

627 PL

MARCOS AURÉLIO DE PAULA FERNANDES

**EFEITO DO DIÂMETRO NO COEFICIENTE DE DESCARGA
DE SIFÕES, EM DIFERENTES CONDIÇÕES DE CARGA
HIDRÁULICA**

627.52
631.42

ORIENTADOR: JOSÉ CIPRIANO DE MEDEIROS FILHO

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

Mossoró
Rio Grande do Norte - Brasil
Dezembro/1995

2
3
OG

MARCOS AURÉLIO DE PAULA FERNANDES

ALUNO - 104	
(inscrição)	
	Nº matrícula
	Nº registro
	data
	Nº orientador

**EFEITO DO DIÂMETRO NO COEFICIENTE DE DESCARGA
DE SIFÕES, EM DIFERENTES CONDIÇÕES DE CARGA
HIDRÁULICA**



ORIENTADOR: JOSÉ CIPRIANO DE MEDEIROS FILHO

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

Mossoró
Rio Grande do Norte - Brasil
Dezembro/1995

Escola Superior de Agricultura de Mossoró
BIBLIOTECA "ORLANDO TEIXEIRA"

M.
627.52
4.363.2

BOT - UFERSA Campus Mossoró	
Patrimônio Nº	20300x6203
Registro Nº	33.558
Data:	22/06/2023
Chamada Nº	627-32



BIBLIOTECA ORLANDO TEIXEIRA Escola Sup. de Agricultura de Mossoró - RN	
33.558	27/05/96

2944

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

F 363e Fernandes, Marcos Aurélio de Paula.

Efeito do diâmetro no coeficiente de descarga de sifões, em diferentes condições de carga hidráulica / Marcos Aurélio de Paula Fernandes. -- Mossoró-RN: ESAM, 1995.

44p. Monografia (Graduação em Engenharia Agrônômica) ESAM, 1995.

1. Hidráulica - Sifão.
2. Coeficiente de descarga - Sifão.
3. Diâmetro e carga hidráulica - Sifão.

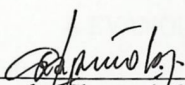
CDD 627.52

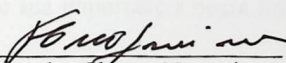
MARCOS AURÉLIO DE PAULA FERNANDES

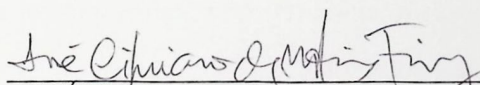
**EFEITO DO DIÂMETRO NO COEFICIENTE DE DESCARGA
DE SIFÕES, EM DIFERENTES CONDIÇÕES DE CARGA
HIDRÁULICA**

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

APROVADA EM: 18/12/95


Francisco das Chagas da S. Espínola
Prof. M.Sc. - ESAM
Membro


Francisco das Chagas Nogueira
Prof. M.Sc. - ESAM
Membro


JOSÉ CIPRIANO DE MEDEIROS FILHO
Prof. M.Sc. - ESAM
ORIENTADOR

DEDICATÓRIA

Memorável tia-mãe.
A quem, em vida,
Deu-me conselhos,
Aspirações e ensinamentos.
Levada aos céus,
Ensinou-me que,
Naquele a quem amamos e confiamos,
Alcançamos nossos êxitos.

IN MEMORIAM

Aos meus pais, VICENTE DE PAULA FERNANDES e MARIA FERNANDES, e a meus irmãos, FRANCISCO JOSÉ e MARIA AMÉLIA, pela compreensão, amizade, respeito e por suas influências na minha vida cristã e profissional.

A EVANOLGA, pelo amor que nos uniu e sua importância nessa luta por um ideal.

Ao meu tio PEDRO FERNANDES e ao Pe. AGUSTIN CALLATAYUD, pelos incentivos e conselhos que tanto me serviram para seguir nesta caminhada.

*"Todo cargo é passageiro. A consciência
tranquila é o lugar ideal."*

AGRADECIMENTOS

A Deus que, em todos os momentos da minha vida, me faz sentir a sua presença.

Ao orientador José Cipriano de Medeiros Filho, pela amizade e dedicação para juntos realizarmos este trabalho.

Aos professores Francisco das Chagas da Silva Espínola e Francisco das Chagas Nogueira, pelas correções e sugestões oferecidas a este trabalho.

Ao professor Alexandre Paula Braga, por sua preciosa ajuda na análise estatística.

Ao professor Everaldo Bernardino de Souza, pelas ilustrações.

Ao laboratorista Carlos Augusto Nunes, pela presteza na instalação do experimento e na coleta de dados.

Ao Departamento de Engenharia Agrícola, que nos deu condições para realizarmos este trabalho.

Aos amigos Raimundo Luiz, Elano, Joaquim, Sérgio Ricardo, Adalberto, Brenner e a todos os demais companheiros da casa 05 e da Vila Acadêmica, pela amizade a mim dispensada.

Às secretárias Marlene Silva, Tereza, Teté e a Tia Ciça, pela dedicação no trabalho e a atenção a mim dispensada.

A todos os familiares e amigos, aos que nada fizeram, e a todos aqueles que, direta ou indiretamente, tornaram este ideal não um sonho, mas uma realidade.

A Zumbi, Tiradentes, Antônio Conselheiro e a todos aqueles que lutaram e lutam por uma nação mais justa e mais digna.

DADOS BIOGRÁFICOS DO AUTOR

MARCOS AURÉLIO DE PAULA FERNANDES, filho de Vicente de Paula Fernandes e Maria Fernandes, nasceu no sítio Ingá, município de Encanto-RN, a 5 de março de 1968.

Concluiu o 1º grau no Colégio Estadual Winston Churchill e o 2º grau na Escola Técnica Federal do Rio Grande do Norte - ETFRN, onde saiu diplomado como Auxiliar Técnico em Estradas, em 1987.

Ingressou no curso de Agronomia da Escola Superior de Agricultura de Mossoró - ESAM, em março de 1991. No decorrer do curso, foi representante dos alunos no Conselho Departamental-CD, no período de julho de 92 a julho de 93; representante dos alunos no Departamento de Solos, no período de julho de 93 a julho de 94; e prefeito da Vila Acadêmica "Vingt-un Rosado", no período de junho de 94 a setembro de 95.

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

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE TABELAS.....	viii
LISTA DE TABELAS DO APÊNDICE.....	x
EXTRATO.....	xi
1. INTRODUÇÃO	01
2. REVISÃO DE LITERATURA	03
2.1. Emprego dos Sifões	03
2.1.1. Materiais e Diâmetros Usuais	04
2.2. Condições de Funcionamento	06
2.3. Vazão	07
2.3.1. Carga Hidráulica	08
2.4. Coeficiente de Descarga	09
2.4.1. Influência do Diâmetro	10
2.4.2. Influência da Carga Hidráulica	12
3. MATERIAL E MÉTODOS	13
3.1. Localização dos Ensaios	13
3.2. Materiais Empregados nas Medições	13
3.3. Parâmetros Ensaçados	14
3.4. Procedimento	14
3.5. Determinações	18
3.5.1. Área Média	19

3.5.2. Carga Hidráulica	19
3.5.3. Vazão	20
3.5.4. Coeficiente de Descarga	20
3.5.5. Erro Relativo do Coeficiente de Descarga	21
3.6. Análise Estatística	22
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
4.1. Coeficientes de Descarga Médios e Seus Erros Relativos	23
4.2. Efeito dos Parâmetros Ensaaiados	25
4.2.1. Efeito do Diâmetro	25
4.2.2. Efeito da Carga Hidráulica	26
4.2.3. Efeito da Interação Diâmetro Versus Carga Hidráulica	27
4.3. Equações do Coeficiente de Descarga em Função da Carga Hidráulica.	31
5. CONCLUSÕES	35
6. RESUMO	36
7. BIBLIOGRAFIA CITADA	37
8. APÊNDICE	40
8.1. Apêndice A - Características dos Sifões Ensaaiados	41
8.2. Apêndice B - Coeficientes de Descarga Obtidos em Todos os Ensaio..	43

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema de determinação, em campo, da carga hidráulica	09
Figura 2 - Projeção esquemática do sistema hidráulico da pesquisa	15
Figura 3 A - Vista lateral do tanque da pesquisa	16
Figura 3 B - Vista superior do tanque da pesquisa	17
Figura 4 - Coeficiente de descarga em função da carga hidráulica, para os diâmetros ensaiados	34

LISTA DE TABELAS

TABELA 01 - Coeficientes de Descarga Médios e Seus Erros Relativos, para as Cargas Hidráulicas e os Diâmetros Ensaiaados.....	24
TABELA 02 - Análise de Variância do Experimento Fatorial 3x10.....	25
TABELA 03 - Médias dos Coeficientes de Descarga, para os Diâmetros Ensaiaados	26
TABELA 04 - Médias dos Coeficientes de Descarga, para as Cargas Hidráulicas Ensaiaadas	27
TABELA 05 - Análise de Variância do Desdobramento dos Diâmetros Dentro das Cargas Hidráulicas	28
TABELA 06 - Médias dos Coeficientes de Descarga dos Diâmetros Ensaiaados, Dentro de Cada Carga Hidráulica Ensaiaada	29
TABELA 07 - Análise de Variância do Desdobramento das Cargas Hidráulicas Dentro dos Diâmetros	30
TABELA 08 - Médias dos Coeficientes de Descarga das Cargas Hidráulicas Ensaiaadas, Dentro de Cada Diâmetro Ensaiaado	31
TABELA 09 - Análise de Variância da Regressão Polinomial, para o Diâmetro de 1 pol.	32
TABELA 10 - Análise de Variância da Regressão Polinomial, para o Diâmetro de 1 ½ pol.	32
TABELA 11 - Análise de Variância da Regressão Polinomial, para o Diâmetro de 2 pol.	32

