



PROGRAMA
DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O
DESENVOLVIMENTO
- U N D P -



UNIVERSIDADE FEDERAL
DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE PESQUISAS
HIDRÁULICAS



ORGANIZAÇÃO DAS
NAÇÕES UNIDAS PARA
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA
E CULTURA
- UNESCO -

CENTRO DE HIDROLOGIA APLICADA

TELEG. "HIDROCENTRO"
TELEFONE 23-33-94

SUA REF.:
NOSSA REF.:

Aprovada em 9.7.70

CAIXA POSTAL 530
PÓRTO ALEGRE - BRASIL

ESTUDO DE PEQUENOS SIFÕES PARA IRRIGAÇÃO

TRABALHO APRESENTADO COMO PARTE DOS REQUISITOS
PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE

M E S T R E E M C I Ê N C I A S E M

H I D R O L O G I A A P L I C A D A

OPÇÃO : IRRIGAÇÃO E DRENAGEM

AUTOR : Dario Roger Perli

ORIENTADOR : Prof. Gert Kallwass
Professor de Estruturas e Máquinas Hidráulicas
no Centro de Hidrologia Aplicada

EXAMINADORES: ..

Prof. Eurico Trindade de Andrade Neves
Professor de Hidromecânica do Centro de Hidrologia Aplicada

Prof. Gert Kallwass
Professor de Estruturas e Máquinas Hidráulicas no C.H.A.

Prof. Cícero Menezes de Moraes
Professor de Engenharia Rural na Faculdade de Agronomia da UFRGS

Data do exame : 18/12/70

Aprovação :

MAGNA LAUDE

Presidente da Banca

PREFÁCIO

O presente trabalho teve sua origem visando evitar perdas por excesso na distribuição d'água às plantas, procurando contribuir com uma pequena parcela para a racionalização de nossa agricultura.

O seu desenvolvimento foi possível graças ao estímulo de nosso orientador Prof. Gert Kallwass, à assistência e meios proporcionados pela UNESCO, sendo o Diretor do Projeto Bra-27, o Prof. Roger Berthelot, e sôbre tudo na pessoa do Ilustríssimo Diretor Geral do Centro de Hidrologia Aplicada do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Prof. José Leite de Souza, e ainda a necessária colaboração direta ou indireta dos demais professores e funcionários dêste Instituto, bem como a especial atenção da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul.

À todos nossa gratidão.

SUMÁRIO

Prefácio

Símbolos mais usados

Resumo

Intrrodução	pag.	1
1. Instalação do Modelo	pag.	3
2. Teoria	"	13
2.1 - Conceito de rendimento	"	13
2.2 - Discriminação das perdas de energia	"	18
2.2.1 - Perdas de rugosidade	"	19
2.2.2 - Perdas localizadas	"	19
2.2.2.1 - Perda na entrada	"	19
2.2.2.2 - Perda na curva	"	33
3. Resultado das Pesquisas	"	42
3.1 - Cálculo do rendimento em função do n ^o de Reynolds	"	42
3.1.1 - Rendimento em sifões	"	42
3.1.2 - Rendimento em condutos curtos retifica- dos	"	42
3.2 - Influência da distância (y) da entrada à superfície da água e do ângulo de declivi- dade da entrada (θ), no sentido transver- sal do canal	"	45
3.3 - Influência da proximidade da entrada do sifão à parede lateral do canal (α)	"	45
3.4 - Influência da espessura (e) na entrada do sifão	"	45

3.5 - Influência do raio de curvatura do sifão	pag.	49
3.6 - Determinação de vazão Q em função de H , d e $\frac{L}{d}$	"	49
3.6.1 - Método prático	"	49
3.6.2 - Método teórico	"	54
3.7 - Uso das tabelas	"	55
Bibliografia	"	67

SÍMBOLOS MAIS USADOS

Q ...	[m ³ /s], [l/s]	Vazão no sifão
H ...	[m]	Carga sôbre o sifão
DN ...	[m], [mm]	Diâmetro nominal do sifão
dm ...	[m], [mm]	Diâmetro médio interno do sifão
d ...	[m], [mm]	Diâmetro real interno do sifão
L ...	[m]	Comprimento do sifão
e ...	[m]	Espessura média na entrada do conduto plástico
v ...	[m/s]	Velocidade média de escoamento
x ...	[m]	Distância da parede do canal à entrada do sifão
y ...	[m]	Carga da superfície d'água sôbre entrada do sifão
r ...	[m]	Raio de curvatura do sifão
c ...	[m]	Comprimento da parte em curva do sifão
b ...	[m]	Comprimento do braço descendente do sifão
a ...	[m]	Comprimento do braço ascendente do sifão
V ...	[m ³]	Volume interno do sifão
Re ...	(-)	nº de Reynolds
Fr ...	(-)	nº de Froude
α ...	(-)	Coefficiente de Coréolis
g ...	[m/s ²]	Aceleração da gravidade (g = 9,8 m/s)
η ...	(-)	Rendimento do sifão
β ...	(o)	Ângulo de curvatura do sifão
λ_e ...	(-)	Coefficiente de perda de carga na entrada
λ_c ...	(-)	Coefficiente de perda de carga na curva
λ_r ...	(-)	Coefficiente de perda de carga por rugosidade
ν ...	[m ² /s]	Viscosidade cinemática da água

RESUMO

O presente trabalho apresenta um estudo sôbre pequenos sifões de plástico, com diâmetros normais 25, 40 e 50 [mm], visando sua utilização em irrigação, podendo no entanto, ser utilizado para outras finalidades como laboratórios e indústrias.

Apresenta o estudo, através de medidas tomadas em laboratório, o relacionamento entre o rendimento (η) dos sifões e o número de Reynolds. Faz um estudo pormenorizado das perdas de energia no funcionamento do sifão; na entrada e curvatura, bem como da influência da geometria: proximidade da parede lateral, da altura d'água sôbre a entrada do sifão e da espessura do conduto. Por fim apresenta para uma temperatura constante de 20° C o relacionamento entre a carga (H) sôbre a qual trabalha o sifão, o seu diâmetro (d), a vazão (Q) correspondente, e o seu comprimento (L), facilitando o dimensionamento dos sifões para emprego em irrigação em função de quantidade d'água necessária para determinada cultura, por ha.

INTRODUÇÃO

O grande aumento da densidade populacional exige uma técnica cada vez mais apurada em todos os setores de atividades humanas e principalmente no setor agrícola, onde a produtividade deve aumentar de pelo menos do mesmo índice.

A arte de irrigar está unida ao desenvolvimento das mais antigas civilizações e tem contribuído de uma forma proeminente no aumento de produção de alimentos.

No Brasil, embora a maioria das regiões apresentem uma precipitação anual suficiente para alimentar as culturas, a má distribuição das chuvas acarretam períodos de seca, sendo necessário suprir esta deficiência através de uma distribuição planejada e econômica d'água.

Os diversos sistemas de irrigação vem sendo melhorados através dos tempos, visando uma melhor racionalização do trabalho e economia. Dêsse modo é que surgiu a utilização de sifões de material plástico para alimentar os sulcos dos cultivos em linha, (fig. 1), grandemente utilizados nos Estados Unidos, México, diversos países da África, bem como no Nordeste brasileiro.

As vantagens do emprego de sifão plástico na irrigação, vem de encontro as necessidades dos agricultores, justamente por seu caráter prático, baixo custo, rapidez em sua utilização. Um único homem pode atender cerca de 150 sifões pequenos [1], e ainda de deixar intacta as paredes do canal, evitando-se dessa maneira perdas.

Para o escoamento do sifão, basta introduzi-lo dentro da água enquanto que com uma mão se tampa o extremo não submergido. Alguns movimentos bruscos no sentido do eixo longitudinal do sifão fazem que penetre água no interior do tubo, que seguidamente se põe em posição de funcionamento. Ao se soltar a mão, a água sai.

Outra maneira, é introduzir todo sifão na água, tampar uma das pontas e retirá-la colocando-o em posição de funcionamento.

É nosso desejo que êste trabalho possa contribuir para a racionalização e aumento da produção agrícola através do fornecimento adequado d'água as plantas.

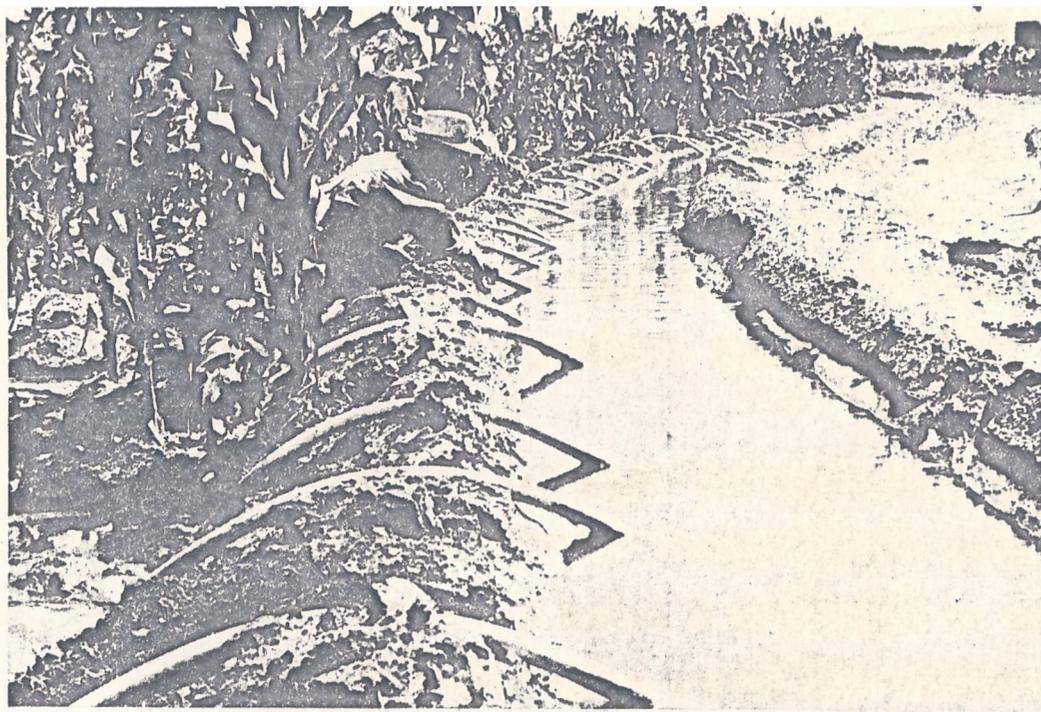


Fig. 1 - Irrigação por meio de sifões.

1 - INSTALAÇÃO DO MODELO

Para realização deste trabalho, utilizou-se as instalações do laboratório de Ensino do Instituto de Pesquisas Hidráulicas, da UFRGS.

O modelo empregado, (fig. 2), contém os seguintes elementos:

1.1 - Canal

Apresentando as seguintes dimensões:

largura 0,60 [m]

profundidade 0,80 [m]

comprimento 23 [m]

e com os componentes:

- 1.1.1 - Alimentador controlado por um aparelho de Venturi, apresentando na extremidade um difusor para diminuir a turbulência da entrada d'água no canal.
 - 1.1.2 - Tranquilizadores
 - 1.1.3 - Piezômetros, em número de 2, onde entre suas tomadas trabalha o sifão (fig. 3).
 - 1.1.4 - Vertedor retangular e respectiva ponta linimétrica
 - 1.1.5 - Comporta de janela para controlar o nível d'água sobre o sifão.
- 1.2 - Vertedor triangular de 60 graus, (fig. 4) com os componentes:

Fig. 2

PLANTA DO MODÉLO
(Sem Escala)

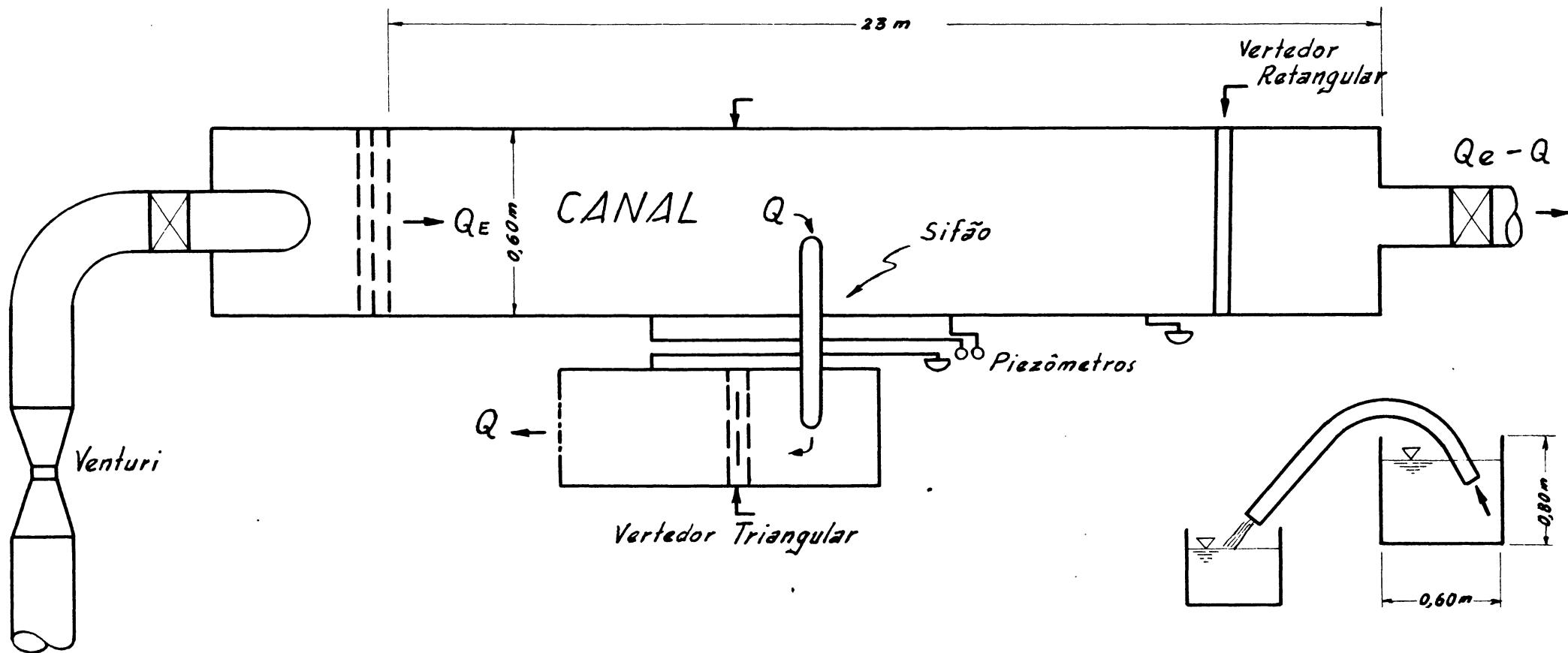


Fig. 3 - Piezômetros utilizados para medida da carga (H), vendo-se ao fundo, um conduto curto.

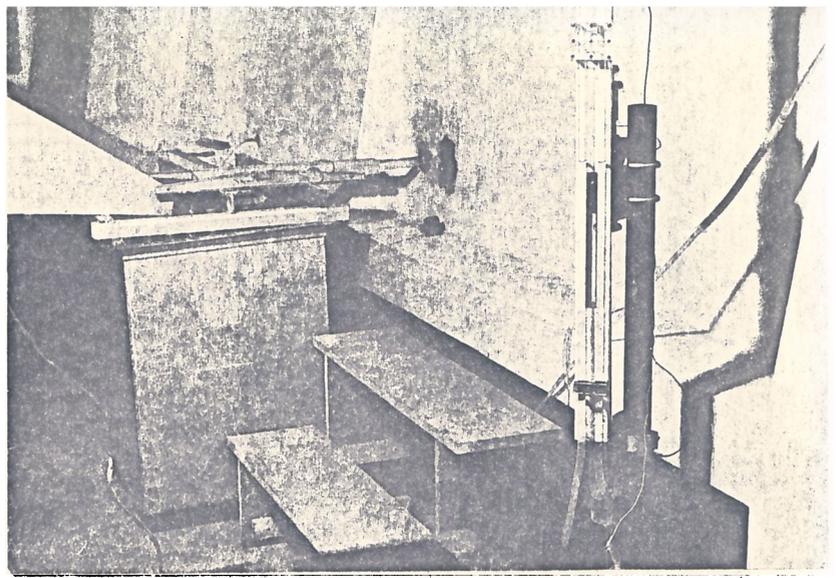


Fig. 4 - Vertedor triangular apresentando a base de referência, tranquilizadores e ao fundo a ponta linimétrica.

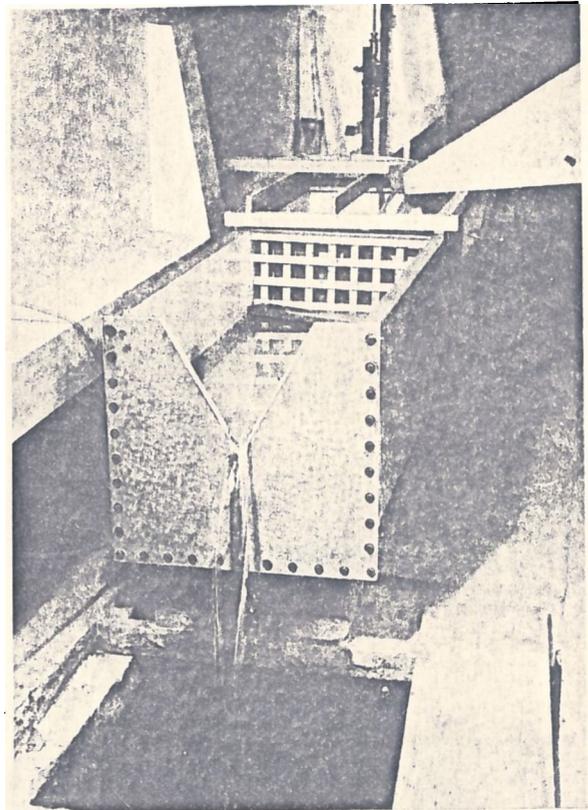
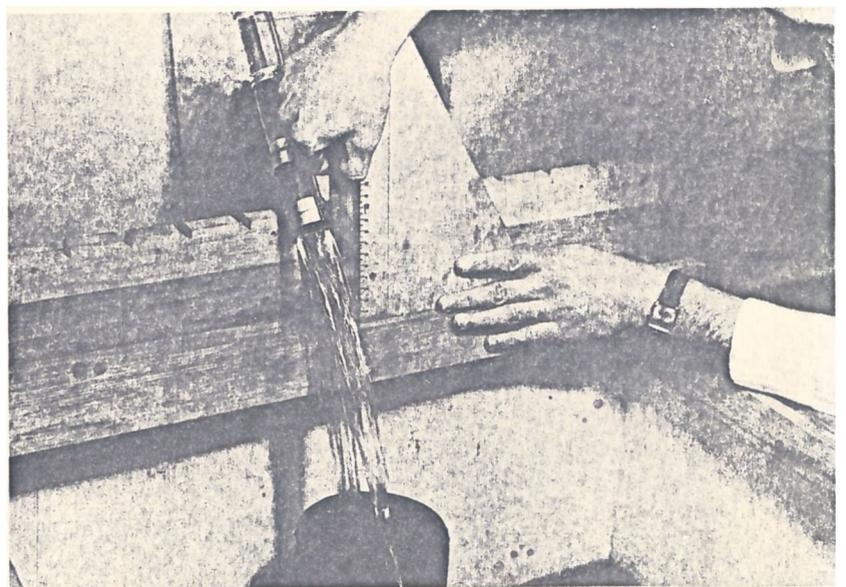


Fig. 6 - Detalhe da medida de "S" utilizado para obtenção do valor da carga (H).



1.2.1 - Tranquilizadores

1.2.2 - Ponta linimétrica aferida por meio de aparelho aferidor próprio.

1.2.3 - Base de referência devidamente nivelada (por meio de nível de luneta).

1.3 - SIFÕES

Os sifões no experimento são de plástico transparente e flexível. As experiências foram realizadas com sifões de 3 diâmetros nominais:

$$DN = 25 \text{ [mm]} \quad DN_{25} / DN_{25} = 1$$

$$DN = 40 \text{ [mm]} \quad DN_{40} / DN_{25} = 1,6$$

$$DN = 50 \text{ [mm]} \quad DN_{50} / DN_{25} = 2$$

Devido os sifões serem de plástico flexível foi necessário, para manter-lhes uma forma constante durante o tempo das experiências, estendê-los longitudinalmente em uma haste de ferro com aproximadamente 1 [cm] de diâmetro, presa ao sifão por meio de abraçadeiras de alumínio, com espessura de 2 [mm] e 20 [mm] de largura, conforme apresenta esquematicamente a figura 5.

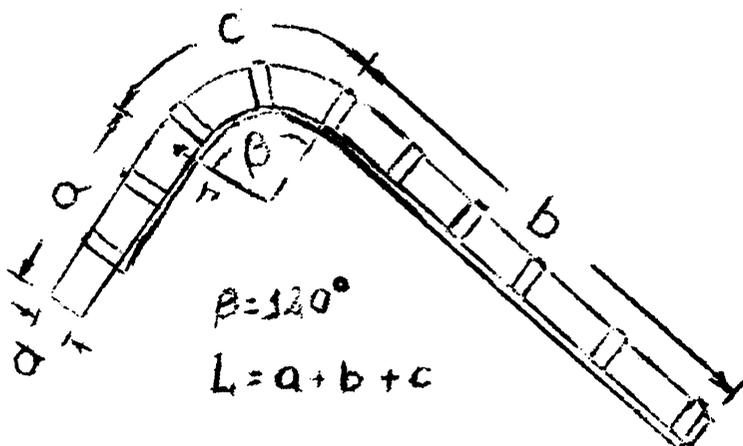


Fig. 5 - Modelo esquemático dos sifões utilizados.

