 1B - Vazão Calculada por Diferentes Fórmulas e Ensaída, para Cargas Hidráulicas Variando de 2,00 cm a 14,80 cm.

| VERTEDOR |                          |        |         |        |                  |        |                  |         |                  |                   | CUBA           |                |         |                |
|----------|--------------------------|--------|---------|--------|------------------|--------|------------------|---------|------------------|-------------------|----------------|----------------|---------|----------------|
| CARGA    | VAZÃO CALCULADA<br>(l/s) |        |         |        |                  |        |                  |         |                  |                   | NÍVEL INFERIOR | NÍVEL SUPERIOR | TEMPO   | VAZÃO ENSAÍADA |
|          | BAZIN                    | COLE   | FRANCIS | FRESE  | K/C <sup>1</sup> | KING   | P/L <sup>2</sup> | RENBOCK | SBH <sup>3</sup> | SSEA <sup>4</sup> | (cm)           | (cm)           | (s)     | (l/s)          |
| 2,00     | 1,711                    | 1,308  | 1,277   | 1,480  | 1,262            | 1,392  | 1,228            | 1,367   | 1,38             | 1,322             | 20,5           | 30,8           | 1055,08 | 1,374          |
| 2,40     | 2,150                    | 1,707  | 1,680   | 1,900  | 1,658            | 1,822  | 1,614            | 1,772   | 1,791            | 1,728             | 41,1           | 51,4           | 817,15  | 1,774          |
| 2,80     | 2,622                    | 2,138  | 2,118   | 2,355  | 2,090            | 2,289  | 2,034            | 2,213   | 2,237            | 2,169             | 30,7           | 41,0           | 648,02  | 2,239          |
| 3,20     | 3,125                    | 2,598  | 2,590   | 2,843  | 2,553            | 2,789  | 2,486            | 2,687   | 2,717            | 2,643             | 51,2           | 61,5           | 544,34  | 2,664          |
| 3,60     | 3,657                    | 3,086  | 3,093   | 3,361  | 3,078            | 3,322  | 2,966            | 3,193   | 3,228            | 3,149             | 14,1           | 24,4           | 458,12  | 3,165          |
| 4,00     | 4,217                    | 3,599  | 3,625   | 3,909  | 3,605            | 3,885  | 3,474            | 3,730   | 3,769            | 3,685             | 31,2           | 41,5           | 395,08  | 3,670          |
| 4,40     | 4,805                    | 4,136  | 4,186   | 4,486  | 4,159            | 4,478  | 4,008            | 4,295   | 4,340            | 4,250             | 10,1           | 20,4           | 336,41  | 4,310          |
| 4,80     | 5,419                    | 4,697  | 4,774   | 5,091  | 4,739            | 5,099  | 4,566            | 4,888   | 4,938            | 4,843             | 20,4           | 30,7           | 295,11  | 4,913          |
| 5,20     | 6,060                    | 5,279  | 5,388   | 5,723  | 5,343            | 5,748  | 5,149            | 5,508   | 5,564            | 5,462             | 40,8           | 51,1           | 265,30  | 5,465          |
| 5,60     | 6,727                    | 5,882  | 6,028   | 6,381  | 5,971            | 6,423  | 5,754            | 6,153   | 6,217            | 6,109             | 61,1           | 71,4           | 234,87  | 6,173          |
| 6,00     | 7,418                    | 6,506  | 6,692   | 7,065  | 6,622            | 7,124  | 6,382            | 6,825   | 6,895            | 6,780             | 9,9            | 20,2           | 211,80  | 6,845          |
| 6,40     | 8,134                    | 7,148  | 7,380   | 7,774  | 7,332            | 7,851  | 7,030            | 7,521   | 7,599            | 7,477             | 30,3           | 40,6           | 193,50  | 7,493          |
| 6,80     | 8,874                    | 7,810  | 8,092   | 8,508  | 8,030            | 8,603  | 7,700            | 8,241   | 8,328            | 8,199             | 50,8           | 61,1           | 177,10  | 8,187          |
| 7,20     | 9,638                    | 8,490  | 8,826   | 9,266  | 8,749            | 9,379  | 8,389            | 8,985   | 9,081            | 8,945             | 36,7           | 47,0           | 164,17  | 8,832          |
| 7,60     | 10,425                   | 9,187  | 9,582   | 10,049 | 9,488            | 10,179 | 9,098            | 9,752   | 9,859            | 9,715             | 57,4           | 67,7           | 147,10  | 9,856          |