TABELA 12 - Equações de Regressão Polinomial do Coeficiente de Descarga em Função da Carga Hidráulica, para os Diâmetros Ensaitados, e Suas Somas dos Valores Absolutos dos Desvios 33

LISTA DE TABELAS DO APÊNDICE

TABELA 1A - Especificações Técnicas das Margueiras Utilizadas 42

TABELA 2A - Diâmetros Internos das Peças de Montagem de Sifões das Sifões-Paralelos, em cm 43

TABELA 3A - Coeficientes de Descarga dos Sifões, para as Cargas Hidráulicas e as Pressões Chomadas 44

LISTA DE TABELAS DO APÊNDICE

TABELA 1A - Especificações Técnicas das Mangueiras Utilizadas	42
TABELA 2A - Diâmetros Internos das Bocas de Entrada e de Saída dos Sifões Ensaiaados, em cm	42
TABELA 1B - Coeficientes de Descarga dos Sifões, para as Cargas Hidráulicas e os Diâmetros Ensaiaados	44

EXTRATO

FERNANDES, Marcos Aurélio de Paula. **Efeito do diâmetro no coeficiente de descarga de sifões, em diferentes condições de carga hidráulica.** Mossoró: ESAM, 1995. 44 p. Professor orientador: José Cipriano de Medeiros Filho. Conselheiros: Francisco das Chagas da Silva Espínola e Francisco das Chagas Nogueira.

O presente trabalho foi realizado no Laboratório de Hidráulica da Escola Superior de Agricultura de Mossoró (ESAM), em Mossoró - RN, tendo como objetivo determinar o efeito do diâmetro no coeficiente de descarga de sifões, em diferentes condições de carga hidráulica. Para isso, foram utilizados sifões de PVC flexível (SPIRAFLEX) de 2 m de comprimento e diâmetros nominais de 1 pol., 1½ pol. e 2 pol., submetidos a cargas hidráulicas no intervalo de 0,05 m a 0,50 m, com incremento de 0,05 m entre as mesmas. Constatou-se que o coeficiente de descarga do sifão aumentou significativamente com os aumentos do diâmetro e da carga hidráulica e que esses dois parâmetros são interdependentes, sendo constatado, também, que o coeficiente de descarga foi mais influenciado pelo diâmetro que pela carga hidráulica. Para representar a função coeficiente de descarga versus carga hidráulica, foram escolhidas as equações $C_d = 0,4963 + 0,2169 h - 0,5702 h^2 + 0,6496 h^3$, $C_d = 0,5790 + 0,1693 h - 0,3113 h^2 + 0,2813 h^3$ e $C_d = 0,5887 + 0,4085 h - 1,1912 h^2 + 1,2100 h^3$ para os diâmetros de 1 pol., 1½ pol. e 2 pol., respectivamente.

1. INTRODUÇÃO

A irrigação por superfície é o método mais primitivo usado pelo homem, para distribuir a água ao solo, sendo que, de região em região, são desenvolvidos sistemas locais, e tenta-se relacionar e aperfeiçoar os mais promissores. O que se procura é tornar o uso da água, bem como o trabalho humano, mais eficientes, tentando evitar danos que venham a prejudicar as condições naturais do solo.

É muito importante no método de irrigação por superfície, em particular, que se dispunha de dispositivos capazes de proporcionarem aos sulcos de infiltração vazões adequadas, perfeitamente conhecidas e constantes durante o tempo de irrigação, a fim de que não haja escassez nem excesso de água no solo e, consequentemente, que a eficiência de irrigação seja a mais elevada possível. Os sifões são capazes de atender a essa exigência, desde que dimensionados e manejados convenientemente.

Nos métodos de irrigação por superfície, os sifões são largamente empregados, não só para facilitar a derivação de água de canais terciários, ou de última ordem, para os sulcos de infiltração, faixas e tabuleiros, como também para regulação de vazão nessas estruturas hidráulicas. São tubos de pequeno diâmetro e comprimento, que permitem irrigar sem necessidade de cortar o talude dos canais, e suas diferentes formas se adaptam perfeitamente a esses taludes.

De acordo com BERNARDO (1989), sifões são tubos geralmente de alumínio, plástico ou ferro, que removem a água de diques ou canais e a descarregam nos sulcos ou em outros sistemas de distribuição. Eles não só distribuem água, como também medem a vazão com que se está processando a referida distribuição. Essa vazão dependerá das características do sifão, tais como: diâmetro, comprimento, material que constitui o tubo (rugosidade interna), número de curvas (quando existir) e da carga hidráulica empregada no seu funcionamento. Após escolhido o tipo do sifão, sua vazão dependerá exclusivamente da carga hidráulica que está sendo empregada no mesmo.

O coeficiente de descarga de um sifão é dado pela relação entre a vazão real e a vazão teórica, representando o rendimento do mesmo. O seu valor depende do tipo e da disposição do sifão, bem como dos outros fatores que também influenciam sua vazão. A importância desse coeficiente é que, através dele, pode-se determinar a vazão real do sifão, contribuindo para o conhecimento do volume de água que está sendo distribuído para a irrigação ou outros fins.

Pretende-se, com este trabalho, determinar o efeito do diâmetro no coeficiente de descarga de sifões, em diferentes condições de carga hidráulica, e as equações dos coeficientes de descarga em função da carga hidráulica, para os vários diâmetros que serão testados.

2. REVISÃO DE LITERATURA

CORONEL (1975) afirma que os sifões já eram conhecidos por nossos antepassados e foram utilizados por centenas de anos; seu uso consistia em tubos em forma de “U” invertido, servindo para descarregar a água armazenada para um nível mais baixo. Em nossos dias, o princípio sifônico tem sido aplicado em condutos de grande tamanho e capacidade.

Segundo NEVES (1979), sifões são os condutos em que parte da canalização se encontra acima do nível do reservatório que o alimenta, de modo que o líquido é elevado acima daquele nível e depois descarregado em um ponto mais baixo que o mesmo.

Já GRANADOS (1971) cita que tratam-se de pequenos tubos que tiram água dos canais, passando sobre sua banquetta sem rompê-la, para situar-se na cabeceira do sulco ou tabuleiro.

2.1. Emprego dos Sifões

Conforme WITHERS & VIPOND (1977), sifões são usados em irrigação para transferir a água do canal para o início do sulco ou faixa lateral, a uma velocidade conhecida.

De acordo com DAKER (1988), os tubos de sifão são muito usados na distribuição e no controle da água em cada sulco, pois são facilmente colocados e

mudados de uma posição a outra, podendo ainda serem usados mais de um em cada sulco.

Segundo o DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA DE LOS ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA (1973), os tubos de sifão que se empregam para extrair a água de um canal, distribuindo-a sobre um terreno, mediante sulcos, corrugações ou bordas, utilizam-se também para medir o índice de fluxo nesses sistemas de distribuição.

REBOUR & DELOYE (1971) citam que tem-se estendido muito o uso de sifões metálicos ou plásticos, sobretudo para alimentar os sulcos dos cultivos em linha. Sua grande vantagem é que deixa as bordas dos canais de terra intactas. Não há que temer perdas de água e pode-se limpar os taludes, ou modificá-los, assim que as comportas interrompam o trabalho.

Para o DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA DE LOS ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA (1973), o sifão tem a vantagem de ser portátil, reduzindo-se, assim, o número de tubos que se requer para a irrigação de uma superfície determinada, diminuindo o custo inicial do equipamento. Como desvantagem, cita a necessidade dos sifões serem escorvados individualmente, acrescentando que esta operação é o requisito principal da mão-de-obra quando se empregam tubos de sifão na irrigação por superfície.

2.1.1. Materiais e Diâmetros Usuais

Os materiais mais empregados na confecção de sifões são: plástico ou alumínio (GRANADOS, 1971; REBOUR & DELOYE, 1971; DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA DE LOS ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA, 1973; WITHERS & VIPOND, 1977; GUERRA, 1978; SILVA & DUARTE, 1980; UNITED STATES DEPARTMENT OF THE INTERIOR, 1984; DAKER, 1988 e BERNARDO, 1989), borracha (GRANADOS, 1971; DEPARTAMENTO DE LOS

ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA, 1973; SILVA & DUARTE, 1980; DAKER, 1988), e ferro (BERNARDO, 1989).

GRANADOS (1971) e SILVA & DUARTE (1980) afirmam que o polietileno de cor escura é o mais usado, por ser mais barato e se mostrar menos sensível aos raios infravermelhos, o que não acontece com os de polietileno transparente, que se tornam quebradiços quando expostos às radiações solares. GRANADOS (1971) completa que os de tenita, outro plástico, suportam bem o sol, qualquer que seja sua cor, mas se ocorrer alguma deformação no tubo não tem conserto, por serem quebradiços, ao contrário do que ocorre com os de polietileno, que se recuperam de uma deformação.

Conforme GRANADOS (1971) e SILVA & DUARTE (1980), os de alumínio resistem bem ao sol, são os mais duráveis, mas precisam ser manejados com muito cuidado, pois, se por algum motivo, sofrerem alguma deformação, dificilmente se consegue restabelecer a sua forma original.

Por sua vez, os sifões de borracha são muito flexíveis, necessitando de um reforço de arame, para que se tornem mais indeformáveis e facilitem a operação de escorvamento (GRANADOS, 1971 e SILVA & DUARTE, 1980).

Para o DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA DE LOS ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA (1973), o diâmetro usual dos sifões varia entre 1 pol. e 6 pol., embora possam ser utilizados tanto tubos com diâmetros menores, quanto maiores.