1.3.1 - FORMA

Os sifões foram preparados de modo que as diversas dimensões fôsssem função do diâmetro, conforme mostra a tabela (1).

	[m]	[m]	[m]	(-)
DN	0,025	0,040	0,050	
L	1,250	2,000	2,500	L/DN = 50
r	0,200	0,320	0,400	r/DN = 8
a	0,200	0,320	0,400	a/DN = 8
b	0,420	0,670	0,840	b/DN = 25
c	0,630	1,010	1,260	c/DN = 17

Tabela 1 - Dimensões dos sifões apresentados em função do diâmetro.

1.3.2 - Determinação do diâmetro médio (dm).

1º - Enchem-se os sifões com água determinando-se o volume (v) nêles contido.

2º - Conhecendo-se o comprimento L, tirou-se o valor de (dm) pela fórmula que nos dá o volume do cilindro:

$$v = \frac{\pi \cdot dm^2 \cdot L}{4} \quad \therefore \quad dm = 2 \sqrt{\frac{v}{\pi \cdot L}}$$

Os resultados observados encontram-se na tabela 2.

1.3.3 - Espessura da entrada

Com o objetivo de observar a influência da espessura do conduto (e) na entrada do sifão, efetuou-se o contrôlle dêsse valor por meio de um paquímetro de precisão, conforme mostra a tabela 2.

	TIPO	DN	dm	de	e/de
		mm	mm	mm	-
1	sifão	25	24,8	24,98	0,116
2	conduto curto (1)	25	25,2	25,32	0,110
3	sifão	40	37,6	36,79	0,0868
4	conduto curto	40	37,4	38,16	0,0868
5	sifão	50	50,5	50,62	0,0788
6	sifão e luva (2)	50	50,5	50,62	0,119
7	conduto curto	50	50,5	50,62	0,0788

Tabela 2: Tipos de sifões utilizados. Valores dos respectivos diâmetros e espessuras de entrada do sifão (1) r=00 (2) ítem 3.4.

1.4 - Tomada das Medidas

1.4.1 - Carga (H) - Para se obter a carga (H) sobre o sifão, utilizou-se uma régua milimetrada, medindo-se a distância (s) entre a base de referência e a saída (fig. 6), onde se marcou exatamente a metade com uma pequena caneta, para se obter uma medida mais correta, (fig. 7).

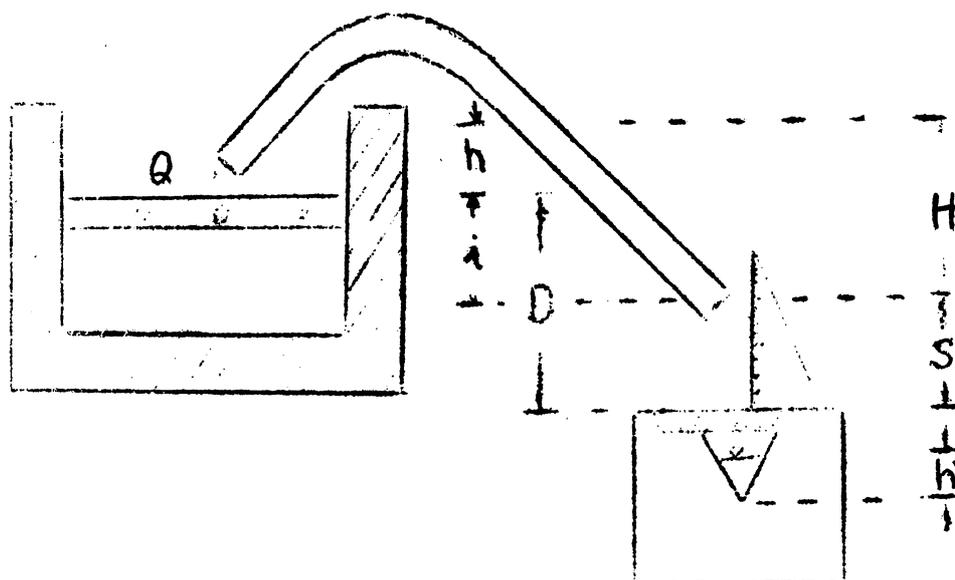


Fig. 7 - Esquema para medida da carga (H).

Na figura 7, D é a distância entre a base de referência do vertedor triangular e a soleira do vertedor retangular, h a altura d'água sôbre a soleira do vertedor retangular, medida por uma ponta linimétrica e dois picômetros.

Na possibilidade de um êrro da ordem de um milimetro, na medida da carga (H), temos para um caso de grande influência ou seja, menor diâmetro, (DN = 25 mm), e pequena carga (H=12,9 cm) um êrro inferior a 0,5% no valor do rendimento (η), e em consequência um êrro inferior a 1% no cálculo da vazão (Q).

1.4.2 - VAZÃO (Q)

Para determinação da vazão (Q) que passa pelo sifão, foi utilizado um vertedor de medida triangular de 60° de abertura, obteve-se $Q = f(h')$ através da fórmula geral:

$$Q = \frac{8}{15} \kappa \cdot \operatorname{tg} \frac{\theta}{2} \cdot \sqrt{2g} \cdot h'^{5/2}$$

onde

Q ... [m³/s], vazão

θ ... [o] ângulo de abertura, $\theta = 60^\circ$

g ... [m/s²] aceleração da gravidade

κ ... [-] coeficiente de descarga,

$$\kappa = 0,565 + 0,0087 h'^{1/2}$$

h' ... [m] altura sôbre a soleira

Para maior rapidez nas operações utilizou-se uma tabela construída com a fórmula acima apresentada, calculada por computador, fazendo-se o valor de h' variar de décimo em décimo de milímetros. No entanto, sendo a soleira do vertedor de alumínio, verificou-se que estava um pou

co gasta em suas bordas. Dessa forma procedeu-se o controle da fórmula através de uma aferição volumétrica deste vertedor triangular. O erro nessa aferição é da ordem de 2% para pequenas vazões, diminuindo com o aumento da mesma. Dêsse modo se construiu a curva chave do vertedor cuja equação é a seguinte:

$$\log h' = 0,819 + 0,418 \log Q$$

Verificou-se através da curva chave, que se fazia necessária uma correção nos valores da tabela obtida por meio da fórmula geral.

A correção adotada foi a seguinte:

$h' \geq 5,5$	cm	$\Delta h = 0,17$	mm
$5,5 > h' \geq 5,0$	cm	$\Delta h = 0,18$	mm
$5,0 > h' \geq 4,5$	cm	$\Delta h = 0,19$	mm
$4,5 > h' \geq 4,0$	cm	$\Delta h = 0,20$	mm
$4,0 > h' \geq 3,5$	cm	$\Delta h = 0,21$	mm
$h' \leq 3,5$	cm	$\Delta h = 0,22$	mm

Onde Δh é o valor que foi acrescentado ao valor de h' para se obter a vazão (Q), deste vertedor triangular, por meio da tabela construída com fórmula geral.

1.5 - TESTES PRELIMINARES

1.5.1 - Controle da deformação do sifão em função da carga (H).

Para se verificar a ocorrência deste fenômeno, determinou-se o diâmetro externo na parte média de um sifão ratificado ou seja um conduto curto, por meio de um paquímetro, efetuando-se 2 medidas: quando sem carga e portanto sem pressão e com uma carga (H), não se tendo verificado qualquer alteração.

1.5.2 - Verificação da influência das abraçadeiras de alumínio nas proximidades da entrada de um sifão retificado ou conduto curto.

A influência das abraçadeiras conforme se pode observar nas figuras (8) e (9) aumenta, conforme aumenta o nº de Reynolds, tendendo a se manter constante para $Re = 5.10^4$ e sendo uma variação pequena, para êsse intervalo da função, considerou-se como desprezível esta influência.

1.5.3 - Verificou-se que para sifões curtos, não há formação de bôlsas de ar na curvatura do sifão, pois a velocidade, mesmo para uma carga (H) pequena, é capaz de arrastar, possíveis formações.

Fig. 8 - Influência das abraçadeiras nas proximidades da entrada.

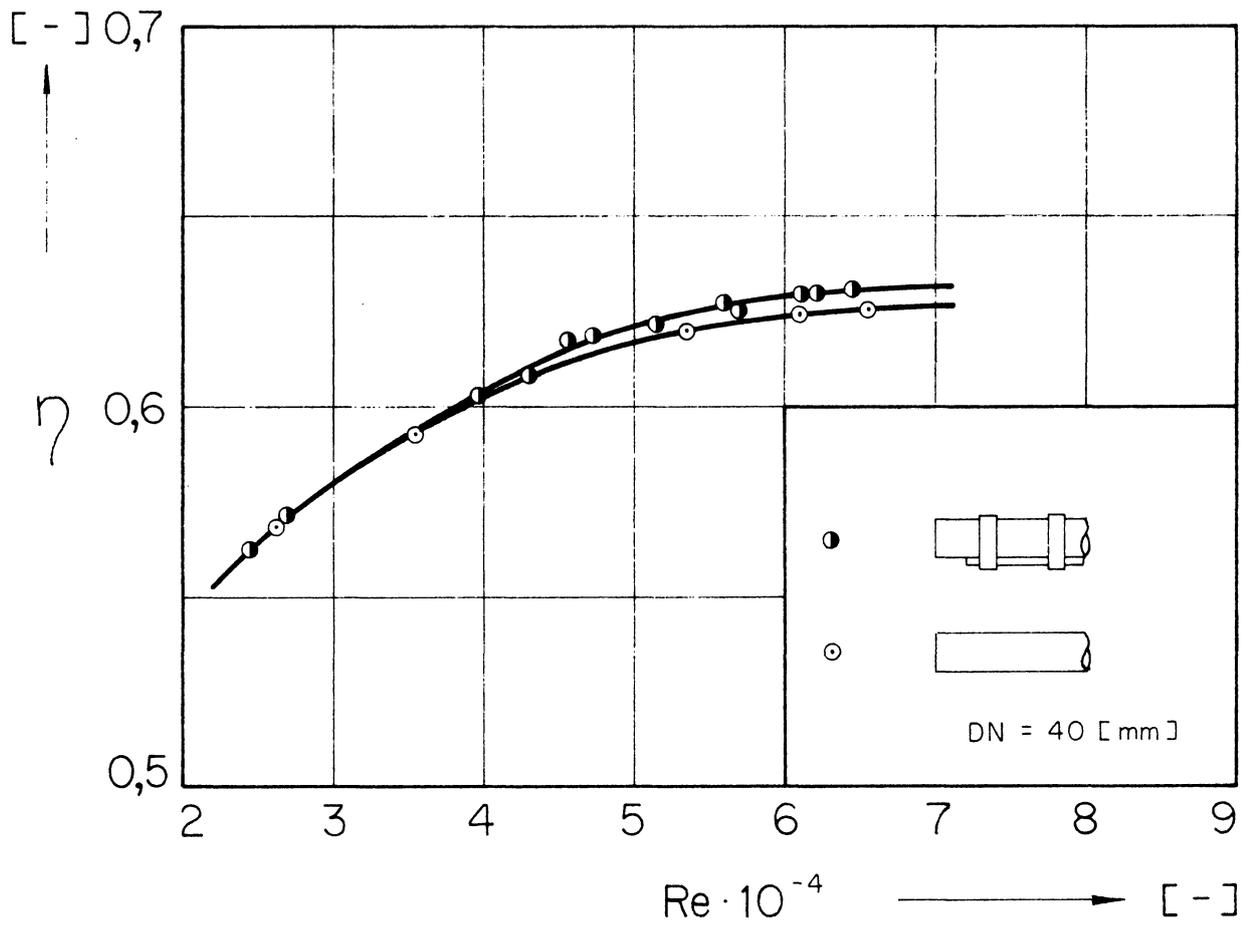
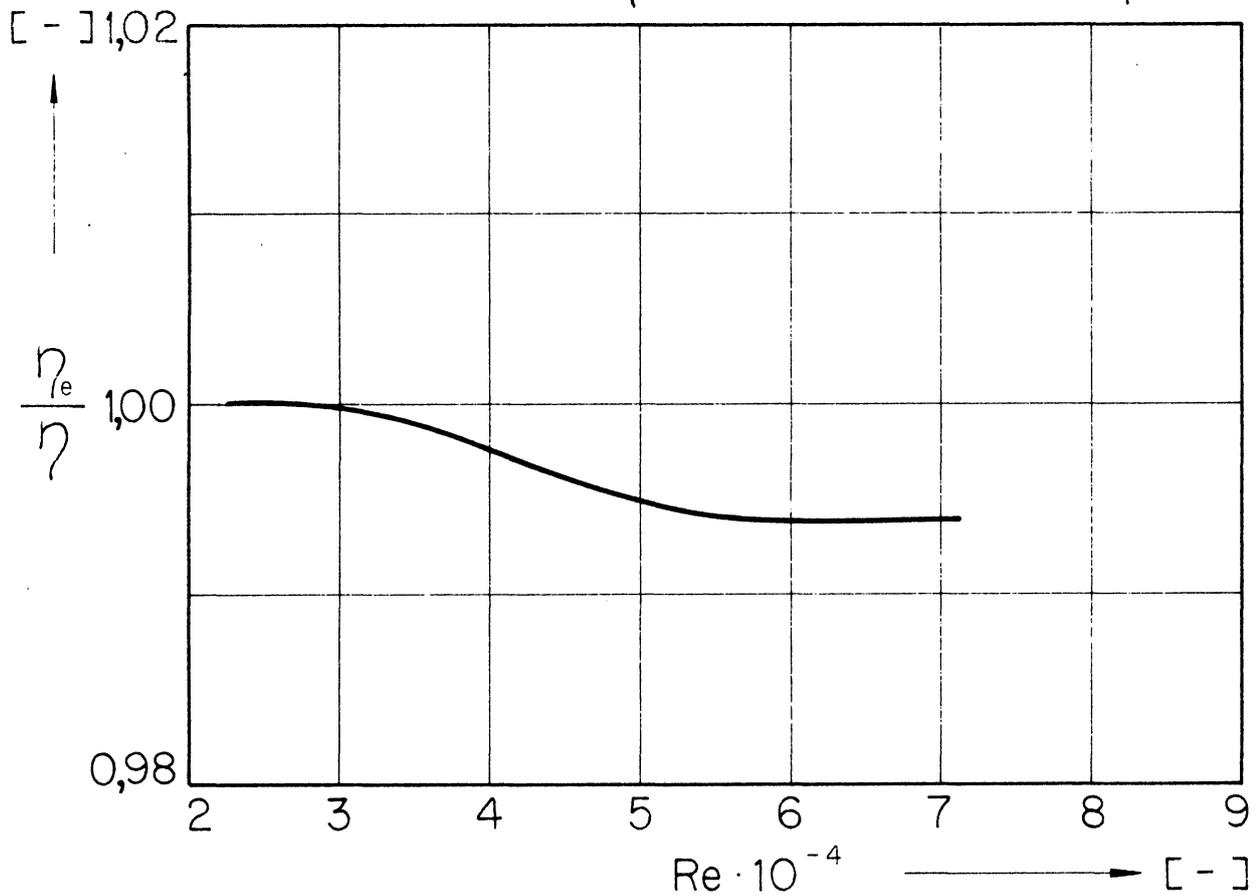


Fig. 9 - Razão entre o rendimento de sifões com abraçadeiras (η_e) e sem abraçadeiras (η)



2 - TEORIA

2.1 - Conceito de Rendimento

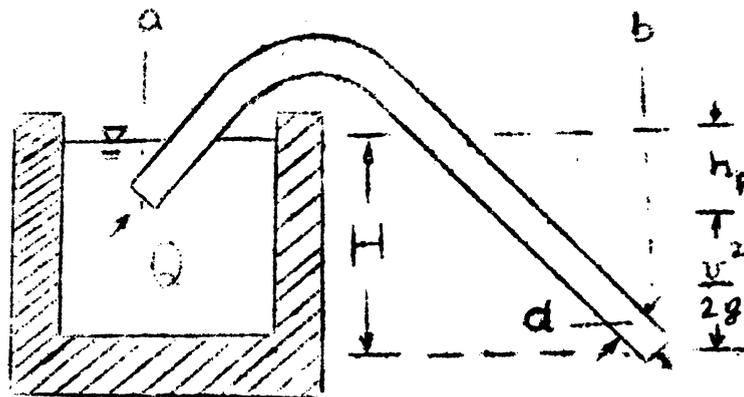


Fig. 10 - Esquema apresentando a aplicação do teorema de Bernoulli em sifão.

De acordo com o teorema de Bernoulli aplicado nas seções a e b, figura 10, temos que a energia total (H) é igual a soma das energias, cinética, energia de pressão que em b é igual a zero (plano de carga dinâmica relativo) e a energia mecânica perdida pelo líquido no transcorrer do percurso, (perdas de carga). Assim podemos escrever:

$$1.) \quad H = \frac{v^2}{2g} + h_p$$

A perda de energia mecânica, h_p vem a ser a energia perdida pelo líquido, por unidade de peso, devida a causas físicas e mecânicas que se opõem ao movimento. Estas perdas

podem ser discriminadas em: perdas na entrada (h_e), perdas na saída em caso da saída estar submersa, devidas a turbulência provocada, que acarreta um aumento do atrito entre as partículas e camadas do líquido. Estas perdas são conhecidas como perdas localizadas. Além destas, temos as perdas de rugosidade (h_r).

$$h_p = h_e + h_c + h_r$$

Estas perdas podem ser escritas em função da taquicarga:

$$h_e = \lambda_e \frac{v^2}{2g} ; \lambda_e \rightarrow \text{coeficiente de perda de carga na entrada}$$

$$h_c = \lambda_c \frac{v^2}{2g} ; \lambda_c \rightarrow \text{coeficiente de perda devido a curvatura}$$

$$h_r = \lambda_r \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{v^2}{2g} ; \lambda_r \rightarrow \text{coeficiente de perda de rugosidade.}$$

Substituindo estes valores na equação (1), temos:

$$2) H = \frac{v^2}{2g} + \lambda_e \frac{v^2}{2g} + \lambda_c \frac{v^2}{2g} + \lambda_r \frac{L}{d} \frac{v^2}{2g}$$

$$H = \frac{v^2}{2g} (1 + \lambda_e + \lambda_c + \lambda_r \frac{L}{d})$$

Isolando o valor da velocidade (v):

$$3) v = \sqrt{\frac{1}{1 + \lambda_e + \lambda_c + \lambda_r \frac{L}{d}}} \cdot \sqrt{2 g H}$$

Por definição, chama-se rendimento (η):

$$4) \eta = \sqrt{\frac{1}{1 + \lambda_e + \lambda_c + \lambda_r \frac{L}{d}}}$$

Substituindo este valor na equação anterior (3), temos:

$$5) \quad v = \eta \cdot \sqrt{2gH}$$

Pela equação da continuidade

$$Q = A \cdot v$$

Substituindo o valor de v na equação (5) e isolando o

(η), vem:

$$6) \quad \eta = \frac{Q}{A} \cdot \frac{1}{\sqrt{2gH}}$$

Pode-se observar, pela fórmula acima, que o rendimento (η) do sifão, vem a ser um coeficiente de vazão.

$$7) \quad Q = A \eta \cdot \sqrt{2gH}$$

O valor (η) é uma função bastante complexa. Para se obter valores que melhor correspondam a realidade e melhor compreensão dos fenômenos que ocorrem no sifão se faz necessário introduzir o conceito do valor corretivo da energia cinética, ou seja o coeficiente de coreolis (α).

O valor de (α) depende da distribuição das velocidades dos diferentes filetes. Seu valor oscila entre 1,05 e 1,15 e em correntes muito irregulares pode variar de 1,1 a 2. Na prática normalmente esta correção é desprezada, tomando-se $\alpha = 1$, [2] .

O valor do coeficiente de coreolis (α) foi obtido em função do coeficiente de perda por rugosidade (λr) através da figura (11).

Outro conceito que deve ser introduzido é o da correção da carga total em relação ao plano de referência, (to

Fig.11 - Coeficiente de coreolise.