| 8,00     | 11,236                   | 9,902  | 10,360  | 10,855 | 10,247           | 11,003 | 9,825            | 10,543  | 10,660           | 10,508            | 21,2           | 31,5           | 139,13  | 10,421         |
| 8,40     | 12,069                   | 10,633 | 11,160  | 11,685 | 11,025           | 11,850 | 10,571           | 11,355  | 11,485           | 11,324            | 42,1           | 52,4           | 129,12  | 11,229         |
| 8,80     | 12,925                   | 11,381 | 11,981  | 12,537 | 12,058           | 12,720 | 11,335           | 12,190  | 12,334           | 12,164            | 62,6           | 72,9           | 118,10  | 12,277         |
| 9,20     | 13,804                   | 12,144 | 12,822  | 13,413 | 12,889           | 13,613 | 12,117           | 13,046  | 13,205           | 13,025            | 12,3           | 22,6           | 110,09  | 13,170         |
| 9,60     | 14,704                   | 12,922 | 13,683  | 14,311 | 13,739           | 14,528 | 12,916           | 13,924  | 14,099           | 13,909            | 33,0           | 43,3           | 103,30  | 14,036         |
| 10,00    | 15,626                   | 13,716 | 14,565  | 15,231 | 14,606           | 15,466 | 13,731           | 14,823  | 15,015           | 14,815            | 53,3           | 63,6           | 98,26   | 14,755         |
| 10,40    | 16,570                   | 14,524 | 15,466  | 16,174 | 15,492           | 16,425 | 14,563           | 15,743  | 15,954           | 15,742            | 92,0           | 19,5           | 92,01   | 15,758         |
| 10,80    | 17,536                   | 15,347 | 16,386  | 17,138 | 16,394           | 17,406 | 15,411           | 16,684  | 16,914           | 16,691            | 14,8           | 25,1           | 87,05   | 16,656         |
| 11,20    | 18,522                   | 16,184 | 17,326  | 18,124 | 17,566           | 18,408 | 16,275           | 17,646  | 17,897           | 17,662            | 29,8           | 40,1           | 82,05   | 17,671         |
| 11,60    | 19,530                   | 17,035 | 18,285  | 19,132 | 18,515           | 19,432 | 17,155           | 18,628  | 18,901           | 18,653            | 40,1           | 10,4           | 78,07   | 18,752         |
| 12,00    | 20,559                   | 17,900 | 19,262  | 20,161 | 19,481           | 20,476 | 18,050           | 19,629  | 19,926           | 19,665            | 50,4           | 60,7           | 74,03   | 19,585         |
| 12,40    | 21,608                   | 18,778 | 20,257  | 21,211 | 20,463           | 21,542 | 18,960           | 20,651  | 20,972           | 20,698            | 10,5           | 20,8           | 70,14   | 20,671         |
| 12,80    | 22,679                   | 19,669 | 21,271  | 22,282 | 21,461           | 22,628 | 19,885           | 21,693  | 22,040           | 21,751            | 31,1           | 41,4           | 66,93   | 21,662         |
| 13,20    | 23,769                   | 20,573 | 22,303  | 23,373 | 22,475           | 23,734 | 20,824           | 22,763  | 23,128           | 22,825            | 10,2           | 20,5           | 63,82   | 22,718         |
| 13,60    | 24,880                   | 21,489 | 23,352  | 24,486 | 23,504           | 24,861 | 21,778           | 23,836  | 24,237           | 23,919            | 20,5           | 30,8           | 61,07   | 23,741         |
| 14,00    | 26,011                   | 22,418 | 24,419  | 25,619 | 24,666           | 26,008 | 22,746           | 24,936  | 25,367           | 25,033            | 41,2           | 51,5           | 58,17   | 24,925         |
| 14,40    | 27,162                   | 23,360 | 25,503  | 26,772 | 25,731           | 27,175 | 23,727           | 26,055  | 26,517           | 26,166            | 21,0           | 31,3           | 55,99   | 25,895         |
| 14,80    | 28,332                   | 24,313 | 26,605  | 27,945 | 26,810           | 28,362 | 24,723           | 27,194  | 27,687           | 27,320            | 31,3           | 41,6           | 53,13   | 27,289         |

1. Kindsvater & Carter;

2. Poncelet & Lesbros;

3. Sociedade Belga de Mecânicos;

4. Sociedade Suíça de Engenheiros e Arquitetos.



#### APENDICE C - Análise de Variância

Quadro 1C - Análise de Variância dos Dados de Vazão Calculada e Ensaída.

| F V     | G L | Q M        | F       |
|---------|-----|------------|---------|
| MÉTODOS | 10  | 9,420994   | 63,40*  |
| CARGAS  | 32  | 678,450600 | 4565,64 |
| RESIDUO | 320 | 0,1485993  |         |
| CV(%)   |     |            | 3,13    |

UFERSA SIGAA - BIBLIOTECAS



SIGAA

2013007860