GUERRA (1978) afirma que o melhor dispositivo para alimentar os sulcos é por meio de pequenos sifões, de alumínio ou plástico, com cerca de 1 m de comprimento e $\frac{3}{4}$ pol. ou 1 pol. de diâmetro.

SILVA & DUARTE (1980) citam que são usados sifões de $\frac{1}{2}$ pol. até 12 pol., contudo os mais freqüentemente utilizados são os de $\frac{3}{4}$ pol. a 2 pol. Já BERNARDO (1989) observa que, para a irrigação por sulcos, podem ser utilizados tubos com diâmetro de até 3 pol..

De acordo com GRANADOS (1971), a lama e outras impurezas levadas pela água em suspensão oferecem maiores riscos à obstrução de sifões de até $\frac{3}{4}$ pol. de diâmetro.

2.2. Condições de Funcionamento

Segundo GRANADOS (1971), REBOUR & DELOYE (1971) e SILVA & DUARTE (1980), para o pleno funcionamento do sifão, deve-se escorvâ-lo. Para tanto, mergulha-se uma de suas extremidades na água e procura-se enchê-lo de água, levantando-se a outra extremidade e tampando-a com a mão, de modo que todo ar existente no interior do tubo seja espulso; em seguida, baixa-se rapidamente essa extremidade, deixando-a acomodada por sobre a parede do canal. Ao soltar a mão, a água fluirá ininterruptamente.

REBOUR & DELOYE (1971) citam que o sifão de diâmetro pequeno é fácil de manejar, sendo que um homem pode atender até 150 deles. Afirmam ainda que, para os de diâmetros maiores, não basta a mão, a qual deve ser substituída por uma tampa vedada. O aparato é manejado, então, por dois homens.

BERNARDO (1989) afirma que, para o escorvamento de um sifão, veda-se com a mão uma das extremidades, submerge-se a outra no canal de onde retiraremos água, de modo a enchê-lo e abaixa-se a extremidade vedada até que esta fique num nível inferior à superfície da água no canal. Depois, desveda-se o sifão e a água começa a fluir.

Conforme NEVES (1979), uma vez escorvado o sifão, a pressão atmosférica faz o líquido subir no ramo ascendente, e se estabelece um regime permanente de escoamento; para que a canalização funcione normalmente, entretanto, é necessário que a pressão no ponto mais alto da tubulação seja, no mínimo, igual à tensão de vapor da água, condição que deve ser considerada como limite.

De acordo com SILVESTRE (1979) e CASTRO (1985), para que o sifão possa funcionar normalmente após seu escorvamento, é preciso observar as seguintes condições estabelecidas pela equação de Bernoulli:

1ª condição: Necessariamente, a boca de saída do sifão deve situar-se abaixo do plano de carga efetivo (P.C.E.);

2ª condição: A diferença de nível entre o vértice do sifão e o nível d'água no reservatório deve ser menor que a altura representativa da pressão atmosférica local;

3ª condição: O ramo descendente não pode prolongar-se indefinidamente.

2.3. Vazão

Segundo o DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA DE LOS ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA (1973) e BERNARDO (1989), a vazão do sifão depende do diâmetro, do comprimento, do material que constitui o tubo (rugosidade interna), do número de curvas (quando existir) e da carga sob a qual o sifão está trabalhando. BERNARDO (1989) acrescenta que, uma vez escolhido o tipo de sifão, os quatro primeiros fatores serão constantes, e a vazão dependerá exclusivamente da carga sob a qual o sifão trabalhará.

O DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA DE LOS ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA (1973), GILES (1978), NEVES (1979), SILVESTRE (1979), SILVA & DUARTE (1980) e CASTRO (1985) citam que determina-se a vazão do sifão pela fórmula:

$$Q = Cd \cdot A \sqrt{2gh} \quad (1)$$

onde:

Q = Vazão ou descarga do sifão, em $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$;

C_d = Coeficiente de descarga;

A = Área da secção de escoamento do sifão, em m^2 ;

h = Carga hidráulica do sifão, em m;

g = Aceleração da gravidade, em $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$.

2.3.1. Carga Hidráulica

Conforme GRANADOS (1971), REBOUR & DELOYE (1971), DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA DE LOS ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA (1973), WITHERS & VIPOND (1977), SILVA & DUARTE (1980) e BERNARDO (1989), o fluxo através de um sifão constitui uma função dos diferentes níveis de água entre suas extremidades. A altura de água considerada corresponde à diferença de cota entre o nível de água no canal e no terreno irrigado, quando suas duas extremidades estão submersas. Quando a boca de saída está livre, a carga hidráulica será a diferença de nível entre a superfície da água no canal e o centro da extremidade de saída.

A instalação de um sifão para operar com uma determinada carga hidráulica pode ser feita, no campo, de acordo com GRANADOS (1971), através de um duplo esquadro rígido e indeformável em forma de “U”, de material leve, para facilitar seu manejo, e cujos braços A e A’ têm o mesmo tamanho (Figura 1). No travessão central, coloca-se um pequeno nível de água para permitir uma perfeita horizontalidade do instrumento. A’ situa-se justamente sobre a corrente do canal, e em A existe uma escala deslocável que permite colocar a boca de saída do sifão em uma determinada altura. Para isto, basta marcar em A o valor de h correspondente, e deslocar o sifão sobre o camalhão, num ou noutro sentido, até conseguir-se a carga hidráulica desejada.

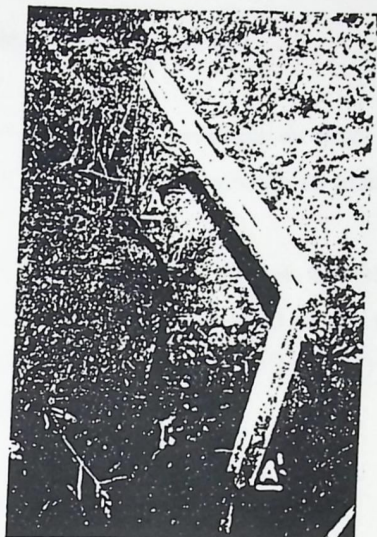


Figura 1 - Esquema de determinação, em campo, da carga hidráulica.

2.4. Coeficiente de Descarga

Segundo GILES (1978), o coeficiente de descarga é a relação da descarga real, através do dispositivo, para a sua descarga teórica. Assim, o coeficiente de descarga do sifão pode ser expresso como:

$$Cd = \frac{\text{Vazão real}}{\text{Vazão teórica}} = \frac{Q}{A \sqrt{2gh}} \quad (2)$$

O coeficiente de descarga do sifão pode ser estabelecido através dos seus coeficientes de contração e de velocidade (GILES, 1978), obtendo-se a seguinte fórmula:

$$C_d = C_c \cdot C_v \quad (3)$$

onde:

C_c = Coeficiente de contração do sifão;

C_v = Coeficiente de velocidade do sifão.

NEVES (1979) afirma que os valores do coeficiente de descarga variam de 0,55 a 0,75 e até 0,80, dependendo do tipo e das disposições do sifão. Por sua vez, SILVESTRE (1979) e CASTRO (1985) citam que esse coeficiente geralmente varia de 0,5 a 0,8.

2.4.1. Influência do Diâmetro

Para bocais cilíndricos longos (comprimento do bocal maior que duas vezes seu diâmetro interno), o jato d'água na seção de saída ocupa toda área interna dos mesmos. Assim, o coeficiente de contração desses bocais é igual a um ($C_c = 1$), pois não há contração (NEVES, 1979 e BASTOS, 1983)

Conforme BASTOS (1983), para bocais cilíndricos longos, o coeficiente de velocidade aumenta à medida que cresce o diâmetro.

Considerando essas duas afirmativas a respeito dos coeficientes de contração e de velocidade, e baseado na equação (3), pode-se afirmar, para bocais cilíndricos longos, que o aumento do diâmetro aumenta o coeficiente de descarga, o que também é válido para o sifão, tendo em vista que, de acordo com NEVES (1979), esse dispositivo funciona como um bocal curvo.

O coeficiente de descarga do sifão pode ser estabelecido através das equações da continuidade e de Bernoulli (NEVES, 1979; SILVESTRE, 1979 e CASTRO, 1985), obtendo-se a seguinte fórmula:

$$C_d = \frac{1}{\sqrt{1 + f \cdot L/D + \Sigma K}} \quad (4)$$

onde:

f = Coeficiente de atrito do conduto;

L = Comprimento do sifão, em m;

D = Diâmetro interno do sifão, em m;

K = Coeficiente do dispositivo causador de perda de carga.

Para o DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA DE LOS ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA (1973), o coeficiente de descarga do sifão pode ser estimado pela fórmula:

$$C_d = C_o \sqrt{\frac{D^{4/3}}{5,087 n^2 C_o^2 L + D^{4/3}}} \quad (5)$$

onde:

C_o = Coeficiente de descarga para a boca de entrada (0,83 aproximadamente);

D = Diâmetro interno do tubo, em pol.;

n = Coeficiente de rugosidade (para sifões de alumínio, este coeficiente é de 0,008, para tubos de até 3 pol. de diâmetro, e de 0,012, para os tubos de 4 pol. ou mais);

L = Comprimento do tubo, em pés.

SILVA & DUARTE (1980) apresentam uma outra fórmula para estimar o coeficiente de descarga do sifão, a qual é dada por:

$$C_d = \sqrt{\frac{0,6889 D^{4/3}}{0,0683 L + D^{4/3}}} \quad (6)$$

onde:

D = Diâmetro interno do sifão, em pol.;

L = Comprimento do sifão, em m.

Através das equações (4), (5) e (6), constata-se que o aumento do diâmetro provoca um aumento no coeficiente de descarga do sifão, de mesmo material e comprimento.