[3]

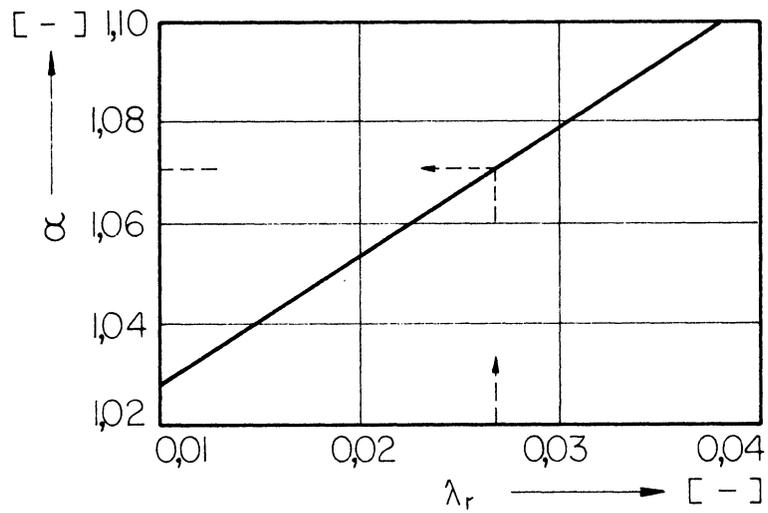
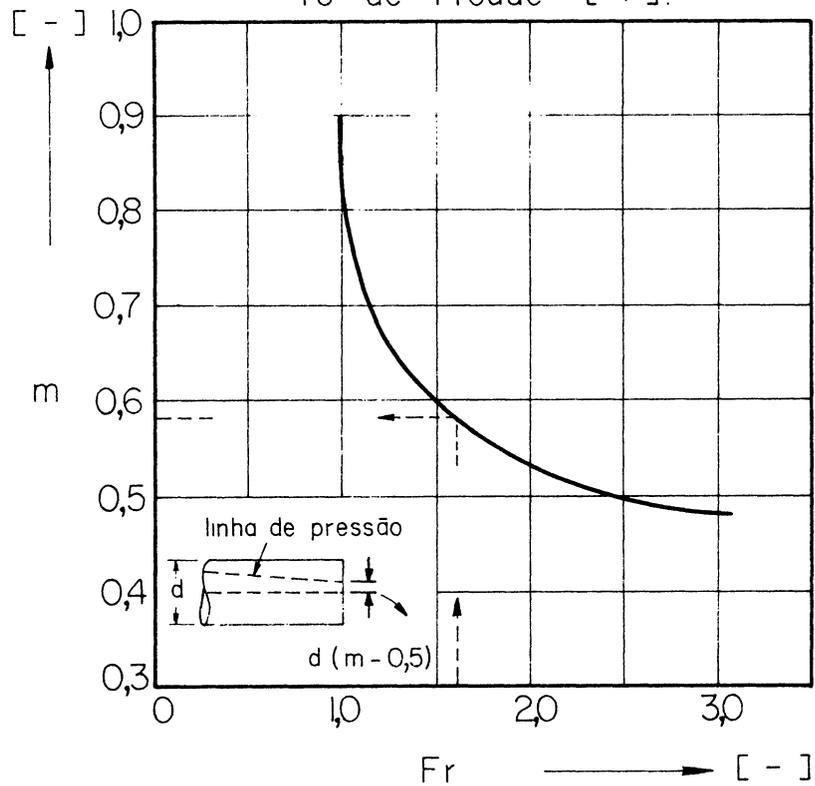


Fig. 12 - Valor corretivo da carga devido a variaçao da linha de pressao em funçao do numero de Froude [4].



mado no eixo central do conduto) devido a variação da linha de pressão na saída dos sifões que vem a ser o valor $d(m=0,5)$, obtido através da figura (12).

A figura (12), foi determinada para condutos em posição horizontal e pouco inclinados, onde a direção das forças de massa são normais às forças de gravidade, sendo portanto o caso onde deve ocorrer o valor máximo de m e consequentemente de $d(m=0,5)$, em relação a outras posições do conduto. Para o caso onde estas forças estiverem no mesmo sentido, portanto o conduto estaria na posição vertical, o valor de $m \rightarrow 0,5$, e o valor corretivo $d(m=0,5) \rightarrow 0$.

Sendo $Fr = 1,4$ em nossas experiências, (tabela 6, todos os quadros), o máximo valor de $d(m=0,5)$ será 2,8 mm para $DN = 2,5$ mm e ainda pelas considerações acima feitas, desprezamos a influência da correção da carga total, $d(m=0,5)$, ou seja tomamos $m=0,5$.

Introduzindo estes valores corretivos, α e $d(m=0,5)$ na equação (2), figura 15, temos:

$$8) \quad H - d(m=0,5) = \alpha \frac{v^2}{2g} + \lambda_r \frac{L}{d} \cdot \frac{v^2}{2g} + \lambda_e \frac{v^2}{2g} + \lambda_c \frac{v^2}{2g}$$

Através da equação (7), temos:

$$\frac{v^2}{2g} = \eta^2 \cdot H$$

$$9) \quad H = \frac{v^2}{2g} \cdot \frac{1}{\eta^2}$$

Substituindo (9) em (8), temos:

$$\frac{1}{\eta^2} = \frac{d(m=0,5)}{\frac{v^2}{2g}} + (\lambda_e + \lambda_r \frac{L}{d} + \lambda_c + \alpha)$$

$$\eta = \frac{1}{\sqrt{\lambda_e + \lambda_r \frac{L}{d} + \lambda_c + \alpha + \frac{d(m-0,5)}{v^2/2g}}}$$

Lembrando que $\frac{v}{\sqrt{gd}}$ igual ao nº de Froude, temos:

$$10) \quad \eta = \frac{1}{\sqrt{\lambda_e + \lambda_r \frac{L}{d} + \lambda_c + \alpha + \frac{2(m-0,5)}{Fr^2}}}$$

onde consideramos:

$$\lambda_e = f \left(Re, \frac{L}{d}, \text{geometria} \right)$$

$$\lambda_r = f \left(Re, \frac{\varepsilon}{d}, \frac{L}{d} \right), \quad \frac{\varepsilon}{d} = 0 \text{ por se tratar de condutos lisos.}$$

$$\lambda_c = f \left(Re, \frac{r}{d}, \beta, \frac{b}{d}; \frac{\varepsilon}{d} = 0 \right)$$

ε = rugosidade dos condutos.

$$\alpha = f \left(\lambda_r, \frac{L}{d} \right)$$

$$m = f (Fr)$$

logo:

$$\eta = f \left(Re, \frac{L}{d}, \frac{\varepsilon}{d}, \frac{r}{d}, \beta, \frac{b}{d}, \text{geometria da entrada}, Fr \right)$$

Através da equação (10) é possível calcular o valor do rendimento (η) teóricamente bastando para isso conhecer o comprimento das perdas de energia através do sifão e a influência da geometria, na entrada que passamos a estudar.

2.2 - Discriminação das perdas de energia.

2.2.1 - Perdas de rugosidade (λ_r).

A fórmula de Weissbach nos dá o valor de perda de rugosidade nos condutos.

$$h_r = \lambda_r \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

Para condutos lisos $\lambda_r = f(Re)$, e segundo Blásius:

$$11) \quad \lambda_r = \frac{0,3164}{\sqrt[4]{Re}}$$

2.2.1.1 - Variação da resistência ao escoamento em condutos curtos.

Para escoamento em condutos curtos verifica-se um aumento da resistência, devida a propagação de turbulência provocada na entrada.

Möbius mostra que para $\frac{L}{d} < 100$ ocorre uma grande variação nas perdas por rugosidade para diversos tipos de entradas. (fig. 13a). Veremos este assunto em mais detalhes no ítem 2.2.2.1.

2.2.2 - Perdas localizadas.

2.2.2.1 - Perdas de carga na entrada.

Os diversos autores consultados apresentam valores diferentes para o coeficiente de perda na entrada (λ_e), para o caso de condutos reentrantes, variando entre 0,7 e 1,0.

Determinou-se o valor de λ_e por dois processos diferentes.

12) O processo empregado consistiu em se instalar convenientemente um conduto reto, a razão entre o comprimento e diâmetro ($\frac{L}{d}$), variando entre 50 e 5, através da diminuição sucessiva do comprimento (L) do con

duto.

Ao se instalar o conduto, sendo DN = 40 mm, tomou-se algumas medidas de precaução de modo a se evitar influências no experimento devido a geometria, tais como: distância do fundo do canal e distância da parede lateral, sendo respectivamente 0,30 [m] e 0,20 [m]. Dêste modo construí-se o gráfico apresentado pela figura 14 (Quadros 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 e 15; tabela 6), onde temos um conjunto de curvas apresentando o rendimento (η), calculado pela equação (6), em função de Re e $\frac{L}{d}$, através do qual foi possível determinar o valor do coeficiente de perda de carga na entrada do (λ_e) conforme é descrito a seguir.

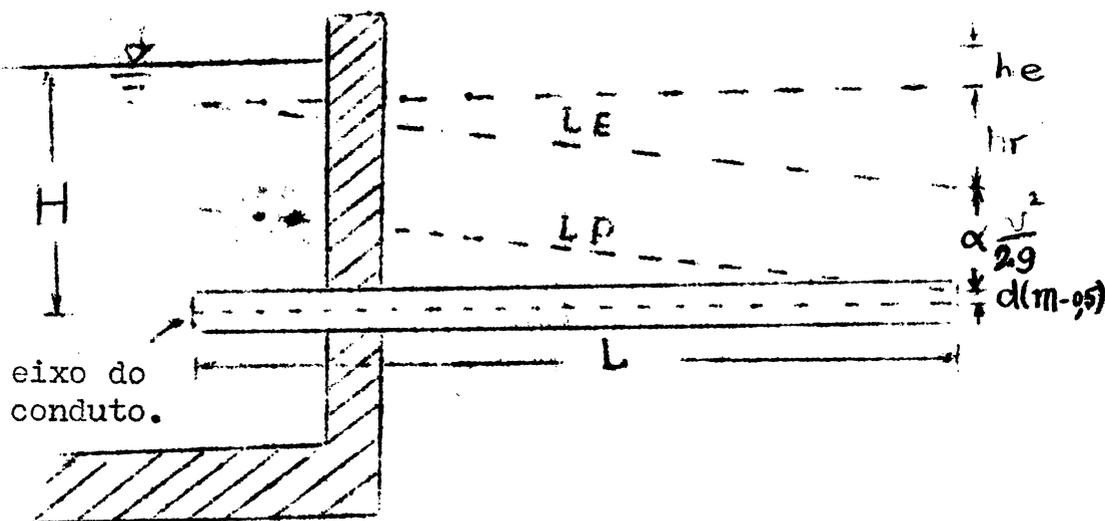
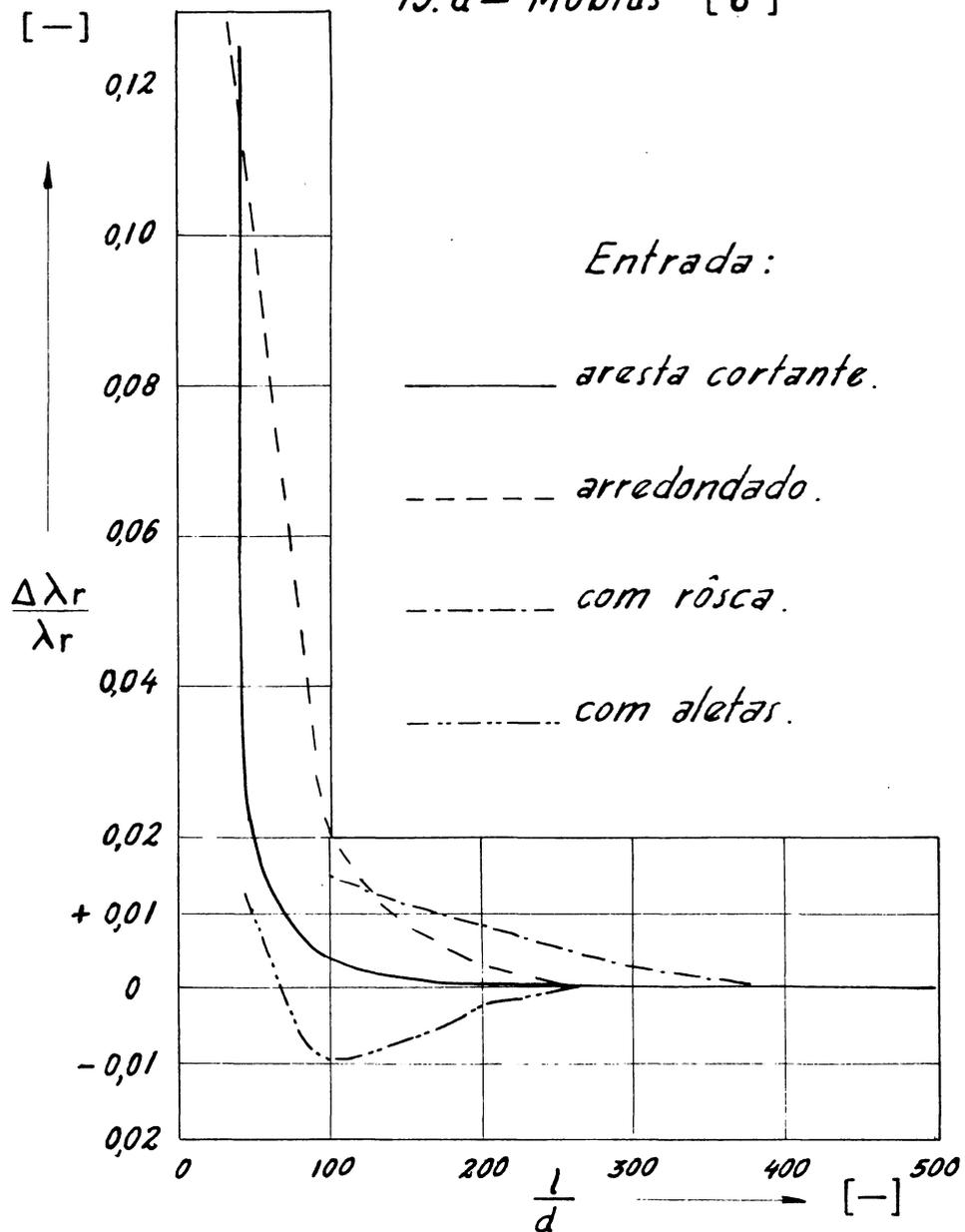


Fig. (15) - Aplicações do teorema de Bernoulli em condutos longos.

Conforme mostra a fig. (15) e de acordo com a equação (8), isolando-se o valor de λ_e e sendo $\lambda_c = 0$, podemos escrever:

Fig. 13 - Variação do coeficiente de rugosidade em condutos curtos.

13.a - Möbius [6]



13.b - tese

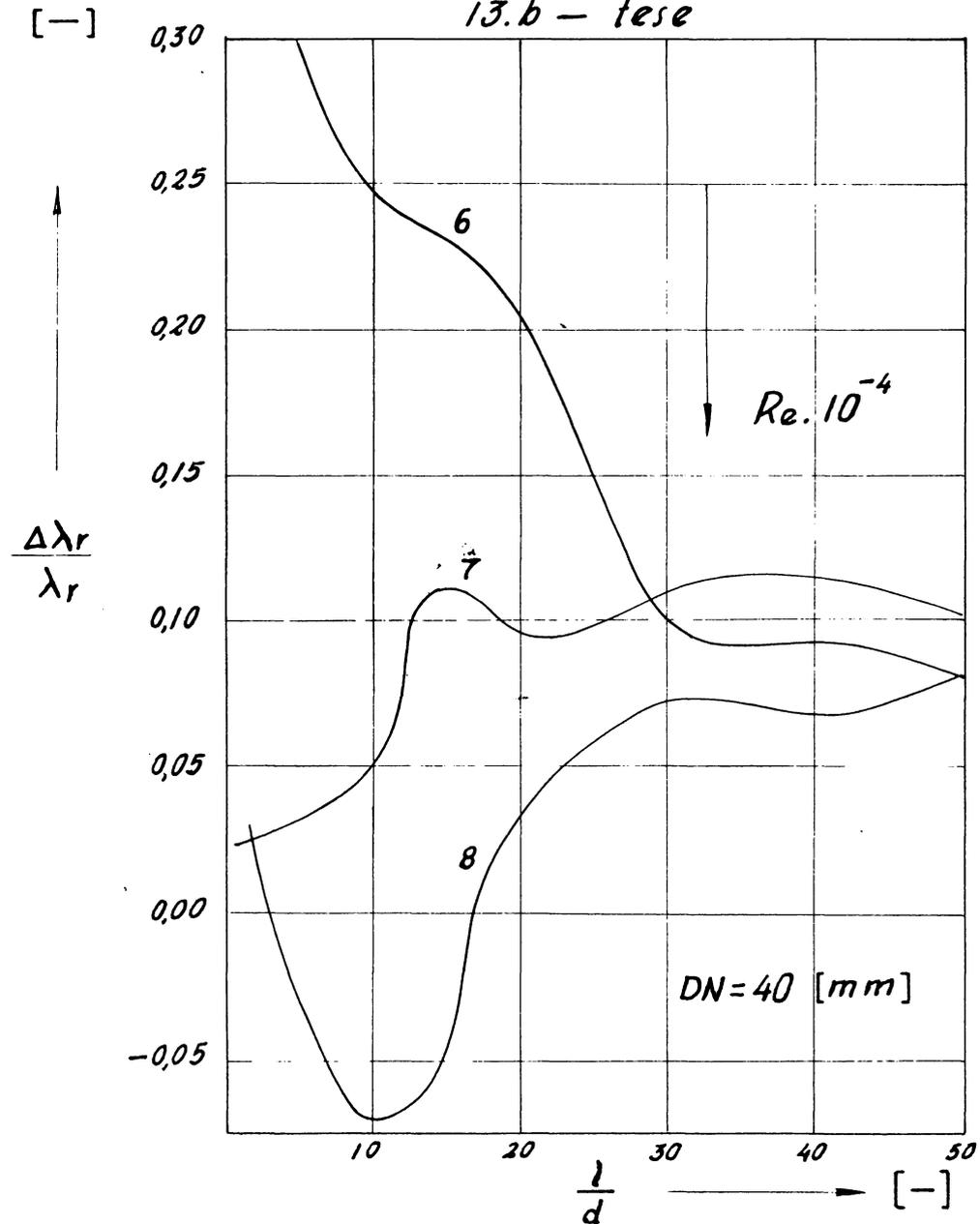
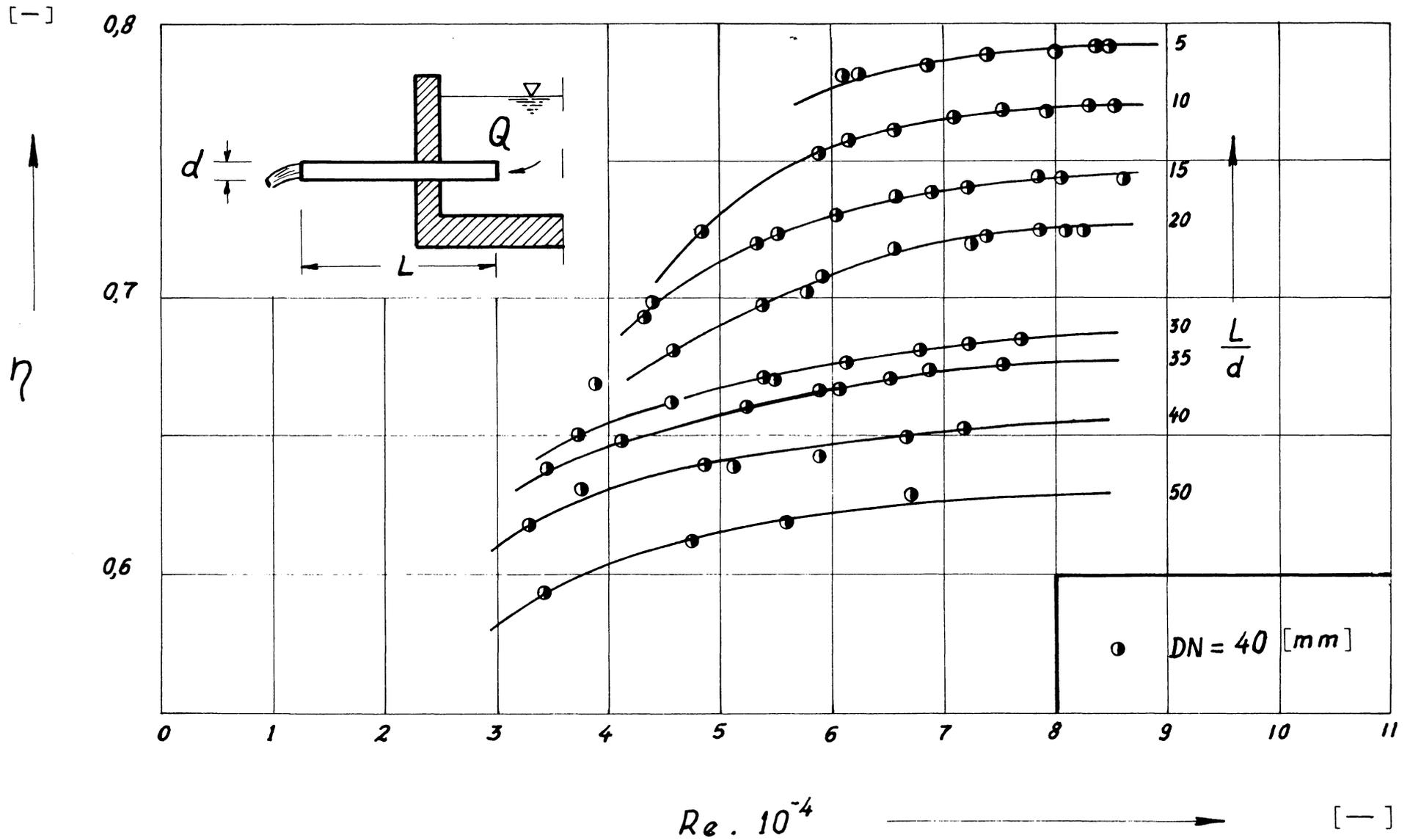


Fig.14 — Variação do rendimento (η) para diferentes comprimentos de condutos curtos.

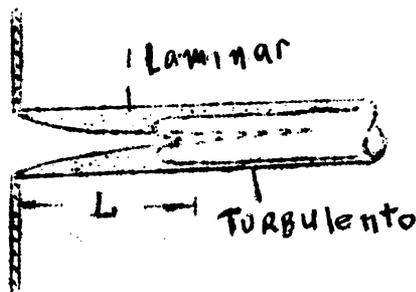


$$12) \quad \lambda_0 = \frac{H - d(m-0,5)}{\frac{v^2}{2g}} - \alpha - \lambda_r \frac{L}{d}$$

No entanto, para condutos curtos, não se pode aplicar as fórmulas estabelecidas para encanamentos, ou seja, para comprimento inferior a 100 d, pois o comportamento das variáveis não é o mesmo (item 2.2.1.1). Somente após este trecho de transição é que se pode encontrar uma distribuição de velocidades capaz de caracterizar um regime de escoamento. [4]

Para o escoamento turbulento, as condições de equilíbrio são alcançadas mais rapidamente do que no caso de regime laminar (fig. 16), sendo estimada em 20 a 40 diâmetros a contar da borda de entrada, [4], ou mais (>200), [6] ; fig. 13 a.

Fig. (16) - Trecho de transição no estabelecimento do regime de escoamento no início de uma turbulência 4.



Nêste trecho, a distribuição da velocidade ao longo do conduto é bastante variável, sendo portanto necessário acrescentar um valor corretivo ($\Delta \lambda_r$) ao coeficiente de perda por rugosidade (λ_r), calculado segundo a equação (11) de Blásius, e um valor ($\Delta \alpha$) ao valor do coeficiente de coreolis (α).

Dêste modo, para condutos curtos, temos:

$$13) \quad \alpha^* = \alpha + \Delta \alpha$$

$$14) \quad \lambda_r^* = \lambda_r + \Delta \lambda_r$$

Conseqüentemente o valor do coeficiente de perda na entrada (λ_e), calculado pela equação (12) não corresponde ao valor real do coeficiente de perda na entrada (λ_e^*), calculado para condutos curtos. Isto pode ser melhor observado através da fig. 17, abaixo:

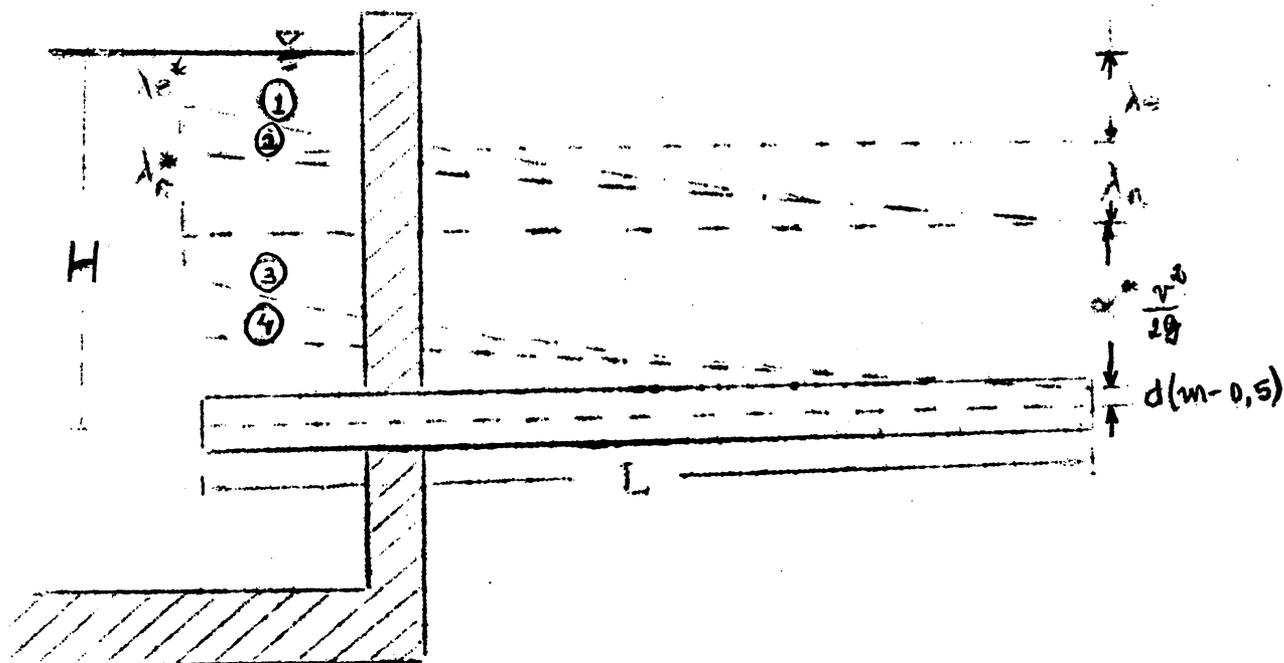


Fig. 17 - Aplicação do teorema de Bernoulli para condutos curtos, onde:

- 1. Linha de energia real
- 2. " " " calculada
- 3. " piezométrica real
- 4. " " calculada

Introduzindo estes novos conceitos na equação (8), podemos escrever:

$$15) \quad H = d(m-0,5) + \alpha^* \frac{v^2}{2g} + \lambda_r^* \frac{L}{d} \frac{v^2}{2g} + \lambda_e^* \frac{v^2}{2g}$$

Isolando o valor de λ_e^* , temos:

$$16) \quad \lambda_e^* = \frac{H - d(m-0,5)}{\frac{v^2}{2g}} - \alpha^* - \lambda_r^* \frac{L}{d}$$

ou substituindo (13) e (14) em (16) e isolando os valores desconhecidos temos:

$$17) \quad \lambda_e^* + \Delta\alpha + \Delta \lambda_r \frac{L}{d} = \frac{H - d(m-0,5)}{\frac{v^2}{2g}} - \alpha - \lambda_r \frac{L}{d}$$

Por outro lado se igualarmos as equações (12) e (16) podemos escrever:

$$18) \quad \lambda_e + \alpha + \lambda_r \frac{L}{d} = \lambda_e^* + \alpha^* + \lambda_r \frac{L}{d}$$

Substituindo os valores das equações (13) e (14) na equação (18) e simplificando, temos:

$$19) \quad \lambda_e = \lambda_e^* + \Delta\alpha + \Delta \lambda_r \frac{L}{d}$$

Isto nos mostra que o valor λ_e calculado pela equação (12) vem a ser na realidade a soma entre o valor real do coeficiente de perda na entrada (λ_e^*), a variação do coeficiente de coreolis ($\Delta\alpha$) e o produto da variação do coeficiente de rugosidade ($\Delta \lambda_r$) pela razão comprimento-diâmetro ($\frac{L}{d}$).

O valor de λ_e foi calculado para $\frac{L}{d}$ variando de 5 a 50 em função do nº de Reynolds, que foi fixado em 6×10^4 , 7×10^4 e 8×10^4 através da equação (12), em que o valor da carga (H) e da velocidade (v) foram obtidos através da figura 14, o valor de (m) foi tomado como 0,5, o valor de α através da figura (11)

e o valor de λ_r pela equação (11) de Blásius.

Dêste modo construiu-se o gráfico apresentado na figura 18, onde se tem o valor de λ_e em função de Re e $\frac{L}{d}$.

A influência de $\frac{L}{d}$ é normalmente apresentada como uma função de λ_r . No entanto, os turbilhões formados na entrada, ao se propagarem através do conduto, aumentam o atrito interno entre as partículas d'água de diferentes filetes neste trecho inicial do conduto, ocasionando um aumento de perda linear, que não deixa de ser uma consequência da entrada.

A figura 19 nos mostra a influência do comprimento (L) do sifão no coeficiente de perda na entrada, para Re constante.

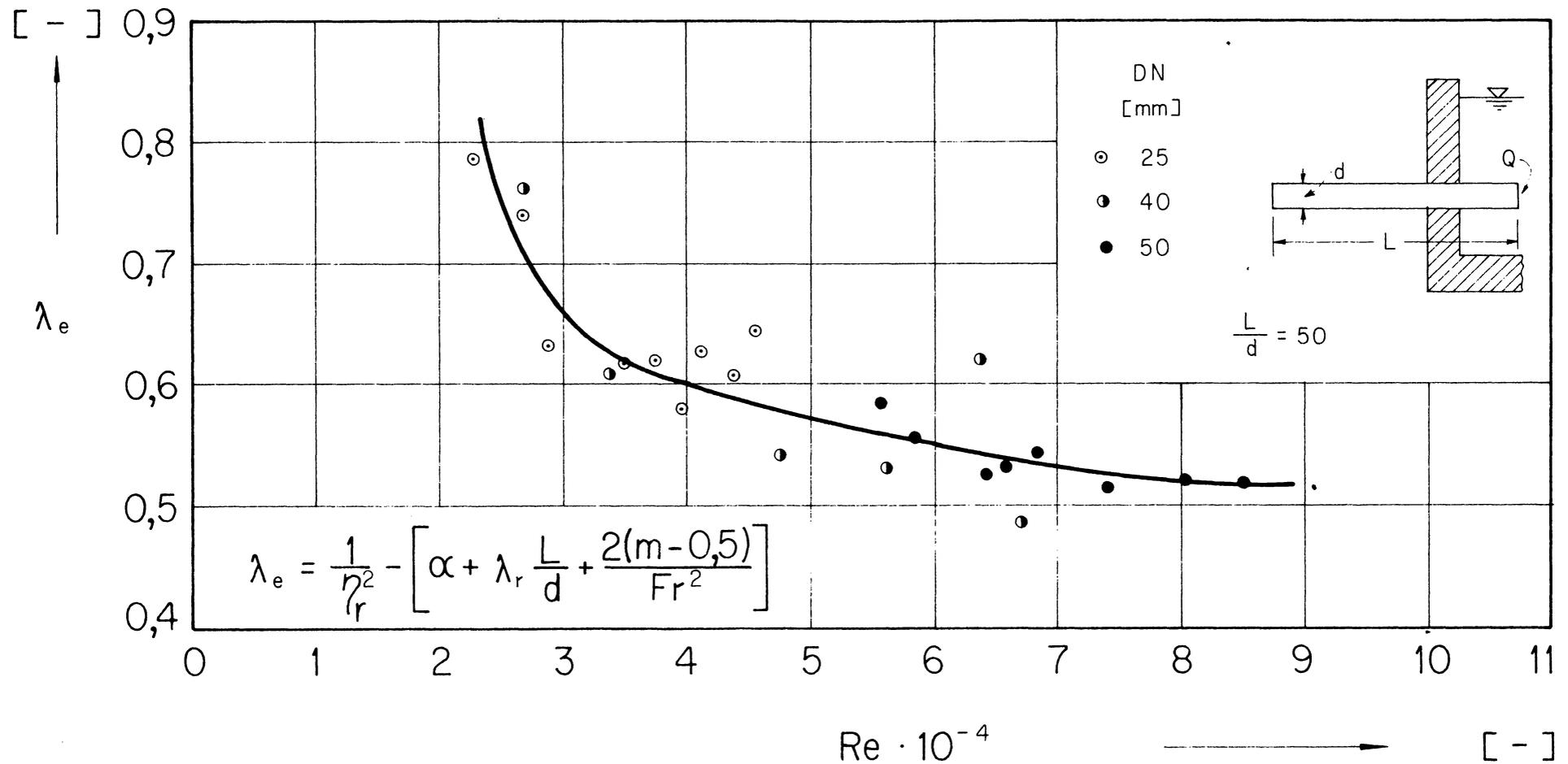
Isolando na equação (19), o valor da variação do coeficiente de rugosidade ($\Delta\lambda_r$) e dividindo ambos os membros pelo coeficiente de rugosidade (λ_r), temos:

$$20) \frac{\Delta\lambda_r}{\lambda_r} = \frac{\lambda_e - (\lambda_e^* + \Delta\alpha)}{\lambda_r \cdot \frac{L}{d}}$$

Através desta equação construiu-se o gráfico apresentado na figura 13b, onde se observa a variação do coeficiente de rugosidade $\left(\frac{\Delta\lambda_r}{\lambda_r}\right)$, ou seja a variação da resistência ao escoamento pelo atrito entre partículas de diferentes filamentos e as paredes do conduto na parte inicial do conduto.

Na equação (20), o valor $(\lambda_e^* + \Delta\alpha)$ foi obtido graficamente pelo prolongamento das linhas do gráfico apresentado na figura 18, fazendo-se $\frac{L}{d}$ tender a zero.

Fig. 13 - Coeficiente de p erda na entrada (λ_e), em função do número de Reynolds.



Re. 10^{-4}	λ_e	
	1ª proc.	2ª proc.
6	0,55	0,55
7	0,54	0,53
8	0,55	0,52

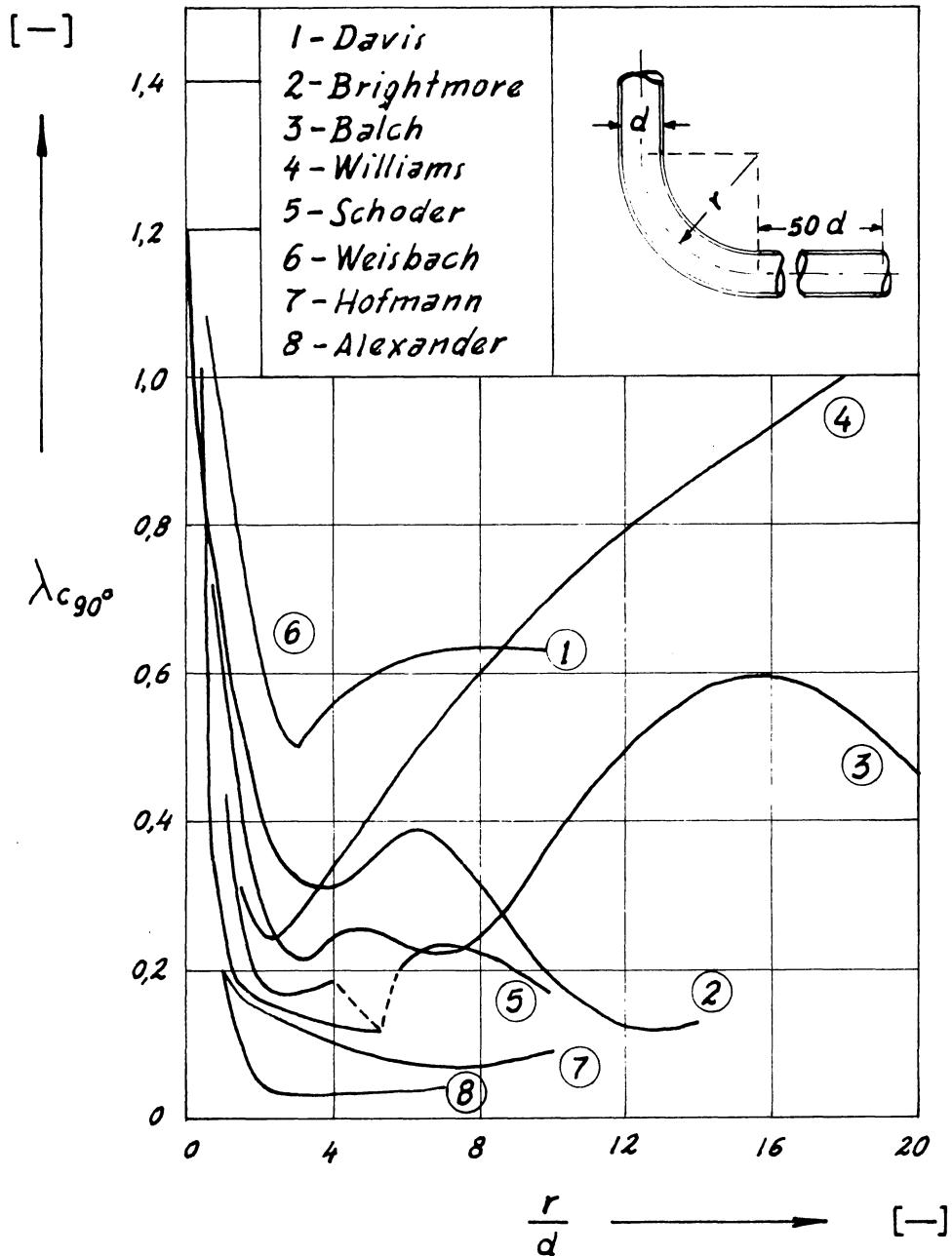
Tabela (5) - Comparação entre os valores do coeficiente de perda na entrada (λ_e), para $\frac{L}{d} = 50$, obtidos por dois processos diferentes.

2.2.2.2 - Perdas na curva

A curvatura acarreta um aumento da turbulência no local, acusando conseqüentemente uma perda de energia adicional. Para um mesmo ângulo (β) da curva dada, se $\frac{r}{d}$ é pequeno, é porque a curva é relativamente muito fechada e por tanto aumenta a perda de carga, e se $\frac{r}{d}$ é grande, o comprimento c da curva aumenta relativamente e portanto também a zona de perturbação [5]. Isto parece indicar que o coeficiente de perda na curva (λ_c), passa por um mínimo. Os diversos autores que pesquisaram o assunto apresentam diferentes resultados, que podem ser observados através da figura (22). O cálculo de λ_c foi efetuado da seguinte maneira: Através da equação (10) podemos isolar os valores de ($\lambda_e + \lambda_c$), obtendo a equação (24) através da qual se construiu a figura 23.

$$24) \quad \lambda_e + \lambda_c = \frac{1}{\eta^2} - \left[\alpha + \lambda_r \frac{L}{d} + \frac{2(m-0,5)}{Fr^2} \right]$$

Fig. 22
 Graf. (22) - Coeficiente de perda na curva
 segundo diversos pesquisadores. [5]



onde (λ_c) foi obtido pela figura (29) ítem 7.1, (λ_r) pela figura 11, (λ_r) pela equação (11) de Blásius e p_c para $m=0,5$.

Subtraindo-se as equações (23) e (24) obtemos através da equação (25) o valor do coeficiente de perda na curva (λ_c) , apresentado em função do nº de Reynolds para $\frac{b}{d} = 25$, $\beta = 120^\circ$ e $\frac{r}{d} = 8$ (figura 24).

$$25) \quad \lambda_c = \frac{1}{\eta^2} - \frac{1}{\eta_r^2}$$

A perda de energia devido a curvatura é também uma função de $\frac{b}{d}$, ou seja do comprimento do ramo descendente do sifão após a curva, pois quanto maior a zona de turbulência, maior a perda, ou ainda, tanto menor a perda, quanto menor o valor de $\frac{b}{d}$.

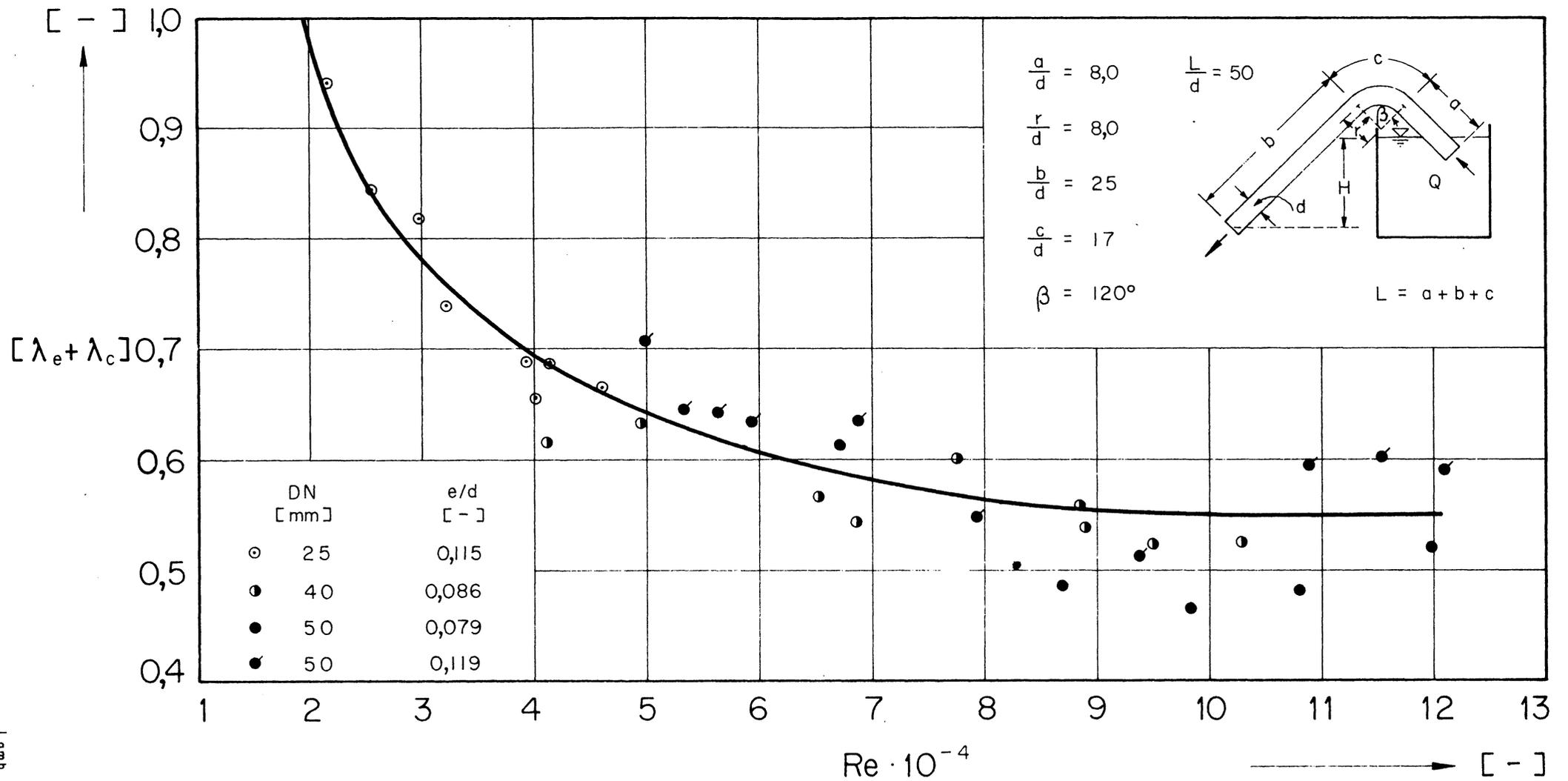
O valor de λ_c para outros valores de $\frac{b}{d}$, (fig. 25), foi obtido baseando-se no fato de que:

1ª) O coeficiente de perda na curva (λ_c) , tem pequena variação ao mudar o ângulo de abertura de $\beta = 90^\circ$ para $\beta = 120^\circ$ (fig. 26), podendo ser considerada desprezível sua influência.