2.4.2. Influência da carga hidráulica

Para bocais cilíndricos longos, o coeficiente de velocidade aumenta à medida que cresce a carga hidráulica (BASTOS, 1983), o que também é válido para o sifão.

Pode-se, então, afirmar, baseado na equação (3), que o aumento da carga hidráulica do sifão aumenta o seu coeficiente de descarga.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização dos Ensaios

Os ensaios foram conduzidos no Laboratório de Hidráulica da Escola Superior de Agricultura de Mossoró (ESAM), em Mossoró-RN, no período de setembro a novembro de 1995.

3.2. Materiais Empregados nas Medições

Os equipamentos utilizados no experimento foram os seguintes:

- a) reservatório de alvenaria com as seguintes dimensões aproximadas: comprimento = 1,50 m, largura = 1,00 m e profundidade = 1,40 m;
- b) piezômetro de 1.100 mm, com precisão de ± 1 mm;
- c) sifões de mangueiras flexíveis de PVC azul transparente, marca SPIRAFLEX, com 2 m de comprimento e diâmetros nominais de 1 pol., 1 ½ pol. e 2 pol., cujas características estão apresentadas na Tabela 1A do Apêndice;
- d) paquímetro em inox, marca SOMET, de 150 mm, com precisão de $\pm 0,05$ mm;
- e) suporte de madeira de 80 cm para o sifão;
- f) nível de mangueira acoplado ao piezômetro;

g) recipiente volumétrico de aço inoxidável, marca COBEL, com capacidade para $(20,00 \pm 0,20)$ l e precisão de $\pm 0,02$ l;

h) baldes plásticos, marca JUNDIAÍ, com capacidade de 60 l;

i) funil de zinco;

j) proveta de vidro, marca PROVERMEX, com capacidade de 1,00 l e precisão de $\pm 0,01$ l;

l) cronômetro digital, marca TECHNOS, com precisão de $\pm 0,01$ s.

3.3. Parâmetros Ensaiaados

Foram ensaiados sifões do mesmo material e comprimento e de diâmetros diferentes, trabalhando sob diferentes condições de carga hidráulica.

Os diâmetros e as cargas hidráulicas ensaiadas foram as seguintes:

a) diâmetros: 1 pol., 1 ½ pol. e 2 pol.;

b) cargas hidráulicas: 0,05 m, 0,10 m, 0,15 m, 0,20 m, 0,25 m, 0,30 m, 0,35 m, 0,40 m, 0,45 m e 0,50 m.

3.4. Procedimento

Para a execução dos ensaios, foi utilizado o sistema hidráulico exposto na Figura 2, no qual instalou-se o aparelho experimental, cujo esquema é mostrado nas Figuras 3A e 3B.

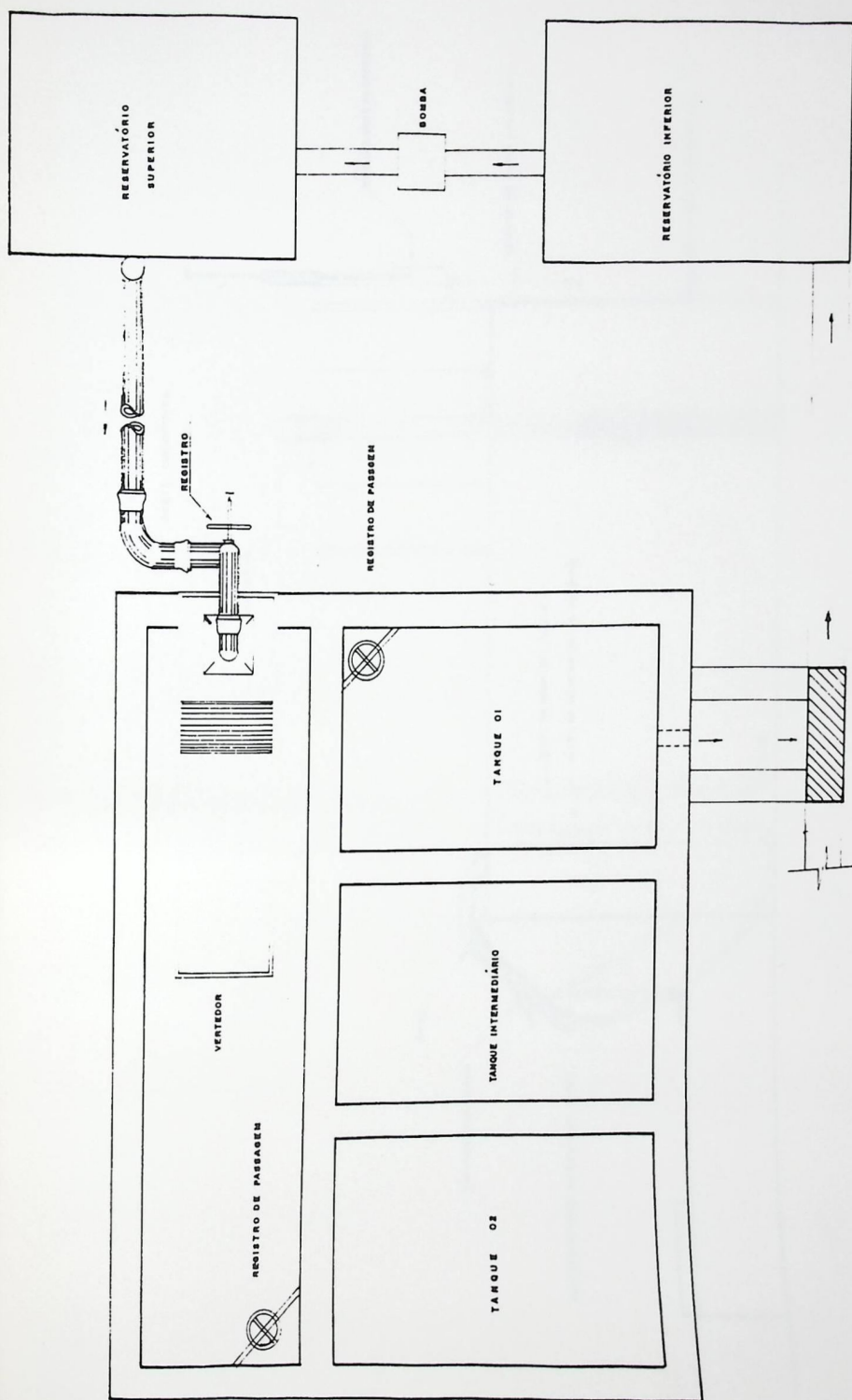


Figura 2 - Projção esquemática do sistema hidráulico da pesquisa.