2ª) A razão entre o coeficiente de perda na curva para diferentes valores de $\frac{b}{d}$ e o coeficiente de perda na curva para $\frac{b}{d} = 25$, $\left(\frac{\lambda_{c,d}}{\lambda_{c,25}}\right)$ recebe pequena influência devido a variação do nº de Reynolds (fig. 27).

Baseados nêstes fatos, através da figura 28 onde se tem $\frac{\lambda_c}{\lambda_{c,25}}$, obtidos em função de $\frac{b}{d}$, para $\frac{r}{d} = 8,97$ e $Re = 2.10^5$, obteve-se o valor do coeficiente de perda na curva (λ_c) para diferentes valores do nº de

Fig. 23 - Soma dos coeficientes de perda na entrada e na curva.



Reynolds, (fig. 25), multiplicando-se a razão $\frac{\lambda_c}{\lambda_{c25}}$

obtida na figura 28, pelo coeficiente de perda na curva para $\frac{b}{d} = 25$, obtidos nesta experiência, ou seja $Re < 2 \cdot 10^{-5}$

$$\lambda_c = \frac{\lambda_c}{\lambda_{c25}} \cdot \lambda_{c25}$$

Fig. 24 - Coeficiente de perda na curva (λ_c).

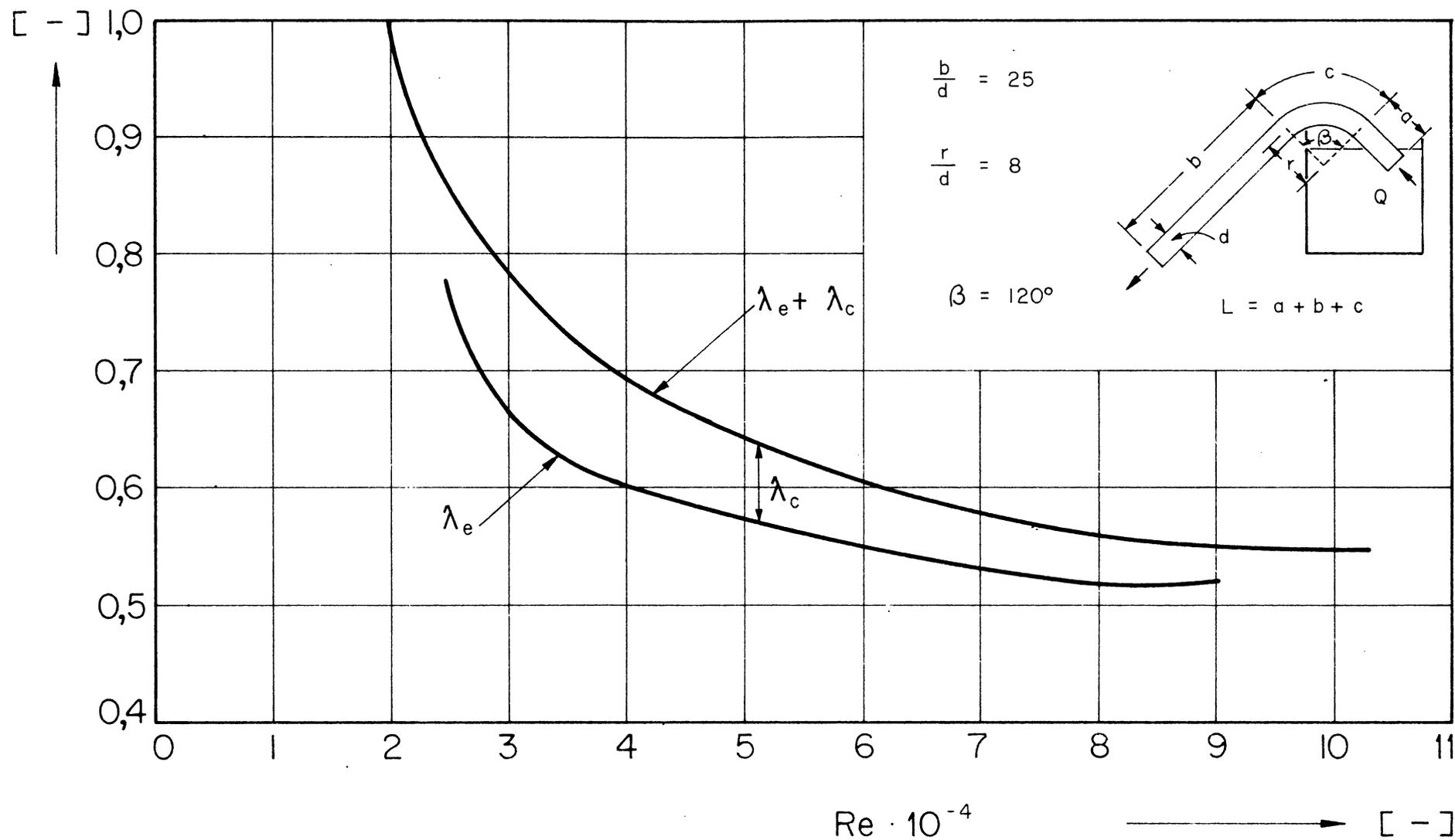


Fig. 25 — Variação de λ_c em função do comprimento do braço descendente do sifão (b).

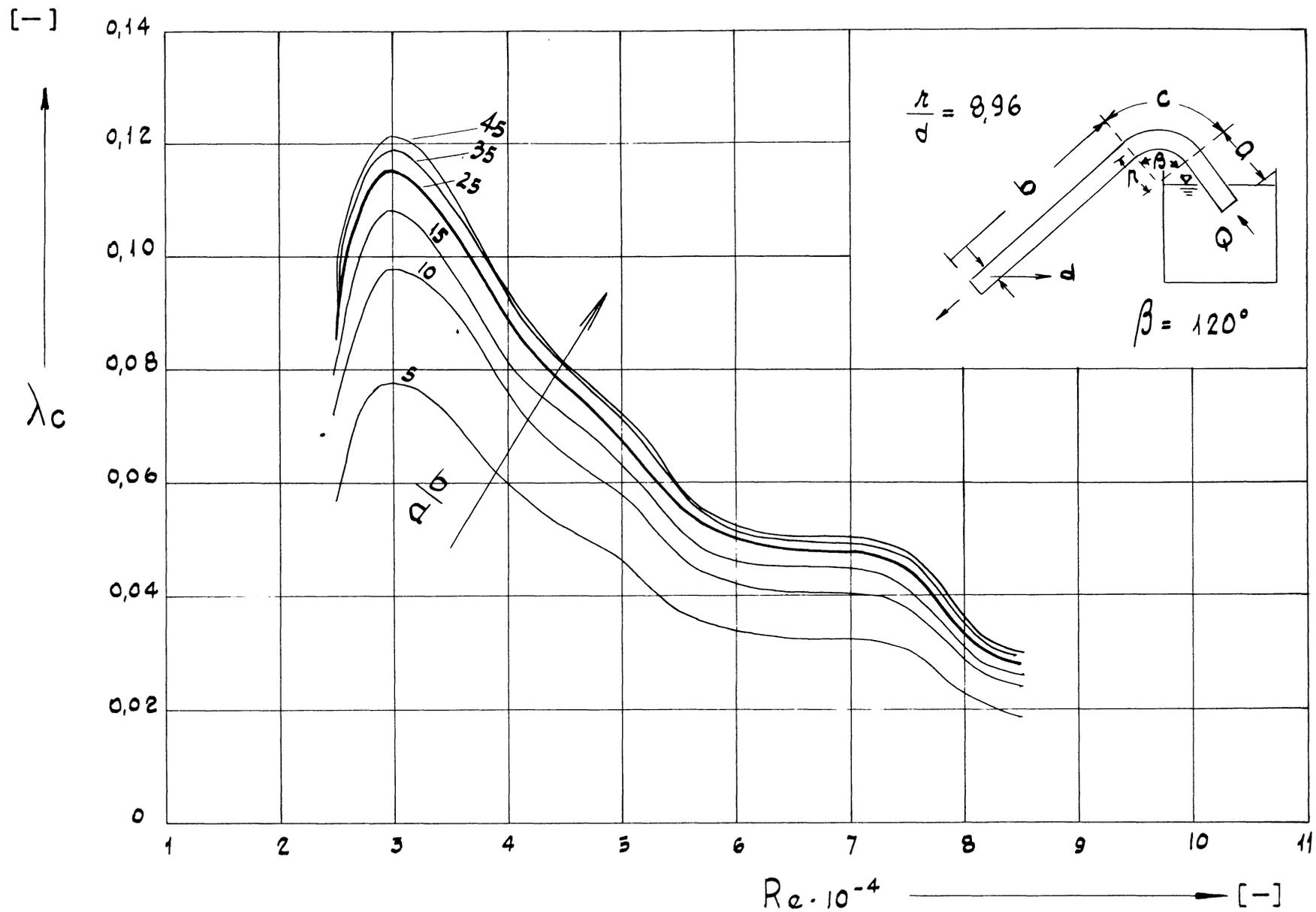


Fig. 27 — Influência de Re na razão entre o coeficiente de perda na curva para diferentes valores de $\frac{b}{d}$ e o coeficiente de perda na curva $p/\frac{b}{d} = 25 \left(\frac{\lambda_c}{\lambda_{c25}} \right)$ [6]

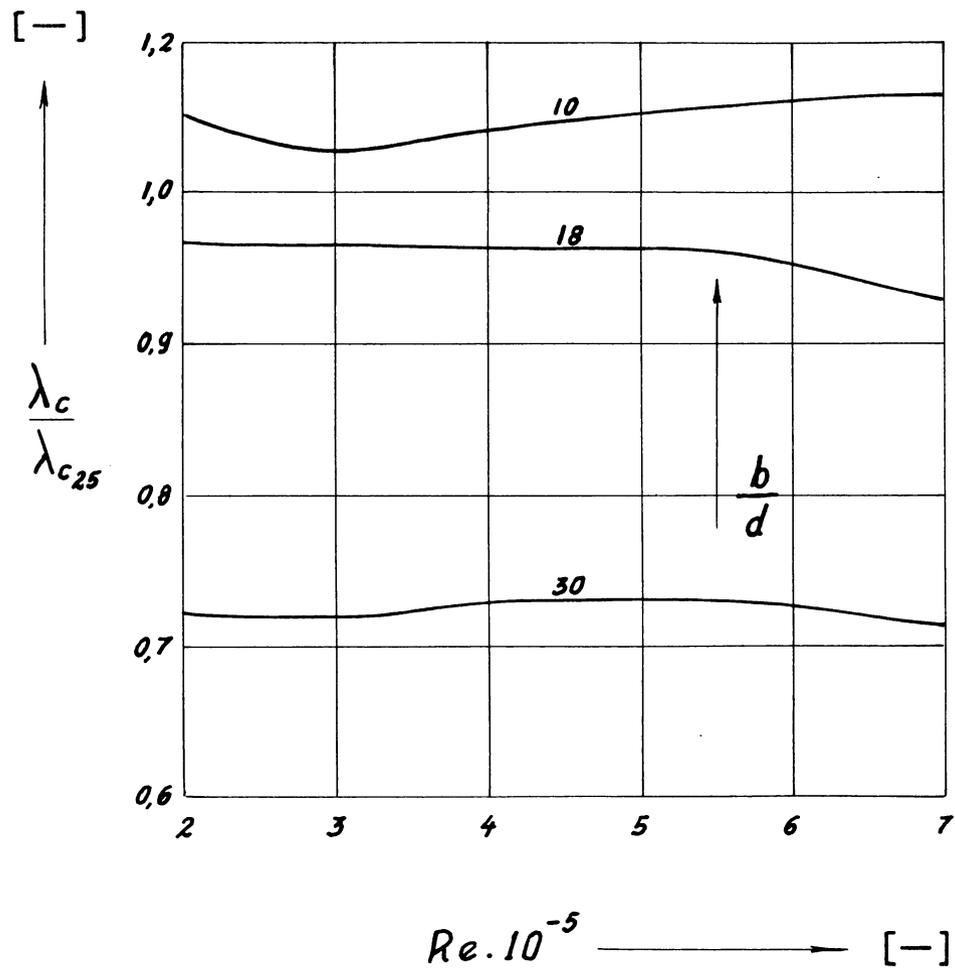


Fig. 26 — Variação de λ_c em função do ângulo de abertura do sifão (β) [6]

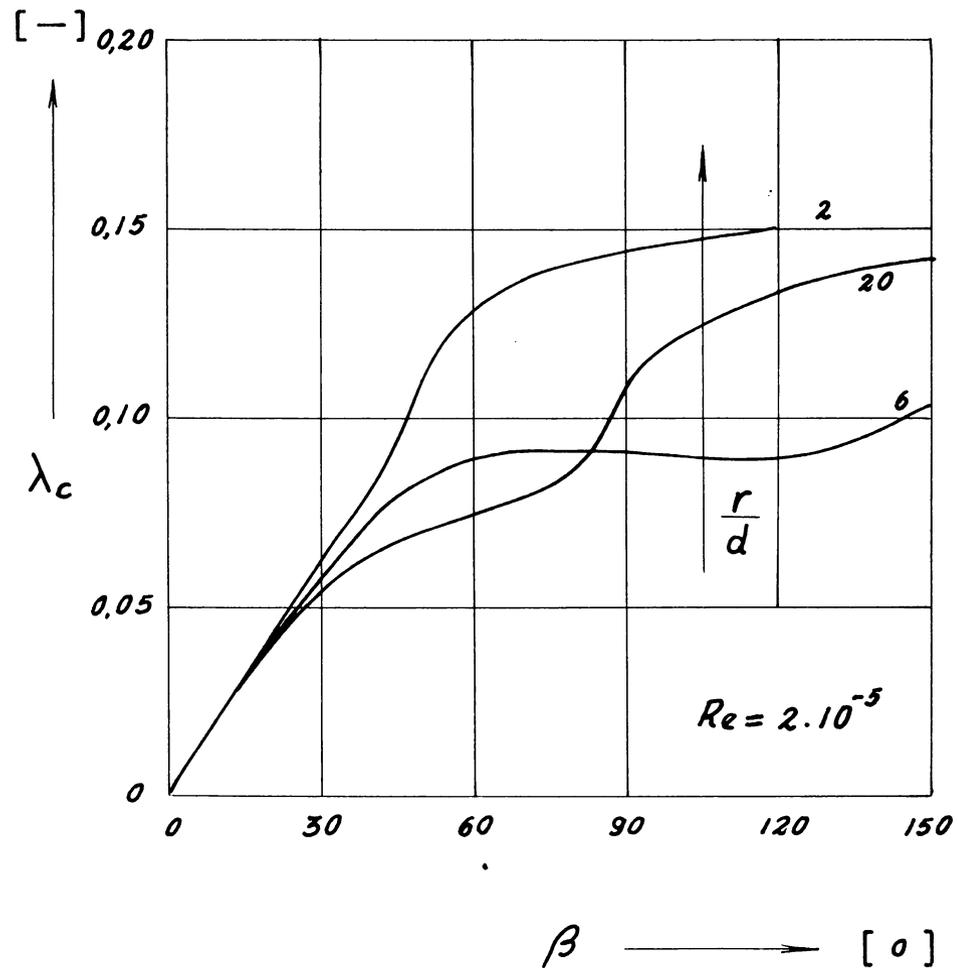
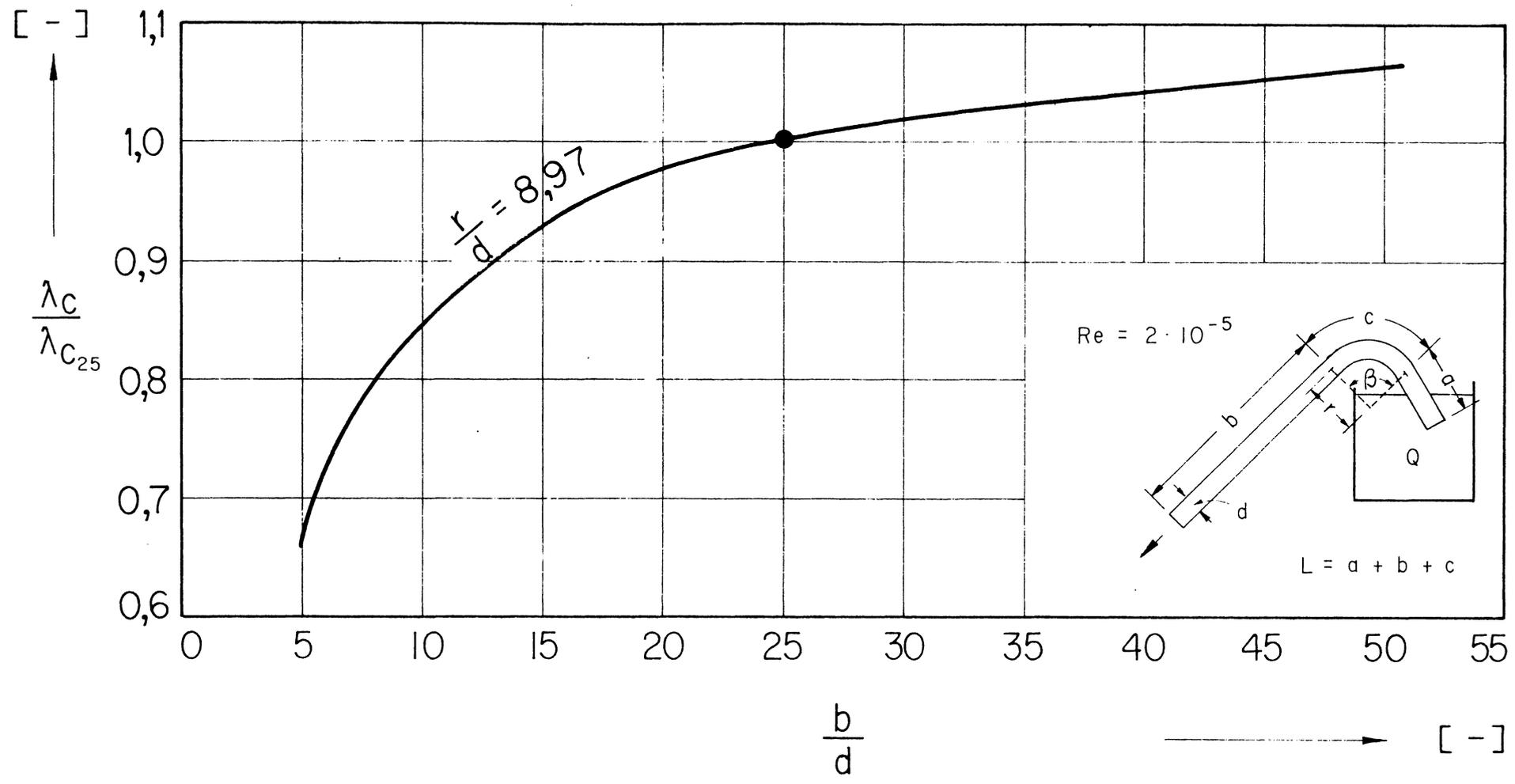


Fig.28 – Razão entre o coeficiente de perda na curva para diferentes valores de $\frac{b}{d}$ e o coeficiente de perda na curva para $\frac{L}{d} = 25$

[6]



3 - Resultados das Pesquisas

3.1 - Cálculo do rendimento (η) em função do número de Reynolds (Re).

3.1.1 - Rendimento em sifões.

O valor de (η) foi calculado pela equação (6) para os sifões tipos 1, 3, 5 e 7 da tabela (2), cujos valores obtidos praticamente encontramos nos Quadros: 1, 2, 3 e 4 da tabela (6). Com êsses valores construiu-se o gráfico apresentado na figura 29.

Praticamente, observou-se que para pequenos valores de Fr , tem início a entrada de ar pela saída do sifão (fig. 30). Isto explica o fato, de o rendimento (η), para sifões de diferentes diâmetros e espessuras (e/d) diminuir rapidamente, ao ponto de ser igual a zero, parando o escoamento.

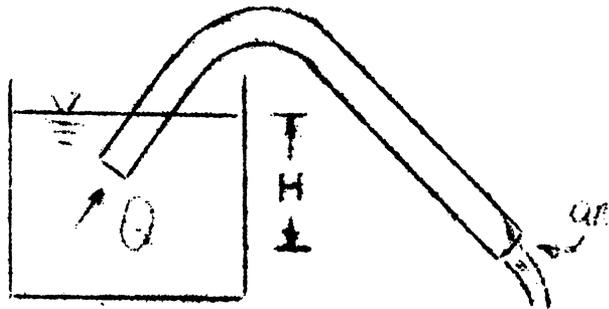


Fig. 30 - Entrada de ar na saída do sifão.

3.1.2 - Rendimento em condutos curtos retificados.

O rendimento (η_r) para condutos curtos retificados, tabela (2), tipos 2, 4 e 7, obtidos pela equação (6), cujos valores obtidos praticamente encontramos na tabela (6), quadros 5, 6 e 7; é apresentado em função do nº de Reynolds através da figura 31.

Fig. 29 - Rendimento de sifões em função do número de Reynolds.