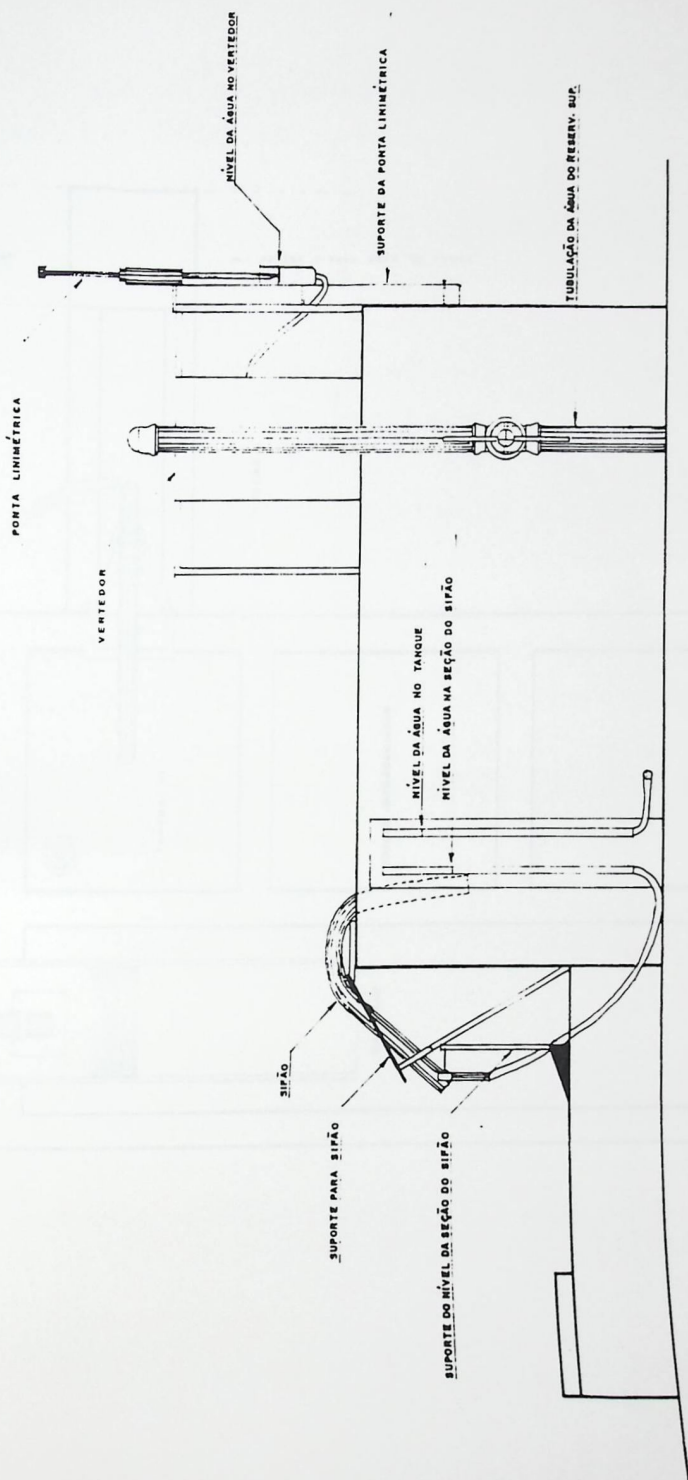


Figura 3A - Vista lateral do tanque da pesquisa

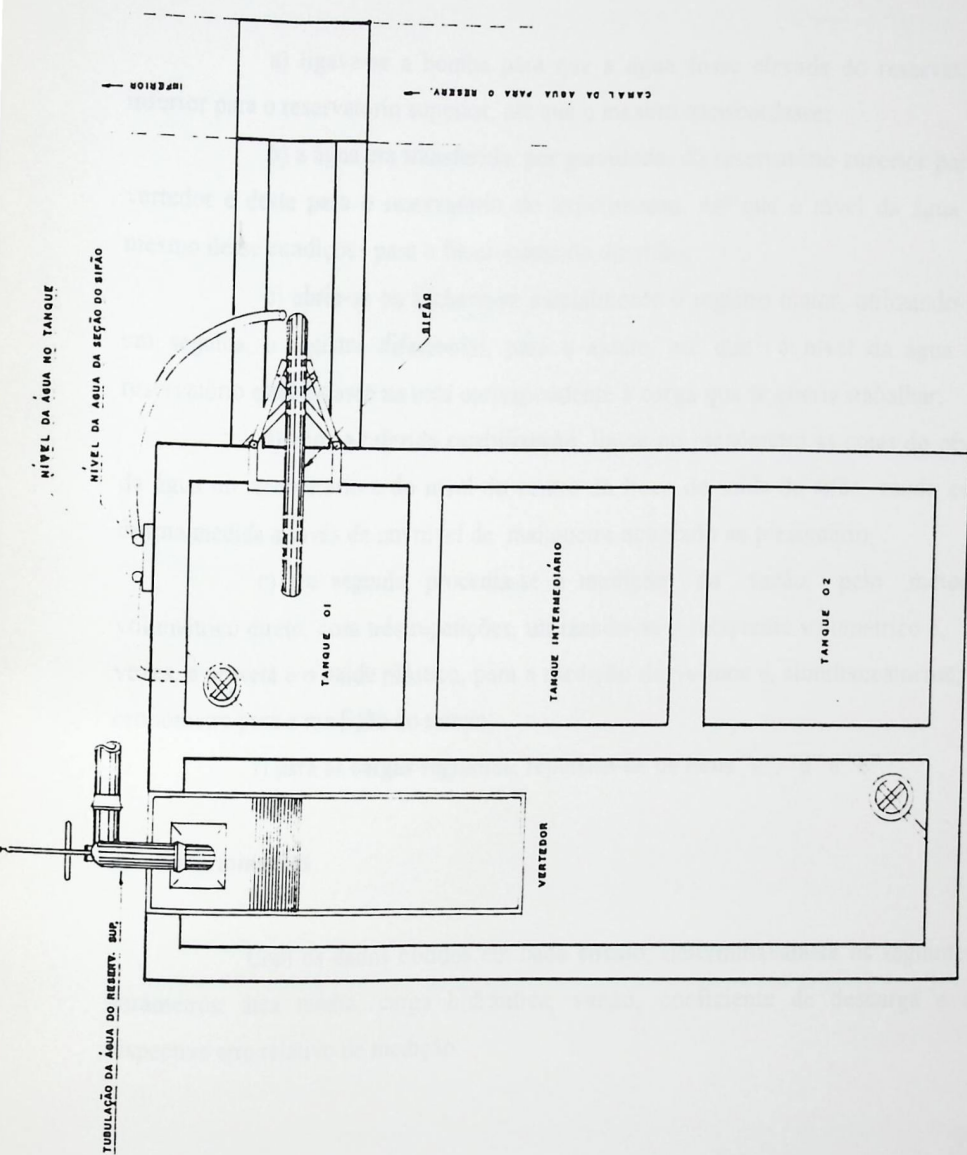


Figura 3B - Vista superior do tanque da pesquisa

Em cada ensaio, submetia-se o sifão a uma determinada carga hidráulica, sendo adotado o seguinte procedimento:

- a) ligava-se a bomba para que a água fosse elevada do reservatório inferior para o reservatório superior, até que o mesmo transbordasse;
- b) a água era transferida, por gravidade, do reservatório superior para o vertedor e deste para o reservatório do experimento, até que o nível da água no mesmo desse condições para o funcionamento do sifão;
- c) abria-se ou fechava-se parcialmente o registro maior, utilizando-se, em seguida, o registro diferencial, para o ajuste, até que o nível da água no reservatório estabilizasse na cota correspondente à carga que se queria trabalhar;
- d) após a referida estabilização, lia-se no piezômetro as cotas do nível da água no reservatório e do nível do centro da boca de saída do sifão, sendo esta última medida através de um nível de mangueira acoplado ao piezômetro;
- e) em seguida, procedia-se a medição da vazão, pelo método volumétrico direto, com três repetições, utilizando-se o recipiente volumétrico e, às vezes, a proveta e o balde plástico, para a medição do volume e, simultaneamente, o cronômetro para a medição do tempo;
- f) para as cargas seguintes, repetiam-se os itens “c”, “d” e “e”.

3.5. Determinações

Com os dados obtidos em cada ensaio, determinavam-se os seguintes parâmetros: área média, carga hidráulica, vazão, coeficiente de descarga e o respectivo erro relativo de medição.

3.5.1. Área média

Para o cálculo da área média dos sifões, usou-se a seguinte fórmula:

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \quad (7)$$

onde:

A = Área média do sifão, em m².

D = Diâmetro interno médio do sifão, em m.

O diâmetro interno médio de cada sifão foi determinado pela média dos diâmetros médios das suas bocas de entrada e de saída. Para isso, utilizou-se um paquímetro e efetuou-se quatro leituras, com ângulos de 45° entre as mesmas, em cada uma das referidas extremidades, segundo metodologia citada por PIMENTA (1977) e DELMÉE (1982). A Tabela 2A do Apêndice apresenta os resultados dessas medições.

3.5.2. Carga hidráulica

GRANADOS (1971), REBOUR & DELOYE (1971), DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA DE LOS ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA (1973), WITHERS & VIPOND (1977), SILVA & DUARTE (1980) e BERNARDO (1989) citam que a carga hidráulica deve ser determinada pela diferença entre as cotas do nível da água no reservatório e do nível do centro da boca de saída do sifão, procedimento que foi adotado neste trabalho. Portanto, a carga hidráulica do sifão foi determinada pela expressão:

$$h = h_1 - h_2 \quad (8)$$

onde:

h_1 = cota do nível da água no reservatório, em m;

h_2 = cota do nível do centro da boca de saída do sifão, em m.

3.5.3. Vazão

Para o cálculo da vazão referente a cada repetição, utilizou-se a fórmula geral, que é dada por:

$$Q = \frac{\text{vol}}{t} \quad (9)$$

onde:

Q = Vazão de cada repetição, em $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$;

vol = Volume coletado, em m^3 ;

t = Tempo de coleta, em s.

3.5.4. Coeficiente de Descarga

O coeficiente de descarga correspondente a cada repetição foi determinado através da equação (2).

3.5.5. Erro Relativo do Coeficiente de Descarga

Para a estimativa do erro relativo do coeficiente de descarga, utilizou-se o procedimento sugerido por BAJPAI *et al* (1980), sendo obtida a seguinte equação:

$$\text{ErCd} = \text{ErQ} + \frac{2|dD|}{D} + \frac{|dh|}{2h} \quad (10)$$

onde:

ErCd = Erro relativo do coeficiente de descarga;

ErQ = Erro relativo da vazão;

dD = Erro absoluto do diâmetro, em m;

dh = Erro absoluto da carga hidráulica, em m.

Por sua vez, o erro relativo da vazão é dado pela equação:

$$\text{ErQ} = \frac{|d_{\text{rec}}| + n |d_{\text{prov}}|}{\text{vol}} + \frac{|dt|}{t} \quad (11)$$

onde:

drec = Erro absoluto do recipiente volumétrico, em l;

dprov = Erro absoluto da proveta, em l;

n = Número de vezes em que a proveta foi utilizada;

dt = Erro absoluto do tempo, em s.

Para os termos “drec”, “dprov”, “dt”, “dD” e “dh”, foram adotados os seguintes valores, respectivamente: $\pm 0,02$ l, $\pm 0,01$ l, $\pm 0,01$ s, $\pm 0,00005$ m e $\pm 0,002$ m, os quais permitiram determinar o erro máximo de cada medição.

Para cada carga hidráulica, determinou-se o erro relativo médio do respectivo coeficiente de descarga.

3.6. Análise Estatística

Conforme BANZATTO & KRONKA (1989) e GOMES (1990), utilizou-se um experimento fatorial 3×10 , cuja análise de variância assumiu o delineamento inteiramente casualizado, onde o fator diâmetro (D) e o fator carga hidráulica (h), e suas interações (Dxh), foram tomados como sendo os tratamentos. Empregou-se o teste de Tukey ao nível de 1% de significância.

Para cada diâmetro, efetuou-se a análise de regressão polinomial até o 3º grau, de acordo com BANZATTO & KRONKA (1989) e GOMES (1990), sendo determinadas três equações do coeficiente de descarga em função da carga hidráulica, e os seus respectivos coeficientes de determinação (R^2), escolhendo-se uma delas para representar a curva do respectivo diâmetro.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Coeficientes de Descarga Médios e Seus Erros Relativos

A Tabela 01 apresenta os coeficientes de descarga médios e seus erros relativos, para as cargas hidráulicas de 0,05 m a 0,50 m e os sifões de 1 pol., 1 ½ pol. e 2 pol. de diâmetro. Observa-se que, para o sifão de 1 pol., os coeficientes de descarga variaram de 0,504 a 0,542, sendo a média de 0,526. Para o sifão de 1 ½ pol., os coeficientes de descarga variaram de 0,585 a 0,620, tendo como média 0,606. Já o sifão de 2 pol. apresentou coeficientes de descarga variando de 0,603 a 0,645, sendo sua média igual a 0,632.

Todos os valores dos coeficientes de descarga obtidos nos ensaios estão incluídos na faixa de variação citada por SILVESTRE (1979) e CASTRO (1985) que é de 0,5 a 0,8.

Analisando ainda a Tabela 01, verifica-se que, para o sifão de 1 pol., os erros relativos dos coeficientes de descarga variaram de 2,50% a 0,79%, com média de 1,13%. Para o sifão de 1 ½ pol., os erros relativos dos coeficientes de descarga variaram de 2,32% a 0,66%, com média de 1,01%. Por sua vez, o sifão de 2 pol. apresentou os erros relativos dos coeficientes de descarga variando entre 2,38% e 0,64%, com média de 1,00%. Observa-se que à medida que a carga hidráulica ou o diâmetro aumentam, os erros relativos dos coeficientes de descarga diminuem, o que pode ser explicado devido à localização dos termos “D” e “h” nos denominadores da equação (10).

Verifica-se também na Tabela 01 que o erro relativo médio máximo dos coeficientes de descarga foi de 1,13 %, e sabendo-se que este erro é um dos componentes da equação do erro da vazão real, e que erros de até $\pm 5\%$ são aceitáveis para vazões medidas em campo, segundo KRAATZ & MAHAJAN (1976), pode-se assegurar que os valores dos coeficientes de descarga obtidos nos ensaios podem ser considerados bem precisos.

TABELA 01 - Coeficientes de Descarga Médios e Seus Erros Relativos, para as Cargas Hidráulicas e os Diâmetros Ensaçados.

CARGA HIDRÁULICA (m)	DIÂMETRO (pol.)					
	1		1 1/2		2	
	Cd	ErCd (%)	Cd	ErCd (%)	Cd	ErCd (%)
0,05	0,504	2,50	0,585	2,32	0,603	2,38
0,10	0,516	1,52	0,596	1,41	0,624	1,39
0,15	0,519	1,19	0,598	1,11	0,629	1,06
0,20	0,521	1,02	0,602	0,93	0,629	0,99
0,25	0,522	0,94	0,606	0,81	0,634	0,79
0,30	0,529	0,89	0,608	0,75	0,634	0,71
0,35	0,529	0,87	0,612	0,74	0,639	0,68
0,40	0,535	0,83	0,616	0,70	0,641	0,67
0,45	0,539	0,76	0,619	0,68	0,643	0,64
0,50	0,542	0,79	0,620	0,66	0,645	0,64
MÉDIA GERAL	0,526	1,13	0,606	1,01	0,632	1,00

4.2. Efeito dos Parâmetros Ensaçados

A Tabela 02 mostra a análise de variância do experimento fatorial 3×10 , utilizado no estudo dos resultados dos ensaios. Com o teste F ao nível de 1% de significância, observa-se que o diâmetro, a carga hidráulica e a interação desses

dois parâmetros apresentaram efeitos significativos nos coeficientes de descarga dos sifões.

TABELA 02 - Análise de Variância do Experimento Fatorial 3x10.

CAUSAS DA VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
FATOR D	2	0,1851	0,0926	22763,8607 **
FATOR h	9	0,0107	0,0012	291,8579 **
FATOR D x h	18	0,0003	0,0000	3,9335 **
(TRATAMENTOS)	29	0,1961	0,0068	
RESÍDUO	60	0,0002	0,0000	

4.2.1. Efeito do diâmetro

Conforme a Tabela 01, verifica-se que quanto maior o diâmetro, maior o coeficiente de descarga do sifão, o que é explicado pela equação (3), onde o termo “Cc” é igual a um (NEVES, 1979 e BASTOS, 1983) e o termo “Cv” aumenta com o aumento do diâmetro (BASTOS, 1983). Observa-se, ainda, que foi confirmada a conclusão relativa às equações (4), (5), e (6), exposta em 2.4.1. .

O teste de Tukey ao nível de 1% de significância foi aplicado para se evidenciar o efeito do diâmetro no coeficiente de descarga do sifão, sendo obtida a Tabela 03. Verifica-se que, para os diâmetros ensaiados, as médias dos coeficientes de descarga diferiram significativamente entre si.

TABELA 03 - Médias dos Coeficientes de Descarga, para os Diâmetros Ensaçados.

TRATAMENTOS	MÉDIA ¹
2 pol.	0,632 A
1 ½ pol.	0,606 B
1 pol.	0,526 C

DMS = 0,0013

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

Evidenciou-se, então, que ao aumentar-se o diâmetro, ocorreu um aumento significativo no coeficiente de descarga do sifão.

4.2.2. Efeito da Carga Hidráulica

De acordo com a Tabela 01, observa-se que ao aumentar-se a carga hidráulica do sifão, seu coeficiente de descarga também aumenta. Esse fato é explicado também pela equação (3), pois o coeficiente de contração é igual a um, segundo NEVES (1979) e BASTOS (1983), e o coeficiente de velocidade aumenta com o aumento da carga hidráulica, conforme BASTOS (1983).

O teste de Tukey ao nível de 1% de significância foi aplicado para se comprovar o efeito da carga hidráulica do sifão no seu coeficiente de descarga, sendo obtida a Tabela 04. Verifica-se que, para as cargas hidráulicas ensaiadas, as médias dos coeficientes de descarga, no geral, diferiram significativamente entre si. Por outro lado, em alguns casos de cargas vizinhas, não ocorreram diferenças significativas entre as mesmas, podendo isso ser explicado pelo pequeno incremento entre as cargas e pelo nível de significância empregado na comparação das médias.

TABELA 04 - Médias dos Coeficientes de Descarga, para as Cargas Hidráulicas Ensaaiadas.

TRATAMENTOS	MÉDIA ¹
0,50 m	0,602 A
0,45 m	0,600 AB
0,40 m	0,597 B
0,35 m	0,593 C
0,30 m	0,590 CD
0,25 m	0,587 D
0,20 m	0,584 E
0,15 m	0,582 E
0,10 m	0,579 F
0,05 m	0,564 G

DMS = 0,0013

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

Apesar disso, comprovou-se que ao aumentar-se a carga hidráulica do sifão, ocorreu um aumento significativo no seu coeficiente de descarga.

4.2.3. Efeito da interação diâmetro versus carga hidráulica

Os parâmetros diâmetro e carga hidráulica são interdependentes, pois a interação dos mesmos apresentou efeito significativo no coeficiente de descarga do sifão (Tabela 02). Dessa forma, houve necessidade do desdobramento dos diâmetros dentro das cargas hidráulicas e das cargas hidráulicas dentro dos diâmetros.

A Tabela 05 mostra a análise de variância do desdobramento dos diâmetros dentro das cargas hidráulicas. Observa-se que os diâmetros ensaiados, dentro de cada carga hidráulica ensaiada, apresentaram efeitos significativos no coeficiente de descarga do sifão, ao nível de 1% de significância.

TABELA 05 - Análise de Variância do Desdobramento dos Diâmetros Dentro das Cargas Hidráulicas.

CAUSAS DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
D d.h = 0,05 m	2	0,0167	0,0083	2051,5574 **
D d.h = 0,10 m	2	0,0191	0,0095	2344,0164 **
D d.h = 0,15 m	2	0,0192	0,0096	2361,6667 **
D d.h = 0,20 m	2	0,0188	0,0094	2314,9454 **
D d.h = 0,25 m	2	0,0205	0,0102	2517,7322 **
D d.h = 0,30 m	2	0,0180	0,0090	2212,4590 **
D d.h = 0,35 m	2	0,0198	0,0099	2435,6011 **
D d.h = 0,40 m	2	0,0183	0,0092	2254,2896 **
D d.h = 0,45 m	2	0,0179	0,0089	2196,8306 **
D d.h = 0,50 m	2	0,0172	0,0086	2110,1639 **
(D d.h)	(20)	(0,1854)		

D d.h = Diâmetro dentro da carga hidráulica.

O teste de Tukey ao nível de 1% de significância foi aplicado para se evidenciar o efeito do diâmetro no coeficiente de descarga do sifão, dentro de cada carga hidráulica ensaiada, sendo obtida a Tabela 06. Verifica-se que, para os diâmetros ensaiados, dentro de cada carga hidráulica ensaiada, as médias dos coeficientes de descarga diferiram significativamente entre si.

TABELA 06 - Médias¹ dos coeficientes de descarga de cada diâmetro ensaiado dentro de cada carga hidráulica ensaiada.

TRATAMENTO	CARGA HIDRÁULICA (m)									
	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50
2 pol.	0,6030 A	0,6243 A	0,6290 A	0,6290 A	0,6343 A	0,6343 A	0,6393 A	0,6907 A	0,6427 A	0,6450 A
1 ½ pol.	0,5850 B	0,5960 B	0,5983 B	0,6020 B	0,6060 B	0,6077 B	0,6120 B	0,6160 B	0,6193 B	0,6197 B
1 pol.	0,5050 C	0,5157 C	0,5993 C	0,5213 C	0,5220 C	0,5290 C	0,5290 C	0,5350 C	0,5387 C	0,5423 C
DMS = 0,0040										

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

A Tabela 07 apresenta a análise de variância do desdobramento das cargas hidráulicas dentro dos diâmetros. Observa-se que as cargas hidráulicas ensaiadas, dentro de cada diâmetro ensaiado, tiveram efeitos significativos no coeficiente de descarga do sifão, ao nível de 1% de significância.