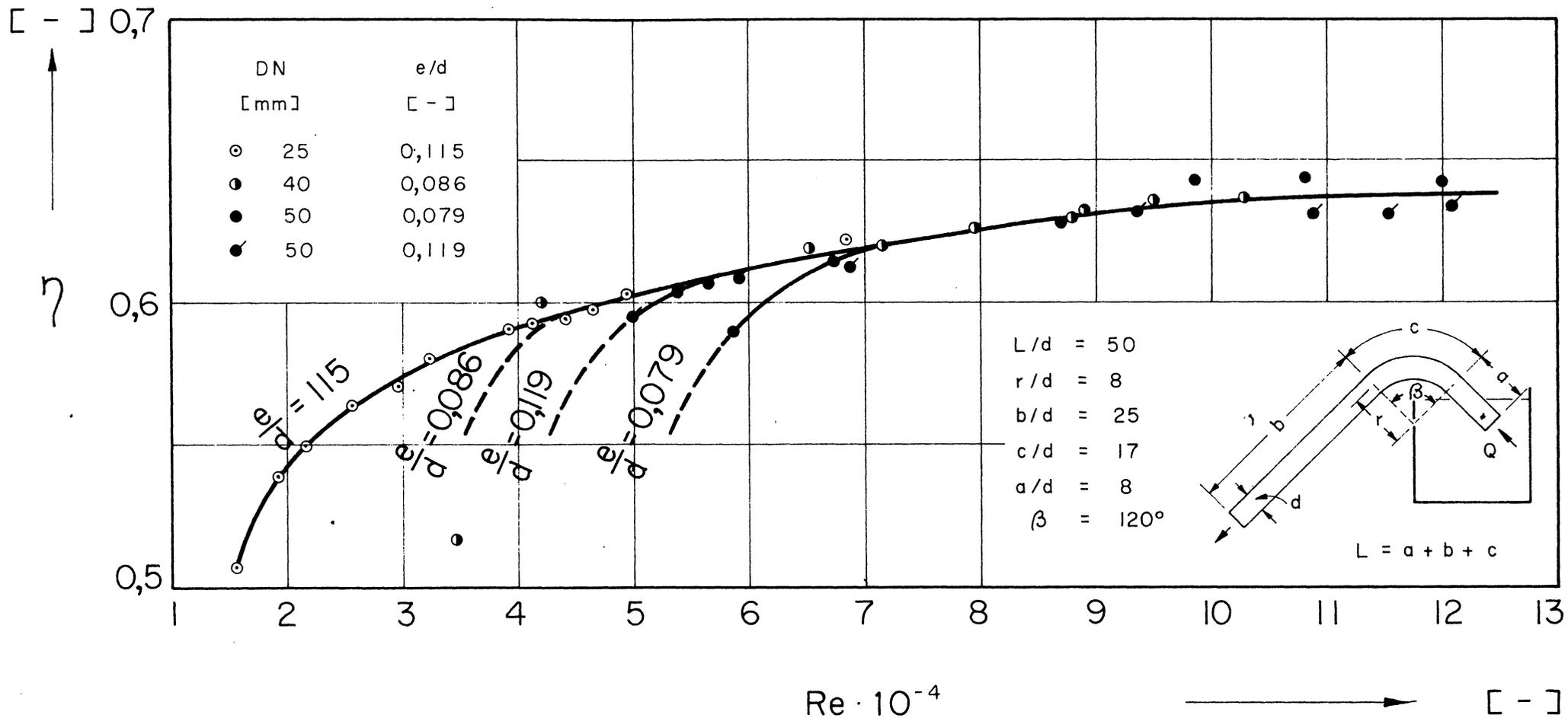
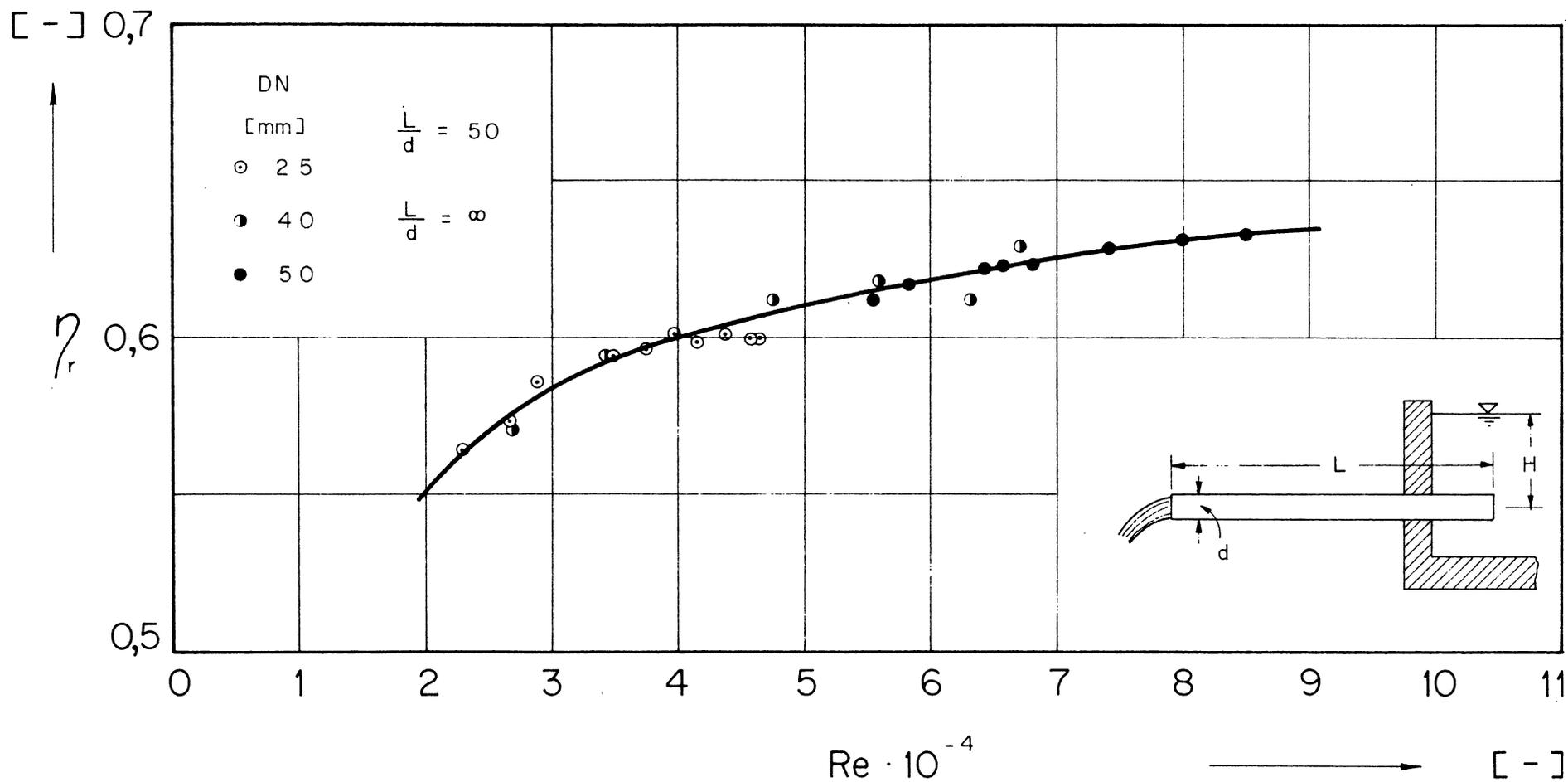


Fig. 31 - Rendimento para condutos curtos retificados.



3.2 - Influência da distância (y) da entrada à superfície da água e do ângulo de declividade da entrada (β), no sentido transversal do canal (fig. 32).

Procedeu-se a experiência mantendo-se a carga (H) constante, variando unicamente (y) e (β).

Verificou-se que não há influência da variação de (y) e (β) desde que a entrada do sifão não esteja muito próxima das paredes laterais, do fundo do canal e da superfície d'água onde ocorre a formação de vórtex.

3.3 - Influência da proximidade da entrada do sifão à parede lateral do canal (x), (fig. 33).

A influência é portanto pequena e tem início para um valor de $\frac{x}{d} = 2$.

A experiência foi realizada variando-se (x) e mantendo-se constante as demais variáveis.

3.4 - Influência da espessura (e) na entrada do sifão.

Através da figura 34a, (tab. 6, Quadros 4 e 5), verificou-se esta influência, que vem a ser uma consequência da geometria. A experiência foi realizada para um mesmo sifão, isto é, sem variar as demais condições. Conseguiu-se isto através de uma luva de aço de 10 (cm) de comprimento, e 0,2 (mm) de espessura ajustada externamente à entrada do sifão. A existência desta influência parece lógica ao fazermos uma comparação da espessura da entrada no sifão, com um vertedor, que de acordo com a espessura da lâmina, varia o seu coeficiente de vazão.

Observa-se através da figura 34b, onde temos a razão

Fig.33 — Influência da proximidade da entrada do sifão à parede lateral do canal (x).

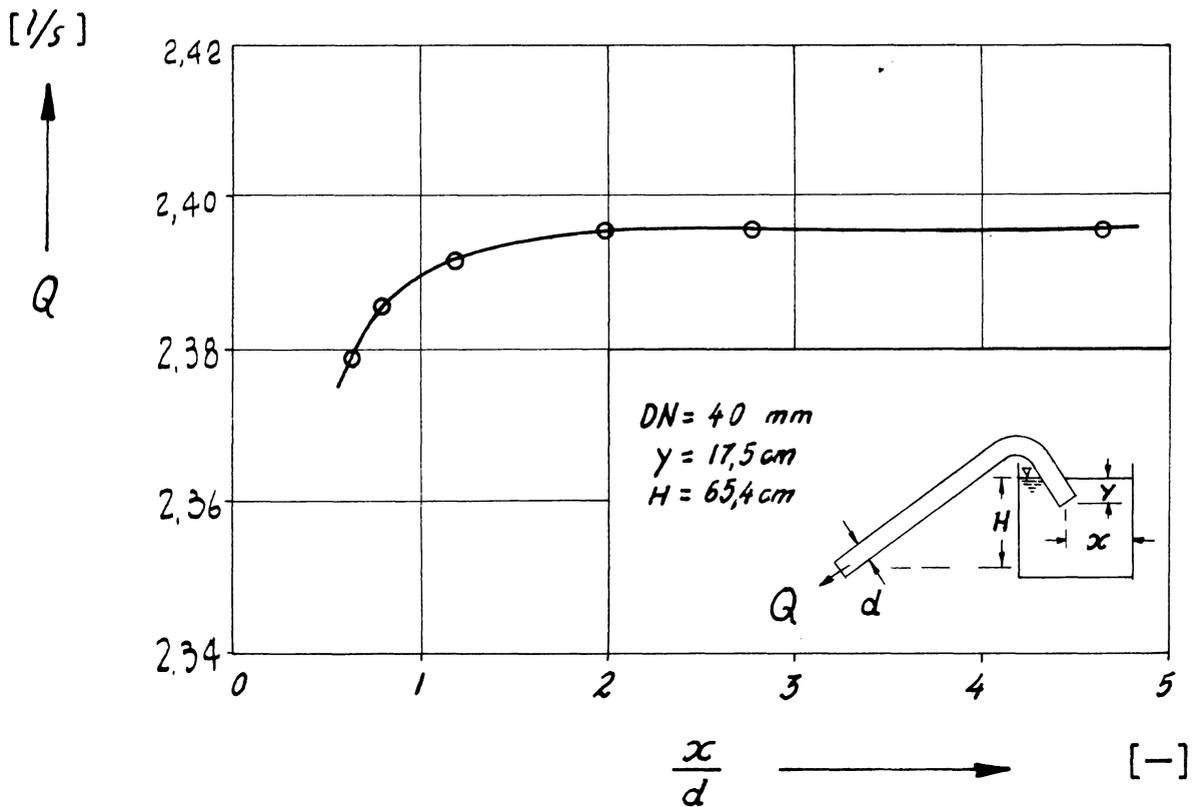


Fig.32 — Influência da distância (y) da entrada à superfície d'água e do ângulo de declividade da entrada (α) no sentido transversal do canal.

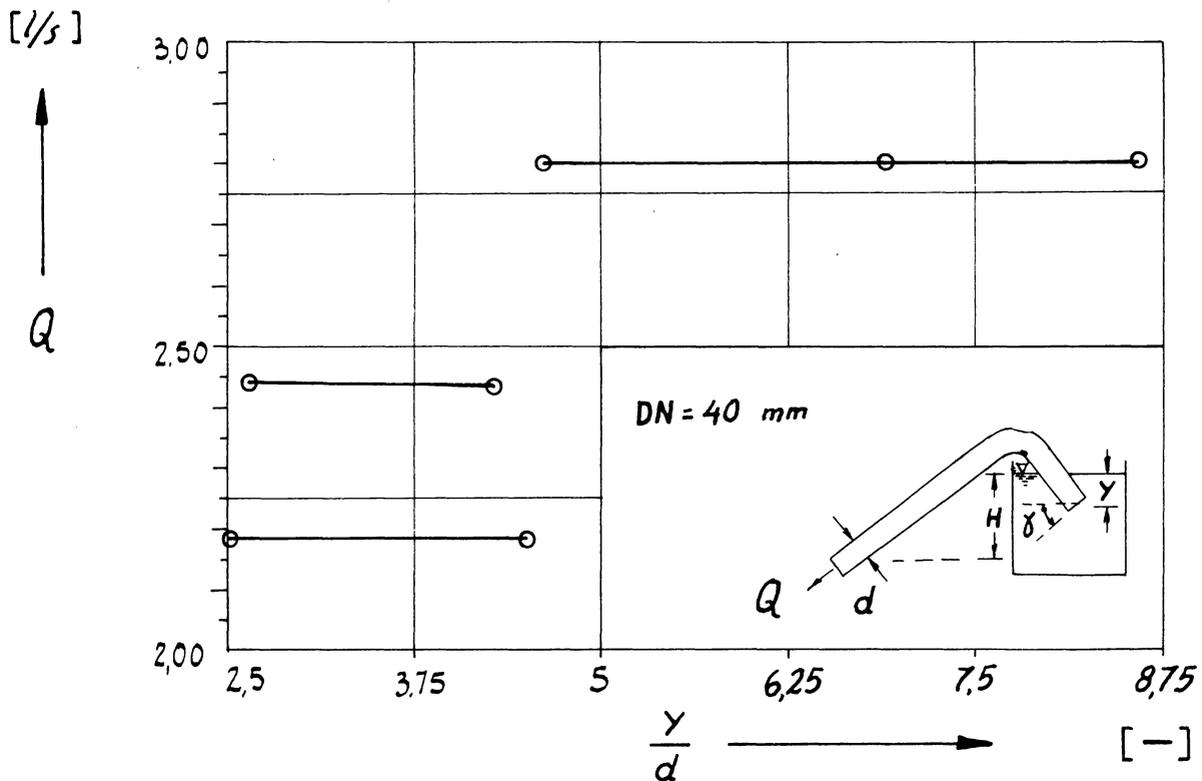


Fig. 34a - Influência da espessura (e) no rendimento (η) dos sifões

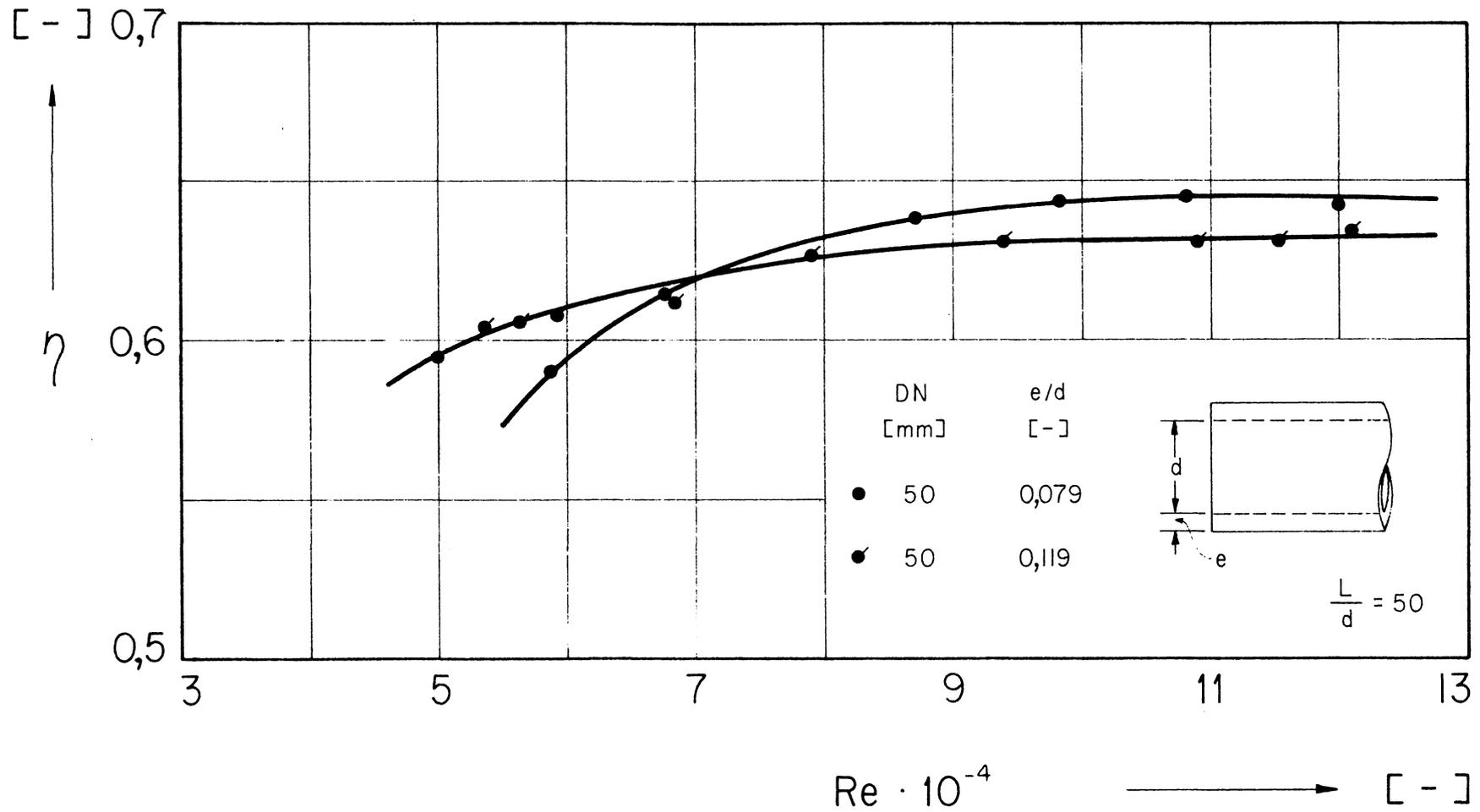
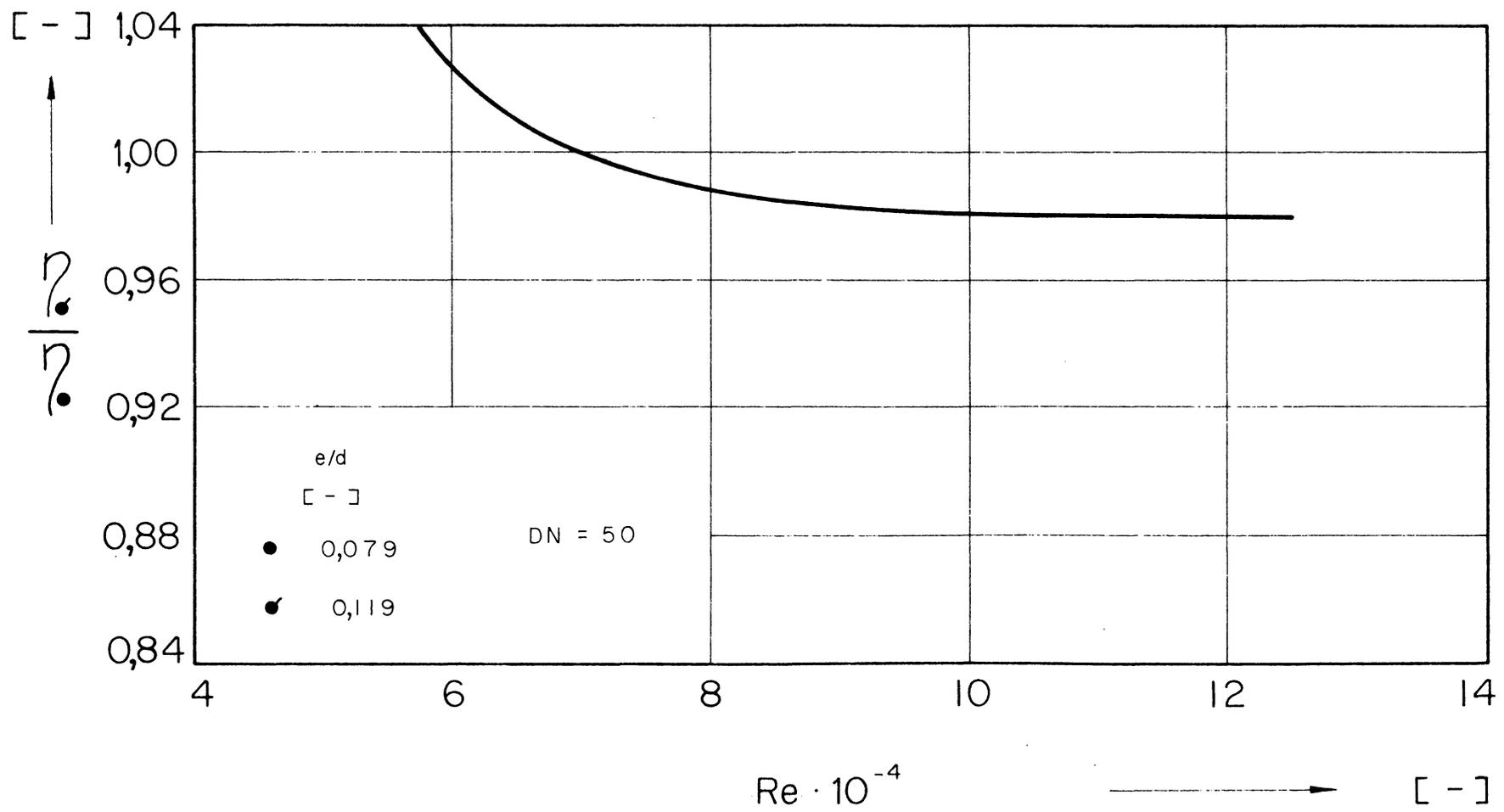


Fig. 34 b - Influência da espessura (e) no rendimento (η) dos sifões.



entre o rendimento do sifão, com a luva (η) e o rendimento do sifão sem a luva (η_0), sendo o valor de ($\frac{\eta}{\eta_0}$), respectivamente 0,119 e 0,079, apresentando em função do nº de Reynolds, que a partir de $Re \geq 9.10^4$ é pequena e tende a ser constante. Para valores menores, a tendência é crescer acentuadamente, verificando-se praticamente, a entrada de ar pela saída do sifão, para um menor valor do nº de Re, no caso de um maior valor da espessura do sifão.