TABELA 07 - Análise de Variância do Desdobramento das Cargas Hidráulicas Dentro dos Diâmetros.

CAUSAS DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
hd.D = 1 pol.	9	0,0036	0,0004	98,1867 **
hd.D = 1 ½ pol.	9	0,0034	0,004	91,6976 **
hd.D = 2 pol.	9	0,0040	0,004	109,8406 **
(hd.D)	(27)	(0,0110)		

hd.D = carga hidráulica dentro do diâmetro.

O teste de Tukey ao nível de 1% de significância foi aplicado para se comprovar o efeito da carga hidráulica do sifão no seu coeficiente de descarga, dentro de cada diâmetro ensaiado, sendo obtida a Tabela 08. Verifica-se que, para as cargas hidráulicas ensaiadas, dentro de cada diâmetro ensaiado, as médias dos coeficientes de descarga, no geral, diferiram significativamente entre si. Os casos em que não ocorreram diferenças significativas entre as médias de cargas vizinhas podem ser atribuídos aos mesmos fatores citados na análise do efeito da carga hidráulica (ver 4.2.2).

Assim, evidenciou-se que o diâmetro e a carga hidráulica são parâmetros interdependentes. Isto significa que, na determinação do coeficiente de descarga do sifão, o diâmetro interfere no comportamento da carga hidráulica e vice-versa. Ficou comprovado, também, que os diâmetros ensaiados tiveram maiores efeitos no coeficientes de descarga do que as cargas hidráulicas ensaiadas.

TABELA 08 - Médias¹ dos Coeficientes de Descarga das Cargas Hidráulicas Ensaçadas, Dentro de Cada Diâmetro Ensaído.

TRATAMENTOS	DIÂMETRO(pol.)		
	1	1 ½	2
0,50 m	0,5423 A	0,6197 A	0,6450 A
0,45 m	0,5387 AB	0,6193 A	0,6427 AB
0,40 m	0,5350 B	0,6160 AB	0,6407 AB
0,35 m	0,5290 C	0,6120 BC	0,6393 BC
0,30 m	0,5290 C	0,6077 CD	0,6343 CD
0,25 m	0,5220 D	0,6060 DE	0,6343 CD
0,20 m	0,5213 D	0,6020 E F	0,5290 DE
0,15 m	0,5193 DE	0,5983 FG	0,6290 DE
0,10 m	0,5157 E	0,5960 G	0,6243 E
0,05 m	0,5040 F	0,5850 H	0,6030 F

DMS = 0,0054

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

4.3. Equações do Coeficiente de Descarga em Função da Carga Hidráulica

As Tabelas 09,10 e 11 apresentam as análises de variância das regressões polinomiais para os diâmetros de 1 pol., 1 ½ pol. e 2 pol., respectivamente. Observa-se que todas as regressões foram significativas ao nível de 1% de significância, excetuando-se a do 3º grau para o diâmetro de 1 ½ pol. (Tabela 10), que foi significativa ao nível de 5%. Das regressões efetuadas, verifica-se que as do 3º grau foram as que apresentaram os maiores coeficientes de determinação.

TABELA 09 - Análise de Variância da Regressão Polinomial, para o Diâmetro de 1 pol..

CAUSAS DA VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	R ²
REGRESSÃO GRAU 1	1	0,0034	0,0034	2940,8216 **	0,9547
REGRESSÃO GRAU 2	1	0,0000	0,0000	10,0087 **	0,9580
REGRESSÃO GRAU 3	1	0,0001	0,0001	52,3648 **	0,9750
DESV. REGRESSÃO	6	0,0001	0,0000	12,8437 **	
(TRATAMENTOS)	(9)	0,0036	0,0004		
RESÍDUO	(20)	0,0000	0,0000		

TABELA 10 - Análise de Variância da Regressão Polinomial, para o Diâmetro de 1 ½ pol..

CAUSAS DA VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	R ²
REGRESSÃO GRAU 1	1	0,0032	0,0032	1324,1162 **	0,9600
REGRESSÃO GRAU 2	1	0,0001	0,0001	25,5801 **	0,9786
REGRESSÃO GRAU 3	1	0,0000	0,0000	4,7075 *	0,9820
DESV. REGRESSÃO	6	0,0001	0,0000	4,1382 **	
(TRATAMENTOS)	(9)	0,0034	0,0004		
RESÍDUO	(20)	0,0000	0,0000		

TABELA 11 - Análise de Variância da Regressão Polinomial, para o Diâmetro de 2 pol..

CAUSAS DA VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	R ²
REGRESSÃO GRAU 1	1	0,0032	0,0032	375,0727 **	0,8024
REGRESSÃO GRAU 2	1	0,0001	0,0004	42,8472 **	0,8940
REGRESSÃO GRAU 3	1	0,0002	0,0002	24,6512 **	0,9468
DESV. REGRESSÃO	6	0,0002	0,0000	4,1482 **	
(TRATAMENTOS)	(9)	0,0040	0,0004		
RESÍDUO	(20)	0,0002	0,0000		

A Tabela 12 mostra as equações de regressão polinomial do coeficiente de descarga em função da carga hidráulica, para os diâmetros ensaiados, e suas somas dos valores absolutos dos desvios¹. Observa-se que as equações do 3º grau apresentaram as menores somas dos valores absolutos dos desvios, indicando que as referidas equações, em comparação com as do 1º ou 2º grau, proporcionam mais valores aproximados aos dos coeficientes de descarga obtidos nos ensaios.

TABELA 12 - Equações de Regressão Polinomial do Coeficiente de Descarga em Função da Carga Hidráulica, para os Diâmetros Ensaaiados, e Suas Somas dos Valores Absolutos dos Desvios.

DIÂMETRO (pol.)	EQUAÇÕES DE REGRESSÃO POLINOMIAL	SOMAS DOS VALORES ABSOLUTOS DOS DESVIOS
1	$C_d = 0,5052 + 0,0745h$	0,0180
	$C_d = 0,5033 + 0,0934 h - 0,0343 h^2$	0,0182
	$C_d = 0,4963 + 0,2169 h - 0,5702 h^2 + 0,6496 h^3$	0,0156
1 ½	$C_d = 0,5864 + 0,0722h$	0,0162
	$C_d = 0,5820 + 0,1158 h - 0,0793 h^2$	0,0114
	$C_d = 0,5790 + 0,1693 h - 0,3113 h^2 + 0,2813 h^3$	0,0112
2	$C_d = 0,6123 + 0,0722h$	0,0380
	$C_d = 0,6017 + 0,1783 h - 0,1929 h^2$	0,0281
	$C_d = 0,5887 + 0,4085 h - 1,1912 h^2 + 1,2100 h^3$	0,0233

Dentre as equações obtidas, as do 3º grau são as de mais alto grau, e como suas regressões foram significativas, devem ser as escolhidas, de acordo com BANZATTO & KRONKA (1989), para representar a função coeficiente de descarga versus carga hidráulica.

1. Desvio é a diferença entre o valor do coeficiente de descarga obtido experimentalmente e o valor obtido através da equação de regressão.

A Figura 4 apresenta a representação gráfica das equações escolhidas e os respectivos pontos obtidos nos ensaios. Pelos aspectos das curvas obtidas, verifica-se que as referidas equações representam adequadamente a função coeficiente de descarga versus carga hidráulica.

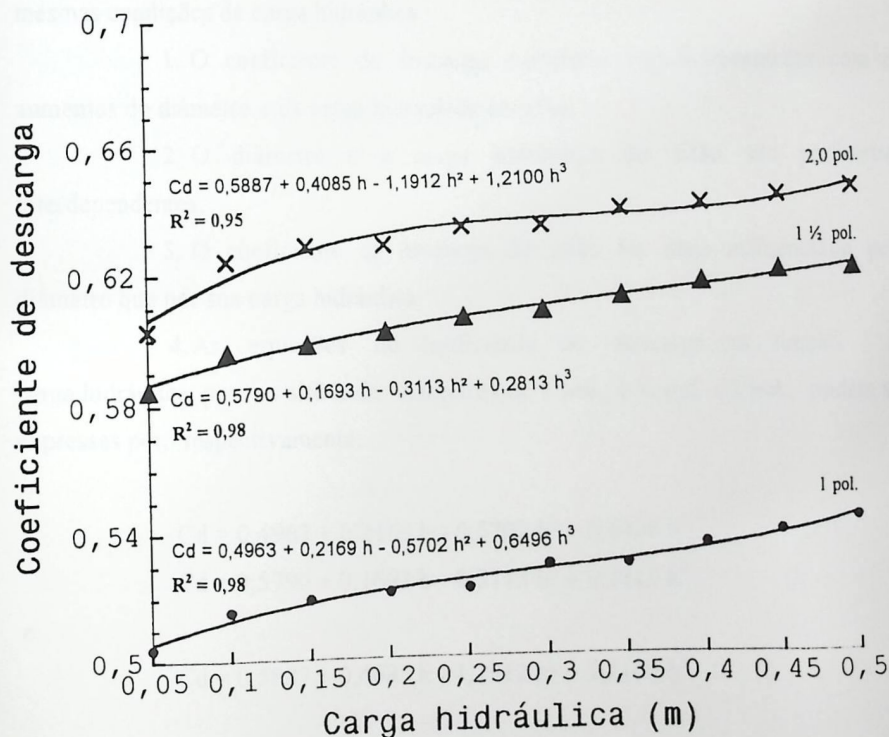


Figura 4 - Coeficiente de descarga em função da carga hidráulica, para os diâmetros ensaiados.

5. CONCLUSÕES

A análise dos resultados obtidos proporcionou as seguintes conclusões, para sifões do tipo e nos diâmetros utilizados nos ensaios, trabalhando sob as mesmas condições de carga hidráulica:

1. O coeficiente de descarga aumentou significativamente com os aumentos do diâmetro e da carga hidráulica do sifão;

2. O diâmetro e a carga hidráulica do sifão são parâmetros interdependentes;

3. O coeficiente de descarga do sifão foi mais influenciado pelo diâmetro que por sua carga hidráulica;

4. As equações do coeficiente de descarga em função da carga hidráulica, para os sifões de diâmetros de 1 pol., 1 ½ pol. e 2 pol., podem ser expressas por, respectivamente:

$$C_d = 0,4963 + 0,2169 h - 0,5702 h^2 + 0,6496 h^3;$$

$$C_d = 0,5790 + 0,1693 h - 0,3113 h^2 + 0,2813 h^3;$$

e

$$C_d = 0,5887 + 0,4085 h - 1,1912 h^2 + 1,2100 h^3.$$

6. RESUMO

Ensaaios foram realizados no Laboratório de Hidráulica da Escola Superior de Agricultura de Mossoró (ESAM), em Mossoró - RN, visando determinar o efeito do diâmetro no coeficiente de descarga de sifões, em diferentes condições de carga hidráulica. Foram utilizados sifões de PVC flexível (SPIRAFLEX), azul transparente, de 2 m de comprimento e diâmetros nominais de 1 pol., 1 ½ pol. e 2 pol., submetidos às cargas hidráulicas de 0,05 m, 0,10 m, 0,15 m, 0,20 m, 0,25 m, 0,30 m, 0,35 m, 0,40 m, 0,45 m e 0,50 m, as quais foram estabelecidas através de um nível de mangueira e de um piezômetro. Os coeficientes de descarga foram determinados pela relação entre as vazões real e teórica, sendo as vazões reais determinadas pelo método volumétrico direto e as vazões teóricas através do produto da área média da seção transversal do sifão pela velocidade teórica do escoamento. Os resultados mostraram que o coeficiente de descarga do sifão aumentou significativamente com os aumentos do diâmetro e da carga hidráulica e que esses dois parâmetros são interdependentes, constatando-se, também, que o coeficiente de descarga foi mais influenciado pelo diâmetro que pela carga hidráulica. Para representar a função coeficiente de descarga versus carga hidráulica, foram escolhidas as equações $C_d = 0,4963 + 0,2169 h - 0,5702 h^2 + 0,6496 h^3$, $C_d = 0,5790 + 0,1693 h - 0,3113 h^2 + 0,2813 h^3$ e $C_d = 0,5887 + 0,4085 h - 1,1912 h^2 + 1,2100 h^3$, para os diâmetros de 1 pol., e 1 ½ pol. e 2 pol., respectivamente.

7. BIBLIOGRAFIA CITADA

01. BAJPAI, A.C. *et al.* **Matemática para engenheiros**. São Paulo : Hemus, 1980.
v. 2, p.406-411.
02. BANZATTO, David Ariovaldo, KRONKA, Sérgio do Nascimento. **Experimentação agrícola**. Jaboticabal : FUNEP, 1989. p. 125-139, p. 201-211.
03. BASTOS, Francisco de Assis A. **Problemas de mecânica dos fluidos**. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1983. p. 395-399, p. 416-418.
04. BERNARDO, Salassier. **Manual de irrigação**. 5. ed. Viçosa, MG: UFV, 1989.
p. 129-131, p.320-322.
05. CASTRO, Paulo Teodoro de. **Elementos de hidrodinâmica: aplicações agrônômicas**. Fortaleza: CCA-UFC, 1985. p. 45-49.
06. CORONEL, Samuel Trueba. **Hidráulica**. 13. ed. México: Continental, 1975.
p.121-122.
07. DAKER, Alberto. **A água na agricultura: irrigação e drenagem**. 7. ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1988. v. 3, p. 257-258.

08. DELMÉE, Gerald J. **Manual de medição de vazão**. São Paulo: Edgard Blucher, 1982. p.139.
09. DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA DE LOS ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA. Servicio de Conservación de Suelos. **Medición del agua de riego**. México: Diana, 1973. p.26-29. (Colección Ingeniería de Suelos, 5).
10. GILES, Ranald V. **Mecânica dos fluidos e hidráulica**. São Paulo: McGraw Hill do Brasil, 1978. p. 200-202. (Coleção Sehaum).
11. GOMES, Frederico Pimentel. **Curso de estatística experimental**. 13. ed. São Paulo: Nobel, 1990. p. 29-32, p. 38-41, p. 131-150, p. 299-305.
12. GRANADOS, Antonio Hidalgo. **Métodos modernos de riego de superficie**. Madrid: Aguilar, 1971. p.101-110.
13. GUERRA, Paulo de Brito. **Irrigação em quatro doses**. Mossoró: Coleção Mossoroense, 1978. v. 97, p.54-55.
14. KRAATZ, D. B., MAHAJAN, I. K. **Pequeñas obras hidráulicas**. Roma: FAO, 1976. v. 2., p. 267 (Estudio sobre riego y avenamiento, 26).
15. NEVES, Eurico Trindade. **Curso de hidráulica**. 6. ed. Porto Alegre: Globo, 1979. p. 127-140, p. 261-264.
16. PIMENTA, Carlito Flávio. **Curso de hidráulica geral**. 3. ed. São Paulo: Centro Tecnológico de Hidráulica, 1977. v. 1, p.410-411.

17. REBOUR, H., DELOYE, M. **El riego**. 2. ed. Madrid: Mundiprensa, 1971. p.159-162.
18. SILVA, Aluizio Teixeira da, DUARTE, Evandro Ferraz. **Irrigação: fundamentos e métodos**. Itaguaí : UFRRJ, 1980. p.88-89, p. 104.
19. SILVESTRE, Paschoal. **Hidráulica geral**. Rio de Janeiro: Livros técnicos e científicos, 1979. p. 84-89.
20. UNITED STATES DEPARTAMENT OF THE INTERIOR. Bureau of Reclamation. **Water measurement manual**. 2. ed. rev. rep. Denver : USDI, 1984. p.204-205.
21. WITHERS, Bruce, VIPOND, Stanley. **Irrigação: projeto e prática**. São Paulo: E.P.U./EDUSP, 1977. p.271-272.

8. APÊNDICE

8.1. APÊNDICE A

Características dos Sifões Ensaiaados

Tabela 1A - Especificações Técnicas das Mangueiras Utilizadas.

Diâmetro Nominal (pol.)	Diâmetro Interno (mm)	Diâmetro Externo (mm)	Pressão de Trabalho		Pressão Ruptura		Vácuo (pol. de Hg)	Raio de Curvatura a 25°(mm)	Comprimento Padrão (m)
			(lb/pol. ²)	(kgf/cm ²)	(lb/pol. ²)	(kgf/cm ²)			
1	25,4±1,0	32,6±1,0	130	9,14	390	27,42	29	120	50/100
1 ½	38,1±1,0	46,7±1,0	110	7,73	330	23,20	29	160	25/50
2	50,8±1,5	60,2±1,5	90	6,33	270	18,98	29	220	25/50

Fonte: Catálogo de tubos plásticos da SPIRAFLEX LTDA.

TABELA 2A - Diâmetros Internos das Bocas de Entrada e de Saída dos Sifões Ensaçados, em cm.

ÂNGULOS DAS LEITURAS (graus)	DIÂMETROS (pol.)					
	1		1 ½		2	
	BOCA DE ENTRADA	BOCA DE SAÍDA	BOCA DE ENTRADA	BOCA DE SAÍDA	BOCA DE ENTRADA	BOCA DE SAÍDA
0° - 180°	2,550	2,550	3,750	3,750	5,230	5,100
45° - 225°	2,550	2,550	3,750	3,750	5,170	5,100
90° - 270°	2,550	2,550	3,750	3,750	4,930	5,090
135° - 315°	2,550	2,550	3,750	3,750	5,020	5,090
DIÂMETRO MÉDIO DE CADA BOCA	2,550	2,550	3,750	3,750	5,085	5,095

8.2. APÊNDICE B

Coeficientes de Descarga Obtidos em Todos os Ensaios

TABELA 1B.- Coeficientes de Descarga do Sifão para as Cargas Hidráulicas e os Diâmetros Ensaaiados.

CARGA HIDRÁULICA (m)	DIÂMETRO (pol.)								
	1			1 ½			2		
	1º REPETIÇÃO	2º REPETIÇÃO	3º REPETIÇÃO	1º REPETIÇÃO	2º REPETIÇÃO	3º REPETIÇÃO	1º REPETIÇÃO	2º REPETIÇÃO	3º REPETIÇÃO
0,05	0,504	0,504	0,504	0,584	0,585	0,586	0,602	0,602	0,605
0,10	0,515	0,517	0,515	0,596	0,596	0,596	0,622	0,622	0,629
0,15	0,518	0,520	0,520	0,598	0,600	0,597	0,626	0,632	0,629
0,20	0,521	0,522	0,521	0,603	0,601	0,602	0,628	0,628	0,631
0,25	0,523	0,521	0,522	0,607	0,607	0,604	0,637	0,634	0,632
0,30	0,527	0,530	0,530	0,608	0,606	0,609	0,633	0,634	0,636
0,35	0,529	0,529	0,529	0,612	0,611	0,613	0,637	0,643	0,638
0,40	0,536	0,533	0,536	0,617	0,617	0,614	0,639	0,641	0,642
0,45	0,539	0,539	0,538	0,619	0,620	0,619	0,641	0,647	0,640
0,50	0,543	0,541	0,543	0,622	0,616	0,621	0,643	0,650	0,642

UFERSA SIGAA - BIBLIOTECAS



SIGAA

2010076201