3.5 - Influência do raio de curvatura do sifão.

A verificação da influência do raio de curvatura (r) dos sifões, foi efetuada através da comparação entre os rendimentos (η) de sifões, figura 29, onde $\frac{r}{d} = 8$, e o rendimento (η_r) de condutos curtos retos, figura 31 onde $\frac{r}{d} = \infty$, que representam para o caso de irrigação, como casos extremos.

A razão $\frac{\eta}{\eta_r}$, apresentada na figura 35, nos mostra que esta influência é bastante pequena, podendo ser desprezada para fins de irrigação.

3.6 - Determinação da vazão Q em função de H, d e $\frac{L}{d}$.

3.6.1 - Método prático

Através dos pontos da figura 29, contruiu-se a figura 36, onde determinamos a reta de regressão, pelo método dos mínimos quadrados, obtendo-se a equação (26) válida para o intervalo $2 \leq Re \cdot 10^{-4} \leq 13$, apresentando um coeficiente de correlação, $r = 0,0865$.

$$26) \log \eta = -0,312 + 0,0963 \cdot \log \left(\frac{Re}{\eta} \cdot 10^{-4} \right)$$

Fig. 35 – Razão média entre o rendimento de sifão e de conduto reto e liso em função de Re.

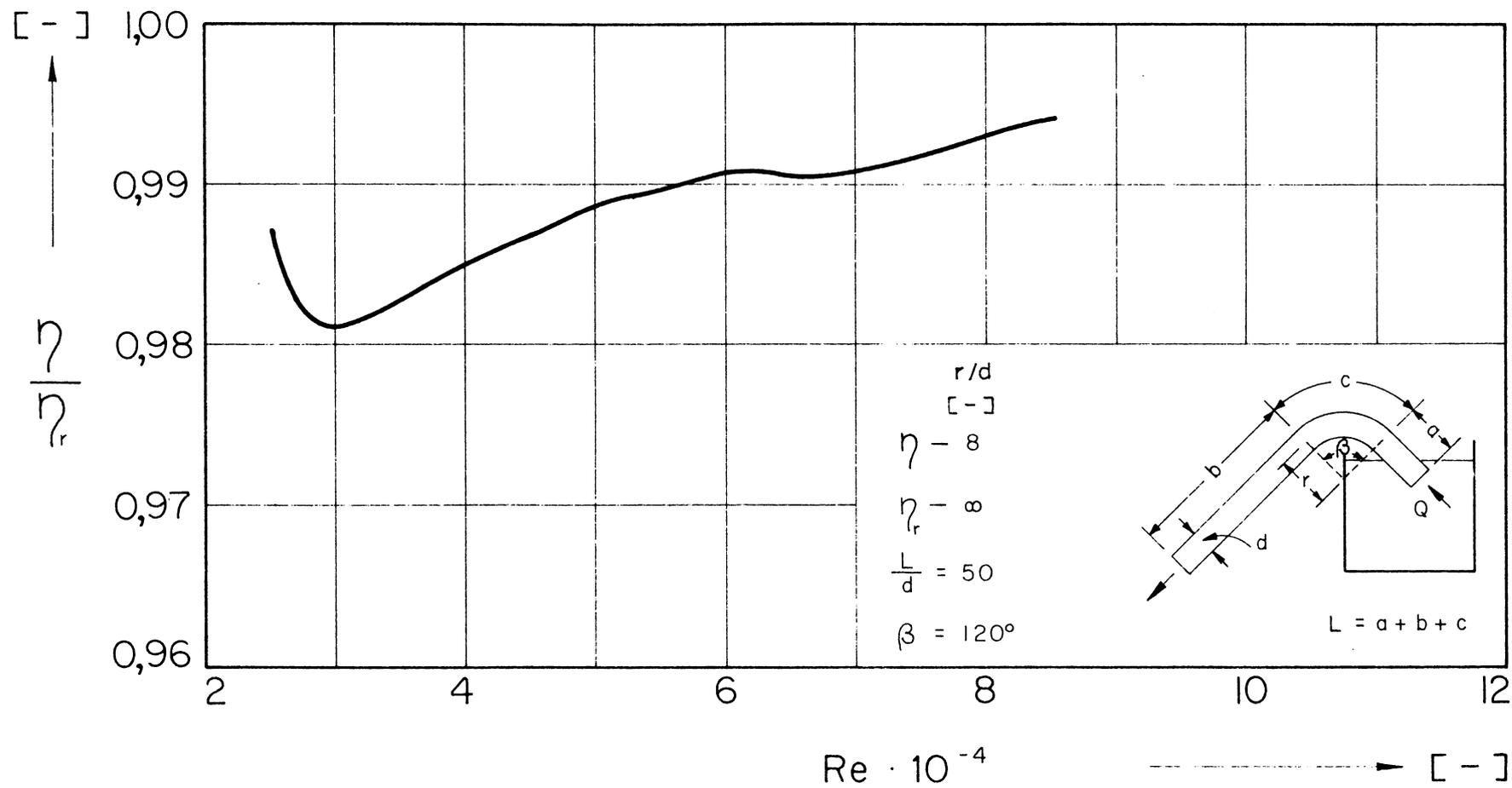
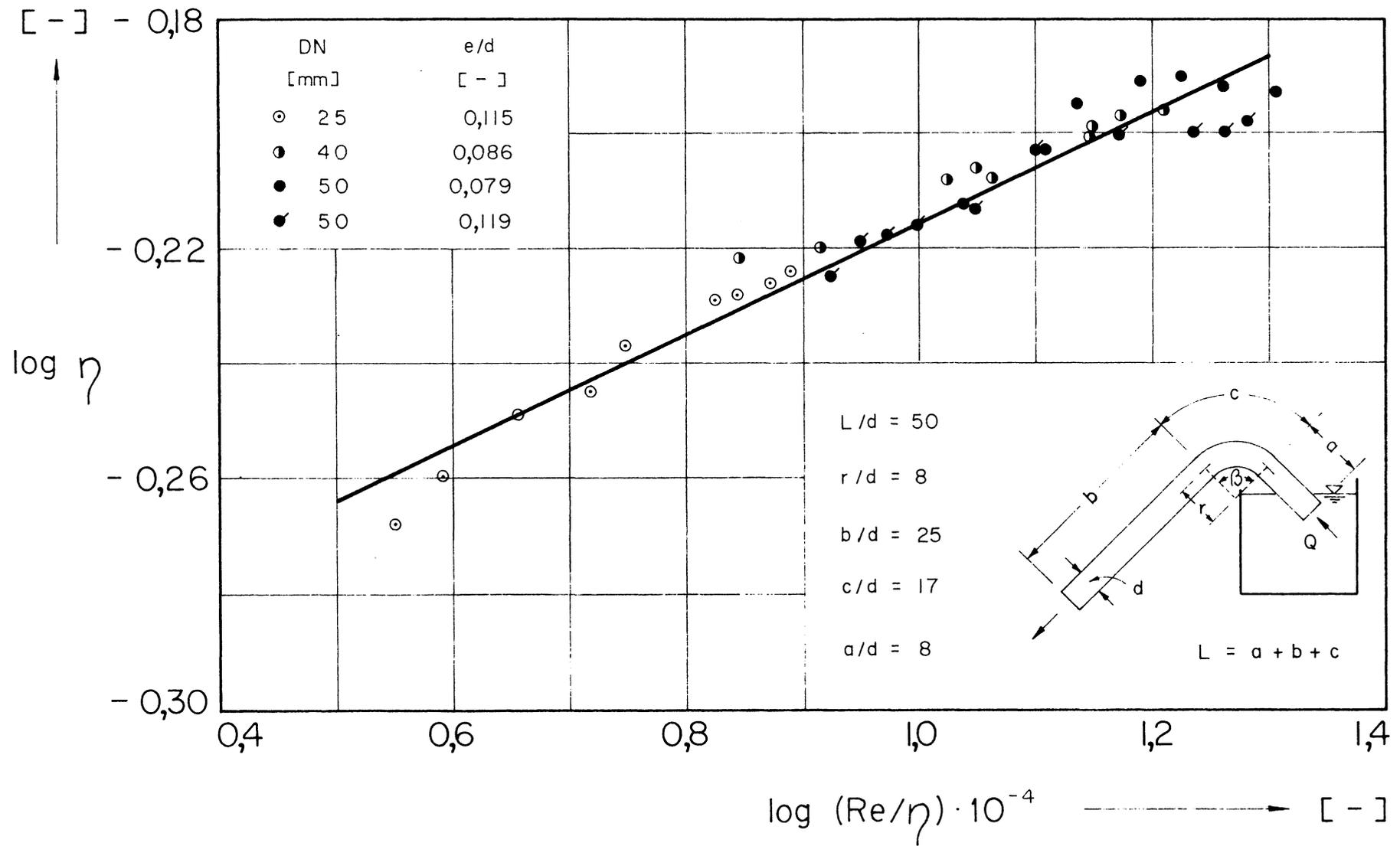


Fig. 36 - Rendimento de sifões em função de Re/η



Transformando convenientemente, aplicando as propriedades dos logaritmos, a equação acima, determinou-se o valor da equação da curva correspondente, conforme segue:

$$27) A (\log \eta) = A \left[-0,312 + 0,0963 \log \left(\frac{Re}{\eta} \cdot 10^{-4} \right) \right]$$

fazendo-se:

$$(28) \log b = -0,312$$

e substituindo (28) em (27), temos:

$$A (\log \eta) = A \left[\log b + \log \left(\frac{Re}{\eta} \cdot 10^{-4} \right) 0,0963 \right]$$

$$A (\log \eta) = A \left[\log b + \left(\frac{Re}{\eta} \cdot 10^{-4} \right) 0,0963 \right]$$

$$29) \quad \eta = b \left(\frac{Re}{\eta} \cdot 10^{-4} \right) 0,0963$$

Calculando-se o antilogaritmo de b na equação (28) temos:

$$30) \quad b = 0,486$$

substituindo (30) em (29) vem:

$$31) \quad \eta = 0,486 \left(\frac{Re}{\eta} \cdot 10^{-4} \right) 0,0963$$

De acordo com a equação (7), temos:

$$7) \quad Q = A \cdot \eta \cdot \sqrt{2gH}$$

$$A = \frac{\pi d^2}{4}$$

onde

$$32) \quad = \frac{4Q}{\pi d^2 \cdot \sqrt{2gH}}$$

Fazendo-se:

$$33) \frac{4}{\pi \sqrt{2g}} = C^* \rightarrow (\text{MK}^* \text{S}) = 0,288 \text{ [m}^{-1/2} \cdot \text{s]}$$

substituindo-se (33) em (32), temos:

$$34) \quad \eta = C^* \frac{Q}{d^2 \sqrt{H}}$$

Por outro lado temos por definição:

$$35) \quad \text{Re} = \frac{v \cdot d}{\nu}$$

onde substituindo (5) em (35), temos:

$$36) \quad \frac{\text{Re}}{\eta} = \frac{\sqrt{2g} \cdot H \cdot d}{\nu}$$

Para uma temperatura d'água, sem gás, de 20°C, temos:

$$(20^\circ\text{C}) = 1,011 \times 10^{-6} \text{ [m}^2/\text{s]}$$

$$37) \quad \frac{\sqrt{2g}}{(20^\circ\text{C})} = C = (\text{MK}^* \text{S}) = 4,38 \times 10^6 \text{ [m}^{-3/2}]$$

Substituindo (37) em (36), vem:

$$38) \quad \frac{\text{Re}}{\eta} = C \cdot d \cdot \sqrt{H}$$

Substituindo (38) e (34) em (31), temos:

$$C^* \frac{Q}{d^2 \sqrt{H}} = 0,486 (C \cdot d \cdot \sqrt{H} \cdot 10^{-4})^{0,0963}$$

$$Q = \frac{0,486 \cdot C^{0,0963}}{C^* \cdot 10^{0,385}} \cdot d^{2,0963} \cdot H^{0,548}$$

fazendo-se

$$K = \frac{0,486 \cdot c^{0,0963}}{c^* \cdot 10^{0,385}} = 3,040 \text{ [MK}^* \text{S]}$$

$$39) \quad Q = 3,04 \cdot d^{2,096} \cdot H^{0,548} \quad [\text{L}^3/\text{s}]$$

Por meio da equação (39) calculou-se o gráfico apresentado pela figura 37 cujo erro máximo em relação a vazão obtida praticamente é de 3%, (não considerando os pontos onde o nº de Fr é pequeno).

3.6.2 - Método Teórico:

A vantagem deste método é de nos dar resultados para diferentes comprimentos de sifão. Através da equação (10) desenvolveu-se dois processos de cálculo da vazão (Q).

Como todas as variáveis são funções do nº de Reynolds, com excessão do último termo, que como vimos na tabela (4) só tem influência para pequenos valores do nº de Froude, e sendo Re o parâmetro de maior influência, construiu-se os gráficos apresentados nas figuras (38) e (39).

1º - A figura (38) apresenta o rendimento (η) obtido pela equação (10) em função de $\sqrt{H} \cdot d \cdot \frac{\sqrt{g}}{v}$, pois através da equação (36) temos:

$$40) \quad \frac{Re}{\eta \sqrt{Z'}} = \sqrt{H} \cdot d \cdot \frac{\sqrt{g}}{v}$$

Conhecendo-se H, d e v, e sendo $\sqrt{g} \cdot 10^{-4}$ constante obtém-se (η), figura (38), e calcula-se o valor

da vazão (Q) pela equação (7)

$$7) \quad Q = A \cdot \eta \cdot \sqrt{2gH}$$

2º - Igualando as equações (10) e (6) temos:

$$\frac{Q}{A} \cdot \frac{1}{\sqrt{2gH}} = \frac{1}{\sqrt{\lambda_e + \lambda_c + \lambda_r \frac{L}{d} + \alpha + \frac{2(n-0,5)}{Fr^2}}}$$

Substituindo-se a área (A) por seu valor, passando as constantes para o 2º membro da equação, segue:

$$41) \quad \frac{Q}{d^2 \sqrt{H}} \cdot \frac{1}{\sqrt{g}} = \frac{\pi \cdot \sqrt{2}}{4 \sqrt{\lambda_e + \lambda_c + \lambda_r \frac{L}{d} + \alpha + \frac{2(n-0,5)}{Fr^2}}}$$

Construiu-se desta forma o gráfico apresentado na figura 39, onde é possível obter a vazão (Q) em função do diâmetro (d), da carga (H) e do comprimento (L) para $\frac{L}{d} = 30, 35, 40, 50, 60$ e 70 ; diretamente.

3.7 - Uso das tabelas

~~Tabela~~ ^{Figura} 37 - Esta tabela é válida para um comprimento do sifão $L \approx 50 d$. Supondo que para irrigação de uma parcela, necessitamos de uma vazão de $2 [l/s]$, por sulco, e que a distância entre o nível d'água e o terreno é de $0,40$ m, isto nos indica que a carga máxima é de $H = 0,40$ m.

Observando-se a figura 37, percebe-se que para se obter $2 [l/s]$, podemos escolher um sifão com $d = 40 [mm]$ para

$H = 0,34$ [m], ou um sifão com $d = 45$ [mm] e para $H = 0,22$ [m].

Tabelas 38 e 39.

Estas tabelas podem ser usadas para diferentes comprimentos de sifões: $\frac{L}{d} = 30, 35, 40, 50, 60$ e 70 .

Supondo que vamos usar um comprimento do sifão $L = 70d$, temos $H = 0,30$ [m] e $d = 40$ [mm], podemos calcular o valor da vazão, calculando o valor de

$$\sqrt{H} \cdot d \cdot \frac{\sqrt{g}}{v} \cdot 10^{-4}$$

Supondo uma temperatura de 20°C , temos:

$$\frac{\sqrt{g}}{v_{20^{\circ}}} \cdot 10^{-4} = 3,1 \cdot 10^2 \quad \left[\text{m}^{-\frac{3}{2}} \right]$$

$$\sqrt{H} \cdot d \cdot \frac{\sqrt{g}}{20^{\circ}} \cdot 10^{-4} = 6,8$$

Se entrarmos com este valor pela abcissa do gráfico apresentado pela fig. 38, encontramos o valor aproximado do rendimento (η) e podemos calcular a vazão (Q) através da equação (7).

$$\eta \approx 0,565$$

$$Q \approx 1,72 \text{ l/s}$$

Com o mesmo valor $6,8$ podemos entrar pela abcissa do gráfico apresentado na figura 39, e teremos na ordenada o valor:

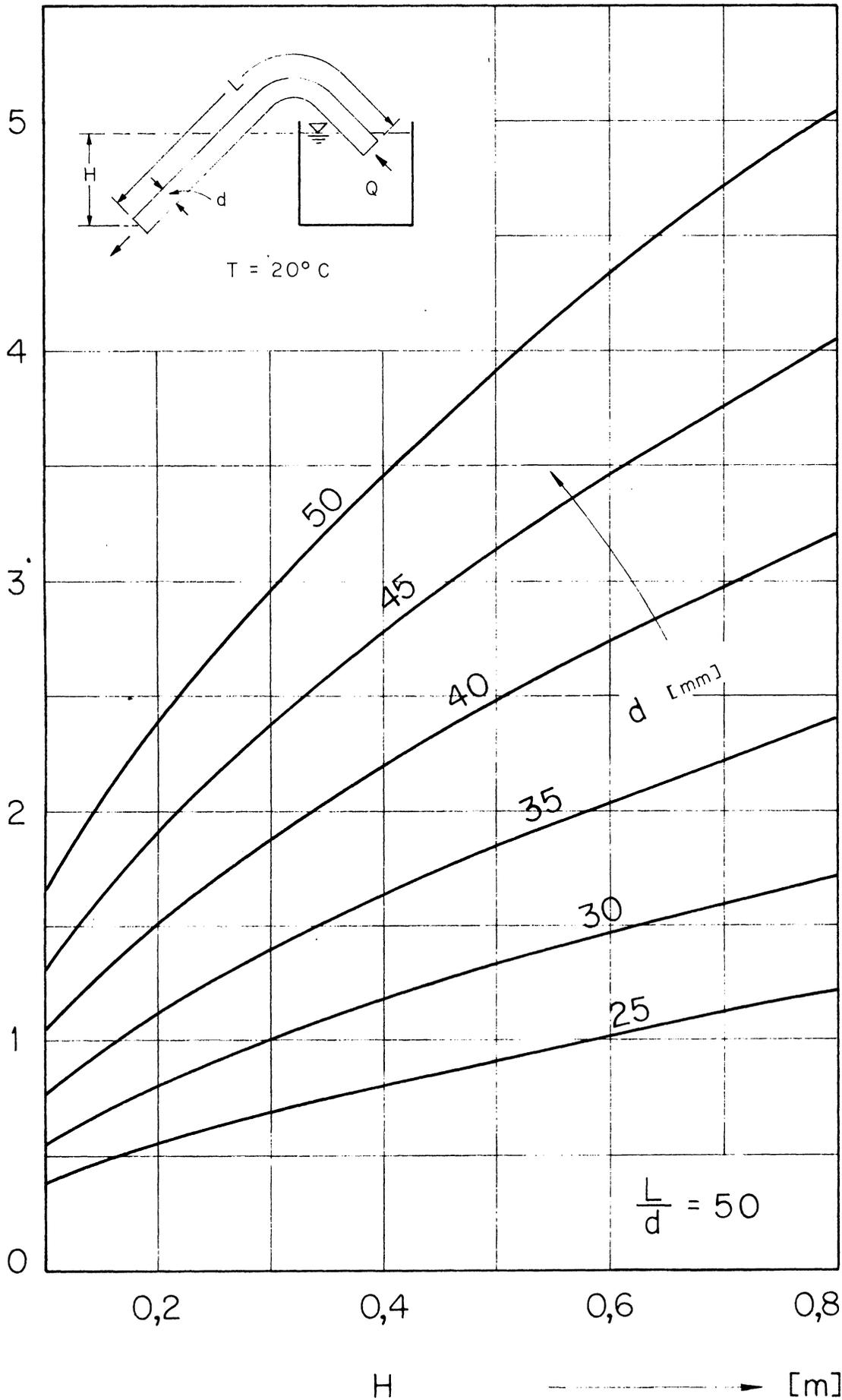
$$\frac{Q}{d^2 \sqrt{H}} \cdot \frac{1}{\sqrt{g}} = 0,625$$

onde:

$$Q = 1,72$$

Fig. 37 - Descarga em sifões para irrigação

[L/s]



$\frac{L}{d} = 50$

Fig. 38 - Rendimento (η) de pequenos sifões para irrigação.

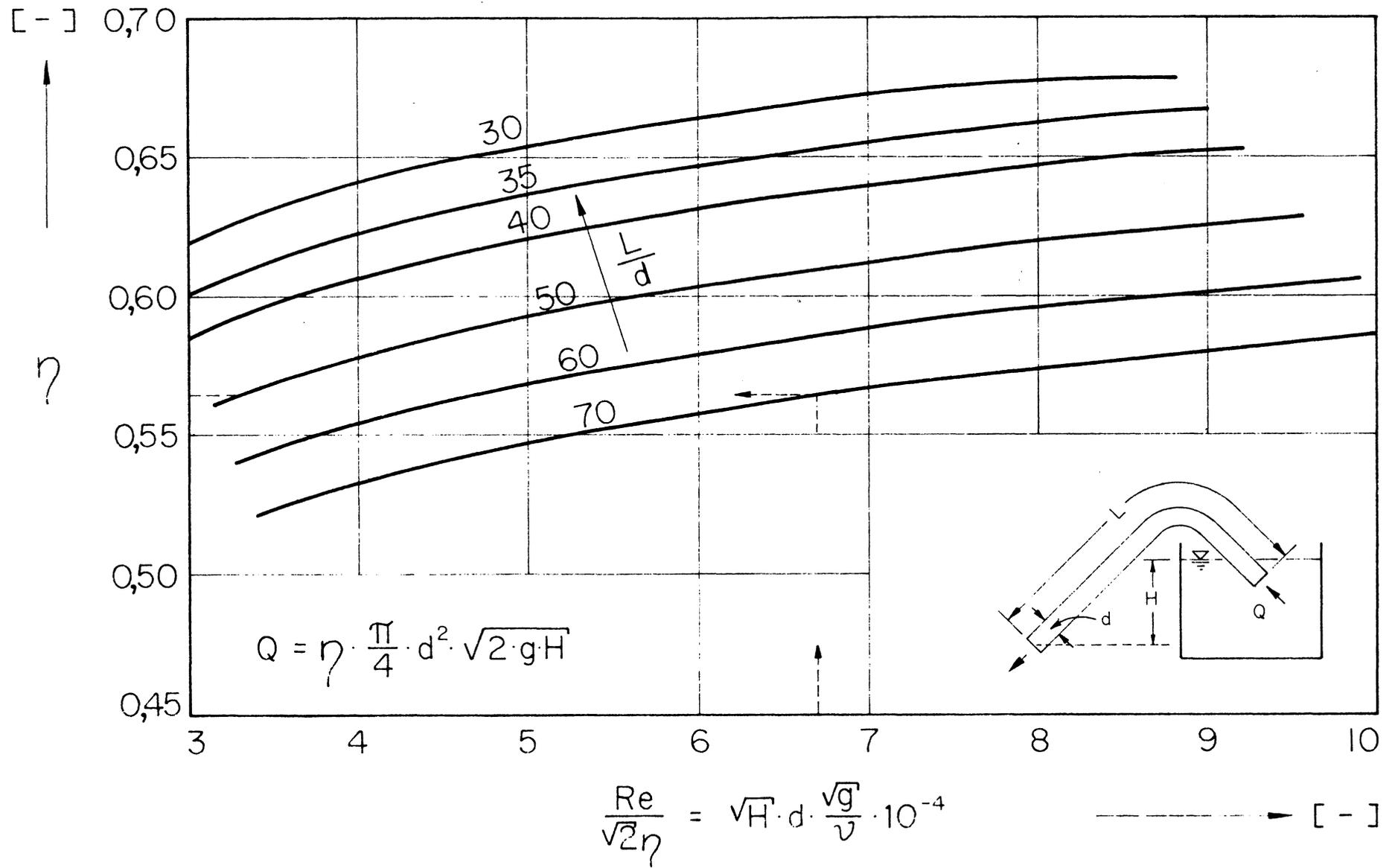
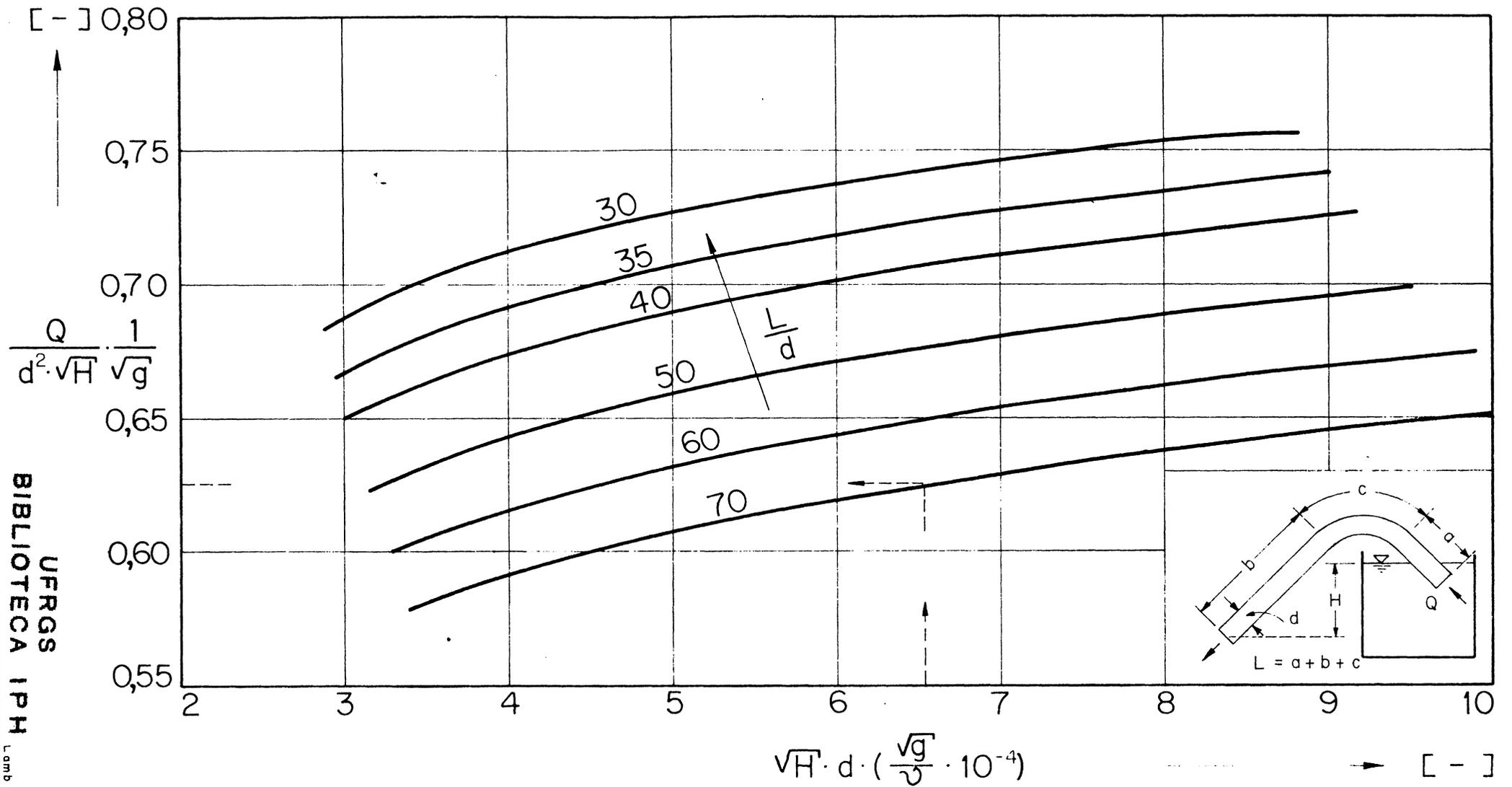


Fig. 39 - Vazão de pequenos sifões para irrigação.



QUADRO	DN	$\frac{L}{DN}$	$\frac{r}{DN}$	$\frac{a}{DN}$	$\frac{b}{DN}$	$\frac{c}{DN}$	$\frac{e}{de}$
Nº	[mm]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
1	25	50	8	8	25	17	0,116
2	40	"	"	"	"	"	0,087
3	50	"	"	"	"	"	0,079
4	"	"	"	"	"	"	0,119
5	"	"	∞	-	-	-	0,079
6	25	"	"	-	-	-	0,116
7	40	50	"	-	-	-	0,087
8	"	40	"	-	-	-	"
9	"	35	"	-	-	-	"
10	"	30	"	-	-	-	"
11	"	20	"	-	-	-	"
12	"	15	"	-	-	-	"
13	"	10	"	-	-	-	"
14	"	5	"	-	-	-	"

Tabela 6 - Tipos e dimensões dos sifões.

QUADRO	H	Q	v	η	$v \cdot 10^6$	$Re \cdot 10^4$	Fr
Nº 1	[m]	[l/s]	[m/s]	[-]	[m ² /s]	[-]	[-]
1 (*)	0,769	0,301	0,625	0,507	1,011	1,54	1,27
2	0,129	0,420	0,872	0,549	"	2,14	1,768
3	0,172	0,499	1,038	0,564	"	2,55	2,105
4	0,226	0,579	1,202	0,569	"	2,96	2,438
5	0,258	0,630	1,310	0,579	"	3,23	2,657
6	0,372	0,767	1,595	0,590	"	3,92	3,235
7	0,408	0,807	1,750	0,592	"	4,13	3,550
8	0,463	0,862	1,792	0,594	"	4,41	3,635
9	0,503	0,903	1,876	0,597	"	4,61	3,805

(*) Não foi considerado nos cálculos.

QUADRO	H	Q	v	η	$\nu \cdot 10^6$	$Re \cdot 10^4$	Fr
Nº 2	[m]	[l/s]	[m/s]	[-]	[m ² /s]	[-]	[-]
1 (*)	0,139	0,940	0,847	0,517	0,927	3,44	1,395
2	0,153	1,152	1,038	0,600	"	4,21	1,710
3	0,208	1,349	1,217	0,603	"	4,95	2,005
4	0,344	1,783	1,606	0,619	"	6,52	2,645
5	0,372	1,871	1,685	0,623	"	6,86	2,776
6	0,411	1,945	1,760	0,620	"	7,15	2,899
7	0,496	2,173	1,958	0,627	"	7,93	3,226
8	0,607	2,398	2,160	0,629	"	8,79	3,558
9	0,613	2,441	2,190	0,632	"	8,89	3,608
10	0,791	2,597	2,340	0,636	"	9,49	3,855
11	0,807	2,807	2,530	0,637	"	10,28	4,168

(*) Não foi considerada nos cálculos.

QUADRO	H	Q	v	η	$\nu \cdot 10^6$	$Re \cdot 10^4$	Fr
Nº 7	[m]	[l/s]	[m/s]	[-]	[m ² /s]	[-]	[-]
1 (*)	0,138	1,433	0,716	0,432	0,907	3,94	1,018
2	0,164	2,116	1,057	0,590	"	5,88	1,503
3	0,197	2,416	1,208	0,614	"	6,70	1,717
4	0,307	3,125	1,562	0,638	"	8,69	2,220
5	0,395	3,578	1,790	0,644	"	9,82	2,545
6	0,458	3,880	1,940	0,645	"	10,80	2,758
7	0,570	4,299	2,150	0,643	"	11,98	3,056
8	0,780	5,004	2,504	0,641	"	13,90	3,559

(*) Não foi considerada nos cálculos.

QUADRO	H	Q	v	η	$U \cdot 10^6$	$Re \cdot 10^4$	Fr
Nº 4	[m]	[l/s]	[m/s]	[-]	[m ² /s]	[-]	[-]
1	0,144	1,983	0,991	0,600	1,011	4,81	1,409
2	0,159	2,139	1,066	0,604	"	5,34	1,515
3	0,174	2,242	1,120	0,606	"	5,62	1,592
4	0,191	2,367	1,180	0,608	"	5,92	1,677
5	0,251	2,727	1,360	0,612	"	6,83	1,933
6	0,322	3,153	1,575	0,627	"	7,90	2,239
7	0,445	3,735	1,865	0,631	"	9,38	2,651
8	0,596	4,325	2,160	0,631	"	10,88	3,070
9	0,676	4,598	2,290	0,631	"	11,52	3,255
10	0,738	4,836	2,410	0,634	"	12,08	3,426

QUADRO	H	Q	v	η	$U \cdot 10^6$	$Re \cdot 10^4$	Fr
Nº 5	[m]	[l/s]	[m/s]	[-]	[m ² /s]	[-]	[-]
1	0,188	2,349	1,175	0,612	1,065	5,57	1,670
2	0,204	2,465	1,233	0,617	"	5,85	1,753
3	0,241	2,707	1,354	0,623	"	6,42	1,925
4	0,253	2,773	1,387	0,623	"	6,58	1,972
5	0,273	2,881	1,441	0,623	"	6,83	2,048
6	0,315	3,125	1,563	0,629	"	7,41	2,222
7	0,368	3,388	1,694	0,631	"	8,03	2,408
8	0,409	3,586	1,793	0,633	"	8,50	2,549

QUADRO	H	Q	v	η	$\nu \cdot 10^6$	$Re \cdot 10^4$	Fr
Nº 6	[m]	[l/s]	[m/s]	[-]	[m ² /s]	[-]	[-]
1	0,147	0,478	0,958	0,564	1,065	2,27	1,943
2	0,196	0,561	1,125	0,573	"	2,67	2,282
3	0,217	0,603	1,210	0,586	"	2,87	2,454
4	0,315	0,736	1,475	0,594	"	3,50	2,992
5	0,350	0,791	1,536	0,596	"	3,76	3,217
6	0,396	0,836	1,675	0,602	"	3,96	3,398
7	0,433	0,869	1,740	0,598	"	4,12	3,530
8	0,477	0,920	1,842	0,602	"	4,37	3,736
9	0,525	0,961	1,925	0,599	"	4,55	3,905
10	0,530	0,961	1,935	0,599	"	4,56	3,925

QUADRO	H	Q	v	η	$\nu \cdot 10^2$	$Re \cdot 10^4$	Fr
Nº 7	[m]	[l/s]	[m/s]	[-]	[m ² /s]	[-]	[-]
1	0,123	1,023	0,922	0,594	1,022	3,39	1,519
2	0,226	1,438	1,295	0,612	"	4,76	2,133
3	0,307	1,697	1,526	0,618	"	5,61	2,514
4	0,425	2,021	1,822	0,629	"	6,71	3,002

QUADRO	H	Q	v	η	$\nu \cdot 10^2$	$Re \cdot 10^4$	Fr
Nº 8	[m]	[l/s]	[m/s]	[-]	[m ² /s]	[-]	[-]
1	0,112	1,015	0,913	0,618	1,011	3,30	1,504
2	0,149	1,199	1,080	0,630	"	3,76	1,779
3	0,214	1,456	1,310	0,640	"	4,88	2,158
4	0,240	1,529	1,378	0,637	"	5,12	2,257
5	0,314	1,762	1,586	0,642	"	5,91	2,613
6	0,336	1,977	1,780	0,649	"	6,67	2,932
7	0,445	2,139	1,922	0,653	"	7,18	3,166

QUADRO	H	Q	v	η	$\nu \cdot 10^6$	$Re \cdot 10^4$	Fr
Nº 9	[m]	[l/s]	[m/s]	[-]	[m ² /s]	[-]	[-]
1	0,099	0,983	0,887	0,638	0,960	3,48	1,461
2	0,133	1,163	1,048	0,648	"	4,12	1,726
3	0,210	1,483	1,337	0,658	"	5,23	2,203
4	0,212	1,497	1,350	0,661	"	5,26	2,224
5	1,258	1,663	1,500	0,668	"	5,89	2,471
6	0,275	1,717	1,546	0,667	"	6,08	2,547
7	0,316	1,850	1,668	0,670	"	6,52	2,748
8	0,373	2,016	1,818	0,674	"	7,12	2,995
9	0,413	2,133	1,920	0,674	"	7,52	3,163

QUADRO	H	Q	v	η	$\nu \cdot 10^6$	$Re \cdot 10^4$	Fr
Nº 10	[m]	[l/s]	[m/s]	[-]	[m ² /s]	[-]	[-]
1	0,110	1,056	0,950	0,650	0,960	3,73	1,565
2	0,158	1,294	1,165	0,662	"	4,57	1,919
3	0,214	1,529	1,378	0,671	"	5,40	2,270
4	0,220	1,548	1,394	0,670	"	5,48	2,297
5	0,272	1,737	1,562	0,671	"	6,13	2,573
6	0,330	1,929	1,738	0,681	"	6,81	2,863
7	0,371	2,049	1,843	0,683	"	7,23	3,036
8	0,418	2,179	1,960	0,685	"	7,70	3,229

QUADRO	H	Q	v	φ	$\nu \cdot 10^6$	$Re \cdot 10^4$	Fr
Nº 11	[m]	[l/s]	[m/s]	[-]	[m ² /s]	[-]	[-]
1	0,113	1,109	1,000	0,570	0,962	3,91	1,647
2	0,148	1,302	1,174	0,681	"	4,59	1,934
3	0,199	1,529	1,379	0,698	"	5,40	2,272
4	0,227	1,648	1,485	0,703	"	5,80	2,446
5	0,233	1,682	1,515	0,709	"	5,92	2,496
6	0,285	1,871	1,634	0,719	"	6,58	2,774
7	0,340	2,065	1,860	0,720	"	7,28	3,064
8	0,349	2,099	1,890	0,723	"	7,39	3,114
9	0,391	2,231	2,010	0,725	"	7,87	3,312
10	0,414	2,295	2,070	0,725	"	8,09	3,410
11	0,433	2,343	2,110	0,724	"	8,25	3,476

QUADRO	H	Q	v	φ	$\nu \cdot 10^6$	$Re \cdot 10^4$	Fr
Nº 12	[m]	[l/s]	[m/s]	[-]	[m ² /s]	[-]	[-]
1	0,124	1,224	1,102	0,694	0,957	4,34	1,815
2	0,135	1,265	1,140	0,700	"	4,39	1,878
3	0,177	1,492	1,342	0,721	"	5,29	2,211
4	0,197	1,576	1,420	0,724	"	5,52	2,339
5	0,226	1,712	1,540	0,730	"	6,07	2,537
6	0,262	1,850	1,665	0,737	"	6,57	2,743
7	0,287	1,945	1,750	0,738	"	6,89	2,883
8	0,314	2,038	1,835	0,740	"	7,22	3,023
9	0,369	2,219	2,000	0,744	"	7,88	3,295
10	0,409	2,343	2,110	0,743	"	8,30	3,476
11	0,438	2,428	2,180	0,073	"	8,60	3,591

QUADRO	H	Q	v	η	$\nu \cdot 10^6$	$Re \cdot 10^4$	Fr
Nº 13	[m]	[l/s]	[m/s]	[-]	[m ² /s]	[-]	[-]
1	0,150	1,415	1,275	0,725	0,987	4,86	2,120
2	0,213	1,712	1,540	0,753	"	5,88	2,537
3	0,230	1,793	1,614	0,758	"	6,14	2,659
4	0,260	1,908	1,720	0,760	"	6,56	2,834
5	0,299	2,060	1,858	0,765	"	7,08	3,048
6	0,337	2,196	1,978	0,769	"	7,53	3,259
7	0,372	2,307	2,080	0,769	"	7,92	3,427
8	0,406	2,416	2,175	0,771	"	8,30	3,583
9	0,430	2,490	2,240	0,771	"	8,53	3,690

QUADRO	H	Q	v	η	$\nu \cdot 10^6$	$Re \cdot 10^4$	Fr
Nº 14	[m]	[l/s]	[m/s]	[-]	[m ² /s]	[-]	[-]
1	0,222	1,813	1,635	0,781	1,011	6,10	2,694
2	0,226	1,829	1,648	0,781	0,995	6,24	2,715
3	0,273	2,016	1,815	0,784	1,011	6,78	2,990
4	0,324	2,207	1,990	0,789	"	7,41	3,278
5	0,377	2,386	2,145	0,789	"	8,00	3,534
6	0,412	2,496	2,250	0,791	"	8,39	3,707
7	0,419	2,521	2,270	0,791	"	8,48	3,740

BIBLIOGRAFIA

- 1 - DELOYE, M. e REBOUR, H.: El Riego, Madrid 1969. Ediciones Mundi-Prensa, p. 154-156.
- 2 - NEVES, E.T.: Curso de Hidráulica - 2ª edição. Pôrto Alegre - Globo, 1968. p. 102-104.
- 3 - KALLWASS, G.J.: Beitrag zur hydraulischen Berechnung gedrosselter seitlicher Regenüberläufe. Tese de Doutorado. Kadsruhe, 1964. p. 30, 45.
- 4 - AZEVEDO NETTO, J.M. de e VILLELA, S.M.: Manual de Hidráulica. 5ed. rev. e amp. São Paulo, Edgard Blücher, 1969. v.1, p. 87.
- 5 - DOMINGUEZ, S.: Hidráulica. 3ed. Santiago de Chile, Univer_{sitaria}, 1959 p. 235-38.
- 6 - RICHTER, H.: Rohrhydraulik. Berlin, Springer - Verlag, 1962. O.183, 186-87.